REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería de Minas

Implementación de la malla de perforación basado en el modelo matemático de Langefors y Kihlstrom para reducir los costos unitarios de perforación y voladura del proyecto vial carretera Ayo Andamayo 2024

Tesis presentada por la bachiller:

Vilca Cueva, Deyna Alexandra

ORCID: 0009-0002-7011-8912

para optar el Título Profesional de Ingeniero de Minas

Asesor (a):

Dra. López Casaperalta de Diaz, Patricia Yaneth

ORCID: 0000-0001-5853-2833

Arequipa - Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERÍA DE MINAS

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 18 de Septiembre del 2025

Dictamen: 014359-C-EPIM-2025

Visto el borrador del expediente 014359, presentado por:

2017803292 - VILCA CUEVA DEYNA ALEXANDRA

Titulado:

IMPLEMENTACIÓN DE LA MALLA DE PERFORACIÓN BASADO EN EL MODELO MATEMÁTICO DE LANGEFORS Y KIHLSTROM PARA REDUCIR LOS COSTOS UNITARIOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DEL PROYECTO VIAL CARRETERA AYO ANDAMAYO 2024

Nuestro dictamen es:

APROBADO

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

INGENIERO DE MINAS

40902304 - LINARES FLORES CASTRO ANTONIO ERICK DICTAMINADOR

40379481 - PAREDES SALAS OMAR WILLY DICTAMINADOR

29635304 - MORALES VALDIVIA JAVIER ANTONIO DICTAMINADOR

Implementación de la malla de perforación basado en el modelo matemático de Langefors y Kihlstrom para reducir los costos unitarios de perforación y voladura del proyecto vial carretera Ayo Andamayo

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	2%	10%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.minsur.com Fuente de Internet	2%
2	docslide.us Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
4	oa.upm.es Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis abuelos maternos, María Rosario Tejada de Cueva y Modesto Cueva Prado, por transmitir a lo largo de su vida; amor, bondad y perseverancia, misma que mi madre aprendió con valentía y que me transmitió a lo largo de mi vida con su ejemplo. Sé que, desde el cielo, nos miran orgullosos por el camino por cual hemos decidido luchar.

Dedico esta tesis a mi papá, por la confianza que siempre tuvo de mi capacidad y por animar siempre mi espíritu competitivo en lo que fuese, mismo que me ayudó para poder ser una persona independiente.

Y a mis hermanos, Brenda, Diego y Rodrigo porque con su amistad han llenado de alegría y sabiduría mi vida, estoy muy orgullosa de los sueños que cumplen y los hacen ser tan especiales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por cuidarme todos los días de mi vida, y por estar obrando en mis decisiones y que mi gozo dependa exclusivamente de él.

Agradezco a los ingenieras e ingenieros, docentes de la Universidad Católica Santa María, por haberme brindado las herramientas necesarias para trabajar con vigor y con determinación en los distintos puestos que desempeñé y que desempeñaré en el futuro.

Agradezco a la empresa China Civil Engineering Tiesiju, por confiar estos tres años en la entrega y capacidad otorgada a lo largo del proyecto vial: "CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA AYO - ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG 46+257), logrando aprender de cada una de las personas con las que me integré para que todo saliera a flote.

Agradezco de corazón por las personas que me han acompañado después de la universidad, porque ayudaron a que se cumpla mi sueño y que me sienta bien conmigo misma en el proceso, con mi familia y con mis amigos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RESUMEN

La presente investigación está dirigida a la respuesta frente a la problemática suscitada en las primeras voladuras realizadas en el Proyecto Vial de la Carretera Ayo – Andamayo, por ende, se requirió analizar todos los factores que se deben mejorar para lograr la correcta implementación de la malla de perforación en los procesos unitarios (Perforación y Voladura) en las zonas que contienen roca fija y roca suelta para así incrementar el flujo de caja del proyecto.

Esto es debido a que en las valorizaciones y metrados de la obra, que se presentan mensualmente a la supervisión de obra y posterior a ello a la entidad (Municipalidad de Castilla), la roca fija, es la que mayor costo representa (S/.27.50), frente a los otros dos tipos de materiales; roca suelta (S/.18.17), y material suelto (S/. 8.47).

Para que el rendimiento mensual de los mismos aumente, se requiere evaluar el ciclo de producción de la obra, es decir, para que el área de movimiento de tierras sobrepase y llegue a la meta propuesta de estos 3 tipos de materiales, se necesita tener de 2 a 3 voladuras masivas al día con un volumen mínimo de 5 mil metros cúbicos, teniendo cada voladura en distintas zonas de roca fija y yendo más en detalle, modificando la malla de perforación y la cantidad de equipos de perforación y zonas a perforar. También hay que tener en cuenta que todos los factores deben de cuidar el diseño y estabilidad del talud, para esto es importante calcular de forma correcta el factor de carga, ya que al ser este más del debido, daña las paredes del talud y si es menos genera que no se vuele la cantidad estimada y que se pierda horas hombre y horas máquina.

El modelo matemático utilizado para hallar los parámetros geométricos de la perforación o de la malla de perforación es el modelo de Langefors y Kihlström; ya que es el que más se adecua a las condiciones del terreno presente y las características de los equipos elegidos para perforar.

Finalmente, por efectuar dichos cambios es que se logró incrementar una producción mensual de aproximadamente 24 mil metros cúbicos de roca fija a 35 mil metros cúbicos, obteniendo una ganancia de S/.962,500.00, es decir S/. 247,500.00 de lo que ya se obtenía normalmente.

PALABRAS CLAVE:

Implementación, voladura, producción mensual

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The present investigation is directed to the response to the problems that arose in the first blasting carried out in the Ayo - Andamayo Road Project, therefore, it was necessary to analyse all the factors that must be improved to achieve the optimisation of the unitary processes (Drilling and Blasting) in the areas that contain fixed rock and loose rock in order to increase the cash flow of the project.

This is due to the fact that in the valuations and metrics of the work, which are presented monthly to the work supervision and subsequently to the entity (Municipality of Castilla), the fixed rock represents the highest cost (S/. 27.50), compared to the other two types of materials; loose rock (S/. 18.17), and loose material (S/. 8.47).

In order to increase the monthly performance of the same, it is necessary to evaluate the production cycle of the work, i.e. for the earthworks area to exceed and reach the proposed goal of these 3 types of materials, it is necessary to have 2 to 3 massive blasts per day with a minimum volume of 5 thousand cubic metres, having each blast in different zones of fixed rock and going into more detail, modifying the drilling mesh and the amount of drilling equipment and zones to be drilled. It must also be taken into account that all factors must take care of the design and stability of the slope, for this it is important to calculate the load factor correctly, since if it is more than the required load factor, it damages the slope walls and if it is less, the estimated amount is not blasted and man-hours and machine-hours are lost.

The mathematical model used to find the geometric parameters of the drilling or drilling mesh is the Langefors and Kihlström model, as it is the one that best suits the conditions of the terrain present and the characteristics of the equipment chosen for drilling.

Finally, by making these changes it was possible to increase a monthly production of approximately 24 thousand cubes of fixed rock to 35 thousand cubes, obtaining a profit of S/. 962,500.00, that is to say S/. 247,500.00 of what was already obtained normally.

KEY WORDS:

Implementation, blasting, monthly production

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I 2

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO 3

1.1. Planteamiento del problema 3

1.2. Objetivos 4

1.2.1. Objetivo principal 4

1.2.2. Objetivos específicos 5

1.3. Preguntas de investigación 5

1.4. Línea de investigación 6

1.5. Justificación 6

1.6. Variables del proyecto 7

1.6.1. Variables dependientes 7

1.6.2. Variable independiente 7

CAPÍTULO II 9

2. MARCO TEÓRICO 10

2.1. Estado del arte 10

2.1.1. Perforación 10

2.1.1.1. Parámetros geométricos de la malla de perforación 11

2.1.2. Voladura 19

2.1.2.1. Voladura en banquetas 19

2.1.2.2. Explosivos y accesorios de voladura 21

2.1.2.3. Voladura controlada de precorte 24

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1.2.4. Voladura controlada de buffer o amortiguamiento 25
2.1.2.5. Voladura controlada en malla de producción 25
2.1.2.6. Densidad carga lineal 26
2.1.2.7. Cantidad de explosivos 26
2.1.2.8. Cantidad de accesorios 27
2.1.2.9. Factor de carga 28
2.1.2.10. Carguío de taladros 28
2.1.3. Voladura en carretera 29
2.1.4. Metodología y herramientas para la optimización de voladuras a cielo abierto 38
2.1.5. Diagrama de Perforación y Voladura 42
CAPÍTULO III 43
3. MARCO METODOLÓGICO 44
3.1. Alcances y limitaciones 44
3.1.1. Alcances 44
3.1.2. Limitaciones 44
3.2. Tipo y diseño de investigación 44
3.2.1. Tipo de investigación 44
3.2.2. Diseño de investigación 45
3.3. Métodos y recolección de datos 46
3.3.1. Ubicación del proyecto 46
3.3.2. Accesibilidad al proyecto 46
3.3.3. Geología local 47
3.3.4. Características geotécnicas de las zonas de perforación 50
3.3.5. Equipos de perforación utilizados 54
3.3.6. Requerimiento de hardware y software 59
3.3.7. Análisis de costes 60
3.3.8. Cálculos 62

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.3.8.1. Parámetros geométricos de las mallas de perforación 62
3.3.8.2. Carguío de taladros 70
3.3.8.3. Simulación de voladura 70
3.3.8.4. Ciclo de producción 75
3.3.8.5. Costos y gastos del área de PERVOL 79
CAPÍTULO IV 80
4. RESULTADOS 81
4.1. Comparación de parámetros de perforación y voladura 81
4.2. Análisis de datos 82
4.2.1. Producción de roca fija 82
4.2.2. Valorización de las zonas de perforación evaluadas 85
4.3. Resultados de la implementación 88
CONCLUSIONES 89
RECOMENDACIONES 94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 95

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Operatividad de variables 8

Tabla 02. Relación de calicatas, formación geológica y descripción 47

Tabla 03. Relación de calicatas, clasificación de materiales y volumen de roca fija 49

Tabla 04. Características geomecánicas del área de perforación 53

Tabla 05. Especificaciones técnicas – RD-001 54

Tabla 06. Especificaciones técnicas – RD-002 55

Tabla 07. Especificaciones técnicas – RD-003 55

Tabla 08. Especificaciones técnicas – RD-004 56

Tabla 09. Especificaciones técnicas – RD-005 56

Tabla 10. Especificaciones técnicas – RD-006 57

Tabla 11. Especificaciones técnicas – RD-007 57

Tabla 12. Especificaciones técnicas – COM-001/COM-002 58

Tabla 13. Dimensiones de perforación 58

Tabla 14. Costos en Partida de Perforación y Voladura en Roca Fija 61

Tabla 15. Características de los explosivos de voladura utilizados 62

Tabla 16. Características de los accesorios de voladura utilizados 62

Tabla 17. Parámetros geométricos de la malla de perforación - Martillo Neumático 62

Tabla 18. Parámetros geométricos de la malla de perforación del Rock drill 66

Tabla 19. Diseño del carguío de taladros 70

Tabla 20. Simulación de malla de perforación – ROCK DRILL 74

Tabla 21. Restricciones de frentes del proyecto en el área de PERVOL 75

Tabla 22. Programación semanal del FRENTE DE AYO 76

Tabla 23. Distribución de personal y equipos por zona de perforación 77

Tabla 24. Movimiento de tierras – JUNIO DE 2024 (Frente de Andamayo) 78

Tabla 25. Costos finales en el área de Pervol 79

Tabla 26. Parámetros geométricos – Perforadora neumática 81

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Tabla 27. Parámetros geométricos – Rock drill 81

Tabla 28. Factor de carga 81

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. 12
Esquema geométrico de perforación 12
Figura 02. 16
Diseño de malla de perforación y diagrama de carguío de taladros 16
Figura 03. 17
Sandvik DX700 17
Figura 04. 17
Perforadora o martillo neumático 17
Figura 05. 21
ANFO SUPERFARM 2 - FAMESA 21
Figura 06. 22
EMULNOR SEMIGELATINOSO - FAMESA 22
Figura 07. 22
PENTACORD 5P – FAMESA 22
Figura 08. 23
FANELES - FAMESA 23
Figura 09. 23
RETARDO FANEL (MS CONECTOR) - FAMESA 23
Figura 10. 24
CARMEX – FAMESA 24
Figura 11 25
Diagrama de la técnica de air deck para voladura controlada 25
Figura 12. 31
Carguío de taladros del protocolo de voladura NRO 119 31
Figura 13. 32
Malla de perforación y secuencia de salida 32
Figura 14. 33
Meeting del protocolo de voladura NRO 112 33
Figura 15. 33
Área de voladura (PROG. KM. 9+520 – PROG.KM. 9+580) 33
Figura 16. 34
Desplazamiento de equipos fuera del área de voladura (300 m) 34

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 17. 35
Horario de voladura, notificación del área de voladura 35
Figura 18. 35
Polvorín del frente de Andamayo – Contenedor de Explosivos 35
Figura 19. 36
Polvorín del frente de Andamayo – Contenedor de Accesorios 36
Figura 20. 36
Polvorín del frente de Ayo - Contenedor de explosivos 36
Figura 21. 36
Polvorín del frente de Ayo - Contenedor de Accesorios 36
Figura 22. 38
Señalización del protocolo de voladura NRO 120 38
Figura 23. 39
Clasificación de materiales – evaluación de Ing. de producción y geólogo 39
Figura 24. 40
Referencias topográficas 40
Figura 25. 40
Supervisión del carguío de taladros y del protocolo de voladura 40
Figura 26. 41
Levantamiento topográfico post voladura 41
Figura 27. 41
Levantamiento topográfico post voladura – Plano 41
Figura 28. 46
Geolocalización de la carretera 46
Figura 29. 47
Ruta de la carretera 47
Figura 30. 50
Perforación con el RD – 007 50
Figura 31. 50
Perforación con el RD – 004 50
Figura 32. 51
Perforación con el RD – 005 51
Figura 33. 51

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Perforación con el RD – 006 51
Figura 34. 52
Perforación con el RD – 001 52
Figura 35. 52
Perforación con el RD – 002 52
Figura 36. 53
Perforación con el RD – 003 53
Figura 37. 54
Perforación con el RD – 001 54
Figura 38. 55
Perforación con el RD – 002 55
Figura 39. 55
Perforación con el RD – 003 55
Figura 40. 56
Perforación con el RD – 004 56
Figura 41. 56
Perforación con el RD – 005 56
Figura 42. 57
Perforación con el RD – 006 57
Figura 43. 57
Perforación con el RD – 007 57
Figura 44. 58
Perforación con los COM – 001 y COM - 002 58
Figura 45. 58
Ubicación de rock drills en el frente de Andamayo 58
Figura 46. 59
Ubicación de rock drills en el frente de Ayo 59
Figura 47. 60
Simulación de malla de perforación 60
Figura 51. 71
Simulación de la voladura en banqueta 71
Figura 52. Dimensiones de banqueta 71
Figura 53. Dimensiones de la malla de producción 71

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 54. Elección de explosivos y longitud de carga 72
Figura 55. Elección de accesorios y primado de carga 72
Figura 56. Amarre de taladros 72
Figura 57. Inicio de voladura, de acuerdo con la secuencia de salida indicada 73
Figura 58. Velocidad pico partícula y factor de carga 73
Figura 59. Modelo de Kuz-Ram obtenido de la voladura (MALLA P80) 73
Figura 66. Producción de la ZP1 – Frente de Andamayo 82
Figura 67. Producción de la ZP3 83
Figura 68. Producción de la ZP5 84
Figura 69. Valorización de la ZP1 85
Figura 70. Valorización de la ZP3 86
Figura 71. Valorización de la ZP5 87
Figura 72. 99
Perforación con rock drill – FRENTE DE ANDAMAYO (Sumajer S.R.L.) 99
Figura 73. 99
Perforación con rock drill – FRENTE DE ANDAMAYO (Kumbal Contratistas) 99
Figura 74. 100
Perforación con rock drill – FRENTE DE AYO (Grupo Sur del Perú) 100
Figura 75. 100
Perforación con martillo neumático – FRENTE DE ANDAMAYO (Cuadrilla de China Tiesiju) 100
Figura 76. 101
Diámetro de perforación – FRENTE DE ANDAMAYO 101
Figura 77. 101
Polvorín – Entrega de insumos y accesorios de voladura 101
Figura 78. 102
Señalización de radio de voladura – Radio de 500 m (Personas y animales) 102
Figura 79. 102
Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP2) 102
Figura 80. 103
Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP3) 103
Fotografía 81. 103
Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP4) 103

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 82. 104
Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (Apertura de accesos) 104
Figura 83. 104
Amarre de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO 104
Figura 84. 105
Amarre de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP2) 105
Figura 85. 105
Meeting 105
Figura 86. 106
Firma de documentos en meeting 106
Figura 87 y Figura 88 106
Proceso de voladura 106
Figura 89. 107
Verificación de proceso de voladura (ZP1) 107
Figura 90. 107
Verificación de proceso de voladura (ZP3) 107
Figura 91. 108
Polvorín – Entrega de remanentes 108
Figura 92. 108
Movimiento de tierras – Limpieza de voladura (ZP3) 108
Figura 93. 109
Movimiento de tierras – Limpieza de voladura (ZP2) 109
Figura 94. 109
Plataforma terminada (ZP2) 109
Figura 95. 110
Plataforma terminada (ZP5) 110
Figura 96. 110
Plataforma terminada (ZP1) 110
Figura 97. 115
Características técnicas: Anfo Superfarm Dos 115
Figura 98. 115
Características técnicas: Emulnor 115
Figura 99. 116

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Características técnicas: Cordón detonante 5P..... 116
Figura 100. 116
Características técnicas: Retardo Fanel MS 116
Figura 101. 116
Características técnicas: Faneles MS 116
Figura 102. 117
Características técnicas: Carmex..... 117

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO N° 01: Proceso de voladura 99

ANEXO N° 02: Modelo de protocolo de voladura – Pág. 1 (Notificación)..... 111

ANEXO N° 02: Modelo de protocolo de voladura – Pág. 2 (Diseño de malla – Carguío de taladros) 112

ANEXO N° 02: Modelo de protocolo de voladura – Pág. 3 (Radio de influencia de la zona de voladura) 113

ANEXO N° 03: Modelo de radio de influencia de voladura – Plano..... 114

ANEXO N° 04: Características técnicas de los explosivos y accesorios 115

ANEXO N° 05: Facturas de compra de insumos y accesorios de voladura..... 118

ANEXO N° 05: Facturas de compra de insumos y accesorios de voladura..... 119

ANEXO N° 06: Suministro de explosivos 炸药供应 120

ANEXO N° 07: Resumen de metrados mensuales valorizados (Mes de marzo-2025)..... 121

ANEXO N° 08: Resumen de metros cúbicos volados de roca fija 127

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

El proyecto vial de la Carretera Ayo – Andamayo tiene como objetivo reducir el tiempo de viaje entre ambos distritos y con ello promover el turismo de los mismos, ya que actualmente el tiempo de viaje en camioneta tiene una duración de 5 horas con una velocidad aproximada entre 70 a 90 km/h en una distancia de 222 km (Aplao – Ayo) y en bus la duración aproximada del viaje es de 8 horas, incluyendo las paradas realizadas en los distritos y lo peligroso de la ruta, al tener un solo sentido en la única vía de acceso con la que se cuenta para llegar a Ayo (Aplao – Andamayo – Viraco - Andagua - Ayo). Otra de las limitaciones es que solo hay dos días en los que se puede viajar a Ayo por bus desde Arequipa. Por las razones expuestas es que surgió la necesidad de realizar un estudio geotécnico para la construcción de una carretera que tendrá una distancia de 46 km y que traerá consigo múltiples beneficios para la población.

En el proyecto de ingeniería presentado, las operaciones unitarias, perforación y voladura, son fundamentales para la construcción de esta carretera. Actividades que se empezaron a desarrollar en el mes de JUNIO DEL 2022, lamentablemente al no realizar desde un inicio dichas actividades con la intervención requerida, esto trajo consigo consecuencias como los problemas de contaminación en el río; ya que el trazo de la carretera es colindante al río de Majes, producto de no efectuar voladuras controladas, por ende como principal causa de polución y asimismo la licencia social del proyecto vial resultó cuestionada; ya que una de las actividades económicas de la provincia de Castilla, es la “Pesca de Camarón”; es decir, los pescadores de la zona, cuando van a pescar observan que el agua del río se encontraba turbia y se necesita que el agua esté cristalina para pescar, esto evidentemente lo atribuían a la proyección de polvo, resultante de las vibraciones obtenidas de un factor de carga inadecuado para la malla de perforación realizado.

Otro punto importante para analizar es el área de valorización y metrados de la empresa que se encarga de evaluar los costes y ganancias del mes, en el cual el flujo de caja mensual era menor al programado o analizado previamente por la empresa al haber ganado la licitación del proyecto que contaba con un presupuesto de 228 millones de soles, presupuesto que no alcanzaría si se seguía trabajando con las mismas condiciones que perjudicaban a la empresa China Tiesiju.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1. PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Planteamiento del problema

En la obra que se viene ejecutando: CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA AYO - ANDAMAYO (PROG. KM 0+000 A PROG. KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA, un proyecto que cuenta con un presupuesto de 228 millones de soles, se realizan las operaciones unitarias, PERVOL (Perforación y Voladura), que requieren de una serie de evaluaciones constantes que permitan la implementación y/o la optimización de estas, ya que son las actividades en las cuales se emplean la mayor cantidad de costes de la Empresa y las que generan mayores ganancias en las valorizaciones mensuales, debido a ello, en estos análisis lo primero que se realiza es la identificación y la localización de las fallas, defectos, demoras o problemas que surgen o podrían ocurrir en la obra.

En el área de perforación, una malla de perforación con parámetros geométricos que no son los adecuados ocasionan costes innecesarios, específicamente en cuanto a las Horas - Hombre y horas máquina empleados que se requieren para cumplir con las metas diarias y que no se alcanzan al realizar esfuerzos redundantes si es que se hubiera realizado los cálculos adecuados; otro problema de perforación es la sobreexcavación o sobrerotura (overbreak) en las progresivas donde el macizo rocoso tiene una calidad media (RQD MEDIO) o calidad baja (RQD BAJO).

En las zonas de perforación del Frente Andamayo, dentro de las progresivas (Prog. km. 7+550.00 – Prog. km. 7+770.00, que contiene las calicatas: A – 29 - a y A – 29 - d) y las zonas de perforación del Frente de Ayo, ((Prog. km. 38+450.00 – Prog. km. 37+790.00, que contienen las calicatas: B – 41, B – 40 y B – 39 y la zona de perforación (Prog. km. 37+790.00 – Prog. km. 36+775.00), que contienen las calicatas: B – 46, B – 45 y B – 44) al presentar un RQD que está en el rango de 40 – 73 % se categoriza la calidad del macizo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

rocoso como POBRE (25 – 50%) a ACEPTABLE (50 – 75%), al presentar este RQD y al no tener un control debido en la perforación, como resultado por una mala perforación o malla de perforación incorrecta para las condiciones del terreno, el porcentaje de sobrerotura en estas zonas fue de 20 % - 28%. Es decir, no se cumplen con las referencias topográficas que tiene la banqueta.

En el área de voladura se presenta el problema de tener una mala elección del explosivo en algunas zonas donde se requiere de otros con distintas características, pero que, en el carguío de taladros, solo se puede utilizar los insumos o explosivos con los contamos en el Polvorín.

Y ya cuando se efectúan las voladuras se puede observar que calcular un factor de carga elevado (Más de 0.20 kg/m^3) o en el momento de cargar los taladros, colocar más explosivo del indicado, trae como consecuencias generar costes innecesarios en el requerimiento de explosivos por voladura y otro efecto de un factor de carga incorrecto, son las vibraciones resultantes de las voladuras efectuadas que provocan una mayor medida de Velocidad Pico Partícula (PPV) que afecta el diseño de talud, y que produce una proyección de rocas y polvo que en determinadas zonas cae en el río Majes, contaminándolo y trayendo problemas con la población pesquera de camarones al no poder realizar esta actividad económica con normalidad (licencia social).

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo principal

Implementar la malla de perforación basado en el modelo matemático de Langefors y Kihlström para las operaciones unitarias (perforación y voladura) del proyecto vial de la Carretera Ayo – Andamayo para incrementar el rendimiento mensual producido de metros cúbicos de roca fija y roca suelta.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.2.2. Objetivos específicos

- Examinar los distintos factores y variables, que se requieren para calcular correctamente los parámetros geométricos de la malla de perforación.
- Obtener el factor de carga adecuado para las zonas o progresivas donde se realiza la perforación y posterior a ello la voladura.
- Determinar efectivamente en el plan mensual de PERVOL (perforación y voladura) los costes necesarios para la correcta distribución de los insumos, equipos, cuadrillas de trabajo que están destinados al área.
- Incrementar las ganancias en el flujo de caja obtenido mensualmente de la empresa por medio de un mejor rendimiento de metros cúbicos de roca fija.
- Capacitar a las empresas encargadas de realizar la perforación y voladura según la planificación entregada y el diseño de malla entregado, y supervisar constantemente los procedimientos que realicen para no tener ningún error en campo, incidente o accidente.

1.3. Preguntas de investigación

- ¿Se calculará de manera adecuada los parámetros geométricos de la malla de perforación necesarios para cada zona de perforación ubicadas en distintas progresivas?
- ¿Se logrará reducir la proyección de rocas al volar con el factor de carga adecuado?
- ¿Se identificarán en la programación mensual del área de PERVOL, los costes necesarios para utilizarlos de manera efectiva?
- ¿Se incrementarán las ganancias obtenidas al reducir los costes empleados en el área de perforación y voladura?

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- ¿Las cuadrillas de perforación lograrán efectuar una correcta perforación, brespetando los datos enviados por gabinete y colocando la cantidad adecuada de explosivos en los taladros?

1.4. Línea de investigación

Según las líneas de investigación de la Universidad Católica de Santa María para la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas la presente investigación corresponde a "Optimización de procesos mineros de perforación y voladura", ya que se implementarán y optimizarán las mallas de perforación, en el cual se calcula el factor de carga adecuado para las zonas trabajadas y se logran efectuar voladuras controladas en el Proyecto Vial de la Carretera Ayo – Andamayo.

1.5. Justificación

La justificación de esta investigación se enfoca en implementar los procesos de perforación y voladura, aplicando el modelo matemático de Langefors y Kihlström para diseñar la malla de perforación que permita incrementar la producción del proyecto vial de la Carretera Ayo – Andamayo.

Dentro del aspecto económico se busca reducir los costos unitarios implementando la nueva malla de perforación aplicada a cada zona o progresiva donde se realiza la voladura, lo que generará una mayor producción de material fragmentado o volumen roto (Metros cúbicos de roca fija y roca suelta), supervisando también que se realice en campo o perfore de acuerdo al diseño de malla enviado por gabinete y por último el correcto carguío de taladros, respetando el factor de carga, para no presentar un uso excesivo de los insumos y accesorios utilizados para la perforación y fragmentación de la roca.

En el aspecto académico, ambiental y social se afrontará la problemática de la empresa China Tiesiju Civil Engineering Group Co. Ltd, que ahora el tema de la pesca de camarón,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

usando el factor de carga adecuado que asegure la estabilidad del talud (factor de seguridad), el diseño de la banqueta y la proyección de rocas que antes caía en el río Majes.

1.6. Variables del proyecto

1.6.1. Variables dependientes

- Tipo de explosivo utilizado y accesorios
- Geometría de la perforación
- Condiciones del macizo rocoso

1.6.2. Variable independiente

- Diseño de malla de perforación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Tabla 01: Operatividad de variables

VARIABLES		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
VARIABLE DEPENDIENTE	Tipo de explosivo utilizado y accesorios	• Densidad del explosivo • Velocidad de detonación (VOD) • Presión de detonación	• m/s	• Sismógrafo (Reducción de las proyecciones de rocas)
	Geometría de la perforación	• Volumen roto (Material fragmentado de roca fija y roca suelta).	• m^3	• Levantamiento topográfico post voladura. • Metrados.
	Condiciones del macizo rocoso	• Densidad de la roca • Dureza de la roca • Calidad de la roca	• g/cm^3 • MPa • RQD • GSI • RMR	• Ensayos enviados a laboratorios de mecánica de suelos y de rocas (calicatas de las zonas de perforación)
VARIABLE INDEPENDIENTE	Diseño de malla de perforación	• Burden • Espacimiento • Taco • Sobreperforación • Número de taladros	• Metros • Unidades	• Cinta métrica de 30 m o 100 pies. • Referencias topográficas (altura de banqueta, talud) • JK Simblast (2D Bench)

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

2.1.1. Perforación

La perforación es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca hoyos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos o blast holes.

La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo. En perforación tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad, esta última influye en el desgaste de la broca (Espinoza Huaraca & Benites Quispecahuana, 2020)

La perforación realizada en las carreteras se realiza en las banquetas, para el trazo de esta y/o para crear accesos para los equipos de perforación o los equipos destinados para el movimiento de tierras.

A. Perforación en banquetas o plataformado

Los métodos de perforación para este tipo de cortes consisten en marcar los límites del talud, (guiándonos de las referencias topográficas) a partir del cual se traza la malla de perforación en el terreno. Un diseño típico de malla establece los siguientes parámetros:

- Diámetro taladro
- Burden
- Espaciamiento
- Altura de banco
- Sobre perforación
- Inclinación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B. Perforación para corte a media ladera

Los cortes a media ladera se realizan mediante la perforación de taladros verticales siempre conservando los límites, el talud y el espaciamiento entre taladros. Se puede realizar perforaciones en abanico en forma inclinada con equipo Rock Drill teniendo en cuenta de que la voladura no dañe los límites del talud. El sistema de iniciación para el caso de taladros de precorte debe detonar antes que los taladros de producción ya que estos sirven como amortiguación y deben actuar haciendo un plano de falla a lo largo de la fila cargada.

2.1.1.1. Parámetros geométricos de la malla de perforación

Los factores que influyen en la determinación del esquema son:

- La geometría de la excavación a realizar, con definición en planta y en alzados.
- La altura de banqueta.
- El diámetro de perforación.

Y las variables que definen el esquema geométrico son:

- Las propiedades geomecánicas de la roca: Las rocas que constituyen los macizos rocosos, en bloques monolíticos, más o menos continuos, o separados por accidentes originados por la tectónica: fallas, discontinuidades, juntas, etc. dan lugar a unas zonas concretas en los mismos, que pueden ser caracterizados por sus propiedades geomecánicas. Estas son función de su origen y de los procesos geológicos que han actuado posteriormente. Las principales propiedades que van a influir directamente sobre el diseño de un Figura de perforación y voladuras van a ser:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Las litologías que aparecen.
- La naturaleza y potencia de los niveles estratigráficos.
- Las resistencias mecánicas de la roca.
- Las propiedades elásticas de las rocas.
- El espaciamiento y orientación de las discontinuidades.
- La apertura de las discontinuidades y la naturaleza del relleno de estas.
- La aparición de agua y su circulación.

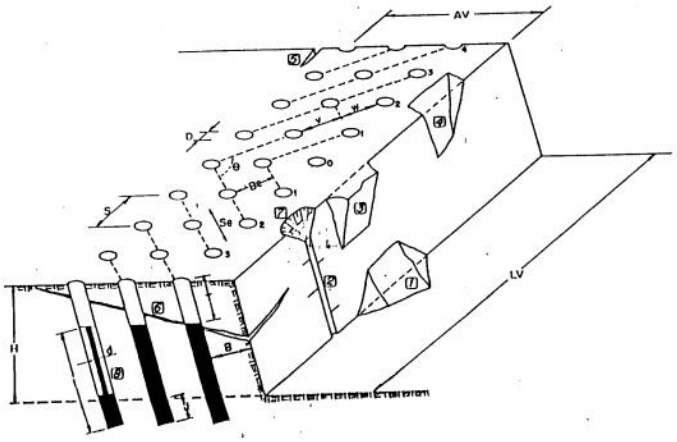
- El burden
- El espaciamiento
- La longitud de perforación
- El retacado
- La inclinación de los barrenos

Figura 01.
Esquema geométrico de perforación

VARIABLES DE DISENO GEOMETRICO

- H = Altura de Banco
- D = Diametro del taladro
- L = Longitud del taladro
- d = Diametro de la carga
- B = Piedra nominal
- S = Espaciamiento nominal

- LV = Longitud de la voladura
- AV = Ancho de la voladura
- Be = Piedra efectivo
- Se = Espaciamiento efectivo
- T = Retacado
- J = Sobreperforación
- I = Longitud de carga
- θ = Angulo de salida
- V/W = Grado de equilibrio
- tr = Tiempo de retardo



- 1 = Repie
- 2 = Caña del taladro
- 3 = Roca saliente o en voladizo
- 4 = Sobreexcavación
- 5 = Grieta de tracción
- 6 = Descabezamiento
- 7 = Crater de bocazo
- 8 = Carga desacoplada

Nota: Recuperado de (Villanueva Sandoval, 2022), especifica los elementos de la malla de perforación en minería superficial.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El modelo matemático utilizado para hallar los parámetros geométricos de la malla de perforación (burden máximo, burden práctico, espaciamiento, taco) y posteriormente optimizado fue el siguiente:

A. Modelo matemático de Langefors y Kihlström

Langefors y Kihlström proponen la siguiente expresión para calcular el valor de la piedra máxima o burden (Kihlstrom, 2020):

A.1. Burden máximo

$$B_{máx} = \frac{\emptyset}{33} * \sqrt{\frac{(de * PRP)}{C * FF * \left(\frac{S}{B}\right)}}$$

Donde:

Ø ➔ Diámetro de perforación (mms)

De ➔ Densidad del explosivo (g/cc)

PRP ➔ Potencia relativa del explosivo (Varía entre 1.0 – 1.4)

C ➔ Constante de roca (Calculado por C)

C = Explosivo necesario para fragmentar 1 m^3 de roca.

C = 0.3 (Roca de resistencia media)

C = 0.4 (Roca de resistencia alta)

Estos valores se modifican de acuerdo con los valores del burden:

B = 1.4 – 1.5 m ➔ **C** = C + 0.75

B < 1.4 m ➔ **C** = 0.07 / B + C

FF ➔ Factor de fijación (depende de la inclinación de los tiros)

F = 1 (Taladros Verticales)

F = 0.9 (Taladros a 70°)

F = 0.85 (Taladros a 63°)

S/B ➔ Relación del Espaciamiento y burden (Varía entre 1.2 a 2)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B. Cálculos para hallar los parámetros geométricos de la malla de perforación

B.1. Malla de precorte

- **Diámetro del explosivo**

$$\emptyset_{explosivo} = \left[\frac{R * UCS}{110 * D_{exp} * VOD^2 * 10^{-6}}\right]^{\frac{1}{2*n}} * \sqrt{\frac{H}{l}} * \emptyset h$$

Donde:

R ➔ Relación entre la presión del barreno y la dureza de la roca (1)

UCS ➔ Dureza de la roca (MPa)

Øh ➔ Diámetro de la perforación (pulgadas)

Dexp ➔ Densidad del explosivo (gr/cm^3)

VOD ➔ Velocidad de detonación (m/s)

H ➔ Longitud de taladro (m)

L ➔ Longitud de la carga (m)

n ➔ Taladros secos (1.25)

- **Factor de desacople**

$$\boldsymbol{Fdc} = \frac{\emptyset_{exp}{}^2}{\emptyset_h{}^2} * \frac{l_{exp}}{H}$$

Donde:

lexp ➔ Longitud de carga (m)

De ➔ Altura de la banqueta (m)

Øexp ➔ Diámetro del explosivo (pulgadas)

Øh ➔ Diámetro de la perforación (pulgadas)

- **Presión del barreno**

$$\boldsymbol{P_b} = 110 * Fdc * D_{exp} * VOD^2$$

Donde:

Dexp ➔ Densidad del explosivo (gr/cm^3)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

VOD ➔ Velocidad de detonación (m/s)

- **Relación entre la presión del barreno y la dureza de la roca**

$$R = \frac{Pb}{UCS}$$

R > 1, Esto asevera que la zona estará fragmentada, sin grietas ni fugas de por medio.

- **Espaciamiento**

$$\boldsymbol{S\ (metros)} = (\emptyset_{taladro}{}^{2} * 25.4) * \frac{(P_b + \sigma_{tracción})}{\sigma_{tracción}}$$

Donde:

$\boldsymbol{\sigma_{tracción}}$ ➔ Densidad de carga lineal (kilogramos / metro)

- **Burden de TOE**

$$\boldsymbol{B_{TOE}} = 5 * 0.0254 * \emptyset_H$$

Donde:

Øh ➔ Diámetro de la perforación (pulgadas)

- **Taco**

$$\boldsymbol{T\ (metros)} = B * 0.7$$

- **Longitud de perforación o longitud de taladro**

$$\boldsymbol{LT\ (metros)} = Hb + J$$

Donde:

Hb ➔ Altura de banqueta (metros)

J ➔ Sobreperforación o subdrilling (metros)

- **Longitud de carga**

$$\boldsymbol{Lc} = LT - T$$

El ángulo de perforación de los taladros en el precorte es de 90°, utilizado para voladuras en carretera.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B.2. Malla de amortiguamiento

- **Burden**

$$B = \sqrt{\frac{Qe}{1.15 * Dr * FC * Hb}}$$

Donde:

Qe ➔ Cantidad de explosivos (kg)

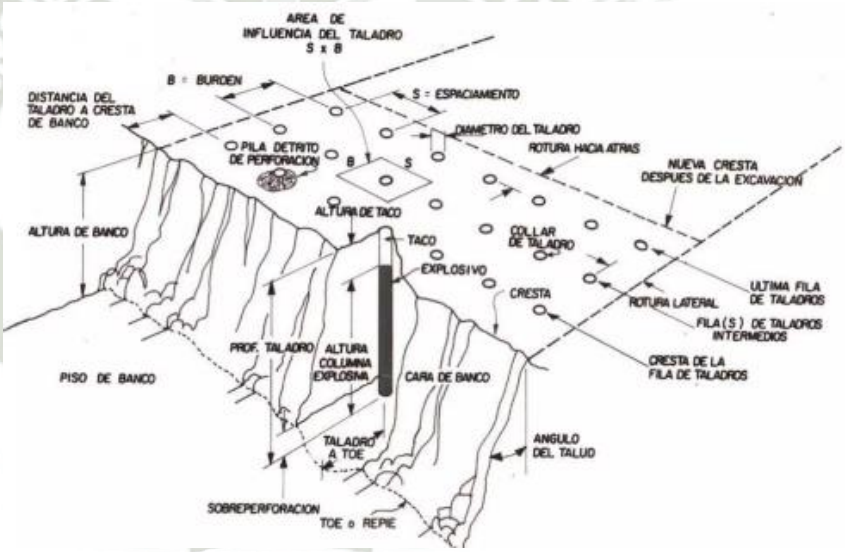
Dr ➔ Densidad de la roca (gr/cm^3)

FC ➔ Factor de carga (kg/ton)

Hb ➔ Altura de la banqueta (m)

Figura 02.

Diseño de malla de perforación y diagrama de carguío de taladros



Nota: Recuperado de (Universidad Tecnológica de Chile, 2022), diagrama de carguío de taladros.

C. Equipos de perforación empleados en el proyecto

C.1. Rock drill

Es un equipo hidráulico de superficie montado sobre orugas, autocontenido y autopropulsado, con una cabina ergonómica con alta visibilidad y un sistema intercambiador de barras. Las aplicaciones comunes son el corte de caminos, la perforación de tuberías, la perforación de cimientos y la perforación de producción en canteras medianas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 03.

Sandvik DX700



Nota: Extraído de (Sandvik, 2024), se cuenta con 7 perforadoras hidráulicas en todo el proyecto.

C.2. Perforadoras neumáticas

Estas perforadoras ofrecen un rendimiento y una relación potencia-peso excelentes, desde la perforación de barrenos para voladura hasta la explotación de canteras, la perforación de barrenos para cuñas, los realces y los bolones.

Figura 04.

Perforadora o martillo neumático



Nota: Extraído de (Atlas Copco, 2024), se cuenta con 2 martillos neumáticos y se requiere de una compresora para el funcionamiento de estos.

D. Influencia del ángulo de perforación en la voladura

Según el departamento de Transportes y Tecnología de Proyectos y Procesos (Pérez Álvarez & Barral Ramón, 2020), se mencionan las distintas ventajas y desventajas de tener un grado de fijación o ángulo de inclinación en la perforación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

D.1. Ventajas

- Mejor fragmentación, desplazamiento y esponjamiento del material.
- Menores problemas de posibles descabezamientos de barrenos por otros barrenos anteriores, reduciendo cortes y fallos posibles.
- Taludes que cuenten con un mayor factor de seguridad.
- Mayor rendimiento de palas cargadoras (menor altura de pila de escombro, y mayor esponjamiento)
- Menor sobreperforación, mejor rendimiento de la perforación, mejor aprovechamiento energético, reducción de vibraciones.
- Menor consumo específico de explosivo.

D.2. Desventajas

- Mayor desviación en barrenos largos.
- Incremento en la longitud de perforación.
- Dificultad es de posición y emboquille de equipos de perforación.
- Requiere supervisión cuidadosa.
- Reduce el empuje disponible en las perforadoras.
- Mayor desgaste de fungibles.
- Mayores esfuerzos en el mástil y la traslación.
- Dificultades de barrido.
- Problemas para la carga del explosivo.

En el caso de la perforación en carreteras, se requiere de una perforación vertical (90°) por el mismo tema de la reducción de costos, menor longitud de taladro y tiempo en maniobra que se requiere para perforar de forma inclinada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1.2. Voladura

La voladura de rocas en superficie comprende trabajos de explotación minera en bancos de canteras y tajos abiertos, obras de ingeniería civil y vial como excavaciones, canales, zanjas, cortes a media ladera y trabajos especiales como rotura secundaria de bolones, demoliciones y voladuras controladas (smooth blasting) pero fundamentalmente se concreta en bancos. (Exsa S.A., 2021)

2.1.2.1. Voladura en banquetas

Las banquetas cuentan como característica principal es la de tener como mínimo, dos caras libres, la superior y la frontal.

A. Tipos

A.1. Según su envergadura se consideran dos tipos

- Voladuras con taladros de pequeño diámetro, de 65 a 165 mm.
- Voladuras con taladro de gran diámetro, de 180 a 450 mm.

A.2. Por su aplicación o finalidad

- **Convencional:** Busca la máxima concentración, esponjamiento y desplazamiento del material roto, aplicada para explotación minera.
- **De escollera:** Para obtener rocas de gran tamaño.
- **De máximo desplazamiento (cast blasting):** Para proyectar gran volumen de roca a distancia.
- **De cráter:** Con taladros cortos y gran diámetro, para desbroce.
- **Zanjas y rampas:** Excavaciones lineares confinadas.
- **Excavaciones viales:** Para carreteras, laderas y también para producir material fino para ripiado o para agregados de construcción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Para cimentaciones y nivelaciones:** Obras de ingeniería civil o de construcción.
- **De aflojamiento o prevoladuras:** Fracturamiento adicional a la natural de macizos rocosos.
- **Tajos mineros:** Muchos trabajos de minería subterránea se basan en los parámetros de bancos cuando tienen más de dos caras libres, (ejemplos: tajeos VCR, bresting y otros). (Bernaola Alonso et al., 2022)

B. Aspectos

Lo que busca una voladura es la máxima eficiencia al menor costo y con la mayor seguridad, lo que se refleja, entre otros aspectos, en:

- Grado de fragmentación obtenido
- Esponjamiento y rango de desplazamiento.
- Volumen cargado versus tiempo de operación del equipo.
- Geometría del nuevo banco; avance del corte, pisos, estabilidad de taludes frontales y otros, aspectos que se observan y evalúan después del disparo para determinar los costos globales de la voladura y acarreo.

C. Elementos para el diseño de voladuras en banquetas

También denominados parámetros de la voladura son datos empleados en el cálculo y diseño de disparos. Unos son invariables, como los correspondientes a las características físicas de la roca y otros son variables, es decir que podemos modificarlos a voluntad, de acuerdo con las necesidades reales del trabajo y condiciones del terreno. Estos parámetros controlables se pueden agrupar en:

- **Geométricos:** Altura, ancho y largo del banco, talud, cara libre.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **De perforación:** Diámetro y longitud del taladro, malla.
- **De carga:** Densidad, columna explosiva, longitud de taco, etc.
- **De tiempo:** Tiempos de retardo entre taladros, secuencia de salidas de los disparos.

2.1.2.2. Explosivos y accesorios de voladura

Son compuestos químicos en estado sólido, líquido o semilíquido que mediante reacciones químicas o por presión mecánica o calentamiento u otro tipo de energía (golpes, impactos, fuego).

Los explosivos pueden ser categorizados como:

- **Explosivos primarios:** Son aquellos que, por su naturaleza altamente sensible al calor, al choque, a la fricción o a otras fuentes primarias energéticas, se utilizan para transmitir la detonación a los explosivos secundarios. Se les denomina también iniciadores. (MINSUR, 2025)
- **Explosivos secundarios:** Aquellos explosivos que se activan mediante la detonación transmitida por parte de los explosivos primarios. (MINSUR, 2021)

A. Agentes explosivos usados en proyectos primarios

- **ANFO:** El ANFO se compone de perlas de nitrato de amonio y diésel en una mezcla de 94% y 6% respectivamente. (Chavez León, 2021)

Figura 05.

ANFO SUPERFARM 2 - FAMESA



Nota: Recuperado de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023a)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Emulsión matriz:** Una emulsión es un sistema bifásico en forma de dispersión estable de un líquido inmiscible en otro. Compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado.

Figura 06.

EMULNOR SEMIGELATINOSO - FAMESA



Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023d)

B. Accesorios de los explosivos

Son los dispositivos o productos utilizados para suministrar o transmitir energía para que se inicie la detonación del explosivo, están ligados a los tipos de explosivos elegidos, a las secuencias de encendido, a los tiempos de retardo, al grado de fragmentación requerido, a las limitaciones ambientales y a las condiciones de seguridad.

B.1. Accesorios de voladura presentes en proyectos primarios

- **Cordón detonante:** Está constituido por un núcleo de pentrita (PETN), recubierto con fibras sintéticas y forrado con un material plástico.

Figura 07.

PENTACORD 5P – FAMESA



Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023c)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Fanel dual:** Es un sistema de iniciación no eléctrico que se utiliza en la minería superficial. Se caracteriza por eliminar la necesidad de mantener y almacenar varios tiempos de retardo, lo cual permite al usuario reducir costos. Su amarre a la malla de detonación es fácil y rápido. Además, posee un bajo nivel de ruido durante la detonación.

Figura 08.

FANELES - FAMESA

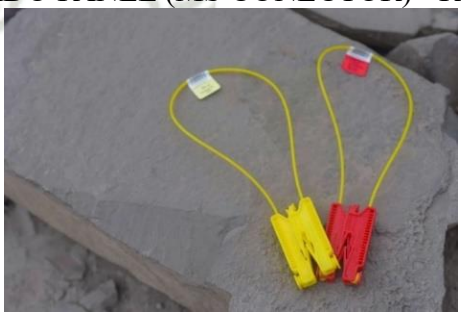


Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023e)

- **Retardo fanel:** El Retardo Fanel (MS conector) es bidireccional, provee el tiempo de retardo adecuado en milisegundos y puede usarse en disparos con talados retardados individualmente o en una fila de taladros. Diseñado para amarrar en ambos extremos del cordón detonante en el punto en el cual se desea retardar la detonación. (Famesa Explosivos S.A.C., 2025)

Figura 09.

RETARDO FANEL (MS CONECTOR) - FAMESA



Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023f)

- **Carmex:** Se utiliza para iniciar los taladros en la minería tradicional o para iniciar la voladura de manera segura y eficiente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 10.

CARMEX – FAMESA



Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023b)

2.1.2.3. Voladura controlada de precorte

Consiste en crear en el cuerpo de roca una discontinuidad o plano de fractura (grieta continua) antes de disparar la voladura principal o de producción, mediante una fila de taladros generalmente de pequeño diámetro, muy cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantáneos. Este puede realizarse también simultáneamente con los de producción, pero adelantándolos una fracción de tiempo de 90 a 120 ms, siendo el disparo de dos etapas.

A. Ventajas

- Costos de perforación generalmente más bajos que la perforación en línea.
- Elimina movimiento de equipo por segunda vez.
- Puede ser disparada días antes que la voladura principal y la perforación puede requerir desbroce preliminar.

B. Desventajas

- Los resultados no pueden ser apreciados hasta después de la excavación de la voladura principal.
- No se aprovecha la energía de la voladura principal y la perforación puede requerir desbroce preliminar.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

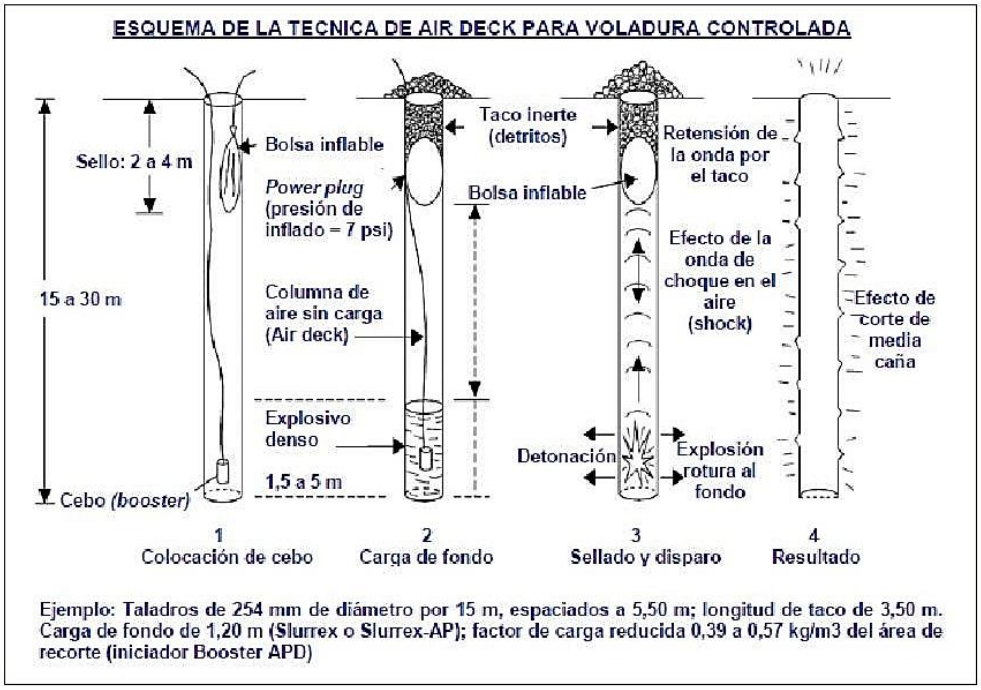
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1.2.4. Voladura controlada de buffer o amortiguamiento

Es prácticamente una voladura convencional, pero en la que se ha modificado el diseño de la última fila, tanto en su Figura geométrico que es más reducido, como en las cargas de explosivo que deben ser menores y desacopladas. El disparo es normalmente en una sola etapa.

Figura 11.

Diagrama de la técnica de air deck para voladura controlada



Nota: Extraído de (Centro Tecnológico de Voladura EXSA S.A., 2022)

2.1.2.5. Voladura controlada en malla de producción

La velocidad pico de partícula (PVV) debe de mantenerse por debajo de los 700 ó 1000 mm/s. Esta velocidad puede ser estimada con la siguiente fórmula empírica:

A. Condiciones necesarias en el disparo

Si se usan cartuchos convencionales de dinamita éstos deben de estar debidamente espaciados entre sí (normalmente una distancia equivalente a la longitud de un cartucho) iniciados axialmente con cordón detonante de bajo gramaje (3 g/m).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Cuando se usen agentes de voladura estos deben de ser de baja densidad, normalmente granulares, tales como el Examon-P.
- Cuando se utilice el sistema Air-Deck con sólo carga de fondo y taco inerte, se requerirá un adecuado control para asegurar resultados y la roca debe de ser compatible con el método.
- El uso de cordón detonante de alto gramaje (60, 80, 120 g/m). Reducirá la densidad de carga linear, pero es muy costoso. (Perez & Aceituno, 2021)

B. Parámetros importantes

- **Presión del taladro:** Es la presión ejercida por la expansión de gases de detonación en las paredes del taladro. Cuanto menor sea esta presión menor será el daño a la pared final de la voladura, esta presión es aproximadamente el 50% de la presión de detonación del explosivo.

  Se hará necesario entonces reducir esta presión ya sea desacoplando y/o espaciando la carga explosiva.
- **Precisión en los taladros:** Los taladros deben perforarse paralelos y ubicarse en un mismo plano de corte.

2.1.2.6. Densidad carga lineal

$$\boldsymbol{l} = 0.507 * \emptyset^2 * De$$

Donde: (López Díaz, 2021, p. 2)

Dl ➔ Densidad de carga lineal (kilogramos / metro)

De ➔ Densidad del explosivo (gr/cm^3)

Ø ➔ Diámetro del explosivo (pulgadas).

2.1.2.7. Cantidad de explosivos

A. Cantidad de explosivos (malla de precorte)

$$\boldsymbol{Qe\ (kilogramos)} = 10 * \emptyset * 0.0254 * Dl$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

Dl ➔ Densidad de carga lineal (kilogramos / metro)

Ø ➔ Diámetro de perforación (pulgadas).

B. Cantidad de explosivos (malla de producción)

$$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = Lc * Dl$$

Donde:

Dl ➔ Densidad de carga lineal (kilogramos / metro)

Lc ➔ Longitud de carga (m)

C. Cantidad de explosivos (malla de amortiguamiento)

$$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = Lc * Dl * 0.55$$

Donde:

Dl ➔ Densidad de carga lineal (kilogramos / metro)

Lc ➔ Longitud de carga (m)

Reducido al 45%

2.1.2.8. Cantidad de accesorios

A. Cordón detonante

$$\boldsymbol{CD}\ (\boldsymbol{metros}) = S\ (m) * \#taladros$$

B. Faneles

Se utiliza un fanel por taladro perforado (1/1 buckup) (exceptuando los taladros de precorte)

C. Retardos

Se utiliza un retardo por cada fila de taladros.

D. Carmex

Se utiliza un carmex por voladura, es el accesorio que inicia o chispea la voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1.2.9. Factor de carga

El factor de carga (FC) es una medida clave en el diseño de voladuras, ya que determina la cantidad de explosivo necesaria para lograr la fragmentación deseada de la roca. El FC óptimo es crucial para obtener una fragmentación adecuada de la roca, minimizando daños y maximizando la productividad. Un FC demasiado alto puede causar sobrefragmentación y dañar la roca circundante, mientras que un FC demasiado bajo puede resultar en una fragmentación insuficiente y generar más costos.

A. Factores que influyen

- **Tipo de roca:** Rocas más duras requerirán mayor FC.
- **Estado de la roca:** La presencia de fracturas o alteración puede afectar el FC.
- **Sección para excavar:** El tamaño y forma de la sección a excavar influyen en el FC.
- **Tipo de explosivo:** Diferentes explosivos tienen diferentes potencias y FC.

B. Cálculo

El FC se calcula dividiendo la cantidad de explosivo utilizada por el volumen de roca fragmentada. Por ejemplo, si se utilizan 0.5 kg de explosivo para fragmentar 1 m³ de roca, el FC sería de 0.5 kg/m³.

$$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden\ (m) * Espaciamiento\ (m) * Long.taladro\ (m)}$$

$$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Volumen\ volado\ (m^3)}$$

2.1.2.10. Carguío de taladros

Para la voladura se utilizará ANFO y EMULSIÓN para la fragmentación de roca.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para eliminar los eventos de Fly rock (proyección de roca) y la sobre rotura (exceso de vibraciones), se utilizarán cargas controladas con un factor de carga bajo en cada tipo de taladro (precorte, buffer y producción) y a la vez diseñaremos una secuencia de salida donde la detonación de taladros no se acople distribuyendo adecuadamente los retardos. Cabe recalcar que en el diseño de carga se considerarán tacos adecuados para la eficiente retención de gases con el fin de aprovechar la energía dentro del taladro.

A. Proporción de ANFO/emulsión (Heavy Anfo), utilizada en el proyecto

- **70% ANFO / 30% emulsión:** Esto es un heavy ANFO. No es bombeable y se descarga por gravedad en el barreno. La emulsión se añade en forma de matriz, sin sensibilizar, a una densidad aproximada de 1,40 g/cm3. Esta rellena los huecos entre prills de ANFO, aumentando su densidad final hasta el entorno de 1,1 g/cm3 y, aunque la emulsión también le confiere cierta resistencia al agua, no se puede cargar en barrenos inundados si no se han desaguado previamente. (García, 2022)

2.1.3. Voladura en carretera

Se considera como obras viales a las carreteras de toda categoría y a las vías férreas. En su construcción y mantenimiento es frecuente el empleo de explosivos, que se aplican tanto con métodos "tradicionales" como con otros denominados "típicamente viales".

La gran longitud de tramo y las cambiantes condiciones de geometría y de propiedades de las rocas a arrancar a lo largo del trazo de las obras viales, imponen el diseño de cada disparo como si fuera un caso en particular adaptado al perfil del terreno, denominándoseles por ello "métodos viales", entre los que consideramos a:

- Cortes de ladera a media ladera, con taladros cortos y largos.
- Excavación de trincheras (o cortes de montura).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Voladura para nivelaciones y de remoción de material para relleno de depresiones.
- Excavaciones para rampas.
- Excavaciones para cimentación de puentes y muros de contención.
- Voladura para zanjas y cunetas.
- Voladuras de gran volumen por gravedad: voladuras coyote o calambucos y voladuras de desplome.

Estas voladuras no son mayormente exigentes en cuanto a la calidad de fragmentación ni homogeneidad del material arrancado, ya que por lo común este será simplemente empujado a un costado de la obra, o empleado como relleno de nivelación, pero en razón a que usualmente resulta una importante cantidad de bolones sobredimensionados, demasiado grandes para poder ser desplazados con el equipo mecánico disponible, sus resultados usualmente también imponen el apoyo posterior de rotura secundaria con cachorreo, plastas, cargas dirigidas, o martillos rompedores hidráulicos.

Estas voladuras se realizan por lo general en lugares deshabitados, se suele dejar de lado la prevención de riesgos de proyección de piedras y vibración, lo que puede tener serias consecuencias y por lo tanto se deben implementar medidas para controlar estos aspectos en el proyecto vial que lo requiera.

A excepción de las coyoteras o calambucos que requieren de la apertura previa de un túnel pequeño.

A. Conceptos importantes para tomar en cuenta en los protocolos de voladura

- **Taladro:** Agujero en el macizo rocoso o suelo efectuado por un equipo de perforación, donde se introduce el explosivo a fin de efectuar la voladura.
- **Zona de carguío de taladros:** Se denomina así a la zona o lugar en donde se realiza el llenado o carguío de taladros con explosivos, para proceder con la voladura. Esta área debe ser demarcada con conos u otros medios visibles.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 12.

Carguío de taladros del protocolo de voladura NRO 119



Nota: Figura georreferenciada y fechada, supervisando el proceso de carguío de taladros de la empresa de Sumajer en la ZP1. (7+700 – 7+900).

- **Tiro fallado:** Término usado cuando el explosivo instalado dentro del taladro no detonó, luego de efectuarse el disparo de la voladura, existen tres tipos de tiro fallado: tiro retardado, tiro soplado y tiro cortado.
- **Protocolo de voladura:** Es un documento que establece la secuencia de carguío y chispeo de explosivos por zonas y niveles. En él se consideran varios aspectos, como: Los puntos de vigía de voladura, la cantidad de carga explosiva a utilizar, la secuencia de disparos, la infraestructura aledaña. el secuenciamiento de salida de retardos, etc.

  El protocolo de voladura se entrega a la Supervisión de Obra, 48 horas antes de la voladura. Este documento tiene la siguiente estructura de 3 hojas:

  - **1ra hoja:** Datos de la empresa a cargo de la voladura, junto con las personas responsables de la supervisión de esta. Firmas de los involucrados.
  - **2da hoja:** Parámetros de la malla de perforación, secuencia de salida, factor de carga y sistema de carguío de taladros.

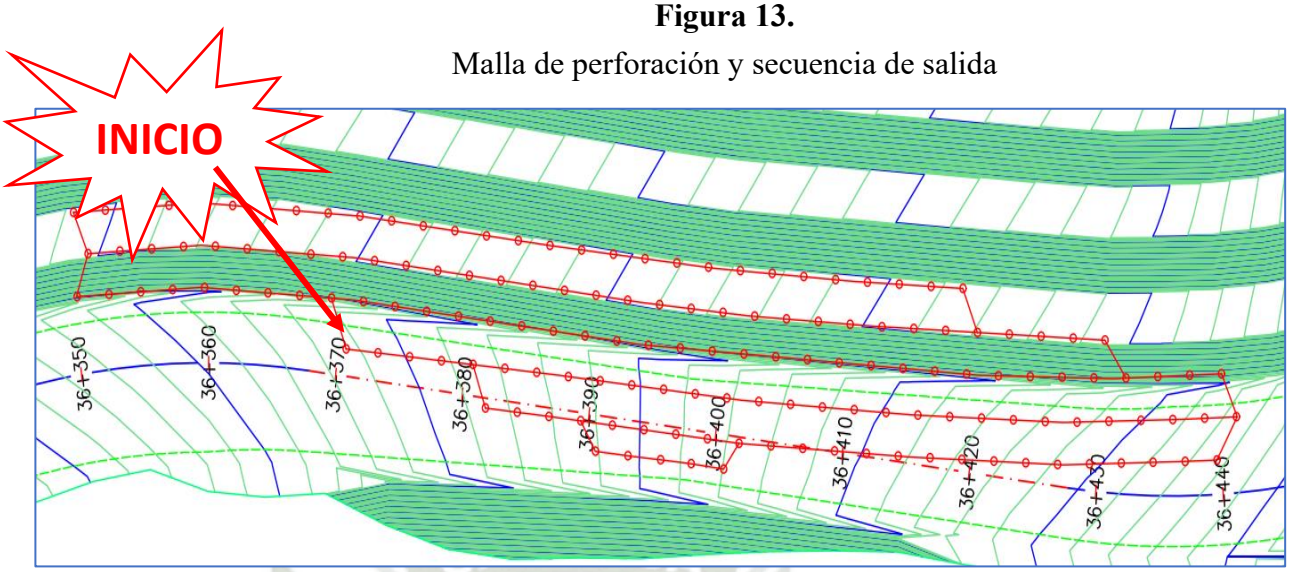
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 13.

Malla de perforación y secuencia de salida



Nota: Este gráfico se muestra en la página 02 de los protocolos de voladura presentados. En el trazo de carretera trazado por AutoCAD Civil.

- **3era hoja:** Radio de influencia y nombre de los vigías, indicando las progresivas donde se ubicarán los equipos de perforación (radio de 300 m de distancia de la zona de voladura) y donde se ubicarán las personas y animales (radio de 500 m). Los vigías se encargarán de que se haga respetar que no haya nadie dentro del radio de influencia.

- **Premeeting de voladura:** Es una reunión que se realiza 24 horas antes de la voladura, en la que se revisa la programación del día siguiente teniendo en cuenta una actividad de alto riesgo.

- **Meeting de voladura:** Es una reunión en la que se revisa que los supervisores hayan liberado las áreas de influencia de la voladura, se realiza, una hora antes de la voladura.

  Se tiene que contar con la presencia del encargado de voladura, personal de SSOMA, supervisión de obra y vigías de la voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14.

Meeting del protocolo de voladura NRO 112



Nota: Meeting con la Supervisión del Proyecto, el área SSOMA, y la encargada del protocolo de voladura a realizar.

- **Área de voladura:** Se denomina así al área o lugar compuesto por la zona de carguío de taladros lista para detonar y el área de riesgo para las personas por la voladura, básicamente debido a proyección e impacto de roca o esquirlas voladoras, presencia de gases de voladura o ausencia de oxígeno, desprendimiento de rocas, caída de equipos o el colapsamiento de estructuras por vibraciones o movimiento de las paredes o suelos, entre otros.

Figura 15.

Área de voladura (PROG. KM. 9+520 – PROG.KM. 9+580)



Nota: Realizando el carguío de taladros y supervisión del frente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Área segura de voladura:** Se denomina así a aquella área o lugar, donde no existe riesgo para las personas por la voladura a desarrollar, esta área se designa y ubica a una distancia determinada de la zona de carguío de taladros y es establecida por el Jefe o Supervisor de Voladura de acuerdo con la cantidad de explosivos (determinado por los cálculos) y las disposiciones legales establecidas. En operaciones mineras superficiales, la distancia de la zona de carguío de los taladros y el área segura de voladura no podrá ser menor de 500 m.

Figura 16.

Desplazamiento de equipos fuera del área de voladura (300 m)



Nota: Equipos de rock drill (RD – 002 y RD – 003), luminarias (LM – 002), excavadora (EXC -009) y cargador frontal (CF – 004)

- **Horario de voladura:** Horario establecido de manera ordinaria por la Unidad Minera o Proyecto en el que se realizará la voladura, en una zona predeterminada y previamente comunicada. En las operaciones mineras superficiales la voladura principal será realizada durante el día y de preferencia al final de la guardia. En las operaciones mineras subterráneas la voladura principal sólo se hará al final de cada guardia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 17.

Horario de voladura, notificación del área de voladura



Nota: Primer aviso de voladura, situado en la garita (PROG. KM. 0+000) con el objetivo de que cualquier persona esté notificada sobre la voladura.

- **Polvorín o Almacén de Explosivos:** Es aquella infraestructura designada por la Unidad Minera o Proyecto que cumple con los requerimientos legales y parámetros técnicos aprobados, para almacenar explosivos o accesorios de voladura de forma segura.

Figura 18.

Polvorín del frente de Andamayo – Contenedor de Explosivos



Nota: Contenedor de explosivos (Anfo, emulsión de 2 pulgadas y 1 ½ pulgadas, cordón detonante, pirotécnicos y booster)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 19.

Polvorín del frente de Andamayo – Contenedor de Accesorios



Nota: Contenedor de accesorios (Carmex, faneles, retardos e iniciadores eléctricos)

Figura 20.

Polvorín del frente de Ayo - Contenedor de explosivos



Nota: Contenedor de explosivos (Anfo, emulsión de 2 pulgadas y 1 ½ pulgadas, cordón detonante, pirotécnicos y booster)

Figura 21.

Polvorín del frente de Ayo - Contenedor de Accesorios



Nota: Contenedor de accesorios (Carmex, faneles, retardos e iniciadores eléctricos).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil (SUCAMEC):** Entidad gubernamental encargada de reglamentar los temas relacionados al uso civil de explosivos, armas y municiones; así como emitir el carné de manipulador de explosivos y materiales relacionados.
- **Carné de manipulador de explosivos y materiales relacionados:** Autorización Individual para Trabajos de Voladura y Manipulación de Explosivos o Accesorios de Voladura (de aquí en adelante AITVM): Es aquella autorización emitida por MINSUR o aquella entidad designada por MINSUR para autorizar a los trabajadores a desarrollar trabajos de voladura, transporte y manipulación de explosivos o accesorios de voladura; previa participación y aprobación del curso de seguridad con explosivos.
- **Jefe o Supervisor de Voladura:** Es la persona, designada por la gerencia de la Unidad Minera o Proyecto, responsable del estudio, planeación y ejecución de los trabajos de voladura, el mismo que cuenta con la AITVM vigente y el carné emitido por la SUCAMEC vigente.
- **Personal de voladura:** Son aquellos trabajadores que cuentan con la AITVM vigente y el carné emitido por la SUCAMEC vigente, además están autorizados por el jefe o Supervisor de Voladura para participar en los trabajos de voladura, transporte y manipulación de explosivos o accesorios de voladura.
- **Vigía de voladura:** Es aquel trabajador asignado a restringir o bloquear el ingreso de equipos, vehículos, personas y animales al área de voladura, desde momentos previos a la voladura o disparo hasta que se haya verificado el término de la voladura y se cuente con la autorización de levantar el

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

bloqueo por parte del personal de voladura. Esta persona es designada por el jefe o Supervisor de Voladura.

Figura 22.

Señalización del protocolo de voladura NRO 120



Nota: Radio de personas y animales a 500 m de la zona de voladura, hasta que se realice el disparo.

2.1.4. Metodología y herramientas para la optimización de voladuras a cielo abierto

A. Análisis previo a la voladura

Comprende el estudio de la banqueta a volar; la definición de la malla de perforación, así como el estudio energético de la voladura para la predicción de afecciones medioambientales.

Las propiedades del macizo rocoso son variables, es decir, que hay que considerarlo como un medio heterogéneo del cual se van a conocer sus propiedades con cierta incertidumbre, por ello es preciso analizar este medio para minimizar este grado de incertidumbre, y por tanto el diseño de las voladuras debe adaptarse en función de estos cambios.

Por este motivo, es necesario fijar ciertas propiedades y considerarlas conocidas para poder modelizar el macizo rocoso, con el fin de establecer un diseño inicial con la mayor exactitud posible, donde se puede recurrir a leyes y modelos teóricos, que nos permitan predecir los resultados de las voladuras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A.1. Acciones para reducir las vibraciones generadas por la voladura

- **Reducir la carga operante**
  - Aumentar el número de detonadores y retardos
  - Utilizar explosores secuenciales (con detonadores eléctricos).
  - En casos especiales, usar detonadores electrónicos.
- **Reducir la carga por barreno**
  - Reducir el diámetro y el número de barrenos por pega.
  - Utilizar cargas espaciadas en los barrenos.
  - Reducir la altura de banco.
- **Reducir el grado de confinamiento de las cargas**
  - Utilizando barrenos inclinados.
  - Cerrando la malla.
  - Adecuando la secuencia de encendido.
  - Crear una discontinuidad entre la estructura a proteger y la voladura.

Figura 23.

Clasificación de materiales – evaluación de Ing. de producción y geólogo



Nota: Supervisión del frente a perforar y reclasificación de materiales, aumentando el porcentaje de roca fija que se muestra en el expediente.

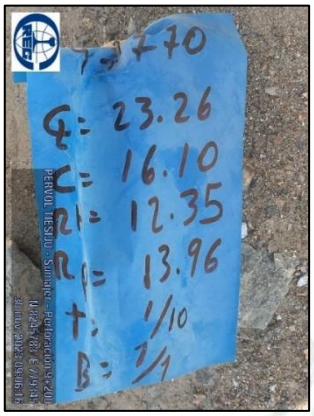
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 24.

Referencias topográficas



Nota: Referencias topográficas que nos permiten considerar la altura de la banqueta y si es que el talud es 1/10, entonces se trata de roca fija al 100%, lo cual indica que se requiere de perforación.

B. Monitorización durante la voladura

El análisis durante la voladura se centra en la monitorización de esta para poder hacer análisis posteriores, por medio de empleo de grabación de video de alta velocidad, registro de ondas sísmicas y onda aérea generadas, y comportamiento del explosivo en el barreno. Al igual que una constante supervisión de las actividades realizadas, para corroborar que se utilice el factor de carga calculado.

Figura 25.

Supervisión del carguío de taladros y del protocolo de voladura



Nota: Figura del amarre de taladros con cordón detonante, verificando las conexiones de estos y por última conexión al carmex para proceder con el chispeo de la voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

C. El análisis posterior a la voladura

Comprende el estudio y el análisis digital del material volado. Para ello requerimos del levantamiento topográfico post voladura, que será evaluado en gabinete por los cadistas y luego pasará al área de valorización y metrados, una vez obtenidos los datos oficiales, se puede verificar la eficiencia de las voladuras.

Figura 26.

Levantamiento topográfico post voladura



Nota: El levantamiento topográfico post voladura, una vez concluida la limpieza.

Figura 27.

Levantamiento topográfico post voladura – Plano

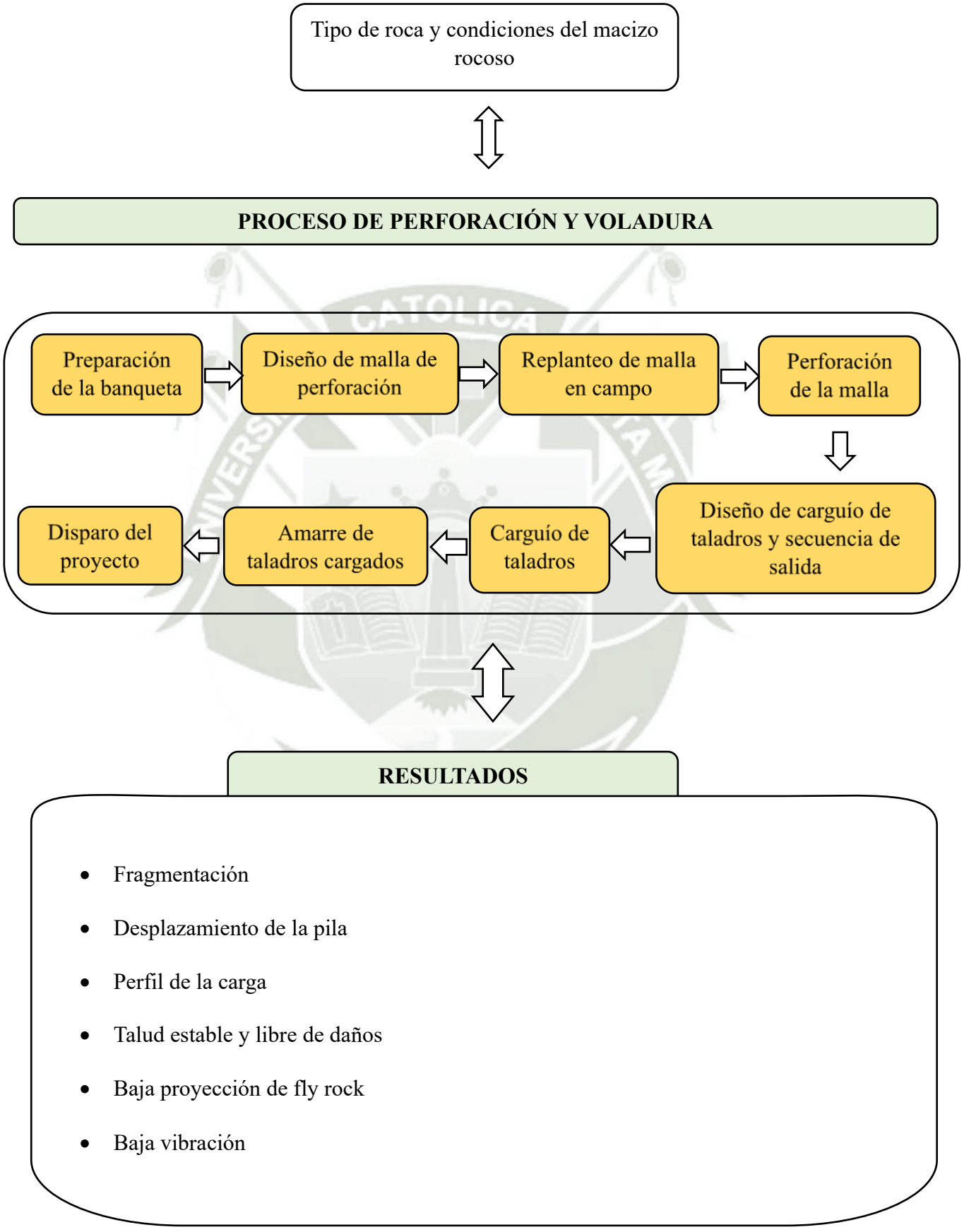


Nota: Extraído de (Tiesiju, 2025), el área sombreada de rojo, es el resultado de la voladura efectuada. Estos planos son presentados a las empresas de PERVOL y a la valorización del proyecto para ser aprobados por la Supervisión de Obra y la Municipalidad de Castilla.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.1.5. Diagrama de Perforación y Voladura



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Alcances y limitaciones

3.1.1. Alcances

Los alcances de esta investigación fueron tomados principalmente del estudio geotécnico del Proyecto Vial Ayo – Andamayo y también se contaron con los equipos necesarios para cumplir con los objetivos planteados. El tiempo para realizar esta tesis fue de 3 meses.

3.1.2. Limitaciones

En cuanto a las limitaciones del proyecto, se observó un retraso en el tema de elegibilidad y disponibilidad de explosivos, debido a que se requiere de unos permisos otorgados por la entidad SUCAMEC (Superintendencia Nacional de Control de Servicios de Seguridad, Armas, Municiones y Explosivos de Uso Civil) para poder almacenar, adquirir, y hacer uso de los explosivos.

Asimismo, en las siguientes zonas de perforación; la zona de perforación 1 (PROG. KM. 7+550 – PROG. KM. 7+770), la zona de perforación 3 (PROG. KM. 9+530 – PROG. KM. 9+890) y la zona de perforación 5 (PROG. KM. 38+000 – PROG. KM. 39+840), se encuentran los “Caminos del Inca”, zonas donde se tenían que esperar que los CIRAS (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos en la Superficie) pudieran permitir el acceso a estos tramos para realizar cualquier actividad (partida de perforación y voladura y movimiento de tierras).

3.2. Tipo y diseño de investigación

3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es CUANTITATIVA, ya que este tipo de investigación se realiza para obtener y evaluar información utilizando un enfoque matemático.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Utiliza una gran cantidad de datos que provienen de diferentes fuentes para analizar y encontrar discrepancias en ellos.

3.2.2. Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es EXPERIMENTAL. Los diseños experimentales son utilizados en las investigaciones de corte cuantitativo. (Universidad de Colima, 2020)

El primero de ellos es la manipulación intencional de una o más variables independientes. Para ello, se considera que la variable independiente es la supuesta causa en la relación dada entre variables, la variable dependiente es el efecto que provoca la variable independiente. Entonces, se puede decir que "un experimento se lleva a cabo para analizar si una o más variables independientes afectan a una o más variables dependientes y por qué lo hacen"

El segundo requisito es la medición del efecto que la variable independiente ejerce sobre la dependiente. La medición se considerará confiable si mide correctamente dicho efecto. La descripción del tipo de medición que se realizará a las variables dependientes y la forma en que se manipularán las variables independientes deberá hacerse en la planeación del experimento.

El tercer requisito de todo experimento se denomina control o validez interna. El término de control se refiere a conocer qué ocurre en la relación entre variables independientes y las dependientes. Si en una investigación existe control de las variables, será posible determinar la relación causal entre ellas y eliminar la influencia de variables extrañas sobre las dependientes, de tal modo que pueda conocerse si las de tipo independiente realmente ejercen alguna influencia sobre las dependientes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3. Métodos y recolección de datos

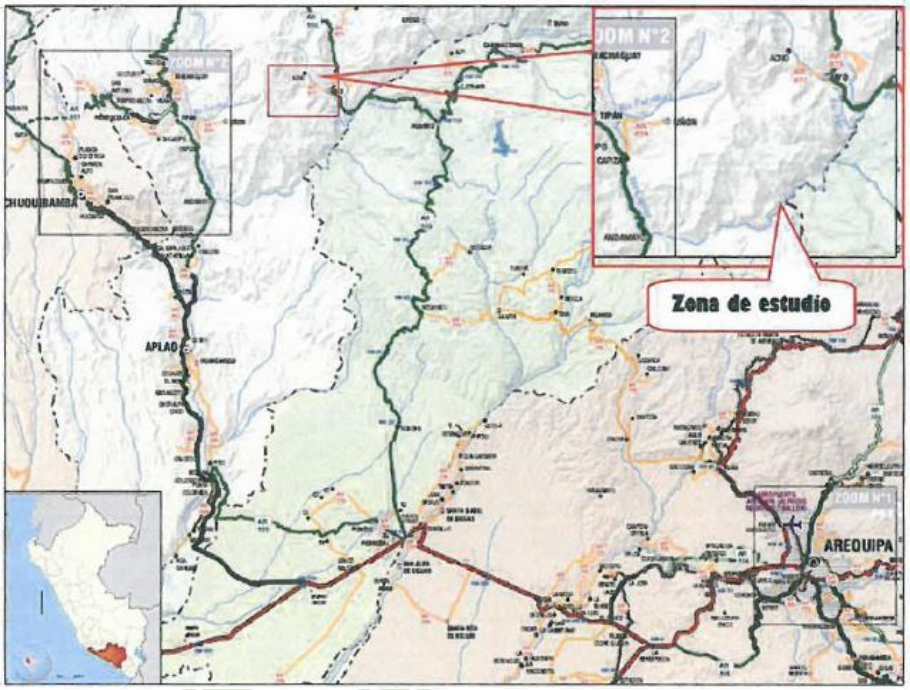
3.3.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se inicia en el distrito de Andamayo y termina en la plaza de Ayo, políticamente se encuentra ubicado en:

- **Distritos:** Aplao y Ayo
- **Provincia:** Castilla
- **Departamento:** Arequipa

Figura 28.

Geolocalización de la carretera



Nota: Mapa extraído del "Estudio geotécnico de Ayo - Andamayo" (SECCONSAR S.R.L, 2021)

3.3.2. Accesibilidad al proyecto

El área del proyecto es accesible mediante vía terrestre, en carretera asfaltada desde la ciudad de Arequipa vía Aplao – Ongoro - Andamayo mediante carretera asfaltada en donde se encuentra el inicio de la vía en estudio, después mediante un camino de herradura llegando hasta Ayo donde se encuentra la progresiva final del trazo en estudio.

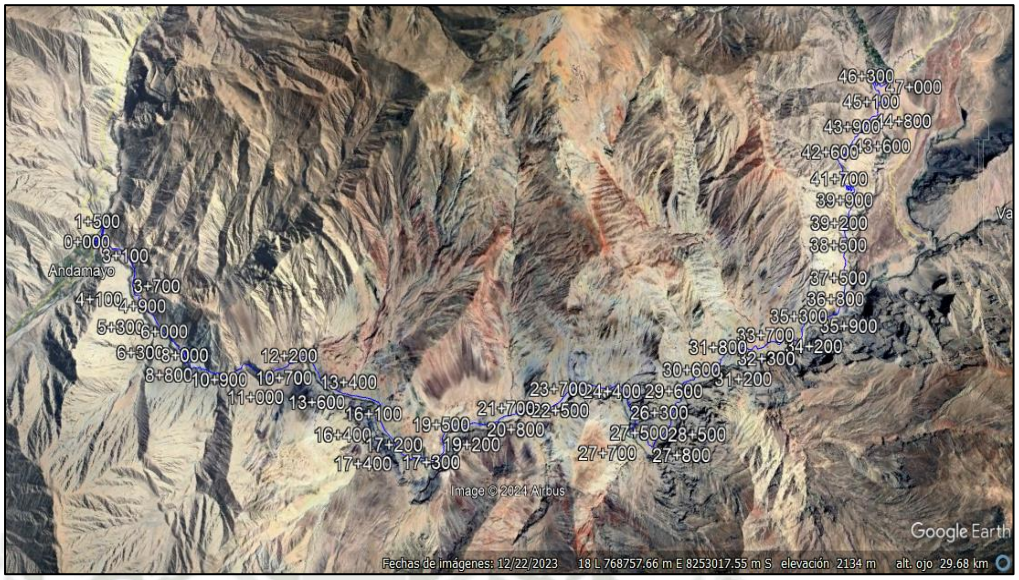
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 29.

Ruta de la carretera



Nota: Trazo de la carretera extraído de Google Earth, elaborado por los cadistas de la empresa China Tiesiju y ubicación de las progresivas.

3.3.3. Geología local

Como resultado de las exploraciones, ensayos y de acuerdo con la ubicación de las calicatas se concluye en el siguiente cuadro:

Tabla 02. Relación de calicatas, formación geológica y descripción

Progresivas		Formación geológica	Descripción
0+000	1+780	Depósito Aluvial Reciente	Gravas subangulosas a subredondeadas con matriz areno-limosa.
1+780	2+550	Depósito Morrénicos	Bloques y gravas subangulosos con matriz areno-limosa.
2+550	3+290	Flujos de Barro	Bloques, gravas angulosas, arenas con limos en estado muy compacto.
3+290	3+410	Formación “Chocolate”	Brechas y coladas volcánicas andesíticas.
3+410	4+600	Flujos de Barro	Bloques, gravas angulosas, arenas con limos en estado muy compacto.
4+600	5+870	Depósitos Coluviales	Bloques y gravas subangulosas a angulosas con arenas y limos.
5+870	6+250	Formación “Chocolate”	Brechas y coladas volcánicas andesíticas.
6+250	6+800	Depósitos Coluviales	Bloques y gravas subangulosas a angulosas con arenas y limos.
6+800	9+800	Formación “Chocolate”	Brechas y coladas volcánicas andesíticas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

9+800	10+860	Formación “Socosani”	Lutitas negras, calizas oscuras y areniscas blancas.
10+860	11+940	Formación “Puente”	Areniscas masivas grises, verdes a pardas de grano fino con lutitas negras.
11+940	12+820	Formación “Cachios”	Lutitas grises oscuras con intercalaciones de areniscas.
12+820	13+220	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
13+220	13+500	G. Andagua – Miembro inferior	Coladas Volcánicas andesíticas basálticas negras.
13+500	13+900	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
13+900	14+180	Depósitos Coluviales	Bloques y gravas subangulosas a angulosas con arenas y limos.
14+180	18+100	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
18+100	18+340	Formación “Gramadal”	Lutitas grises, calizas y areniscas cuarzosas.
18+340	18+570	Formación “Hualhuani”	Areniscas cuarzosas con intercalación de lutitas grises.
18+570	19+570	Formación “Murco”	Areniscas rojas, con lutitas, yesos y calizas.
19+570	19+850	Flujos de Barro	Bloques, gravas angulosas, arenas con limos en estado muy compacto.
19+850	21+880	Formación “Murco”	Areniscas rojas, con lutitas, yesos y calizas.
21+880	21+930	Depósito Aluvial Reciente	Gravas subangulosas a subredondeadas con matriz areno-limosa.
21+930	22+580	Formación “Hualhuani”	Areniscas cuarzosas con intercalación de lutitas grises.
22+580	23+650	Formación “Gramadal”	Lutitas grises, calizas y areniscas cuarzosas.
23+650	33+900	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
33+900	34+640	Formación “Hualhuani”	Areniscas cuarzosas con intercalación de lutitas grises.
34+640	35+080	Formación “Gramadal”	Lutitas grises, calizas y areniscas cuarzosas.
35+080	37+100	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
37+100	38+600	Depósito Aluvial	Flujos de barro.
38+600	39+450	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

39+450	41+960	Depósito Aluvial	Flujos de barro.
41+960	42+450	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
42+450	43+120	Depósito Aluvial	Flujos de barro.
43+120	43+260	Formación “Labra”	Areniscas grises y blanquecinas, intercaladas con lutitas negras y grises.
43+260	47+209	Depósito Aluvial	Flujos de barro y aluviales.

Nota: Extraído del Expediente de Ayo - Andamayo (SECCONSAR S.R.L, 2021)

A. Ubicación de calicatas de las zonas de perforación

En la siguiente tabla se especifica las calicatas que corresponden a cada zona de perforación:

Tabla 03. Relación de calicatas, clasificación de materiales y volumen de roca fija

Progresivas		Calicatas	Clasificación de materiales			Volumen de corte de roca fija
			MS	RS	RF	
8+875	8+975	A – 33	00		100	13,410.00 m^3
8+975	9+220	A – 34	00	30	70	59,911.35 m^3
9+220	9+500	A – 35	00	10	90	68,435.70 m^3
9+500	9+740	A – 36	00	10	90	46,534.90 m^3
9+740	10+015	A – 37	00	00	100	51,290.85 m^3
10+015	10+250	A – 38	00	00	100	53,318.05 m^3
36+990	37+240	B – 45	00	50	50	22,969.80 m^3
37+240	37+420	B – 44	00	00	100	20,520.35 m^3
38+230	38+380	B – 37	00	40	60	17,598.35 m^3
38+380	38+450	B – 36	00	40	60	16,536.35 m^3
38+510	38+630	B - 34	00	00	100	16,817.70 m^3
38+630	38+880	B – 33	00	00	100	35,918.30 m^3
38+880	39+160	B – 32	00	00	100	50,351.51 m^3
39+160	39+410	B – 31	00	00	100	73,124.65 m^3
39+410	39+675	B – 30	00	00	100	18,743.25 m^3
Volumen de corte, total de m^3 (roca fija):						565,481.11 m^3

Nota: Extraído de (SECCONSAR S.R.L, 2021), Valorizaciones y Metrados del Proyecto Ayo – Andamayo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3.4. Características geotécnicas de las zonas de perforación

Las zonas de perforación por frente dependen del avance de las cuadrillas.

A. Frente de Andamayo (Ubicación)

A.1. Zona de perforación 1 (ZP1): PROG. KM 7+550 – 7+770

Figura 30.

Perforación con el RD – 007



Nota: Grupo Sur en la ejecución el proceso de perforación (PROG. KM. 7+700)

A.2. Zona de perforación 2 (ZP2): PROG. KM 8+800 – 9+500

Figura 31.

Perforación con el RD – 004



Nota: Sumajer ejecutando el proceso de perforación, apertura de accesos, georreferenciada (PROG. KM. 9+000).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A.3. Zona de perforación 3 (ZP3): PROG. KM 9+500 – 10+250

Figura 32.

Perforación con el RD – 005



Nota: Figura propia a Sumajer ejecutando el proceso de perforación, georreferenciada (PROG. KM. 9+790) y fechada.

A.4. Zona de perforación 4 (ZP4): PROG. KM 12+220 – 12+850

Figura 33.

Perforación con el RD – 006



Nota: La empresa Sumajer ejecutando el proceso de perforación, e (PROG. KM. 12+600) y fechada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B. Frente de Ayo (Ubicación)

B.1. Zona de perforación 5 (ZP5): PROG. KM 39+675 – 38+880

Figura 34.

Perforación con el RD – 001



Nota: Grupo Sur, en la ejecución del proceso de perforación en la PROG.KM. 39+800 (Figura georreferenciada y fechada).

B.2. Zona de perforación 6 (ZP6): PROG. KM 38+450 – 37+790

Figura 35.

Perforación con el RD – 002



Nota: Grupo Sur ejecutando el proceso de perforación en la PROG.KM. 38+200 (Figura georreferenciada y fechada).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B.2. Zona de perforación 7 (ZP7): PROG. KM 37+790 – 36+775

Figura 36.

Perforación con el RD – 003



Nota: Grupo Sur ejecutando el proceso de perforación en la PROG.KM. 36+900 (Figura georreferenciada y fechada).

Las zonas de perforación cuentan con las siguientes características:

Tabla 04. Características geomecánicas del área de perforación

Zonas	Calicatas	Densidad de la roca	RMR	RQD
ZP1 (PROG. KM 7+550 – 7+770)	A – 29 – a A – 29 – d	2.83 g/cm^3 2.73 g/cm^3	152.63 MPa 10.94 MPa	100% 25%
ZP2 (PROG. KM 8+800 – 9+500)	A – 33 A – 34 A – 35	2.71 g/cm^3 2.72 g/cm^3 2.77 g/cm^3	315.26 MPa 280.96 MPa 347.24 MPa	100%
ZP3 (PROG. KM. 9+500 – 10+250)	A – 36 A – 37 A – 38	2.63 g/cm^3 2.74 g/cm^3 2.74 g/cm^3	251.95 MPa 486.99 MPa 324.16 MPa	100%
ZP4 (PROG. KM. 12+220 – 12+850)	A – 47 A – 48 A – 49	2.65 g/cm^3 2.73 g/cm^3 2.70 g/cm^3	621.86 MPa 605.29 MPa 570.86 MPa	100%
ZP5 (PROG. KM. 39+675 – 38+880)	B – 32 B – 31 B – 30	2.57 g/cm^3 2.59 g/cm^3 2.60 g/cm^3	269.76 MPa 60.787 MPa 124.39 MPa	73% 89% 100%
ZP6 (PROG. KM. 38+450 – 37+790)	B – 41 B – 40 B – 39	2.57 g/cm^3 2.54 g/cm^3 2.53 g/cm^3	40.58 MPa 30.17 MPa 19.26 MPa	40%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ZP7 (PROG. KM. 37+790 – 36+775)	B – 46 B – 45 B – 44	2.60 g/cm^3 2.63 g/cm^3 2.52 g/cm^3	56.64 MPa 47.86 MPa 49.89 MPa	40%

Nota: (SECCONSAR S.R.L, 2021, pp. 400–436)

3.3.5. Equipos de perforación utilizados

Se ha de utilizar los martillos neumáticos para preparar el acceso a los equipos de movimiento de tierras y los equipos de perforación, los rock drills que se encargan de la perforación de las mallas de precorte, producción y de buffer, Asimismo, se realizaron oportunamente los tipos de mantenimientos correspondientes, además de contar con un stock de repuestos críticos en almacén de obra, para así no contar con tiempos muertos y no se afecte así la producción de la obra.

A. Especificaciones técnicas de los equipos de perforación

Tabla 05. Especificaciones técnicas – RD-001

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	SANDVIK
SERIE	DX 680
RENDIMIENTO	128.8 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	CORPORACIÓN GRUPO SUR DEL PERÚ

Figura 37.

Perforación con el RD – 001



Nota: Rock drill localizado en el frente de Ayo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 06. Especificaciones técnicas – RD-002

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	SANDVIK
SERIE	DX 700
RENDIMIENTO	294 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	CORPORACIÓN GRUPO SUR PERÚ

Figura 38.

Perforación con el RD – 002



Nota: Rock drill localizado en el frente de Ayo.

Tabla 07. Especificaciones técnicas – RD-003

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	SOOSAN
SERIE	STD14M
RENDIMIENTO	90.6 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	SUMAJER INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

Figura 39.

Perforación con el RD – 003



Nota: Rock drill localizado en el frente de Ayo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 08. Especificaciones técnicas – RD-004

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	SOOSAN
SERIE	SD142E
RENDIMIENTO	206.7 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	SUMAJER INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

Figura 40.

Perforación con el RD – 004



Nota: Rock drill localizado en el frente de Andamayo.

Tabla 09. Especificaciones técnicas – RD-005

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	ATLAS COPCO
SERIE	ECM 370
RENDIMIENTO	80.5 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	SUMAJER INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

Figura 41.

Perforación con el RD – 005



Nota: Rock drill localizado en el frente de Ayo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 10. Especificaciones técnicas – RD-006

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	ATLAS COPCO
SERIE	ROC F9C
RENDIMIENTO	367.5 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	SUMAJER INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.

Figura 42.

Perforación con el RD – 006



Nota: Rock drill localizado en el frente de Andamayo**.**

Tabla 11. Especificaciones técnicas – RD-007

EQUIPO	ROCK DRILL
MARCA	SOOSAN
SERIE	SD 1300
RENDIMIENTO	165.4 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	KUMBAL CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

Figura 43.

Perforación con el RD – 007



Nota: Rock drill localizado en el frente de Andamayo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 12. Especificaciones técnicas – COM-001/COM-002

EQUIPO	PERFORADORA NEUMÁTICA
MARCA	ATLAS COPCO
SERIE	XAS 186
CANTIDAD	02
RENDIMIENTO	146.3 m^3/h
EMPRESA RESPONSABLE	CUADRILLA DE CHINA TIESIJU

Figura 44.

Perforación con los COM – 001 y COM - 002



Nota: Perforadoras localizadas en el frente de Andamayo.

Tabla 13. Dimensiones de perforación

Equipo	Rock drill	Martillo neumático
Ø perforación	3 pulgadas = 76.2 mm	2 pulgadas = 50.8 mm
Longitud de barra	10 pies = 3.078 m	10 pies = 3.078 m
Sobreperforación	0.5 m	0.3 m

Nota: Se entrega un reporte de operatividad de los equipos para corroborar el rendimiento de estos y la elaboración de las metas.

Figura 45.

Ubicación de rock drills en el frente de Andamayo



Nota: Ubicación exacta de los rock drills y leyenda de colores para comprobar el estado de operatividad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 46.

Ubicación de rock drills en el frente de Ayo



Nota: Ubicación exacta de los rock drills y leyenda de colores para comprobar el estado de operatividad.

3.3.6. Requerimiento de hardware y software

Para la revisión final de los cálculos realizados se requirió de una simulación previa de la malla de perforación a realizar en campo. Utilizando el software JK SIMBLAST. (Datageo, 2025)

A. Software de minería "JK SIMBLAST"

Es un software desarrollado en base a décadas de experiencia por el Centro de Investigación Minero Australiano Julius Kruttschnitt (JKMRC) que permite realizar el diseño, análisis, gestión y evaluación de voladuras.

A.1. 2D bench

Permite realizar el diseño completo de una voladura con todos sus elementos, vale decir, establecer un área de tronadura, configurar un patrón, (burden, espaciamiento, diámetro de taladros, largo de las perforaciones, etc), carguío de pozos con explosivos, insertar retardos tanto en el pozo como la superficie, realizar amarres, etc.

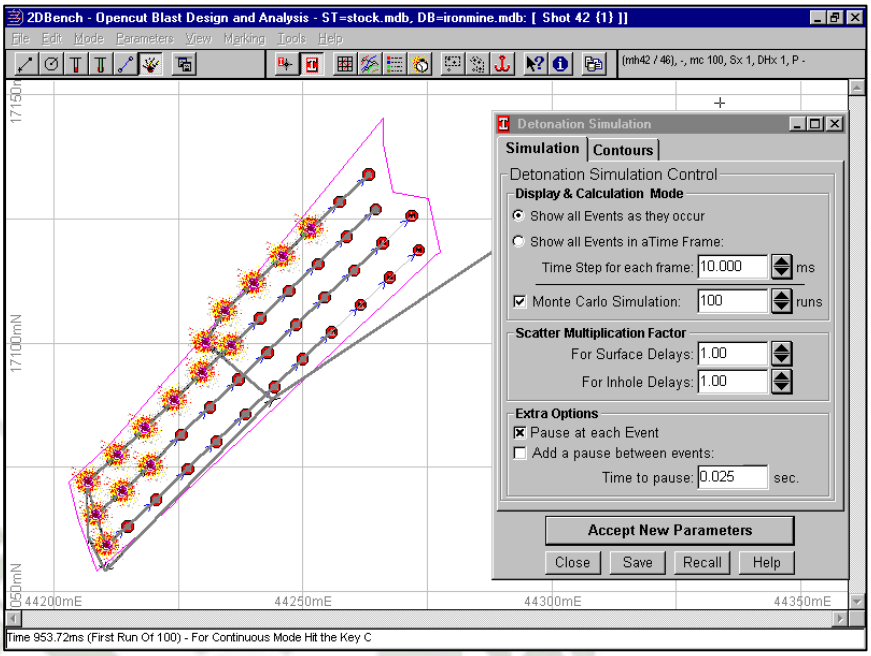
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 47.

Simulación de malla de perforación



Nota: Extraído de (Software in blasting, 2025)

3.3.7. Análisis de costes

Es un proceso fundamental para optimizar los gastos, mejorar la eficiencia y garantizar la seguridad de las operaciones. Un análisis detallado permite identificar áreas de mejora y tomar decisiones informadas para reducir los costos y aumentar la rentabilidad del proyecto.

A. Elementos clave en el análisis de costos de voladura

- **Perforación:** Este costo incluye la maquinaria, personal, y el consumo de brocas. La eficiencia de la perforación impacta al costo total.
- **Explosivos:** El tipo y la cantidad de explosivos a utilizar dependen del tipo de roca y del diseño de la voladura. El costo de los explosivos es un componente significativo.
- **Mano de obra:** Incluye el costo de los trabajadores que perforan, preparan y disparan la voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La experiencia y capacitación del equipo influyen en la eficiencia del trabajo y, por lo tanto, en el costo total.

- **Costos indirectos:** Estos incluyen gastos administrativos, permisos, seguros, transporte de materiales y equipamiento.

B. Factores que influyen en el costo de la voladura

- Tipo de roca
- Diseño de la voladura
- Ubicación
- Experiencia del equipo

Tabla 14. Costos en Partida de Perforación y Voladura en Roca Fija

02.01.03. PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA FIJA						
				Rendimiento:	300.000	m³/día
Descripción	**Unidad**	**Cuadrilla**	**Cantidad**	**Precio Prop**	**Precio**	**Parcial**
Mano de Obra						
OFICIAL	HH	1.000	0.068	16.22	18.49	S/ 1.25
PEÓN	HH	2.000	0.133	54.65	5.49	S/ 0.73
PERFORISTA	HH	4.000	0.274	39.6575	7.56	S/ 2.07
						S/ 4.05
Insumos y Materiales						
FULMINANTE N°8	U		1.000	1100.00	0.27	S/ 0.27
MECHA O GUÍA	M		1.000	350.00	0.86	S/ 0.86
ANFO PESADO	Kg		0.250	87.50	3.43	S/ 0.86
DINAMITA SEMIGELATINOSA	Kg		0.250	62.500	4.8	S/ 1.20
BARRENO 7/8" x 5 PIES	U		0.0031	0.62	483.87	S/ 1.50
						S/ 4.69
Equipo						
HERRAMIENTAS MANUALES	% MO		3.0000	4740.00	0.06	S/ 0.19
MARTILLO NEUMÁTICO (29 kg)	Hm	4.000	0.1067	206.25	1.45	S/ 0.16
COMPRESORA NEUMÁTICA	Hm	1.000	0.0267	330.81	0.91	S/ 0.02
ROCK DRILL	Hm	1.000	0.0267	1.07	280.90	S/ 7.50
						S/ 7.87
COSTO UNITARIO POR METRO CÚBICO (m3):						S/ 16.61

Nota: Elaboración: Valorización y metrados de la empresa China Tiesiju

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3.8. Cálculos

Tabla 15. Características de los explosivos de voladura utilizados

EXPLOSIVOS	ANFO A GRANEL	EMULSIÓN	CORDÓN DETONANTE (*)
NOMBRE COMERCIAL	ANFO SUPERFARM DOS	EMULNOR 3000	PENTACORD 5P
DENSIDAD	0.80±0.05 g/cm^3	1.14 g/cm^3	-
Ø EXPLOSIVO	-	7/8", 1 1/8" y 2"	-
VOD	-	-	65 mm/min = 0,0011 m/s
KG EXPLOSIVO	-	1 unidad = 0.219 kg	1 rollo = 10 kg
EMPAQUE	1 saco = 25 kg	1 caja = 25 kg = 114 unidades	1 caja = 2 rollos = 1500 m

Nota: (*) Accesorio almacenado dentro del polvorín N°01 de explosivos

Tabla 16. Características de los accesorios de voladura utilizados

ACCESORIOS	RETARDOS	FANELES	CARMEX
NOMBRE COMERCIAL	Rtdo fanel (MS Conector) 025 MS - 1.1B Rtdo fanel (MS Conector) 042 MS - 1.1B	Fanel MS 12 m N°18 - 1.1B Fanel MS 5.2 m N°16 - 1.1B Fanel MS 4.0 m N°16 - 1.1B	Carmex 2.10 m
VOD	2000 m/s	2000 ± 200 m/s	160 s/m
EMPAQUE	1 caja = 50 unidades	1 caja (4.0 m) = 150 unds 1 caja (5.2 m) = 120 unds 1 caja (12.0 m) = 50 unds	1 caja = 300 unidades

Nota: ANEXO N°4: "Características técnicas de los explosivos y accesorios"

3.3.8.1. Parámetros geométricos de las mallas de perforación

Tabla 17. Parámetros geométricos de la malla de perforación del Martillo Neumático

Parámetros	Fórmula
Malla de precorte	
Buffer de TOE	$B_{TOE} = 5 * 0.0254 * \emptyset_H$ $B_{TOE} = 5 * 0.0254 * 2"$ $B_{TOE} = 0.3\ m$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Espaciamiento

- **Diámetro del explosivo**

$$\emptyset_{explosivo} = \left[\frac{R * UCS}{110 * D_{exp} * VOD^2 * 10^{-6}}\right]^{\frac{1}{2*n}} * \sqrt{\frac{H}{l}} * \emptyset_h$$

$$\emptyset_{explosivo} = \left[\frac{1 * 152.63\ MPa}{110 * 1.14\ g/cm^3 * (4400m/s)^2 * 10^{-6}}\right]^{\frac{1}{2*1.25}} * \sqrt{\frac{3.5m}{3m}} * 2"$$

$$\emptyset_{explosivo} = 0.71 \approx 1\ pulgada$$

- **Presión del barreno**

$$\boldsymbol{P_b} = 110 * Fdc * D_{exp} * VOD^2$$

$$\boldsymbol{P_b} = 110 * 0.2143 * 1.14\ g/cm^3 * (4400m/s)^2$$

$$\boldsymbol{P_b} = 520.23\ MPa$$

- **Relación entre la presión del barreno y la dureza de la roca**

$$\boldsymbol{R} = \frac{Pb}{UCS}$$

$$\boldsymbol{R} = \frac{520.23\ MPa}{152.63\ MPa}$$

$$\boldsymbol{R} = 3.41$$

R > 1, Entonces se generará fragmentos entre taladro a taladro.

- **Espaciamiento**

$$\boldsymbol{S} = (2^2 * 25.4) * \frac{(520.23\ MPa + 7\ MPa)}{7MPa}$$

$$\boldsymbol{S} = 7652.38\ mm = 7.7\ m$$

Taco

$$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 0.7$$

$$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 0.8 * 0.7$$

$$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 0.6\ \text{m}$$

Longitud de taladro

$$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = Hb + J$$

$$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3\ m + 0.5\ m$$

$$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3.5\ m$$

Longitud de carga

$$\boldsymbol{Lc} = LT - T$$

$$\boldsymbol{Lc} = 3.5\ m - 0.6\ \text{m}$$

$$\boldsymbol{Lc} = 2.9\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Densidad lineal del explosivo	$$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * \emptyset^2 * De$$ $$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * 2^2 * 1.14\ gr/cm^3$$ $$\boldsymbol{Dl} = 2.31\ kg/m$$
Cantidad de explosivos	$$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 10 * \emptyset * 0.0254 * Dl$$ $$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 10 * 2" * 0.0254 * 2.311\ kg/m$$ $$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 1.17\ kg$$
Factor de carga	$$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden(m) * Espaciamiento(m) * long.\ de\ tal.\ (m)}$$ $$\boldsymbol{FC} = \frac{1.17\ kg}{3.64\ m^3} = 0.30\ kg/m^3$$
Malla de amortiguamiento	
Burden	$$\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{Qe}{1.15 * Dr * Fc * Hb}}$$ $$\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{5.535\ kg}{1.15 * 2.52\ \frac{g}{cm^3} * 0.47\ \frac{kg}{m^3} * 3m}} = 1.2\ m$$
Espaciamiento	$$\boldsymbol{S}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 1.15$$ $$\boldsymbol{S}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.2\ m * 1.15$$ $$\boldsymbol{S}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.4\ m$$
Taco	$$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 0.7$$ $$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.2\ m * 0.7$$ $$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 0.8\ \text{m}$$
Longitud de taladro	$$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = Hb + J$$ $$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3\ m + 0.5\ m$$ $$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3.5\ m$$
Longitud de carga	$$\boldsymbol{Lc} = LT - T$$ $$\boldsymbol{Lc} = 3.5\ m - 0.8\ m$$ $$\boldsymbol{Lc} = 2.7\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Densidad lineal del explosivo	$$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * \emptyset^2 * De$$ $$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * 2^2 * 1.01\ gr/cm^3$$ $$\boldsymbol{Dl} = 2.05\ kg/\text{m}$$
Cantidad de explosivo	$$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = Lc * Dl * 0.55$$ $$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 2.7\ m * 2.05\ kg/m * 0.55$$ $$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 3.04\ kg$$
Factor de carga	$$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden(m) * Espaciamiento(m) * long.\ de\ tal.(m) * \#taladros}$$ $$\boldsymbol{FC} = \frac{2.71\ kg}{5.796\ m^3} = 0.47\ kg/m^3$$
Malla de producción	
Burden Práctico (Zona competente)	$$B_{máx} = \frac{50.8\ mm}{33} * \sqrt{\frac{(1.01 * 0.93)}{(0.4 + 0.75) * 1 * (1.15)}}$$ $$B_{máx} = 1.297 \approx 1.3\ m$$
Burden Práctico (Zona Regular)	$$B_{máx} = \frac{50.8\ mm}{33} * \sqrt{\frac{(1.01 * 0.93)}{(0.3 + 0.75) * 1 * (1.15)}}$$ $$B_{máx} = 1.36 \approx 1.4\ m$$
Espaciamiento	$$\boldsymbol{S} = EV * B$$ $$\boldsymbol{S} = 1.15 * 1.3\ m$$ $$\boldsymbol{S} = 1.5\ m$$
Taco	$$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 2\ m * 0.7$$ $$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.5\ m * 0.7$$ $$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.1\ \text{m}$$
Longitud de taladro	$$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = Hb + J$$ $$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3\ m + 0.5\ m$$ $$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3.5\ m$$
Longitud de carga	$$\boldsymbol{Lc} = LT - T$$ $$\boldsymbol{Lc} = 3.5\ m - 1.1\ m$$ $$\boldsymbol{Lc} = 2.4\ m$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Densidad de carga lineal	$$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * \emptyset^2 * De$$ $$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * 2^2 * 1.01\ gr/cm^3$$ $$\boldsymbol{Dl} = 2.05\ kg/m$$
Factor de carga	$$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden(m) * Espaciamiento(m) * long.\ de\ tal.(m)}$$ $$\boldsymbol{FC} = \frac{4.92\ kg}{6.825\ m^3} = 0.70\ kg/m^3$$

Nota: Cálculos en base a las características del macizo rocoso, explosivos y equipo de perforación.

Tabla 18. Parámetros geométricos de la malla de perforación del Rock drill

Parámetros	Fórmula
Malla de precorte	
Buffer de TOE	$$\boldsymbol{B_{TOE}} = 5 * 0.0254 * \emptyset_H$$ $$\boldsymbol{B_{TOE}} = 5 * 0.0254 * 3"$$ $$\boldsymbol{B_{TOE}} = 0.4\ m$$
Espaciamiento	• **Diámetro del explosivo** $$\emptyset_{explosivo} = \left[\frac{1 * 152.63\ MPa}{110 * 1.14\ g/cm^3 * (4400m/s)^2 * 10^{-6}}\right]^{\frac{1}{2*1.25}} * \sqrt{\frac{3.5m}{3m}} * 3"$$ $$\emptyset_{explosivo} = 1.07 \approx 1\ pulgada$$ • **Factor de desacople** $$\boldsymbol{Fdc} = \frac{\emptyset_{exp}{}^2}{\emptyset_h{}^2} * \frac{l_{exp}}{H}$$ $$\boldsymbol{Fdc} = \frac{1pulg^2}{3pulg^2} * \frac{3\ m}{3.5\ m}$$ $$\boldsymbol{Fdc} = 0.0952$$ • **Presión del barreno** $$\boldsymbol{P_b} = 110 * Fdc * D_{exp} * VOD^2$$ $$\boldsymbol{P_b} = 110 * 0.0952 * 1.14\ g/cm^3 * (4400m/s)^2$$ $$\boldsymbol{P_b} = 231.31\ MPa$$ • **Relación entre la presión del barreno y la dureza de la roca** $$\boldsymbol{R} = \frac{Pb}{UCS}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$\boldsymbol{R} = \frac{231.21\ MPa}{152.63\ MPa}$$

$$\boldsymbol{R} = 1.51$$

R > 1, Entonces se generará fragmentos entre taladro a taladro.

- **Espaciamiento**

$$\boldsymbol{S} = (\emptyset_{taladro}{}^{2} * 25.4) * \frac{(P_b + \sigma_{tracción})}{\sigma_{tracción}}$$

$$\boldsymbol{S} = (3^2 * 25.4) * \frac{(231.21\ MPa + 7\ MPa)}{7MPa}$$

$$\boldsymbol{S} = 2593.12\ mm = 2.6\ m$$

Taco	$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 0.7$ $\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 0.8 * 0.7$ $\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 0.6$ m
Longitud de taladro	$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = Hb + J$ $\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3\ m + 0.5\ m$ $\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3.5\ m$
Longitud de carga	$\boldsymbol{Lc} = LT - T$ $\boldsymbol{Lc} = 3.5\ m - 0.6$ m $\boldsymbol{Lc} = 2.9\ m$
Densidad lineal del explosivo	$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * \emptyset^2 * De$ $\boldsymbol{Dl} = 0.507 * 3^2 * 1.14\ gr/cm^3$ $\boldsymbol{Dl} = 5.202\ kg/m$
Cantidad de explosivos	$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 10 * \emptyset * 0.0254 * Dl$ $\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 10 * 3" * 0.0254 * 5.202\ kg/m$ $\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 3.96\ kg$
Factor de carga	$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden(m) * Espaciamiento(m) * long.\ de\ tal.\ (m)}$ $\boldsymbol{FC} = \frac{3.96\ kg}{9.1\ m^3} = 0.40\ kg/m$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Malla de amortiguamiento	
Burden	$$\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{Qe}{1.15 * Dr * Fc * Hb}}$$ $$\boldsymbol{B} = \sqrt{\frac{10.404\ kg}{1.15 * 2.52\frac{g}{cm^3} * 0.25\frac{kg}{m^3} * 3m}} = 2.2\ m$$
Espaciamiento	$$\boldsymbol{S}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 1.15$$ $$\boldsymbol{S}\ (\boldsymbol{metros}) = 2.2\ m * 1.15$$ $$\boldsymbol{S}\ (\boldsymbol{metros}) = 2.5\ m$$
Taco	$$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 0.7$$ $$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 2.5\ m * 0.7$$ $$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.8\ \text{m}$$
Longitud de taladro	$$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = Hb + J$$ $$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3\ m + 0.5\ m$$ $$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3.5\ m$$
Longitud de carga	$$\boldsymbol{Lc} = LT - T$$ $$\boldsymbol{Lc} = 3.5\ m - 1.8\ m$$ $$\boldsymbol{Lc} = 1.7\ m$$
Densidad lineal del explosivo	$$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * \emptyset^2 * De$$ $$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * 3^2 * 1.01\ gr/cm^3$$ $$\boldsymbol{Dl} = 5.202\ kg/m$$
Cantidad de explosivo	$$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = Lc * Dl * 0.55$$ $$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 1.7\ m * 5.202\ kg/m * 0.55$$ $$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 4.864\ kg$$
Factor de carga	$$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden(m) * Espaciamiento(m) * long.\ de\ tal.\ (m)}$$ $$\boldsymbol{FC} = \frac{4.864\ kg}{19.25\ m^3} = 0.25\ kg/m^3$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Malla de producción	
Burden Práctico (Zona competente)	$B_{máx} = \frac{76.2\ mm}{33} * \sqrt{\frac{(1.01 * 0.93)}{(0.4 + 0.75) * 1 * (1.15)}}$ $B_{máx} = 2.087 \approx 2.1\ m$
Burden Práctico (Zona Regular)	$B_{máx} = \frac{76.2\ mm}{33} * \sqrt{\frac{(1.01 * 0.93)}{(0.3 + 0.75) * 1 * (1.15)}}$ $B_{máx} = 2.183 \approx 2.2\ m$
Espaciamiento	$\boldsymbol{S} = EV * B$ $\boldsymbol{S} = 1.15 * 2.2\ m$ $\boldsymbol{S} = 2.5\ m$
Taco	$\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = B * 0.7$ $\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 2.2\ m * 0.7$ $\boldsymbol{T}\ (\boldsymbol{metros}) = 1.5$ m
Longitud de taladro	$\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = Hb + J$ $\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3\ m + 0.5\ m$ $\boldsymbol{LT}\ (\boldsymbol{metros}) = 3.5\ m$
Longitud de carga	$\boldsymbol{Lc} = LT - T$ $\boldsymbol{Lc} = 3.5\ m - 1.5\ m$ $\boldsymbol{Lc} = 2\ m$
Densidad de carga lineal	$\boldsymbol{Dl} = 0.507 * Ø^2 * De$ $\boldsymbol{Dl} = 0.507 * 3^2 * 1.01\ gr/cm^3$ $\boldsymbol{Dl} = 5.202\ kg/m$
Cantidad de explosivo	$\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = Lc * Dl$ $\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 2\ m * 5.202\ kg/m$ $\boldsymbol{Qe}\ (\boldsymbol{kilogramos}) = 10.404\ kg$
Factor de carga	$\boldsymbol{FC} = \frac{Cantidad\ de\ explosivo\ (kg)}{Burden(m) * Espaciamiento(m) * long.\ de\ tal.\ (m)}$ $\boldsymbol{FC} = \frac{10.404\ kg}{19.25\ m^3} = 0.540\ kg/m^3$

Nota: Cálculos usando características del macizo rocoso, explosivos y equipo de perforación.

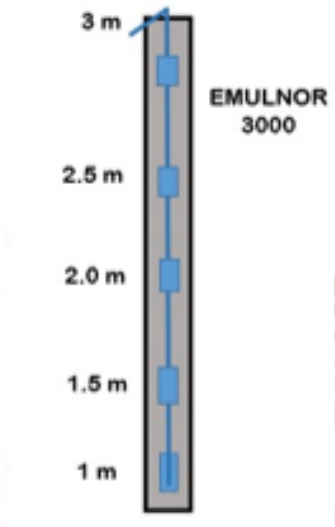
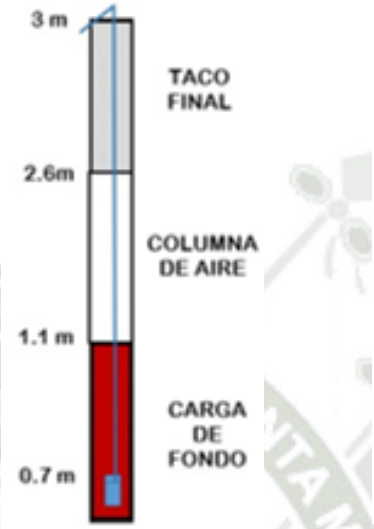
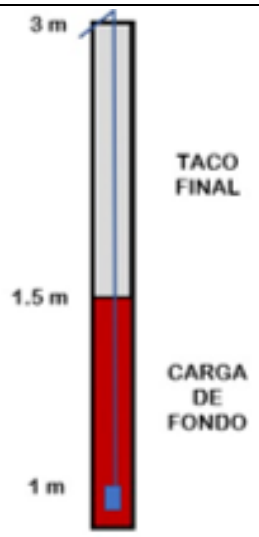
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3.8.2. Carguío de taladros

Tabla 19. Diseño del carguío de taladros

Carguío de taladros de precorte	Carguío de taladros de buffer	Carguío de taladros de producción
		

Nota: Figura 48, Figura 49 y Figura 50.

3.3.8.3. Simulación de voladura

El programa de simulación de voladura "JK Simblast" nos ofrece la oportunidad de visualizar cómo será el proceso de voladura realizado en cada banqueta, para esto necesitamos proporcionar los parámetros de voladura, el tipo de explosivo que utilizaremos, el sistema de iniciación y la secuencia de salida.

Los objetivos de realizar esta simulación son los siguientes:

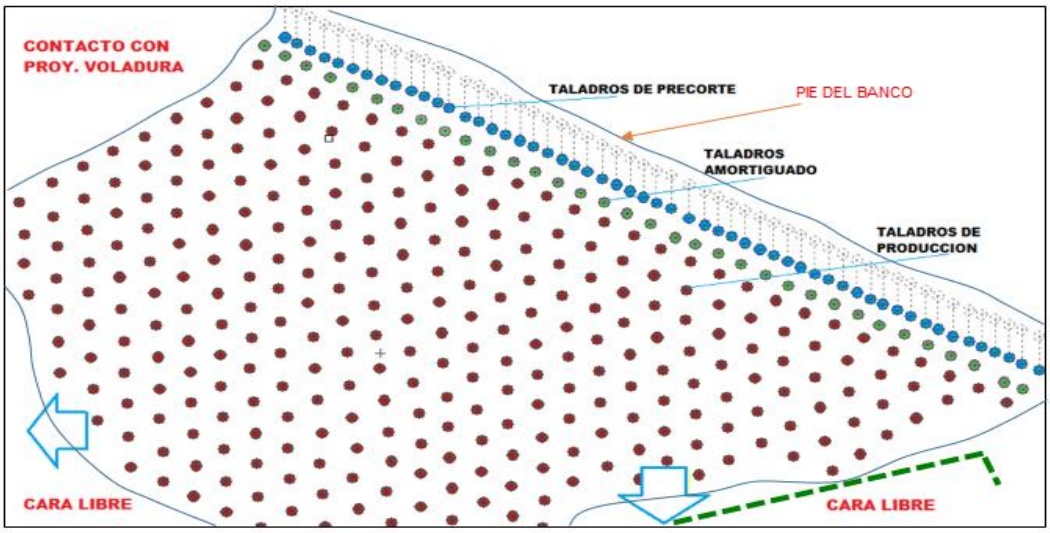
- Lograr obtener una voladura controlada y efectiva.
- Visualizar el impacto de la voladura.
- Hacer un análisis del modelo de fragmentación y el grado de conminución obtenido.
- Entregar la información de gabinete para su ejecución en campo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 51.

Simulación de la voladura en banqueta



Nota: Posicionamiento de taladros

A. Procedimiento por realizar en el simulador

A.1. Parámetros básicos

Figura 52. Dimensiones de banqueta

Polygon Number	1	
Polygon Label	1	
Polygon Area	69.3	m²
Bench Height	3.6	m
Volume	249.4	m³
Rock SG	2.650	
Tonnage	661.0	tonnes

Nota: Datos calculados y colocados en el simulador (Ejemplo de malla de perforación utilizando el martillo neumático)

Figura 53. Dimensiones de la malla de producción

Burden	**2.00**	m
Spacing	**2.20**	m
Diameter	**76.0**	mm
Bench Height	**6.00**	m
Bench Level	**0.000**	m
Floor Level	**-6.000**	m
Hole Length	**6.00**	m
Stand Off	**0.00**	m
Hole Dip	**90.00**	degrees
Hole Bearing	**0.00**	degrees
Rock SG	**2.650**	

Nota: Datos calculados y colocados en el simulador (Ejemplo de malla de perforación utilizando el martillo neumático)

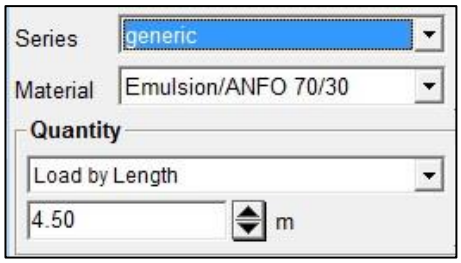
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

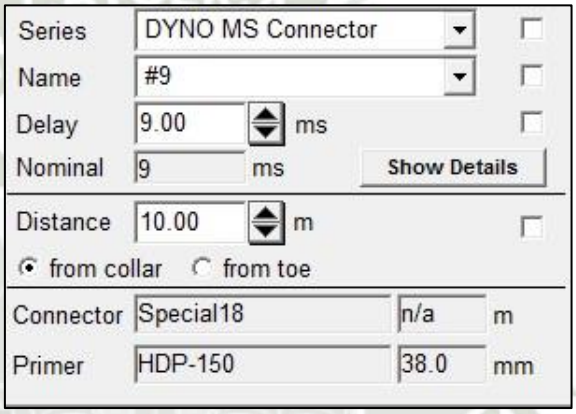
A.2. Explosivos y accesorios utilizados, carguío de taladros

Figura 54. Elección de explosivos y longitud de carga



Nota: Datos calculados y colocados en el simulador (Ejemplo de malla de perforación utilizando el martillo neumático)

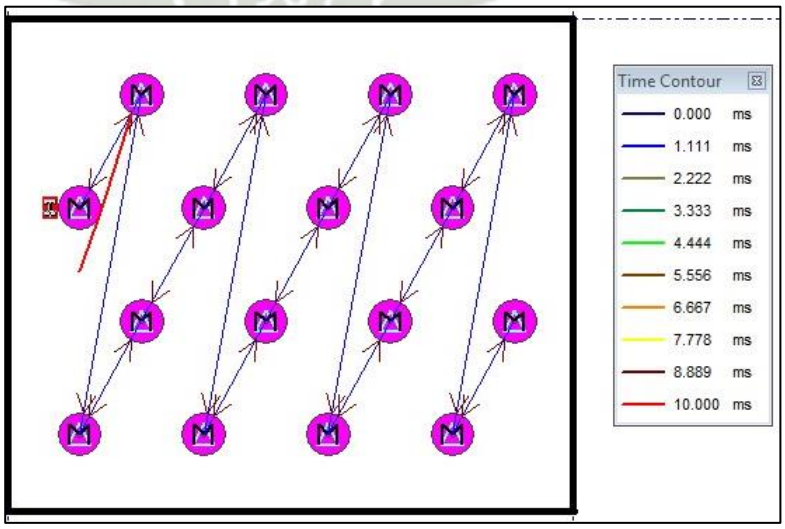
Figura 55. Elección de accesorios y primado de carga



Nota: Datos calculados y colocados en el simulador (Ejemplo de malla de perforación utilizando el martillo neumático)

A.3. Amarre de taladros y simulación de voladura

Figura 56. Amarre de taladros



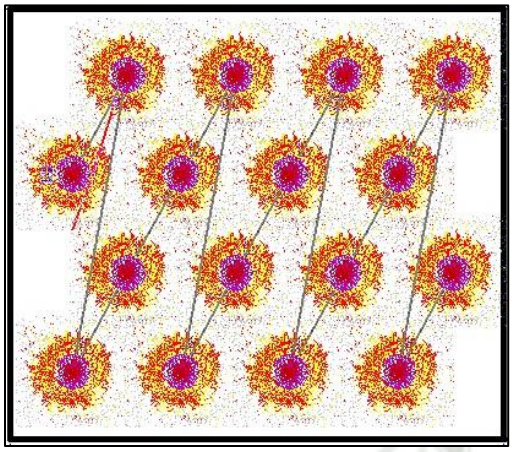
Nota: Datos de la malla de perforación del martillo neumático, punto de inicio del chispeo de disparo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

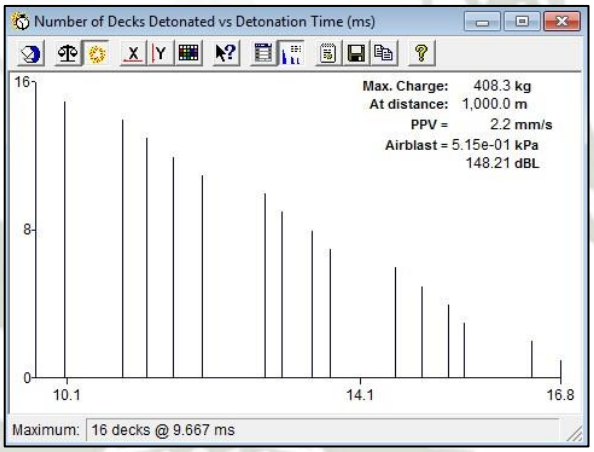
Figura 57. Inicio de voladura, de acuerdo con la secuencia de salida indicada



Nota: Voladura exitosa, la simulación demuestra que no hubo tiros cortados y la conexión entre taladros fue exitosa.

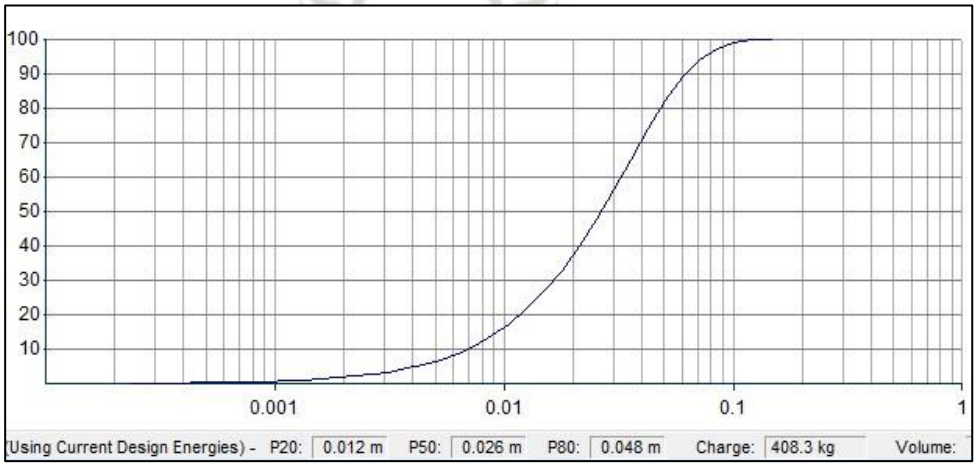
A.4. Carguío de taladros y simulación de voladura

Figura 58. Velocidad pico partícula y factor de carga



Nota: Datos de la malla de perforación del martillo neumático

Figura 59. Modelo de Kuz-Ram obtenido de la voladura (MALLA P80)

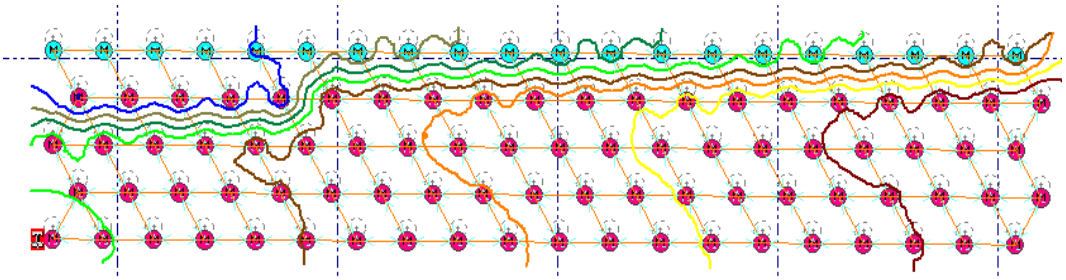
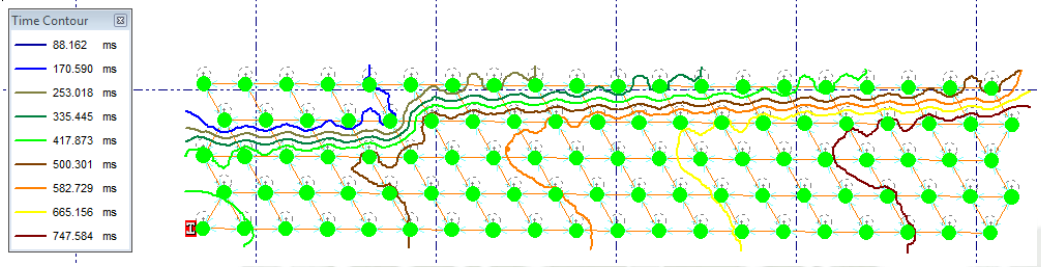
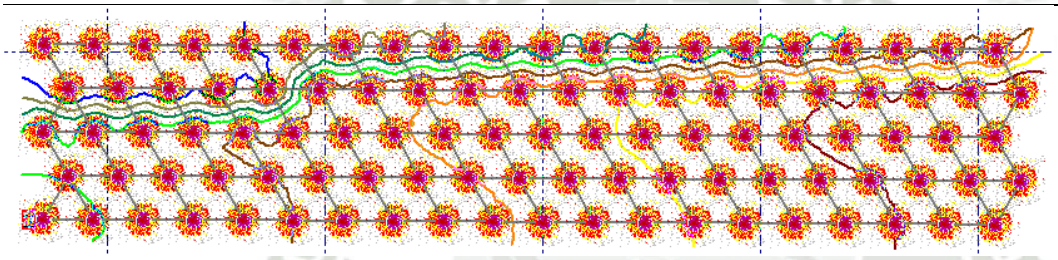
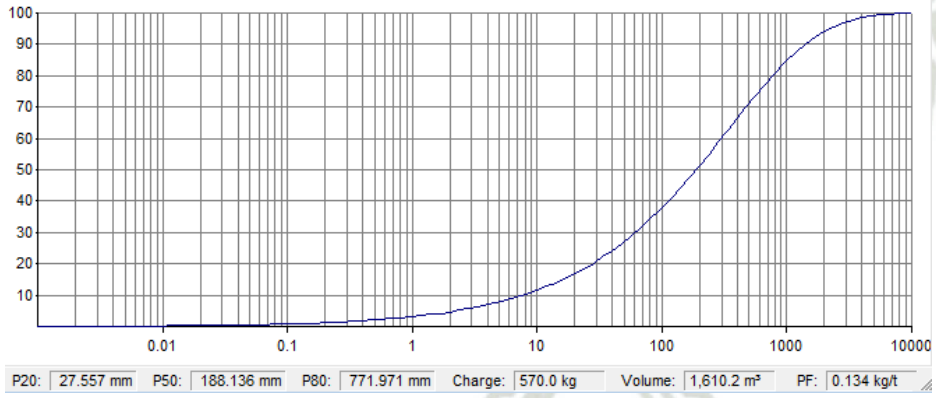
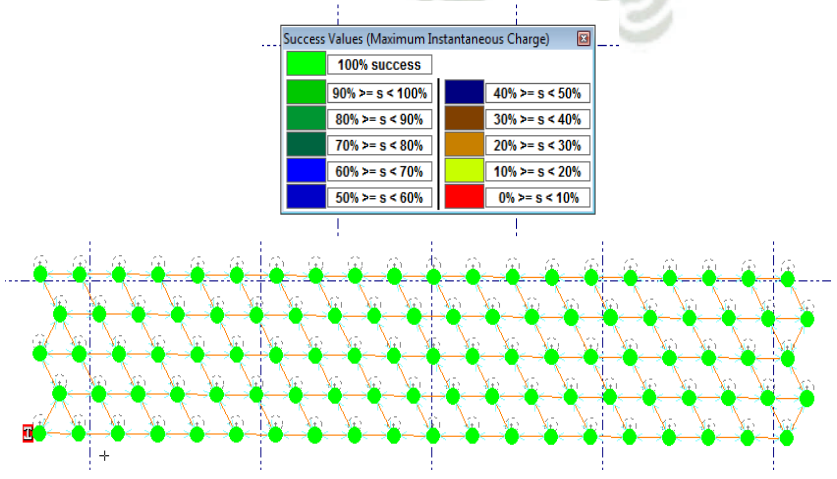


Nota: Datos de la malla de perforación del martillo neumático

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 20. Simulación de malla de perforación – ROCK DRILL

	**Taladros de precorte y producción cargados**
	**Estimación de tiempos, distribución de energía**
	**Detonación de taladros**
	**Fragmentación (Kuz – Ram)**
	**Voladura exitosa (evaluada por la escala de valores, donde el color verde indica el éxito de los valores al 100%)**

Nota: Figura 60, Figura 61, Figura 62, Figura 63, Figura 64, Figura 65

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3.8.4. Ciclo de producción

A. Planeamiento de perforación y voladura

A.1. Restricciones o limitaciones encontradas por frente

Para poder trabajar eficientemente, se requiere analizar las limitaciones con las que cuentan los frentes y por lo tanto las zonas de perforación para poder solucionarlas y así trabajar con un ritmo óptimo de producción de la mano con empresas de voladura involucradas en el proyecto. Para ellos las restricciones con las que cuentan las empresas son las siguientes:

Tabla 21. Restricciones de frentes del proyecto en el área de PERVOL

CORPORACIÓN GRUPO SUR DEL PERÚ S.A.	
ZP1: Prog. km. 7+520 a la 7+840	- Tiempo de demora de limpieza del área de voladura. - Condiciones del terreno (mayor abrasividad), lo cual afecta a la broca y hay inoperatividad de equipo, hasta que se cambie el accesorio. - Limitaciones en el uso de explosivos y accesorios de voladura, ya que se les obliga a las empresas a reducir el FC al no contar con suficientes insumos y accesorios en el polvorín.
SUMAJER INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN E.I.R.L.	
ZP2: Prog. km. 9+020 a la 9+300	- Abastecimiento de combustible de los equipos rock drill. - Tiempo de demora de limpieza del área de voladura. - Limitaciones en el uso de explosivos y accesorios de voladura.
CORPORACIÓN GRUPO SUR DEL PERÚ S.A.	
ZP4: Prog. km. 37+000 a la 38+000	- **Un solo equipo para todo el frente de Ayo.** - No se realiza a tiempo el desquinche de las zonas voladas. - Limitaciones en el uso de explosivos y accesorios de voladura.

Nota: En el caso del frente de Ayo, se cuentan con dos equipos rock drill, pero no siempre se cuenta con la operatividad de estos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

B. Programación de perforación, voladura y movimiento de tierras

Después de haber solucionado las restricciones en el proceso de perforación, se espera cumplir con el objetivo o las metas planteadas por el área de PERVOL, de acuerdo con las mallas de perforación enviadas por gabinete, cumpliendo así la programación mensual de metros cúbicos volados.

Tabla 22. Programación semanal del FRENTE DE AYO

Frente De Ayo – Empresa Responsable: CORPORACIÓN GRUPO SUR DEL PERÚ S.A.												
PROGRAMACIÓN SEMANAL (21/08/2023 - 27/08/2023)												
UBICACIÓN: PROG. KM. 7+600.00 - PROG.KM. 7+720.00												
Semana 33	**Lunes** 21/08/2023		**Martes** 22/08/2023		**Miércoles** 23/08/2023		**Jueves** 24/08/2023		**Viernes** 25/08/2023		**Sábado** 26/08/2023	**Domingo** 27/08/2023
Equipos de perforación	DX-680	DX-700	DX-680	DX-700	DX-680	DX-700	DX-680	DX-700	DX-680	DX-700	**Voladura**	
# Taladros (precorte)	15	15	30	30	20	25	20	25	20	25	**225**	
# Taladros (buffer)	8	9	40	40	6	6	6	6	6	6	**133**	**Limpieza del área volada**
# Taladros (producción)	16	16	30	30	10	10	10	10	10	10	**152**	
# Taladros total	39	40	100	100	36	41	36	41	36	41	**510**	
Altura de taladros (m):											6.3	
Malla - Burden*Espaciamiento (Buffer):									2		2	
Malla - Burden*Espaciamiento (Producción):									2.6		3	**Roca fija**
Volumen - Buffer (M3):											3,351.60	
Volumen - Producción (M3):											7,469.28	

Nota: Al ingeniero de producción se le pasa un cuadro resumen semanal de las metas para ir de la mano con las áreas correspondientes y que no haya ningún tipo de retraso.

C. Distribución de personal y equipos de perforación por frente

Se perforan 3 banquetas al día, utilizando 2 perforadoras rock drill y 4 martillos neumáticos (Empresa Tiesiju). Volando 15 mil metros cúbicos al mes (20 días de voladura) contando con un personal de piso de 10 personas. (por empresa de voladura supervisada y frente). Distribuidos de la siguiente manera:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 23. Distribución de personal y equipos por zona de perforación

Ítem	Descripción de la Actividad	Responsable por Frente	Und	Rend.	Met. Tot.	Equipos Requeridos		Personal Requerido			
						Descripción	Cant	Descr.	Cant	Descr.	Cant
02.01.03	**CORTE EN ROCA FIJA**										
						Frente de Andamayo					
	ZP1: Prog. km. 6+060 a la 7+400	China Tiesiju Civil Engineering Group	m^3	Actividades 220	2,750	Perforadora Neumática	01	Capataz	01	Ayudantes	03
						Compresora De Aire	01	Operarios	07		
	ZP2: Prog. km.9+040 a la 9+240	Sumajer Ingeniería y Construcción E.I.R.L	m^3	Actividades 500	7,250	Rock Drill - ROC F9C	01	Residente	01	Operarios	07
						Rock Drill - ECM 370	01	Capataz	01	Ayudantes	03
	ZP3: Prog. km. 9+520 a la 9+680	Sumajer Ingeniería y Construcción E.I.R.L	m^3	Actividades 500	8,000	Rock Drill - ROC F9C	01	Residente	01	Operarios	07
						Rock Drill - ECM 370	01	Capataz	01	Ayudantes	03
	ZP4: Prog. km. 9+680 a la 10+060	Kumbal Contratistas Generales S.R.L.	m^3	Actividades 220	2,750	Rock Drill -	01	Residente	01	Operarios	07
						Compresora De Aire	01	Capataz	01	Ayudantes	03
	ZP5: Prog. km. 12+140 a la 12+400	China Tiesiju Civil Engineering Group	m^3	Actividades 220	2,750	Perforadora Neumática	02	Capataz	01	Ayudantes	03
						Compresora De Aire	01	Operarios	07		
	Total, de m^3 volados por frente:					**23,500.00 m^3**					
						Frente De Ayo					
	ZP6: Prog. km. 37+000 a la 36+800	Corporación Grupo Sur del Perú S.A.C	m3	Actividades 500	8,000	Rock Drill - DX 680	01	Residente	01	Operarios	07
						Rock Drill – DX 700	01	Capataz	01	Ayudantes	03
	ZP7: Prog. km. 36+800 a la 36+500	China Tiesiju Civil Engineering Group	m3	Actividades 220	1,760	Perforadora Neumática	01	Capataz	01		
						Compresora De Aire	01	Ayudantes	03		
	Total, de m^3 volados por frente:					**9,760.00 m^3**					

Nota: Esta tabla se entrega al área de planeamiento cada día 20 de cada mes, el plan mensual de perforación y voladura y requerimiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

D. Movimiento de tierras

Esta actividad se encuentra a cargo de la empresa China Tiesiju. Por lo tanto, también las limpiezas de voladura, al día se realizan 15 viajes, ya que las excavadoras deben cortar 600 m^3/d y los volquetes deben botar 120 $m^{3/}$d. Los volquetes siguen las siguientes rutas:

- Frente de Andamayo: Zona de voladura (ZP1, ZP2 y ZP3) – Botadero (Prog. km. 6+000) / Zona de voladura (ZP4) – Botadero (Prog. km. 13+000)
- Frente de Andamayo: Zona de voladura (ZP5, ZP6 y ZP7) – Botadero (Prog. km. 39+000)

Tabla 24. Movimiento de tierras – JUNIO DE 2024 (Frente de Andamayo)

It	Código	Descr.	Marca	Modelo	Producción total (m^3)	Producción real (m^3)	Diferencia (m^3)
1	CV - 01	Volquete	Sitrak	ZZ3256	3,480.00	3,480.00	0.00
2	CV - 02	Volquete	Foton	BJ3259	3,480.00	3,480.00	0.00
3	CV - 03	Volquete	Volvo	FMX 6X4R	3,480.00	3,240.00	240.00
4	CV - 04	Volquete	Foton	BJ3259	3,480.00	3,480.00	0.00
5	CV - 06	Volquete	Scania	P420	3,480.00	3,480.00	0.00
6	CV - 10	Volquete	Sitrak	ZZ3256	3,480.00	3,480.00	0.00
7	EXO - 01	Excavadora	Caterpiller	336DL	17,400.00	14,440.00	2,560.00
10	EXO - 07	Excavadora	Cat	336 D2L	17,400.00	17,400.00	0.00
11	EXO - 08	Excavadora	Volvo	360	17,400.00	17,400.00	0.00
12	EXO - 09	Excavadora	Cat	320D	17,400.00	17,400.00	0.00
13	EXO - 10	Excavadora	Hyundai	380	17,400.00	17,400.00	0.00
14	EXO - 11	Excavadora	John Deere	350 GL	17,400.00	17,400.00	0.00

Nota: Cuadro elaborado por área de PLANEAMIENTO de la empresa China Tiesiju

Es decir, en una voladura con un volumen de 5,000 m^3 se requiere de 4 volquetes y 3 excavadoras, con un total de 20 horas de carguío y acarreo. Mientras en una zona de perforación se realiza la limpieza de la voladura, en otra zona se realiza la perforación. Y así sucesivamente hasta llegar al ras de la trocha.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Se requiere saber de la disponibilidad de los equipos y de la capacidad para programar adecuadamente la producción mensual de roca fija que entregará el área de PERVOL.

3.3.8.5. Costos y gastos del área de PERVOL

Los costos son entregados por el área de administración y PERVOL. Existe una mejoría en el tema de la compra de accesorios de perforación y en el uso de explosivos y accesorios de voladura, debido a que ya se cuenta con un adecuado factor de carga.

Tabla 25. Costos finales en el área de Pervol

MES DE FEBRERO 2024 - DESCUENTOS - EMPRESAS PERVOL	PROYECTO:	OBRA: "Construcción de la Carretera Ayo Andamayo (Prog Km 0+000 a la Prog Km 46+249) Distritos de Aplao y Ayo, Provincia de Castilla, Arequipa" (SEACE, 2021)
	ÁREA:	PERVOL

	P. UNIT.	TIESIJU	KUMBAL	SUMAJER	TOTAL
COSTOS FIJOS - MANO DE OBRA MÁS PRESTACIONES					
MANO DE OBRA	-	S/ 43,415.62	-	-	S/ 43,415.62
MOD DE CHINA TIESIJU A SUB-CONTRATISTA	-	-	S/ 9,786.00	-	S/ 9,786.00
ESSALUD/SCTR/VIDALEY/ESSALUD + VIDA/FONDO DE CAPACITACIÓN	-	S/ 1,890.96	S/ 2,659.74	-	S/ 4,550.70
ALIMENTACIÓN	-	S/ 1,260.00	S/ 3,031.35	-	S/ 4,291.35
MOD		***S/ 46,566.58***	***S/ 15,477.09***		***S/ 62,043.67***
COSTOS FIJOS - HERRAMIENTAS ESPECIALES DE PERFORACIÓN					
BARRENO INTEGRAL 3PIES BOART LONGYEAR	**S/ 383.85**	S/ 76.77	S/ 307.08	-	S/ 383.85
BARRENO INTEGRAL 5PIES BOART LONGYEAR	**S/ 430.05**	S/ 86.01	S/ 344.04	-	S/ 430.05
BARRENO INTEGRAL 8PIES BOART LONGYEAR	**S/ 524.37**	S/ 104.87	S/ 419.50	-	S/ 524.37
BARRENO INTEGRAL 10PIES BOART LONGYEAR	**S/ 758.45**	S/ 151.69	S/ 606.76	-	S/ 758.45
MANGUERA POLIETILENO HDPE 2"	**S/ 139.83**	S/ 27.97	S/ 111.86	-	S/ 139.83
BROCA RETRACTIL T38 X 2 1/2"	**S/ 395.20**	S/ 79.04	S/ 316.16	-	S/ 395.20
ACCESORIOS DE PERFORACIÓN		***S/ 526.35***	***S/ 2,105.39***		***S/ 2,631.74***
COSTOS VARIABLES – EMR					
EXPLOSIVO Y MATERIALES RELACIONADOS (EMR)		***S/ 2,019.20***	***S/ 22,983.04***	***S/ 79,525.36***	***S/ 104,527.60***
GASTOS VARIABLES - COMBUSTIBLE (DEPENDE DEL VOLUMEN DE PRODUCCIÓN)					
COMBUSTIBLE EQUIPOS VARIOS	**S/ 16.60**	-	S/ 6,812.64	S/ 34,514.72	S/ 41,327.36
COMBUSTIBLE COMPRESORA APP879208	**S/ 16.60**	S/ 896.40	S/ 1,344.60	-	S/ 2,241.00
COMBUSTIBLE COMPRESORA APP879207	**S/ 16.600**	S/ 1,560.40	S/ 2,340.60	-	S/ 3,901.00
COMBUSTIBLE		**S/ 2,456.80**	**S/ 10,497.84**	**S/ 34,514.72**	**S/ 47,469.36**
TOTAL		**S/ 51,568.93**	**S/ 51,063.36**	**S/ 114,040.08**	**S/ 216,672.37**

Nota: Datos del consumo de explosivos, ejemplo en el ANEXO N°06, formato propuesto por el área de administración y PERVOL.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. RESULTADOS

4.1. Comparación de parámetros de perforación y voladura

Tabla 26. Parámetros geométricos – Perforadora neumática

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN – MARTILLOS NEUMÁTICOS							
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**PA**	**PM**	**BA**	**BM**	**PRA**	**PRM**
Diámetro taladro	pulg.	2	2	-	2	-	2
Burden	m.	1.50	1.30	-	1.20	-	0
Espaciamiento	m.	1.50	1.50	-	1.40	-	7.70
Altura de banco	m.	3.00	3.00	-	3.00	-	3.00
Inclinación	°	90	90	-	90	-	83
Longitud de taladro	m.	3.00	3.00	-	3.00	-	3.00

Nota: Cuadro resumen de cálculos obtenidos; donde: P = Producción, B = Buffer, PR = Precorte; A = Anterior, M = Modificado

Tabla 27. Parámetros geométricos – Rock drill

PARÁMETROS DE PERFORACIÓN – ROCK DRILL							
DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**PA**	**PM**	**BA**	**BM**	**PRA**	**PRM**
Diámetro taladro	pulg.	3.00	3.00	-	2.00	2.00	2.00
Burden	m.	3.50	2.20	-	2.10	0	0
Espaciamiento	m.	4.00	2.50	-	2.30	5.00	2.60
Altura de banco	m.	3.00	3.00	-	3.00	3.00	3.00
Inclinación	°	90	90	-	90	83	83
Longitud de taladro	m.	3.00	3.00	-	3.00	3.00	3.00

Nota: Cuadro resumen de cálculos obtenidos; donde: P = Producción, B = Buffer, PR = Precorte; A = Anterior, M = Modificado

Tabla 28. Factor de carga

DESCRIPCIÓN	**UNIDAD**	**PA**	**PM**	**BA**	**BM**	**PRA**	**PRM**
FC – P. Neumática	kg/m^3	0.50	0.70	-	0.47	-	0.30
FC – Rock drill	kg/m^3	0.60	0.54	-	0.25	0.50	0.40

Nota: Cuadro resumen de cálculos obtenidos; donde: P = Producción, B = Buffer, PR = Precorte; A = Anterior, M = Modificado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

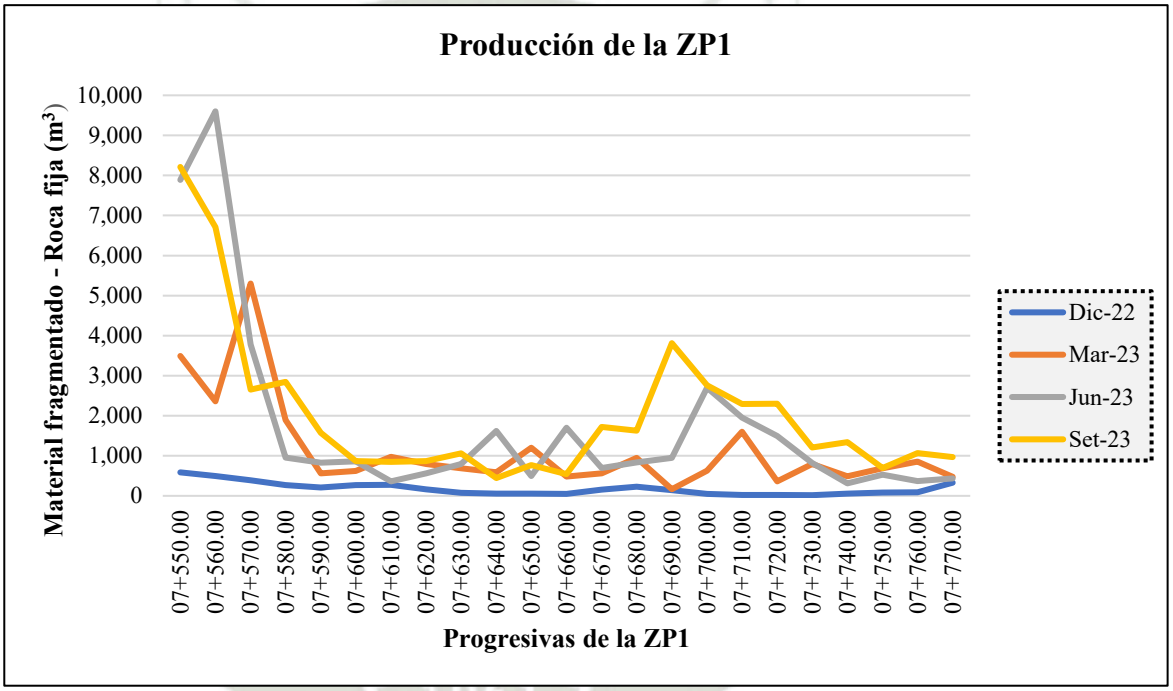
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2. Análisis de datos

4.2.1. Producción de roca fija

Se elaboraron los siguientes gráficos a partir de los datos recaudados por el área de Metrados y Valorizaciones del proyecto de la "Carretera Ayo – Andamayo" (Anexo N° 08) comparando así la producción obtenida utilizando los nuevos parámetros de perforación resultantes de usar el modelo matemático de "Langefors & Kihlstrom".

Figura 66. Producción de la ZP1 – Frente de Andamayo



Nota: La leyenda toma en cuenta los trimestres donde se ejecutaban los procesos de PERVOL y el material fragmentado de roca fija.

- **Interpretación de datos**

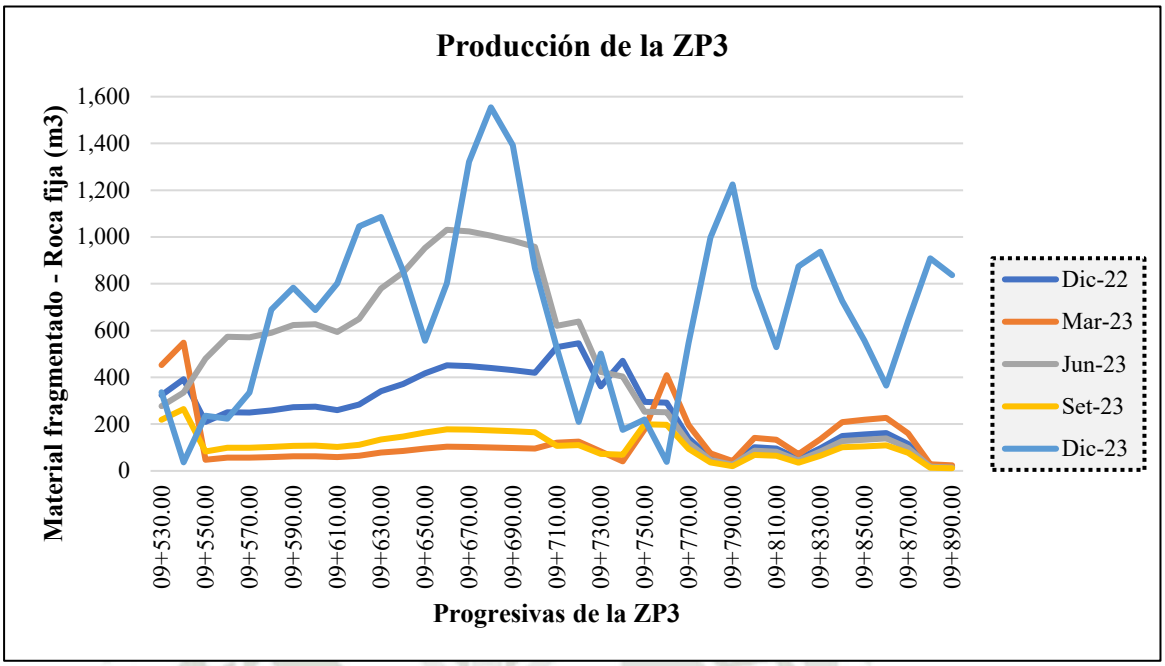
En la zona de perforación 1, evaluando desde la PROG. KM 7+550.00 hasta la PROG. KM. 7+770.00, se perforaron hasta el mes de diciembre del año 2022, un total de 4,068.27 m^3 de roca fija, mientras que en los siguientes trimestres esta suma aumentó progresivamente (26,511.73 m^3; 40,545.23 m^3 y 47,191.62 m^3) debido a que se utilizaron los cálculos adecuados para la malla de perforación, el factor de carga necesario y se eliminaron las restricciones que ralentizaban la producción. Acabando de perforar y volar esta zona, en el mes0 de setiembre del 2023, con un total de 118,316.85 m^3 de roca fija.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 67. Producción de la ZP3



Nota: La leyenda toma en cuenta los trimestres donde se ejecutaban los procesos de PERVOL y el material fragmentado de roca fija.

- **Interpretación de datos**

En la zona de perforación 3, evaluando desde la PROG. KM 9+530.00 hasta la PROG. KM. 9+800.00, se perforaron y volaron hasta diciembre del 2022, un total de 8,911.34 m^3 de roca fija (volumen obtenido de 12 voladuras, mientras que en los siguientes trimestres se observa que las cifras aumentan y disminuyen (3,639.25 m^3; 15,770.76 m^3; 3,576.85 m^3 y 18,834.17 m^3), debido a que hay progresivas que son parte de los "Caminos del Inca" y para poder trabajar en estas zonas se necesita contar con los CIRAS (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos en la Superficie", una vez obtenido este permiso, se puede tramitar con la Supervisión del proyecto una Autorización de trabajo y se procede finalmente a realizar cualquier actividad, ya sea movimiento de tierras o corte de roca fija o suelta.

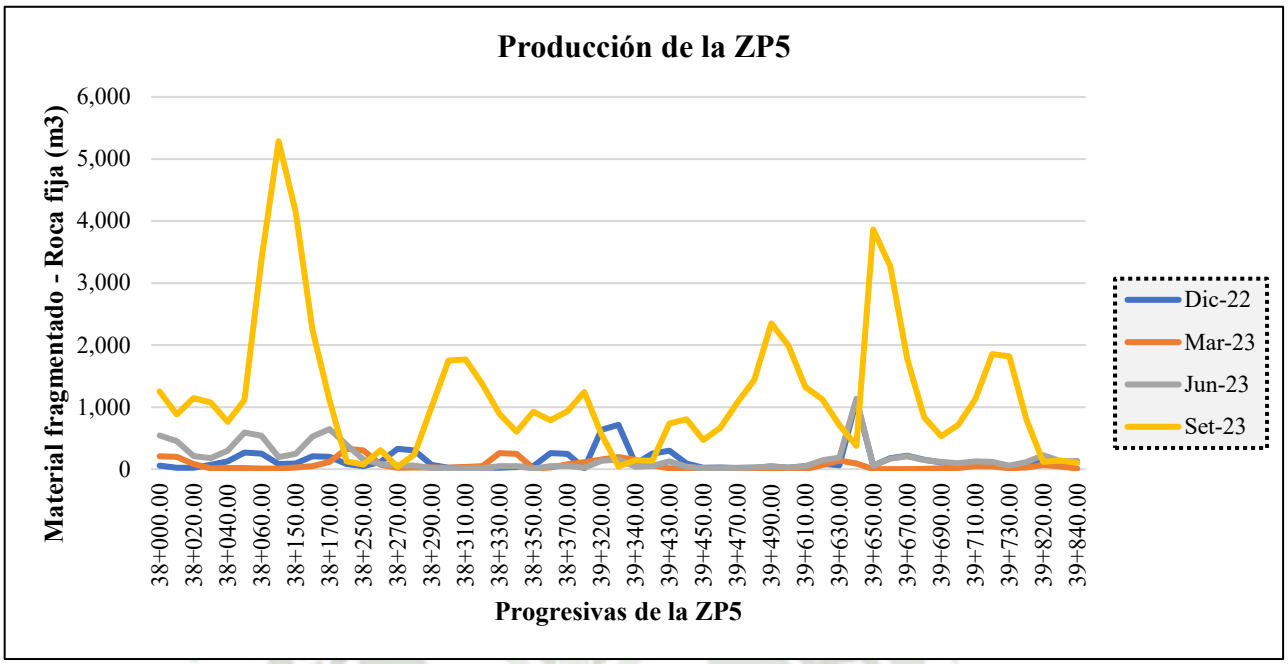
Es decir, cuando se ejecutaba continuamente, se aprecia que la producción es acorde a la implementación de las alternativas de solución propuestas.

La zona de perforación evaluada (ZP3) se acabó de perforar y volar en el mes de diciembre del 2023, con un total de 50,732.37 m^3 de roca fija.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 68. Producción de la ZP5



Nota: La leyenda toma en cuenta los trimestres donde se ejecutaban los procesos de PERVOL y el material fragmentado de roca fija.

- **Interpretación de datos**

  En la zona de perforación 5, evaluando desde la PROG. KM 38+000.00 hasta la PROG. KM. 39+840.00, se perforaron y volaron hasta diciembre del 2022, un total de 8,065.51 m^3 de roca fija, mientras que en los siguientes trimestres se observa que las cifras disminuyen y aumenten (3,610.30 m^3; 9,360.95 m^3; 65,368.52 m^3), debido a que hay progresivas que son "Caminos del Inca" y para poder trabajar en estas zonas se necesita contar con los CIRAS (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos en la Superficie", una vez obtenido este permiso, recién se puede trabajar o se puede realizar cualquier actividad. Es decir, cuando las labores se ejecutaban con normalidad, se lograba apreciar que la producción era y es acorde a la implementación de las alternativas de solución propuestas.

  La zona de perforación evaluada (ZP5), se acabó de perforar y volar en el mes setiembre del 2023, con un total de 86,405.28 m^3 de roca fija.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

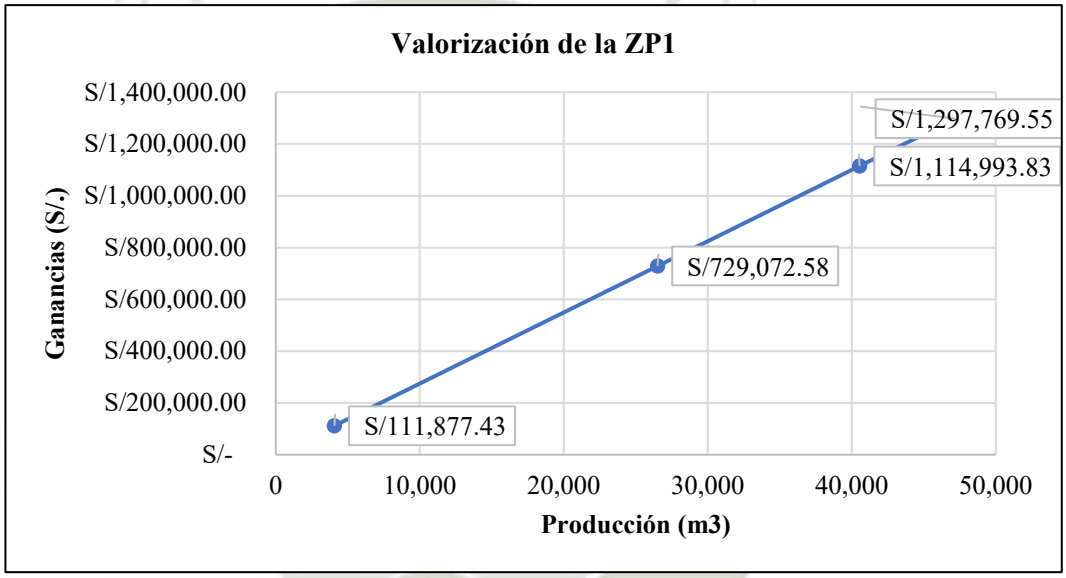
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2.2. Valorización de las zonas de perforación evaluadas

Se evalúa la valorización de las siguientes zonas de perforación, debido a que se puede comparar las medidas que se utilizaban antes y los nuevos parámetros y recomendaciones implementadas a las mismas. La valorización está a cargo del área de Valorizaciones y Metrados, donde el metro cúbico de roca fija está valorizado en S/. 27.50, según la municipalidad provincial de Castilla.

Figura 69. Valorización de la ZP1



Nota: Se está considerando el IGV al 18%.

- **Interpretación de datos**

  En la zona de perforación 1, evaluando desde la PROG. KM 7+550.00 hasta la PROG. KM. 7+770.00, se valorizó hasta el mes de diciembre del 2022 un total de S/. 111,877.50 y para los siguientes trimestres se observa que las cifras aumentan (S/. 729,072.60, S/. 1,114,993.80 y S/. 1,297,769.60), debido a que se aumentó la producción de roca fija, y los protocolos de voladura se ejecutaron exitosamente (malla de perforación y carguío de taladros adecuados) y eliminando las restricciones existentes en esta zona de perforación.

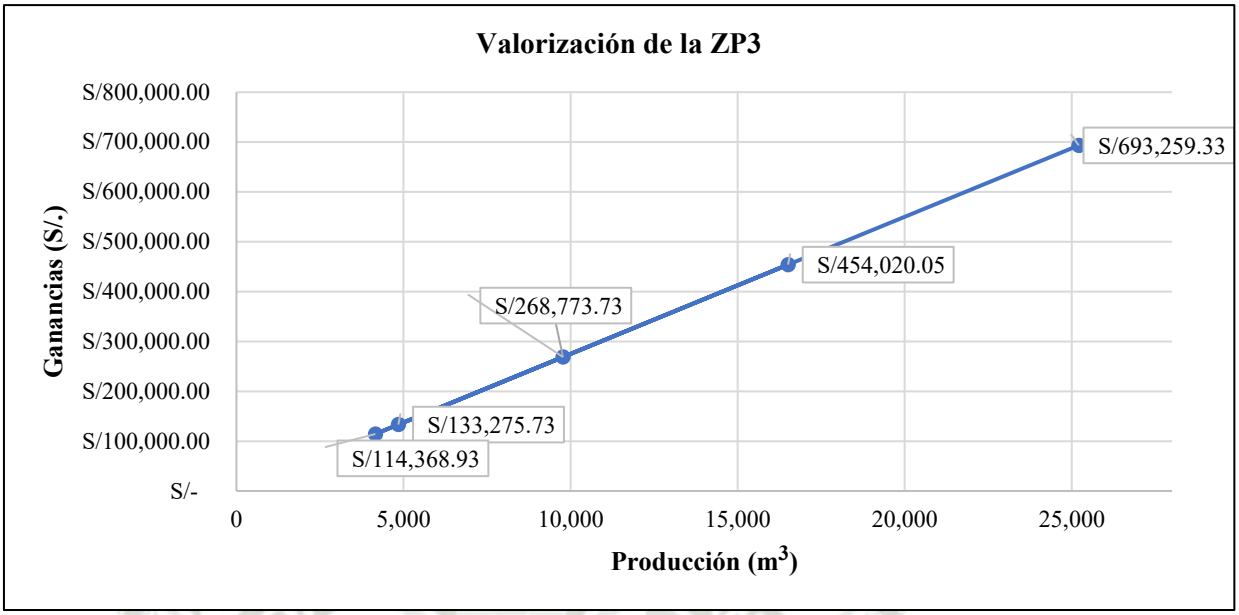
  Valorizando un total de S/. 4,253,718.50.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 70. Valorización de la ZP3



Nota: Se está considerando el IGV (18%).

- **Interpretación de datos**

En la zona de perforación 3, evaluando desde la PROG. KM 9+530.00 hasta la PROG. KM. 9+800.00, se valorizaron hasta diciembre del 2022, un total de S/. 268,773.70 y para los siguientes trimestres se observa que las cifras aumentan y disminuyen (S/. 133,275.70, S/. 454,020.10, S/. 114,368.90 y S/. 693,259.30), debido a que se aumentó la producción de roca fija y los protocolos de voladura fueron ejecutados exitosamente (malla de perforación y carguío de taladros adecuados), logrando eliminar las restricciones existentes en esta zona de perforación.

Entre las restricciones que se solucionaron; se encuentra:

- **Abastecimiento de polvorín:** El requerimiento de explosivos es cada dos meses y se reestablece los insumos y los accesorios un mes antes del término de estos.
- **CIRAS:** Hay dos tramos dentro de esta zona de perforación que están en los Caminos del Inca, y el arqueólogo se encargó de realizar el CIRAS para poder trabajar (excavación en roca fija, suelta y material suelto) con normalidad en esta zona.

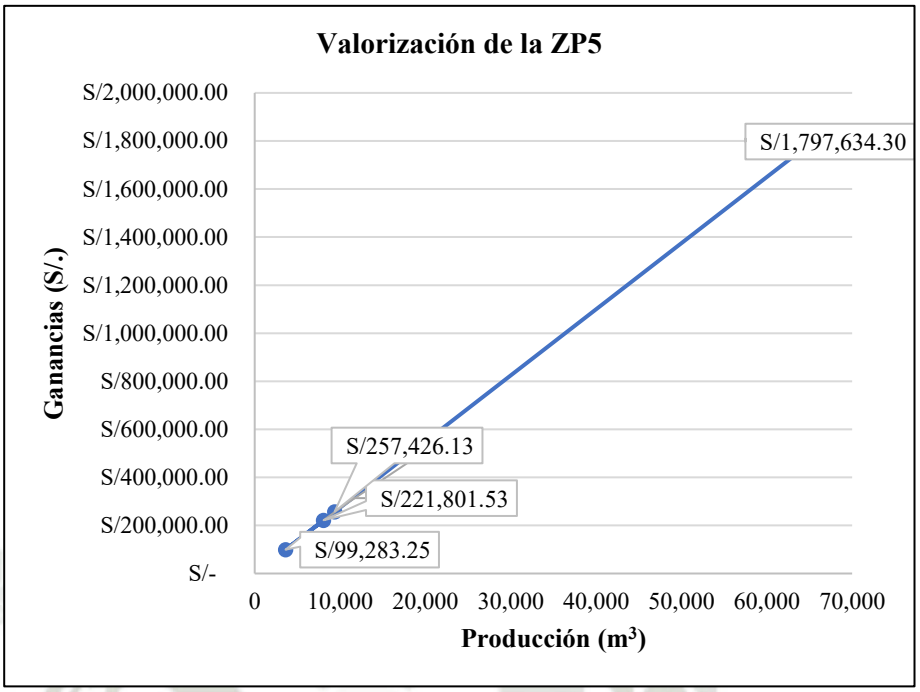
Valorizando un total de S/. 1,663,697.70.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 71. Valorización de la ZP5



Nota: Se está considerando el IGV (18%).

- **Interpretación de datos**

En la zona de perforación 5, evaluando desde la PROG. KM 38+000.00 hasta la PROG. KM. 39+840.00, se valorizaron hasta diciembre del 2022, un total de S/. 221,801.50 y para los siguientes trimestres se observa que las cifras aumentan (S/. 99,283.30, S/. 257,426.10 y S/. 1,797,634.30), debido a que se aumentó la producción de roca, ejecutando así los protocolos de voladura de manera exitosa (malla de perforación y carguío de taladros adecuados), logrando eliminar las restricciones existentes en esta zona de perforación.

Entre las restricciones que se solucionaron; se encuentra:

- **Aumento de equipos de perforación y mantenimiento predictivo:** Solo se contaba con un equipo de perforación (rock drill) operativo; por lo tanto, se solicitó a la empresa de Grupo Sur, que trabaja en el frente de Ayo, el aumento de otro equipo operativo, aparte de los dos equipos, mientras se realizaba el mantenimiento respectivo al equipo inoperativo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Abastecimiento de polvorín:** El requerimiento de explosivos es cada dos meses y se reestablece los insumos y los accesorios un mes antes del término de estos.
- **CIRAS:** Hay dos tramos dentro de esta zona de perforación que están en los Caminos del Inca, y el especialista de arqueología se encargó de realizar el CIRAS para poder trabajar (excavación en roca fija, suelta y material suelto) con normalidad en esta zona.

Valorizando un total de S/. 2,376,145.20.

4.3. Resultados de la implementación

Finalmente, por efectuar dichos cambios es que se logró incrementar una producción mensual de aproximadamente 21 mil metros cúbicos de roca fija entre ambos frentes a 50 mil metros cúbicos, obteniendo una ganancia de S/.426,066.60, es decir S/.252,444.60 de lo que ya se obtenía normalmente.

Hay que tomar en cuenta que se le paga a las empresas contratistas S/.15.50 por el metro cúbico de roca fija y la empresa de China Tiesiju, valoriza S/. 27.50 por metro cúbico de roca.

Ingreso – Gastos = Ganancia

S/.578,740.30 – S/.405,118.20 = S/.173,622.10

S/.1,420,222.10 – S/.994,155.50 = S/.426,066.60

Aumentando así las ganancias a un 245.40%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

PRIMERA: Se examinaron los distintos factores y variables, que se requirieron para calcular correctamente los parámetros geométricos de la malla de perforación.

- **Factores:**
  - **La geometría de la excavación a realizar, con definición en planta y en alzados:** Se detallan en las tablas N° 26 y N° 27, los parámetros de perforación implementados. Datos enviados a gabinete.
  - **La altura de banqueta:** De 3 a 12 m, dependiendo del RQD del macizo rocoso presente en la zona de perforación.
  - **El diámetro de perforación:** Se requiere de diámetros de perforación para los martillos neumáticos (1 1/8" a 2") y los rock drill (3 pulgadas).
- **Variables:**
  - **Las propiedades geomecánicas de la roca:** Todas las propiedades y/o datos utilizados fueron obtenidos del expediente técnico del proyecto vial de la carretera Ayo - Andamayo y constatados en campo por el especialista geólogo de la empresa.
  - **El burden, espaciamiento, taco, la longitud de perforación:** Se detallan en las tablas N° 26 y N° 27, los parámetros de perforación implementados. Para el cálculo de estos datos se requirió utilizar el modelo matemático de Langefors & Kihlstrom.
  - **La inclinación de los barrenos o taladros:** El ángulo de perforación utilizado en el proyecto es de 90° debido a que no genera sobrecostos en la inclinación innecesaria y para que el carguío de taladros sea efectivo.

Se evidencian que se ejecutaron los datos calculados, la perforación y el carguío de taladros en las fotos localizados ANEXO 01.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SEGUNDA: Se obtuvo el factor de carga adecuado para las zonas o progresivas donde se realiza la perforación y posterior a ello la voladura, reduciendo asi los costos implicados a este factor y la proyección de la roca resultado de la detonación de los taladros.

- Es importante también supervisar que se cumpla con respetar el factor de carga indicado por gabinete, para que se cumpla lo enviado en campo. Es por ello por lo que el día de la voladura, se entrega en polvorín el material requerido y calculado para los taladros perforados, se supervisa el carguío de taladros y se constata la efectividad de la voladura, por medio del levantamiento topográfico después de la limpieza de voladura.
- Ya no existen bolones, ni proyecciones de rocas que perjudicaban el río y la actividad económica de la pesca.
- No se perturba la estabilidad del talud, en el caso del frente de Ayo, que contaba con un RQD alto o POBRE y tener un factor de carga elevado generaba riesgos en la seguridad del personal y sobrecosto innecesario para fracturar el macizo rocoso presente.

Tabla N°28: "Factor de carga"

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PA	PM	BA	BM	PRA	PRM
FC – P. Neumática	kg/m^3	0.50	0.70	-	0.47	-	0.30
FC – Rock drill	kg/m^3	0.60	0.54	-	0.25	0.50	0.40

Nota: Cuadro resumen de cálculos obtenidos. Tabla de la página 81.

Se evidencian en el Anexo 05: Facturas de compra de insumos y accesorios de voladura y en el Anexo 06: Suministro de explosivos, la cantidad de explosivo utilizado por empresa.

Se realizaron un total de 348 voladuras desde el mes de JUNIO del año 2022 hasta el mes de JUNIO del año 2025, con un total de 6 requerimientos extensos, de explosivos para el material volado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

TERCERA: Se determinó efectivamente en el plan mensual de PERVOL (perforación y voladura) los costes necesarios para la correcta distribución de los insumos, equipos, cuadrillas de trabajo que están destinados al área.

- Se detalla en los costos fijos de cada empresa, los costos y gastos variables, la disminución de estos y por la tanto la inversión realizada es menor y la ganancia obtenida es mayor a diferencia de los primeros meses en los que se realizaron las actividades de perforación y voladura (junio, julio, agosto del año 2022) a los últimos años (2023, 2024 y 2025)
- Finalmente, por efectuar dichos cambios es que se logró incrementar una producción mensual de aproximadamente 21 mil metros cúbicos de roca fija entre ambos frentes a 50 mil metros cúbicos, obteniendo una ganancia de S/.426,066.60, es decir S/.252,444.60 de lo que ya se obtenía normalmente.

Hay que tomar en cuenta que se les paga a las empresas contratistas S/.15.50 por el metro cúbico de roca fija y la empresa de China Tiesiju, valoriza S/. 27.50 por metro cúbico de roca.

Ingreso – Gastos = Ganancia

S/.578,740.30 – S/.405,118.20 = S/.173,622.10

S/.1,420,222.10 – S/.994,155.50 = S/.426,066.60

Aumentando así las ganancias a un 245.40%

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CUARTA: Se incrementaron las ganancias en el flujo de caja obtenido mensualmente de la empresa por medio de un mejor rendimiento de metros cúbicos de roca fija.

OBRA:	Construcción de la Carretera Ayo Andamayo (Prog Km 0+000 a Prog Km 46+249) Distritos de Aplao y Ayo, Provincia de Castilla, Arequipa.
ENTIDAD:	Municipalidad Provincial de Castilla - MTC
CONTRATISTA:	China Tiesiju Civil Engineering Group Co. Ltd. Sucursal del Perú
SUPERVISOR:	Acruta & Tapia Ingenieros S.A.C.
FECHA:	Mayo – 2025
ITEM:	02.01.01 Metrado de Movimiento De Tierra - Avance Mensual

- La municipalidad provincial de Castilla se encarga de la valorización a la empresa China Tiesiju, una vez aprobado por la Supervisión Acruta & Tapia Ingenieros S.A.C, todos los documentos entregados por cada área (Metrados, Geología, Producción, Suelos, Calidad, SSOMA y residencia) y recopilados por el especialista de Valorizaciones y Metrados del Proyecto, el área de PERVOL se encuentra dentro del área de producción.
- Se detalla en los siguientes anexos los costos y gastos efectuados por la empresa:
  - Anexo N° 05: "Facturas de compra de insumos y accesorios de voladura"
  - Anexo N° 06: "Suministro de explosivos 炸药供应"
  - Anexo N° 07: "Resumen de metrados mensuales valorizados (Mes de Marzo-2025)"
  - Anexo N° 08: "Resumen de metros cúbicos volados de roca fija"
- Asimismo, se hace una comparación de las valorizaciones (Gráfico N°4, N°5 y N°6) del trimestre anterior sin las medidas adecuadas y de los trimestres posteriores con todas las medidas necesarias para obtener una mayor ganancia por este ítem.

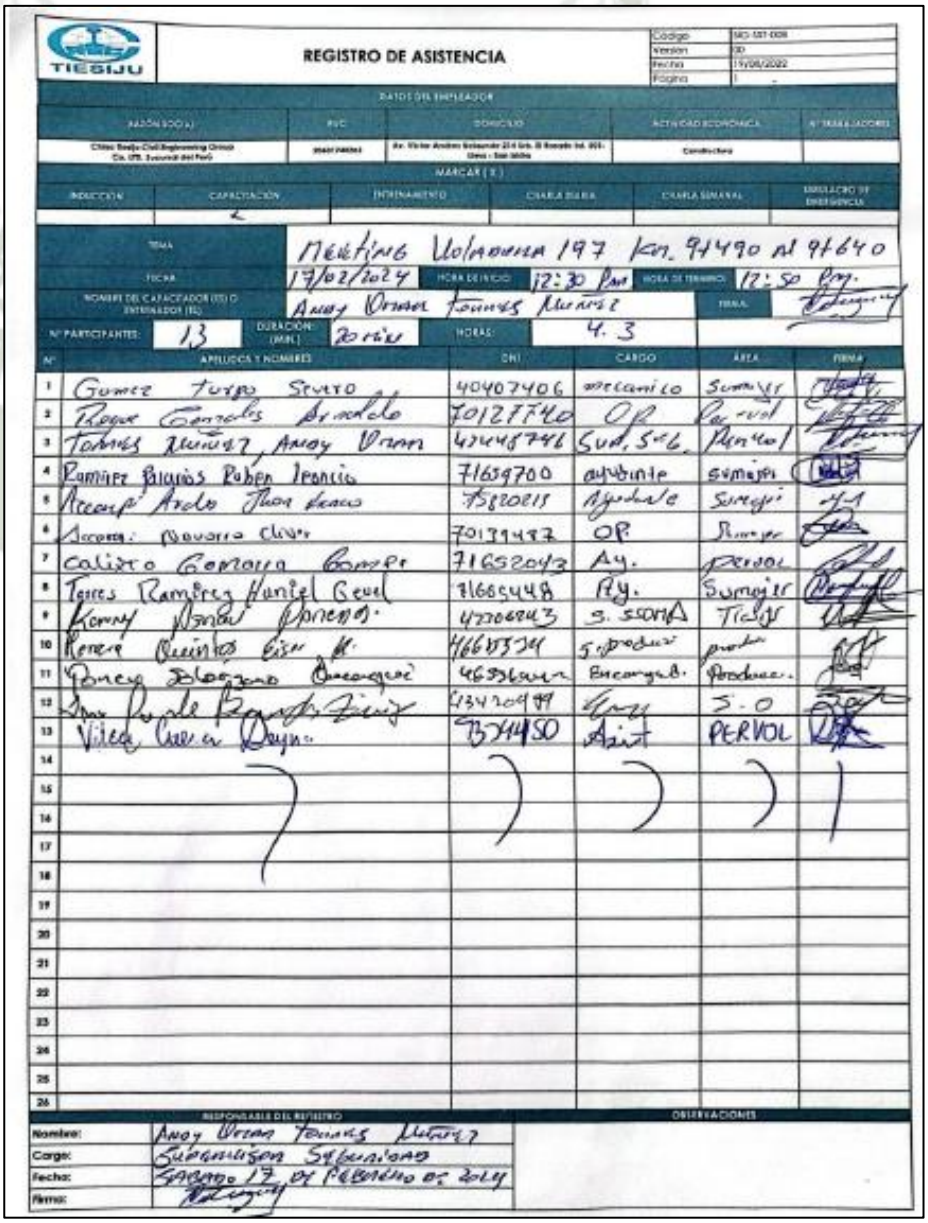
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

QUINTA: Se capacitaron a las empresas encargadas de realizar la perforación y voladura según la planificación entregada y el diseño de malla entregado, teniendo una supervisión constante de los procedimientos que se ejecutaron para no tener ningún error en campo, incidente o accidente, se anexa uno de los registros de asistencia donde se evidencia, las charlas, meeting y capacitaciones constantes, además de las fotos incluidas en ANEXO 01.

MEETING DE VOLADURA 197



TIESIJU

REGISTRO DE ASISTENCIA

Código	SIG-SST-009
Versión	00
Fecha	19/08/2022
Página	1 de 1

DATOS DEL EMPLEADOR

RAZÓN SOCIAL	RUC	DOMICILIO	ACTIVIDAD ECONÓMICA	N° TRABAJADORES
Chino Tiesiju Civil Engineering Group Co. LTD. Sucursal del Perú	[illegible]	Av. Víctor Andrés Belaunde 214 Urb. El Rosario Int. 401 - Lima - San Isidro	Constructora	

MARCAR (X)

INDUCCIÓN	CAPACITACIÓN	ENTRENAMIENTO	CHARLA DIARIA	CHARLA SEMANAL	SIMULACRO DE EMERGENCIA
	X				

TEMA	Meeting Voladura 197 Km. 91490 al 91640				
FECHA	17/02/2024	HORA DE INICIO	12:30 Pm	HORA DE TÉRMINO	12:50 Pm.
NOMBRE DEL CAPACITADOR (ES) O ENTRENADOR (ES)	Andy Orman Tomas Munoz			FIRMA	
N° PARTICIPANTES	13	DURACIÓN (MIN.)	20 min	HORAS	4.3

N°	APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CARGO	ÁREA	FIRMA
1	Gomez Turpo Silvio	40407406	mecanico	Sumayr	
2	Roque Gonzales Arnaldo	70127740	OP	Perfol	
3	Tomas Munoz, Andy Orman	42648746	Sup. SSO	Perfol	
4	Ramirez Palacios Ruben Ignacio	71639700	ayudante	Sumayr	
5	Arcos Ardo Juan Jesus	75820215	Ayudante	Sumayr	
6	Socosa Navarro Cesar	70139487	OP	Sumayr	
7	Calixto Gonzalo Gomez	71652043	Ay.	Perfol	
8	Torres Ramirez Haniel Geul	71665448	Ay.	Sumayr	
9	Kenny Nanbo Ipanaqué	47206843	S. SSOMA	Tiesiju	
10	Romero Quintos Elsi M.	46677334	S. produc	produc	
11	Ipanaqué Blogeno Buenaventura	46956444	Encargado	Produc.	
12	Jose Pedro Bazan Ibañez	42342099	Geol	S.O	
13	Vilca Cruz Edgar	73744150	Asist	PERFOL	
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					

RESPONSABLE DEL REGISTRO		OBSERVACIONES
Nombre:	Andy Orman Tomas Munoz	
Cargo:	Supervisor SSOMA	
Fecha:	Sabado 17 de Febrero de 2024	
Firma:		

Nota: Se anexaron las Figuras donde se evidencia la constante supervisión, charlas y demás capacitaciones brindadas a las empresas de perforación y voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

PRIMERA: El área de arqueología debe estar al día con los CIRAS (Certificado de Inexistencia de Restos Arqueológicos en la Superficie) para asi no presentar tiempos muertos en las zonas de perforación y afectar con ello la producción de roca fija y roca suelta.

SEGUNDA: Se requiere hacer una lista de restricciones en cada zona de perforación y presentarlas en las reuniones de especialistas del proyecto. Para que todas las áreas involucradas con la producción cumplamos efectivamente nuestra labor.

TERCERA: Se requiere de la compra solicitada (INSUMOS Y ACCESORIOS DE VOLADURA), según sea el caso, y calculada por el área de PERVOL, para poder volar eficientemente los volúmenes correspondientes.

CUARTA: Realizar un desquinche o desate de rocas si es necesario después de la voladura, para cuidar la integridad y seguridad del personal de piso y operarios.

QUINTA: Los equipos de perforación deben contar con los mantenimientos requeridos para no ocasionar ningún tiempo muerto por falla en maquinarias, o ningún incidente o accidente.

SEXTA: Los equipos de perforación deben tener repuestos a la mano, para no ocasionar tiempos muertos por la falta de ellos.

SÉPTIMA: Brindar charlas de capacitación también a los pobladores de la zona y pescadores, respecto a cómo es el proceso de perforación y voladura.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Atlas Copco. (2024). *Perforadora neumática*. Martillo Neumático. https://www.atlascopco.com/es-pe/construction-equipment/products/handheld/rock-drills/pneumatic-surface-drills

Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2022). *Perforación y voladura de rocas en minería*. https://oa.upm.es/21848/

Centro Tecnológico de Voladura EXSA S.A. (2022). Manual práctico de voladura. *Exsa*, *01*, 335.https://nueva.voladurascontroladas.com/wpcontent/uploads/2022/10/MANUAL_PRACTICO_DE_VOLADURAS.pdf

Chavez León, L. A. (2021). *"Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja"* [Universidad Mayor de San Marcos]. https://es.scribd.com/document/347745311/NL

Datageo. (2025). *2D Bench - JK Simblast*. Simuladores de Voladura. https://datageo.pe/jksimblast/

Espinoza Huaraca, E. A., & Benites Quispecahuana, L. A. (2020). Determinar la relación entre perforación, voladura, especificaciones técnicas y los costos unitarios en las partidas de movimiento de tierras a nivel de roca fija para carreteras [Universidad Ricardo Palma]. In *01*. https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/f577c6b0-c968-4c37-9c2b-7eee85bbfc60/content

Exsa S.A. (2021). Manual Práctico de Voladura. In *Exsa* (5ta Edició, Vol. 5, Issue 1). https://doi.org/10.1186/s12889-021-12260-z%250Ahttps://doi.org/10.1186/s12889-022-13062-7%250Ahttps://doi.org/10.1016/j.cegh.2021.100907%250Ahttp://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jnursing%250Ahttps://ejurnal.poltekkes-tjk.ac.id/index.php/JKEP/article/v

Famesa Explosivos S.A.C. (2025). *Famesa*. https://www.famesaexplosivos.com/producto/

Famesa Explosivos S.A.C. (2023a). Ficha técnica de Anfo. *Famesa*, *03*(FT-019-PE/ES), 4. https://www.famesaexplosivos.com/producto/superfam-dos/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Famesa Explosivos S.A.C. (2023b). Ficha técnica de Carmex - Detonador ensamblado. *Famesa*, *03*(FT-035-PE/ES), 5–7. https://www.famesaexplosivos.com/producto/carmex-mecha-ensa

Famesa Explosivos S.A.C. (2023c). Ficha técnica de Cordón detonante. *Famesa*, *02*(FT-048-PE/ES), 4. https://www.famesaexplosivos.com/producto/pentacord/

Famesa Explosivos S.A.C. (2023d). Ficha técnica de Emulsión. *Famesa*, *01*(501–01), 8. https://www.famesaexplosivos.com/

Famesa Explosivos S.A.C. (2023e). Ficha técnica de Faneles. *Famesa*, *02*(FT-030-PE/ES), 3–6. https://www.famesaexplosivos.com/producto/fanel/

Famesa Explosivos S.A.C. (2023f). Ficha técnica de Retardo Fanel (MS Conector). *Famesa*, *02*(FT-033-PE/ES), 23–26. https://www.famesaexplosivos.com/

García, J. M. (2022). *Guía de Buenas Prácticas en el Diseño y Ejecución de Voladuras en Banco* (6ta Edició, Vol. 01). https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/energia/files-1/mineria/Explosivos/Guias/Guia_buenas_practicas_diseno_ejecucion_voladuras_banco.pdf

Kihlstrom, L. &. (2020). Métodos de Diseño de Voladura. *Journal GEEJ*, *7*(2), 6.

López Díaz, B. (2021). *Densidad de carga lineal*. *01*, 20. https://es.scribd.com/document/544209068/Densidad-de-Carga-Lineal

MINSUR. (2025). *Minsur*. https://www.minsur.com/home

MINSUR. (2021). Estándar Operacional : Voladura y Explosivos. *Estándar Operacional*, *03*, 25.

Pérez Álvarez, R., & Barral Ramón, N. (2020). Rotura y Cálculo de Voladuras en tajo superficial. In Universidad de Cantabria (Ed.), *Laboreo I* (pp. 1–88). https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2194/course/section/2056/BLOQUE-III.pdf

Perez, E., & Aceituno, J. (2021). Softron. *Instituto Profesional de Chile*, 25. https://es.scribd.com/document/328630852/SOFTRON-docx

Sandvik. (2024). *Rock Drill DX700*. Perforadora Hidráulica. https://www.rocktechnology.sandvik/es-

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

la/productos/equipo/equipo-de-perforación-de-superficie/ranger--dx700/

SEACE. (2021). *Seace: Licitaciones en Perú*. Seace. https://www.lumensoft.pe/seace-licitaciones-peru/

SECCONSAR S.R.L, L. de M. de R. y S. (2021). *Estudio definitivo del Proyecto "Construcción de la Carretera Ayo - Andamayo, distritos de Aplao y Ayo, provincia de Castilla, región Arequipa".pdf* (p. 489).

Software in blasting. (2025). *Soft Blast*. https://www.soft-blast.com/images/Products/JKSimBlast/2DBench/2DBench-06.png

Tiesiju, C. C. (2025). *Proyecto Ayo - Andamayo*. China Engineering Civil Tiesiju. https://sites.google.com/view/soportetiesijue/fotos-360/andamayo?authuser=0

Universidad de Colima. (2020). *Diseño experimental*. El Portal de La Tesis. https://recursos.ucol.mx/tesis/diseno_experimental.php

Universidad Tecnológica de Chile. (2022). Explosivos y perforación. *Departamento de Ingeniería de Minas*, *02*, 45. https://www.slideshare.net/slideshow/aaiopex01explosivosyperforacionextraccionmina1pdf/253135575

Villanueva Sandoval, C. (2022). *Voladura de rocas en minería*. 34. https://posada.pe/voladura-de-rocas-en-lamineria-definicion-tipos-recomendaciones/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ANEXO N° 01: Proceso de voladura

Figura 72.

Perforación con rock drill – FRENTE DE ANDAMAYO (Sumajer S.R.L.)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, zona de perforación 3 donde se observa al personal de piso de la empresa Sumajer, al ayudante del operador y al operador del rock drill.

Figura 73.

Perforación con rock drill – FRENTE DE ANDAMAYO (Kumbal Contratistas)



Nota: Zona de perforación 5 donde se observa al operador del rock drill de la empresa Kumbal.

Figura 74.

Perforación con rock drill – FRENTE DE AYO (Grupo Sur del Perú)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, zona de perforación 7 donde se observa al operador del rock drill de la empresa Grupo Sur.

Figura 75.

Perforación con martillo neumático – FRENTE DE ANDAMAYO (Cuadrilla de China Tiesiju)



Nota: Apertura de accesos que se realiza con el martillo neumático – Figura georreferenciada y fechada.

Figura 76.

Diámetro de perforación – FRENTE DE ANDAMAYO



Nota: Figura propia del diámetro de perforación del equipo rock drill, georreferenciada y fechada.

Figura 77.

Polvorín – Entrega de insumos y accesorios de voladura



Nota: Figura georreferenciada y fechada, entrega de insumos y abastecimiento.

Figura 78.

Señalización de radio de voladura – Radio de 500 m (Personas y animales)



Nota: Vigía de voladura y señalización.

Figura 79.

Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP2)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, preparación del carguío de taladros.

Figura 80.

Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP3)



Nota: Figura propia, georreferenciada y fechada, retacado de los taladros.

Fotografía 81.

Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP4)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, carguío de taladros en el frente de Andamayo, primeros 50 taladros, a tiempo de que el disparo sea al mediodía.

Figura 82.

Carguío de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (Apertura de accesos)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, retacado de la zona de voladura 5.

Figura 83.

Amarre de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO



Nota: Figura georreferenciada y fechada, amarre de taladros con las medidas de seguridad correspondientes y con los EPPs que se precisan.

Figura 84.

Amarre de taladros – FRENTE DE ANDAMAYO (ZP2)



Nota: Amarre de taladros de afrontonamiento.

Figura 85.

Meeting



Nota: Figura georreferenciada y fechada, meeting con las autoridades presentes (SSOMA de la empres Tiesiju y de la empresa supervisada, vigías de voladura, encargados de la voladura e ing. de producción)

Figura 86.

Firma de documentos en meeting



Nota: Figura georreferenciada y fechada, terminando de firmar los documentos de supervisión antes de realizar la voladura con el especialista de seguridad (Lista de asistentes, PETAR, ATS, check lists)

Figura 87 y Figura 88

Proceso de voladura





Nota: Capturas del video de voladura filmado por el vígía.

Figura 89.

Verificación de proceso de voladura (ZP1)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, antes de continuar con las actividades con normalidad, después de 10 minutos de haberse efectuado el disparo, se procede a verificar que el proceso de voladura haya sido exitoso, por lo tanto que todos los taladros hayan detonado, una vez corroborada esa información se avisa por radio al ing de producción para que él de aviso de que se puede continuar con las demás actividades.

Figura 90.

Verificación de proceso de voladura (ZP3)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, verificación del protocolo de voladura NRO 256.

Figura 91.

Polvorín – Entrega de remanentes



Nota: Después del disparo se guardan los insumos que sobraron del carguío de taladros o remanentes del disparo.

Figura 92.

Movimiento de tierras – Limpieza de voladura (ZP3)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, limpieza de la voladura del protocolo de voladura NRO 126, con 3 excavadoras y dos volqueteros.

Figura 93.

Movimiento de tierras – Limpieza de voladura (ZP2)



Nota: Figura georreferenciada y fechada de la limpieza de voladura.

Figura 94.

Plataforma terminada (ZP2)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, plataforma terminada, se llegó al ras del trazo de la carretera de acuerdo con las referencias topográficas.

Figura 95.

Plataforma terminada (ZP5)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, Frente de Ayo.

Figura 96.

Plataforma terminada (ZP1)



Nota: Figura georreferenciada y fechada, supervisión de la matriz china en campo.

ANEXO N° 02: Modelo de protocolo de voladura – Pág. 1 (Notificación)

PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA AYO ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA

TIESIJU

PROTOCOLO DE VOLADURA N° 006

1	EMPRESA RESPONSABLE	:	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO LTD. SUCURSAL DEL PERU
2	FECHA DE VOLADURA	:	miércoles, 24 de Abril de 2024
3	ÁREA DE VOLADURA	:	Progresiva 9+930 - 10+110
4	RESPONSABLE DE PROYECTO	:	Ing. Luis Miguel Sara Hutarra
5	RESPONSABLE DE VOLADURA	:	Ing. Nelson Eduardo Marroquin Osorio
6	RESPONSABLE DE SEGURIDAD	:	Ing. Manuel Jesús Sánchez Núñez
7	HORARIO DE VOLADURA	:	16:00 hrs (16:00 A 16:30 hrs)
8	CIERRE DE VIAS	:	15:30 hrs
9	SILENCIO RADIAL CANAL 1	:	15:50 hrs
10	HORARIO DE EVACUACIÓN	:	15:30 hrs

Ing. Luis Miguel Sara Hutarra
RESIDENTE DE OBRA
RESIDENTE DE OBRA TIESIJU

Manuel Jesus Sanchez Nuñez
SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO
ESPECIALISTA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO TIESIJU

ACRUTA & TAPIA INGENIEROS S.A.C.
Ing. Luis Orlando Garaya Jurado
JEFE DE SUPERVISION
JEFE DE SUPERVISION ACRUTA & TAPIA INGENIEROS S.A.C.

ACRUTA & TAPIA INGENIEROS SAC
Ing. Balbino Armando Rafael Tintaya
Especialista de Seguridad y Salud en el Trabajo
ESPECIALISTA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO
ACRUTA & TAPIA INGENIEROS S.A.C

ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD
TIESIJU

ESPECIALISTA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA
TIESIJU

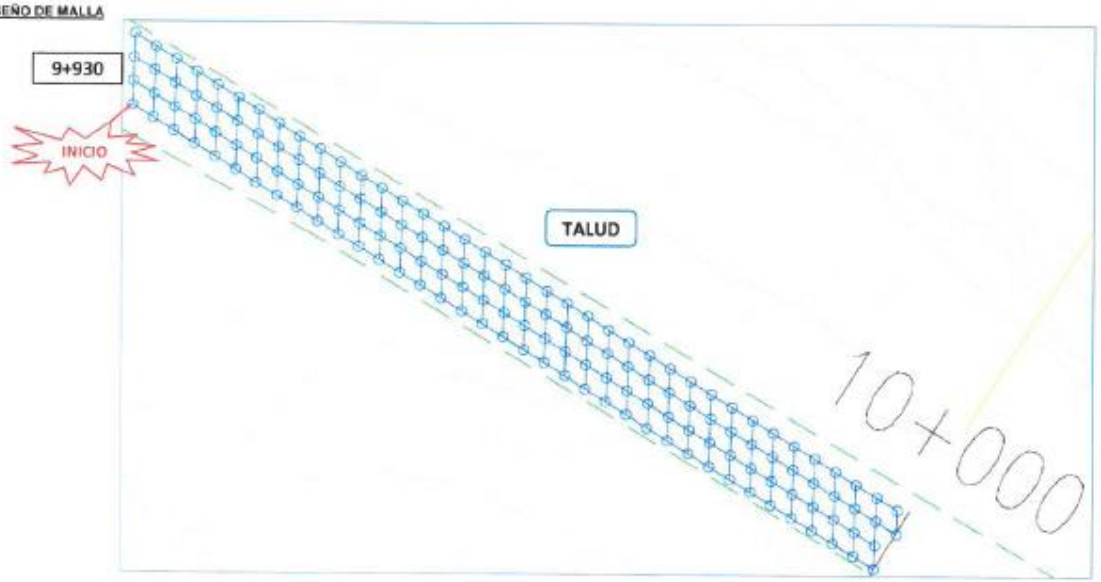
ANEXO N° 02: Modelo de protocolo de voladura – Pág. 2 (Diseño de malla – Carguío de taladros)

PROTOCOLO DE VOLADURA N° 006

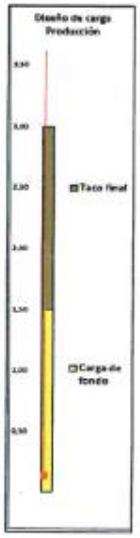
PROYECTO: CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA AYO ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA

UBICACIÓN:	Progresiva 9+930 - 10+110				FECHA DE VOLADURA:						miércoles, 24 de Abril de 2024					VERSION:	3		F. APROB:	22/09/2022		
N° REGISTRO:	PV-006-2024				HORA:						16:00 hra (16:00 A 16:30 hrs)					REVISADO:	CALIDAD		APROBADO:	GEO		
EQUIPO	TALADROS		DIAM. TALADR. (PULG)	ALTURA PROM.TAL. (m)	BURDEN (m)	ESPACIAMIENTO (m)	VOLUMEN (m3)	CÁMARA DE ARC (m)	TACO INTERMEDIO (m)	TACO FINAL (m)	COLUMNA DE CARGA		EMULSION	ANFO		BOOSTER (PZA)	CORDON DETONANTE (m)	FANEL UNIDIRECCIONAL (UND)	FANEL RETARDO SUPERFICIAL	CARMEX (PZA)	F.C. (kg/m3)
	TIPO	CANT.									FONDO (m)	INTERM. (m)	CANT.	Kg	FONDO (Kg)	INTERM. (Kg)					
ROCK DRILL	PRODUCCIÓN	95	3.00	3.30	2.00	2.30	1,442.10			1.30	2.00		931.00	75.08	375.25			230.69	276.00	4.00	1.00	0.31
	PRODUCCIÓN	95	3.00	3.30	2.00	2.30	1,442.10			1.70	1.60		931.00	75.08	375.25			230.69				
	PRODUCCIÓN	66	3.00	2.70	2.00	2.30	819.72			1.50	1.20		524.00	42.26	213.64			162.61				
	PRODUCCIÓN	20	3.00	1.80	2.00	2.30	165.60			1.00	0.80		100.00	8.06	43.20			54.74				
TOTAL		276					3,869.52							200.48	1,007.54		-	678.73	276.00	4.00	1.00	0.31

DISEÑO DE MALLA

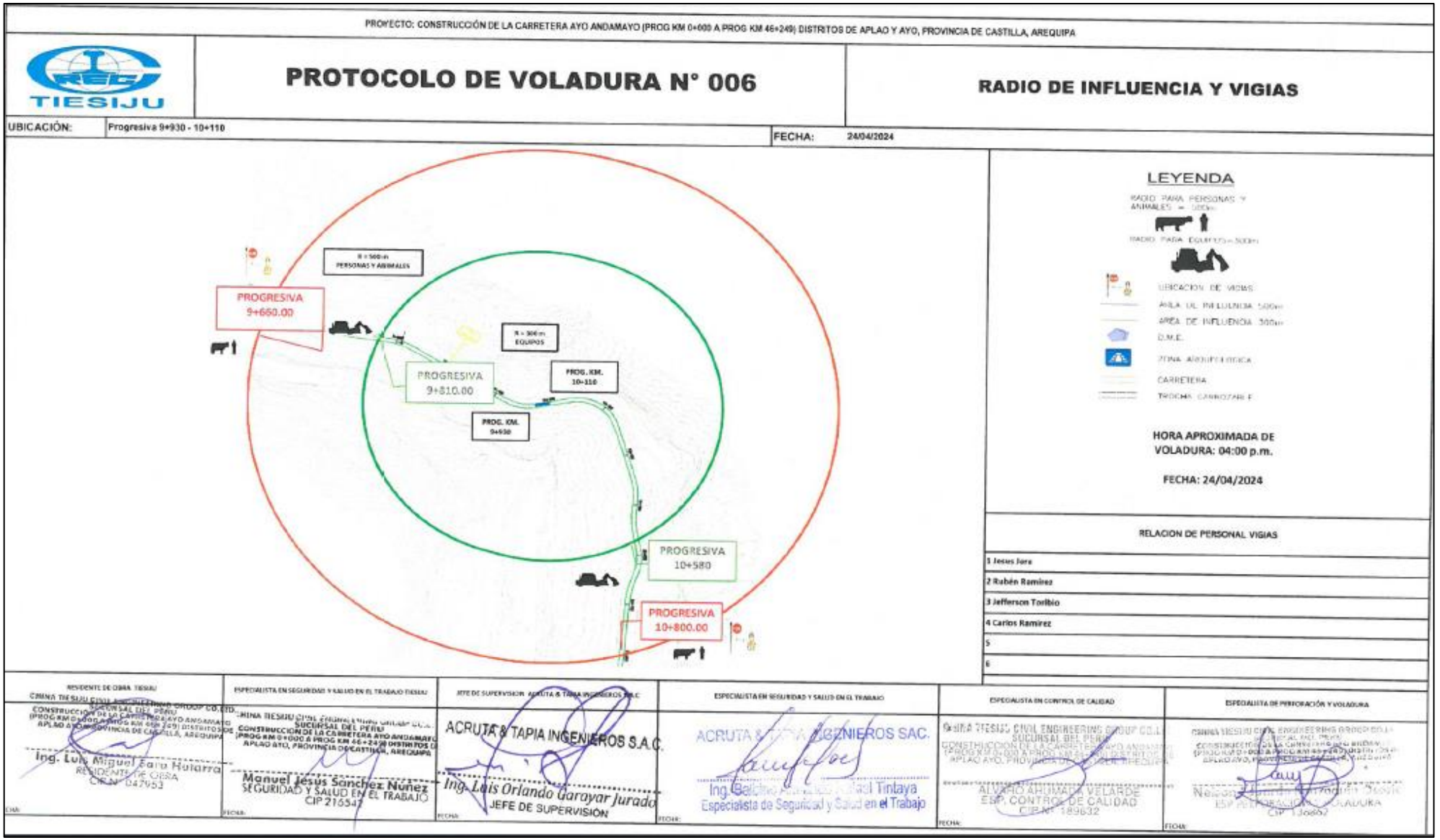


DISEÑO DE CARGA

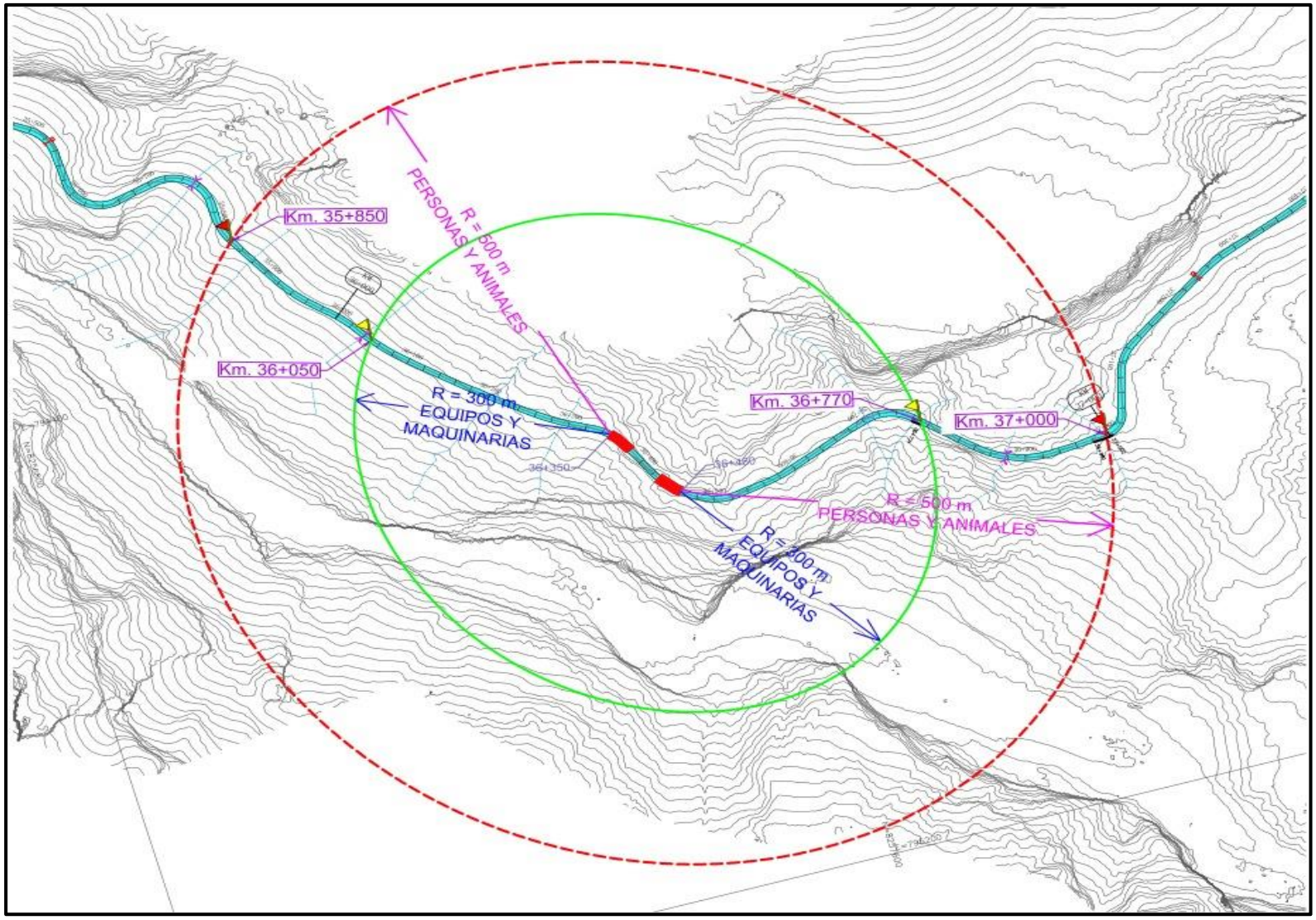


RESIDENTE DE OBRA TIESIJU	ESPECIALISTA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO TIESIJU	JEFE DE SUPERVISION ACRUTA & TAPIA INGENIEROS S.A.C	ESPECIALISTA EN SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO	ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD	ESPECIALISTA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA
CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO.LTD. SUCURSAL DEL PERU CONSTRUCCION DE LA CARRETERA AYO ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO.LTD. SUCURSAL DEL PERU CONSTRUCCION DE LA CARRETERA AYO ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA	ACRUTA & TAPIA INGENIEROS S.A.C.	ACRUTA & TAPIA INGENIEROS S.A.C.	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO. LTD. SUCURSAL DEL PERU CONSTRUCCION DE LA CARRETERA AYO ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO.LTD. SUCURSAL DEL PERU CONSTRUCCION DE LA CARRETERA AYO ANDAMAYO (PROG KM 0+000 A PROG KM 46+249) DISTRITOS DE APLAO Y AYO, PROVINCIA DE CASTILLA, AREQUIPA
Ing. Luis Miguel Saro Hutarra RESIDENTE DE OBRA CIP N° 047953	Manuel Jesus Sanchez Nuñez SEGURIDAD Y SALUD EN EL TRABAJO CIP 216542	Ing. Luis Orlando Carayar Jurado JEFE DE SUPERVISIÓN	Ing. Balbino Fernando Ruiz Tintaya Especialista de Seguridad y Salud en el Trabajo	ALVARO AHUMADA VELARDE ESP. CONTROL DE CALIDAD CIP N° 189632	
FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:

ANEXO N° 02: Modelo de protocolo de voladura – Pág. 3 (Radio de influencia de la zona de voladura)



ANEXO N° 03: Modelo de radio de influencia de voladura – Plano



ANEXO N° 04: Características técnicas de los explosivos y accesorios

- **Explosivos utilizados en el proyecto Ayo – Andamayo**

Figura 97.

Características técnicas: Anfo Superfarm Dos

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:			
		UNIDAD	SUPERFAM DOS
Densidad aparente		g/cm³	0,80 ± 0,05
Velocidad de detonación	Confinado en tubo de fierro de 2"	m/s	3 000 ± 300
	Confinado en tubo de fierro de 4"	m/s	4 000 ± 300
Energía teórica por peso		kcal/kg	932
Volumen normal de gases		l/kg	1056
Energía relativa	Por peso	%	100
	Por volumen	%	100
Presión de detonación		kbar	51
Resistencia al agua		—	Nula
Diámetro crítico		mm	38
Los valores expresados son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).			

Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023a, p. 2), se requiere de la ficha técnica y la ficha de seguridad de los agentes de voladura, explosivos pesados y el sistema de iniciación.

Figura 98.

Características técnicas: Emulnor

Características técnicas					
		EMULNOR® 500	EMULNOR® 1000	EMULNOR® 3000	EMULNOR® 5000
DENSIDAD RELATIVA (g/cm³)		0,90	1,13	1,14	1,16
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s)	CONFINADO *	4 400	5 800	5 700	5 500
	S/CONFINAR **	3 500	4 500	4 400	4 200
PRESIÓN DE DETONACIÓN (kbar)		44	95	93	88
ENERGÍA (kcal/kg)		628	785	920	1010
VOLUMEN NORMAL DE GASES (L/kg)		952	920	880	870
POTENCIA RELATIVA EN PESO *** (%)		63	85	100	105
POTENCIA RELATIVA EN VOLUMEN *** (%)		75	120	145	155
SENSIBILIDAD AL FULMINANTE		N° 8	N° 8	N° 8	N° 8
RESISTENCIA AL AGUA		Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
CATEGORÍA DE HUMOS		Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1 ½ pulgadas de diámetro.
** Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro.
*** Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023d, p. 1), se requiere de la ficha técnica y la ficha de seguridad de los agentes de voladura, explosivos pesados y el sistema de iniciación.

- **Accesorios utilizados en el proyecto Ayo – Andamayo**

Figura 99.

Características técnicas: Cordón detonante 5P

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

	UNIDAD	3P	3PE	5P	5PE	8P	8PE	10P	10PE
Peso de carga	g/m	Min. 4	Min. 4	Min. 5	Min. 6	Min. 8	Min. 8	Min. 10	Min. 10
Resistencia a la tracción*	kg	Min. 60	Min. 70	Min. 60	Min. 70	Min. 60	Min. 70	Min. 60	Min. 70
Velocidad de detonación	m/s	Min. 6 800	Min. 6 800	Min. 7 000	Min. 7 000	Min. 7 000	Min. 7 000	Min. 7 000	Min. 7 000

*Fuerza de rotura evaluado en equipo de tracción a una velocidad de 65 mm/min.

Los valores expresados son resultados a condiciones normales (20°C y 1 atm).

Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023c, p. 2), se requiere de la ficha técnica y la ficha de seguridad de los agentes de voladura, explosivos pesados y el sistema de iniciación.

Figura 100.

Características técnicas: Retardo Fanel MS

- **DE LA MANGUERA FANEL**

	UNIDAD	MININEL
Material	---	Termoplástico flexible y de gran resistencia mecánica
Diámetro	mm	3,3 ± 0,2
Longitud	cm	51
Color	---	Amarillo
Velocidad de onda	m/s	2 000 ± 200

Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023f, p. 2), se requiere de la ficha técnica y la ficha de seguridad de los agentes de voladura, explosivos pesados y el sistema de iniciación.

Figura 101.

Características técnicas: Faneles MS

- **DE LA MANGUERA FANEL**

		UNIDAD	FANEL
Material		---	Termoplástico flexible y de gran resistencia mecánica
Diámetro		mm	3,3 ± 0,2
Longitud		m	Variable
Color	Periodo corto	---	Rojo o Naranja
	Periodo largo	---	Amarillo
Velocidad de onda		m/s	2 000 ± 200

Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023e, p. 2), se requiere de la ficha técnica y la ficha de seguridad de los agentes de voladura, explosivos pesados y el sistema de iniciación.

Figura 102.

Características técnicas: Carmex

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

- **DEL FULMINANTE COMÚN**

	UNIDAD	CARMEX
Diámetro del Fulminante	mm	6,3
Longitud del Fulminante	mm	45
Prueba de esopo, diámetro de perforación	mm	Min. 9,0
Volumen trauzl	cm^3	Min. 23
Resistencia al impacto 2kg/1m	---	No detona

- **DE LA MECHA DE SEGURIDAD**

	UNIDAD	CARMEX
Color de recubrimiento plástico	---	Verde
Núcleo de pólvora	g/m	6,1 ± 0,7
Tiempo de combustión a.n.m.	s/m	160 ± 10
Diámetro externo	mm	5,2 ± 0,2

a.n.m.= a nivel del mar

Nota: Extraído de (Famesa Explosivos S.A.C., 2023b, p. 2), se requiere de la ficha técnica y la ficha de seguridad de los agentes de voladura, explosivos pesados y el sistema de iniciación.

ANEXO N° 05: Facturas de compra de insumos y accesorios de voladura

FAMESA

R.U.C. 20100112214

FACTURA ELECTRÓNICA

F009-14411

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.

FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ACCESORIOS DE VOLADURA Y
EXPLOSIVOS PARA MINERIA Y CONSTRUCCIÓN CIVIL
CAR.AUTOPISTA ANCON KM. 28 (PANAMERICANA NORTE), , PUENTE PIEDRA - LIMA - LIMA
TELÉFONO: 613-9800 - 613-9855 - 613-9865 FAX: 4885006 P.O BOX 1798 LIMA 100 - PERU
R.I. 15-00650 - C

EMAIL: famvtas@famesa.com.pe WEBSITE:http://www.famesa.com.pe

Señores:	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO. LTD.		
Registro Minero:	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING - CARRETERA AYO-HUAMBO		
Dirección:	CAL.GENERAL RECAVARREN NRO. 111 INT. 801 URB. SURQUILLO MIRAFLORES LIMA LIMA		
RUC:	20601748283	**Fecha de Emisión:**	2023-06-05
Código:	99856	**Su Orden N°:**	079-2023
Puesto de Almacén:	POLVORIN LA JOYA	**Condición de Venta:**	CONTADO ADELANTADO
Vendedor:	HORNA GUTIERREZ, LUIS GUILLERMO	**Moneda:**	DOLAR AMERICANO
Número de Guías:			

3.688

Nota

Nuestros productos son vendidos con precio "puesto en Fábrica".Entregada la mercadería no somos responsables por faltas en el transporte, demoras o daños causados por disturbios civiles, huelgas, regulaciones gubernamentales, mal uso del producto u otras razones fuera de nuestro control.Asimismo, debido a las diversas condiciones de manejo y almacenamiento a que son sometidos nuestros productos luego de salir de la Fábrica, nuestras ventas se hacen absolutamente sin garantía de ninguna clase ya sea expresa o tácita.De acuerdo al Art.91 del Capítulo VII del Reglamento de Control de Explosivos de Uso Civil ,D.S.019/71-IN el comprador asume la responsabilidad de transporte y seguro de la mercadería contra riesgos de Conductores, Ayudantes, Custodia Policial y daños causados a terceros.

Solo se atenderán aquellos vehículos que cuentan con su respectivo extinguidor contra incendio.
Art. 108 del Reglamento de SUCAMEC

HORARIO DE DESPACHO DE LUNES A VIERNES DE 10:00 A 16:00 HORAS

GIRAR CHEQUE A LA ORDEN DE FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C

POR LO SIGUIENTE:

Item	Código	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario	Valor Unitario	Valor Venta
1	0000012167	20,000.00	KGM	SUPERFAM DOS (25 kg) (ANFO)	1.947000	1.650000	33,000.00
2	0000000009	15,000.00	LM	CORDON DETONANTE 5P (CORDON DETONANTE)	0.318600	0.270000	4,050.00
3	0000005956	300.00	NIU	CARMEX 2.10 m (DETONADOR ENSAMBLADO)	1.132800	0.960000	288.00
4	0000019430	100.00	NIU	RTDO FANEL (MS CONECTOR) 025 MS - 1.1B (DETONADOR NO ELECTRICO)	3.426720	2.904000	290.40
5	0000019432	100.00	NIU	RTDO FANEL (MS CONECTOR) 042 MS - 1.1B (DETONADOR NO ELECTRICO)	3.426720	2.904000	290.40
6	0000011159	600.00	NIU	FANEL MS 5.2 m Nº 016 - 1.1B (DETONADOR NO ELECTRICO)	2.000100	1.695000	1,017.00

Total Valor de Venta - Operaciones Gravadas:	38,935.80
IGV:	7,008.44
Importe Total:	45,944.24

Representación Impresa de la Factura Electrónica

SON: CUARENTICINCO MIL NOVECIENTOS CUARENTICUATRO Y 24/100 DÓLARES AMERICANOS

Forma de pago: Contado

NO SUJETO A RETENCIÓN DE IGV INCISO B ARTICULO 1 RESOLUCIÓN DE SUPERINTENDENCIA NRO 181-2002/SUNAT

LA PRESENTE FACTURA GENERARÁ INTERESES MORATORIOS A PARTIR DEL DÍA SIGUIENTE CALENDARIO A SU FECHA DE VENCIMIENTO. EL INTERÉS A COBRAR SERÁ LA TASA MÁXIMA MENSUAL DEL INTERÉS LEGAL QUE FIJE EL BCR DEL PERÚ, DE ACUERDO CON EL ART. 1242 DEL CÓDIGO CIVIL, SIN NECESIDAD DE REQUERIMIENTO PREVIO

Autorizado para ser Emisor electrónico mediante la Resolución de Intendencia N° 0180050001631/SUNAT
S6ouj1PK9jRF9qm/wB2dCJAh6BA= | Cód. Establecimiento: 0000
Para consultar el comprobante ingresar https://portal.efacturacion.pe/appefacturacion

Pag. 1 de 1

ANEXO N° 05: Facturas de compra de insumos y accesorios de voladura

FAMESA

R.U.C. 20100112214

FACTURA ELECTRÓNICA

F009-13927

FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C.

FABRICACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE ACCESORIOS DE VOLADURA Y
EXPLOSIVOS PARA MINERIA Y CONSTRUCCIÓN CIVIL
CAR.AUTOPISTA ANCON KM. 28 (PANAMERICANA NORTE), , PUENTE PIEDRA - LIMA - LIMA
TELÉFONO: 613-9800 - 613-9655 - 613-9665 FAX: 4885006 P.O BOX 1798 LIMA 100 - PERU
R.I. 15-00650 - C

EMAIL: famvtas@famesa.com.pe WEBSITE:http://www.famesa.com.pe

Señores:	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING GROUP CO. LTD.		
Registro Minero:	CHINA TIESIJU CIVIL ENGINEERING - CARRETERA AYO-HUAMBO		
Dirección:	CAL.GENERAL RECAVARREN NRO. 111 INT. 801 URB. SURQUILLO MIRAFLORES LIMA LIMA		
RUC:	20601748283	**Fecha de Emisión:**	2023-03-31
Código:	99856	**Su Orden N°:**	009 2023
Puesto de Almacén:	POLVORIN LA JOYA	**Condición de Venta:**	CONTADO ADELANTADO
Vendedor:	HORNA GUTIERREZ, LUIS GUILLERMO	**Moneda:**	DOLAR AMERICANO
Número de Guías:			

Nota

Nuestros productos son vendidos con precio "puesto en Fábrica".Entregada la mercadería no somos responsables por faltas en el transporte, demoras o daños causados por disturbios civiles, huelgas, regulaciones gubernamentales, mal uso del producto u otras razones fuera de nuestro control.Asimismo, debido a las diversas condiciones de manejo y almacenamiento a que son sometidos nuestros productos luego de salir de la Fábrica, nuestras ventas se hacen absolutamente sin garantía de ninguna clase ya sea expresa o tácita.De acuerdo al Art.91 del Capítulo VII del Reglamento de Control de Explosivos de Uso Civil ,D.S.019/71-IN el comprador asume la responsabilidad de transporte y seguro de la mercadería contra riesgos de Conductores, Ayudantes, Custodia Policial y daños causados a terceros.

Solo se atenderán aquellos vehículos que cuentan con su respectivo extinguidor contra incendio.
Art. 108 del Reglamento de SUCAMEC

HORARIO DE DESPACHO DE LUNES A VIERNES DE 10:00 A 16:00 HORAS

GIRAR CHEQUE A LA ORDEN DE FAMESA EXPLOSIVOS S.A.C

POR LO SIGUIENTE:

Item	Código	Cantidad	Unidad	Descripción	Precio Unitario	Valor Unitario	Valor Venta
1	0000039032	4,000.00	KGM	SUPERFAM DOS 25 kg (ANFO)	1.947030	1.650025	6,600.10
2	0000000009	9,000.00	LM	CORDON DETONANTE 5P (CORDON DETONANTE)	0.318600	0.270000	2,430.00

Total Valor de Venta - Operaciones Gravadas:	9,030.10
IGV:	1,625.42
Importe Total:	10,655.52

Representación Impresa de la Factura Electrónica

SON: DIEZ MIL SEISCIENTOS CINCUENTICINCO Y 52/100 DÓLARES AMERICANOS

Forma de pago: Contado

NO SUJETO A RETENCIÓN DE IGV INCISO B ARTICULO 1 RESOLUCIÓN DE SUPERINTENDENCIA NRO 181-2002/SUNAT

LA PRESENTE FACTURA GENERARÁ INTERESES MORATORIOS A PARTIR DEL DÍA SIGUIENTE CALENDARIO A SU FECHA DE VENCIMIENTO. EL INTERÉS A COBRAR SERÁ LA TASA MÁXIMA MENSUAL DEL INTERÉS LEGAL QUE FIJE EL BCR DEL PERÚ, DE ACUERDO CON EL ART. 1242 DEL CÓDIGO CIVIL, SIN NECESIDAD DE REQUERIMIENTO PREVIO

Autorizado para ser Emisor electrónico mediante la Resolución de Intendencia N° 0180050001631/SUNAT
cowbVC5KQA4PRdsPxiJizWBFis8= | Cód. Establecimiento: 0000
Para consultar el comprobante ingresar https://portal.efacturacion.pe/appefacturacion

Pag. 1 de 1

ANEXO N° 06: Suministro de explosivos 炸药供应

Ubicación de la obra: AYO — May-24

CONSUMO DE EXPLOSIVOS MES DE MAYO

MATERIALES	FECHA DE COMPRA	PRECIO ($)	TIPO DE CAMBIO SUNAT (AL DÍA DE COMPRA)	UNID	CONSUMO POR VOLADURA				CONSUMO TOTAL	TOTAL, S/.	
					02/05/24	08/05/24	22/05/24	24/05/24			
RIOXAM ANFO	14/05/24	$ 1.48	3.925	Kg	-	-	425.00	100.00	525.00	S/.	3,049.73
NITRATO DE AMONIO (GRADO ANFO)	06/01/24	$ 0.97	3.925	Kg	300.00	1,600.00	-	250.00	2,150.00	S/.	8,170.00
EMULNOR 3000 1 1/8"X12"	01/08/22	$ 3.22	3.925	Kg	-	-	-	-	-	S/.	-
EMULNOR 3000 2"X16"	01/08/22	$ 3.22	3.925	Kg	75.00	62.50	12.50	-	150.00	S/.	1,896.36
RIOGEL 1" X 7" - HIDROGEL ENCARTUCHADA	14/05/24	$ 2.80	3.925	Kg	-	-	37.50	23.50	61.00	S/.	670.39
BOOSTER O MULTIPLICADOR HDP 225g	01/08/22	$ 2.90	3.925	Und	-	-	-	-	-	S/.	-
FANEL MS 12.0 m N°18-1.1B	01/08/22	$ 2.90	3.925	Pza	-	-	-	-	-	S/.	-
FANEL MS 5.2 m N°18-1.1B	01/08/22	$ 1.69	3.925	Pza	-	-	-	-	-	S/.	-
FANEL MS 4.0 m N°18-1.1B	01/08/22	$ 1.69	3.925	Pza	-	-	-	-	-	S/.	-
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 025 MS-1.1B	01/08/22	$ 2.90	3.925	Pza	-	-	-	-	-	S/.	-
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 042 MS-1.1B	01/08/22	$ 2.90	3.925	Pza	-	-	-	-	-	S/.	-
CORDÓN DETONANTE	01/08/22	$ 0.27	3.925	M	750.00	750.00	-	235.00	1,735.00	S/.	1,838.67
CARMEX	01/08/22	$ 0.96	3.925	Pza	-	-	-	-	-	S/.	-
FULMINANTE COMÚN 8 - 45 MM	15/03/24	$ 0.51	3.925	Pza	2.00	-	1.00	1.00	4.00	S/.	8.00
MECHA DE SEGURIDAD AB	15/03/24	$ 0.51	3.925	M	4.00	-	2.00	2.00	8.00	S/.	16.00

GRUPO SUR:	S/ 15,649.15
IMPUESTOS (al 5%):	S/ 782.46
TOTAL, MAYO:	S/ 16,431.61

ANEXO N° 07: Resumen de metrados mensuales valorizados (Mes de marzo-2025)

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UND.	METRADO ACUMULADO ANTERIOR	METRADO ACUMULADO ACTUAL	METRADOS VALORIZACIÓN N°22
01	**OBRAS PRELIMINARES**				
01.02	**MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN**				-
01.02.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE MAQUINARIA Y EQUIPO	**GLB**	0.5	0.5	**-**
1.02	**TOPOGRAFÍA Y GEORREFERENCIACIÓN**				
01.02.01	TOPOGRAFÍA Y GEORREFERENCIACIÓN	**Km**	26.16	26.16	**-**
01.03	**MANTENIMIENTO DEL TRÁNSITO**				
01.03.01	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO TEMPORAL Y SEGURIDAD VIAL	**GLB**	0.22	0.23	**0.01**
02	**MOVIMIENTO DE TIERRAS**				**-**
02.01	**EXCAVACIONES**				-
02.01.01	CORTE DE MATERIAL SUELTO	**m^3**	1,098,058.22	1,134,982.37	**36,924.15**
02.01.02	CORTE DE ROCA SUELTA	**m^3**	372,688.51	397,880.67	**25,192.16**
02.01.03	CORTE DE ROCA FIJA	**m^3**	276,264.70	299,298.44	**23,033.74**
04	**DRENAJE Y OBRAS COMPLEMENTARIAS**				
04.01	**ALCANTARILLA TIPO MARCO DE CONCRETO CRUCE AGUA RIEGO (02UND) Y CANAL**				

04.01.01	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS	**m^3**	16.81	16.81	**-**
04.01.02	TRAZO Y NIVELACIÓN DE OBRAS DE ARTE	**m^2**	31.79	31.79	**-**
04.01.04	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	**m^2**	31.79	31.79	**-**
04.01.01	EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS	**m^3**	16.81	16.81	**-**
04.01.02	TRAZO Y NIVELACIÓN DE OBRAS DE ARTE	**m^2**	31.79	31.79	**-**
04.01.04	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL	**m^2**	31.79	31.79	**-**
04.01.05	CONCRETO CLASE H (F'C =100 kg/cm^2)	**m^3**	2.38	2.38	**0.00**
04.01.06	CONCRETO CLASE D (F'C = 210 kg/cm^2)	**m^3**	13.05	13.05	**0.00**
04.01.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA	**m^2**	77.43	77.43	**-**
04.01.08	ACERO DE REFUERZO FY= 4200 kg/cm^2	**Kg**	562.47	562.47	**0.00**
04.02	**ALCANTARILLA TMC (367 und)**				
04.02.01	CORTE Y EXCAVACION EN ROCA	**m^3**	798.48	798.48	**-**
04.02.02	TRAZO Y NIVELACION DE OBRAS DE ARTE	**m^2**	1,415.68	1,468.16	**52.48**
04.02.03	EXCAVACION NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS	**m^3**	5,313.45	5,452.71	**139.26**
04.02.04	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	**m^3**	3,082.31	3,191.39	**109.08**
04.02.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL.	**m^2**	1,415.69	1,468.60	**52.91**
04.02.07	CONCRETO CLASE D (F'C = 210 kg/cm^2)	**m^3**	184.51	184.51	**-**
04.02.08	CONCRETO CICLOPEO F'C = 210 kg/cm^2 + 30% PM	**m^3**	0.00	26.80	**26.80**

04.02.09	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA	**m^2**	845.60	1,028.31	**182.71**
04.02.10	ACERO DE REFUERZO FY = 4200 kg/cm^2	**m^2**	6,247.08	6,247.08	-
04.02.11	MAMPOSTERIA DE PIEDRA	**m^3**	83.37	191.31	**107.94**
04.02.12	ALCANTARILLA TMC D = 36"	**M**	683.64	683.64	-
04.02.13	ALCANTARILLA TMC D = 48"	**M**	31.59	31.59	-
04.02.14	ALCANTARILLA TMC D = 60"	**M**	46.97	46.97	-
04.02.15	ALCANTARILLA TMC D = 72"	**M**	20.25	20.25	-
04.02.16	IMPERMEABILIZACION DE ALEROS Y MURO (CARA ENTERRADA)	**m^2**	279.31	279.31	-
4.06	**MURO DE CONTENCIÓN**				
4.06.01	**MUROS DE CONCRETO CICLOPEO**				
04.06.01.01	CORTE Y EXCAVACIÓN EN ROCA	**m^3**	263.96	263.96	-
04.06.01.02	TRAZO Y NIVELACIÓN	**m^2**	50.38	50.38	-
04.06.01.05	PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL.	**m^2**		50.38	**50.38**
04.06.01.06	CONCRETO CLASE G (F´C = 175 kg/cm^2 + 30% PM)	**m^3**		103.56	**103.56**
04.06.01.07	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA	**m^2**		233.61	**233.61**
05	**TRANSPORTE**				
05.01	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D<=1KM	**m^3-km**	131,052.38	131,052.38	-
05.02	TRANSPORTE DE MATERIAL EXCEDENTE D>1KM	**m^3-km**	283,621.14	283,621.14	-

07	**PROTECCIÓN AMBIENTAL**				
07.01	**PROGRAMA DE CIERRE DE OBRA**				
07.01.01	CONFORMACIÓN DE MATERIAL EXCEDENTE EN DME's	**m^3**	134,703.14	134,703.14	**-**
08	**PUENTES**				
08.01	**CONSTRUCCIÓN DE PUENTES ANDAMAYO L = 50 MTS**				
08.01.01	SUBESTRUCTURA				
08.01.01.01	**MOVIMIENTO DE TIERRAS**				
08.01.01.01.01	**DESVÍO PROVICIONAL DE RÍO**	**m**			
	DESVÍO PROVICIONAL DEL RÍO		40.00	40.00	**-**
08.01.01.01.02	**TRAZO Y NIVELACIÓN DE OBRAS DE ARTE**	**m^2**			
	TRAZO Y NIVELACION DE OBRAS DE ARTE		1,242.24	1,242.24	**-**
08.01.01.01.03	**EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA PARA ESTRUCTURAS**	**m^3**			
	EXCAVACIONES NO CLASIFICADAS PARA ESTRUCTURAS		1,234.37	1,234.37	**-**
08.01.01.02	**ESTRIBOS Y ZAPATAS**				
08.01.01.01.04	**RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO**	**m^3**			
	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO		598.27	598.27	**-**
08.01.01.01.05	**PERFILADO Y COMPACTADO MANUAL**	**m^2**			
	PERFILADO Y COMPACTADA MANUAL		157.44	0.00	**(157.44)**

08.01.01.02	**ESTRIBOS Y ZAPATAS**				
08.01.01.02.01	**CONCRETO CLASE H (F'C=100 kg/cm^2)**	**m^3**			
	CONCRETO EN SUBZAPATA (PLANILLA CONTRACTUAL, RESTO MM)		15.74	0.00	**(15.74)**
08.01.01.02.03	**ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA**	**m2**			
	ENCOFRADO DE SUBZAPATA		650.21	0.00	**(650.21)**
08.01.01.02.04	**ACERO DE REFUERZO FY = 4200 kg/cm^2**	**Kg**			
	ACERO DE REFUERZO FY = 4200 kg/cm^2		42,617.56	42,617.56	-
08.01.02	**SUPERESTRUCTURA**				
08.01.02.01	**VIGA Y LOSA DE PUENTE**				
08.01.02.01.01	**CONCRETO CLASE C (F'C = 350 kg/cm^2)**	**m^3**			
	VIGA CAJÓN		347.28	347.28	-
08.01.02.01.02	**ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA**	**m2**			
	VIGA CAJÓN		1,299.18	1,299.18	-
08.01.02.01.02	**ENCOFRADO Y DESENCOFRADO CARAVISTA**	**m^2**			
	VIGA CAJÓN		1,299.18	1,299.18	-
08.01.02.01.03	**ACERO DE REFUERZO FY = 4200 kg/cm^2**	**Kg**			
	VIGA CAJÓN		39,817.90	39,817.90	-
08.01.02.02	**VEREDAS DE PUENTE**				

08.01.02.02.03	**ACERO DE REFUERZO FY = 4200 kg/cm^2**	**kg**			
	ACERO LOSA		2,078.30	2,078.30	-
08.01.03.04	**TUBOS DE DRENAJE DE MUROS 4"**	**m**			
	TUBOS DE DRENAJE DE MURO 4"		14.40	14.40	-
08.01.03	**VARIOS**				
08.01.03.01	**CABLE DE ALTA RESISTENCIA PARA VIGAS**	**tn-m**			
	PUENTE ANDAMAYO		178,087.00	178,087.00	-
08.01.03.03	**APOYO DE NEOPRENO PARA PUENTES**	**u**			
	VIGA CAJÓN		4.00	4.00	-
08.01.03.07	**FALSO PUENTE**	**m**			
	VIGA CAJÓN		50.00	50.00	-
10	**SEGURIDAD Y SALUD OCUPACIONAL, PROTOCOLO SANITARIO SECTORIAL PARA EJECUCIÓN DE OBRAS EN PREVENCION DEL COVID 19**				
10.01	CONTROL TÉCNICO Y OTROS	**glb**	0.76	0.91	**0.15**
10.02	EQUIPOS DE PROTECCIÓN INDIVIDUAL	**glb**	0.49	0.54	**0.05**
10.03	EQUIPOS DE PROTECCIÓN COLECTIVA	**glb**	0.85	0.91	**0.06**
10.04	IMPLEMENTACIÓN COVID-19 PARA PERSONAL DE OBRA	**glb**	0.73	0.81	**0.08**
10.05	IMPLEMENTACIÓN COVID-19 PARA PERSONAL PROFESIONAL Y TÉCNICO	**glb**	0.61	0.61	-

ANEXO N° 08: Resumen de metros cúbicos volados de roca fija

Progresiva	Dic – 22	Mar – 23	Jun - 23	Set – 23	Dic - 23	Mar - 24	Jun - 24	Mar – 25	Total
				Frente de Andamayo (ZP1)					**118,316.85**
07+550.00	585.85	3,493.60	7,890.32	8,211.73	-	-	-	-	20,181.50
07+560.00	493.10	2,360.80	9,600.60	6,712.70	-	-	-	-	19,167.20
07+570.00	388.05	5,300.96	3,780.25	2,652.04	-	-	-	-	12,121.30
07+580.00	266.50	1,890.36	952.63	2,848.16	-	-	-	-	5,957.65
07+590.00	206.70	562.90	829.35	1,572.95	-	-	-	-	3,171.90
07+600.00	270.95	623.10	860.87	867.03	-	-	-	-	2,621.95
07+610.00	276.25	974.50	360.89	849.31	-	-	-	-	2,460.95
07+620.00	160.60	794.60	562.90	864.80	-	-	-	-	2,382.90
07+630.00	75.80	685.16	796.44	1,061.7	-	-	-	-	2,619.10
07+640.00	52.05	590.37	1,623.50	444.18	-	-	-	-	2,710.10
07+650.00	53.20	1,200.30	494.20	769.85	-	-	-	-	2,517.55
07+660.00	50.30	478.53	1698.30	541.77	-	-	-	-	2,768.90
07+670.00	152.30	562.86	694.35	1,720.59	-	-	-	-	3,130.10
07+680.00	229.25	946.50	834.60	1625.65	-	-	-	-	3,636.00
07+690.00	141.20	165.32	946.20	3,814.83	-	-	-	-	5,067.55
07+700.00	49.95	624.93	2,700.64	2,757.03	-	-	-	-	6,132.55

07+710.00	23.65	1,600.34	1,956.17	2,293.19	-	-	-	-	5,873.35
07+720.00	24.90	362.19	1,496.30	2,300.51	-	-	-	-	4,183.90
07+730.00	16.74	792.51	818.64	1,209.31	-	-	-	-	2,837.20
07+740.00	54.41	486.91	311.60	1,340.78	-	-	-	-	2,193.70
07+750.00	81.68	687.49	528.40	696.48	-	-	-	-	1,994.05
07+760.00	89.52	853.70	371.28	1,069.30	-	-	-	-	2,383.80
07+770.00	325.32	473.80	436.80	967.73	-	-	-	-	2,203.65
Frente de Andamayo (ZP2)									**67,015.20**
08+920.00	-	62.30	49.26	319.90	497.23	433.26	-	-	1,361.95
08+930.00	-	60.10	285.10	648.50	417.60	476.75	-	-	1,888.05
08+940.00	-	11.00	49.56	900.41	415.31	196.52	-	-	1,572.80
08+950.00	-	2.45	367.60	97.36	879.80	133.04	-	-	1,480.25
08+960.00	-	6.15	268.90	768.23	167.29	399.03	-	-	1,609.60
08+970.00	-	9.25	592.60	159.88	61.93	270.04	-	-	1,093.70
08+980.00	-	6.60	457.63	124.60	41.06	111.61	-	-	741.50
08+990.00	-	12.95	315.20	28.00	221.28	8.07	-	-	585.50
09+000.00	-	22.20	182.48	58.32	106.81	152.04	-	-	521.85
09+010.00	-	39.00	206.94	29.84	148.62	69.55	-	-	493.95
09+020.00	-	65.55	94.16	43.55	195.47	88.17	-	-	486.90

09+030.00	-	83.55	244.35	66.15	34.18	63.92	-	-	492.15
09+040.00	-	211.50	169.22	74.29	258.40	94.34	-	-	807.75
09+050.00	-	368.70	176.40	21.30	392.30	157.10	-	-	1,115.80
09+060.00	-	492.05	19.60	117.61	89.63	251.76	-	-	970.65
09+070.00	-	582.10	98.56	25.63	59.84	72.07	-	-	838.20
09+080.00	-	704.85	114.66	185.49	48.99	85.26	-	-	1,139.25
09+090.00	-	1,006.80	46.39	164.98	159.95	234.83	-	-	1,612.95
09+100.00	-	1,203.10	36.00	450.20	144.77	33.93	-	-	1,868.00
09+110.00	-	1,302.60	355.12	194.00	89.60	92.58	-	-	2,033.90
09+120.00	-	1,488.40	624.85	41.30	25.89	97.06	-	-	2,277.50
09+130.00	-	1,574.25	61.26	194.65	79.89	497.30	-	-	2,407.35
09+140.00	-	1,511.55	94.66	56.90	388.97	5.62	-	-	2,057.70
09+150.00	-	1,361.20	121.42	21.63	67.11	96.74	-	-	1,668.10
09+160.00	-	1,459.45	15.23	64.47	209.66	36.64	-	-	1,785.45
09+170.00	-	1,825.00	64.89	119.56	129.57	28.18	-	-	2,167.20
09+180.00	-	2,115.35	65.00	165.32	180.30	29.18	-	-	2,555.15
09+190.00	-	2,432.10	166.49	487.11	285.22	15.43	-	-	3,386.35
09+200.00	-	2,602.35	59.63	776.44	940.41	79.87	-	-	4,458.70
09+210.00	-	2,596.15	88.29	495.86	1,630.40	707.25	-	-	5,517.95

09+220.00	-	2,549.70	1,500.90	161.52	1,488.60	606.68	-	-	6,307.40
09+230.00	-	2,394.35	466.30	941.58	2,106.87	71.80	-	-	5,980.90
09+240.00	-	2,140.35	798.23	498.26	82.64	211.27	-	-	3,730.75
				Frente de Andamayo (ZP3)					**188,593.60**
09+530.00	323.39	452.74	277.19	218.29	335.79	-	-	-	1,607.40
09+540.00	391.58	548.22	335.64	264.32	36.59	-	-	-	1,576.35
09+550.00	209.75	47.94	479.43	82.66	236.02	-	-	-	1,055.80
09+560.00	250.65	57.29	572.90	98.78	223.48	-	-	-	1,203.10
09+570.00	250.03	57.15	571.50	98.53	335.28	-	-	-	1,312.50
09+580.00	258.60	59.11	591.10	101.91	690.03	-	-	-	1,700.75
09+590.00	272.78	62.35	623.50	107.50	782.82	-	-	-	1,848.95
09+600.00	274.20	62.67	626.74	108.06	687.58	-	-	-	1,759.25
09+610.00	259.64	59.35	593.45	102.32	801.10	-	-	-	1,815.85
09+620.00	284.11	64.94	649.40	111.97	1,045.77	-	-	-	2,156.20
09+630.00	341.23	78.00	779.95	134.47	1,085.95	-	-	-	2,419.60
09+640.00	371.30	84.87	848.69	146.33	854.16	-	-	-	2,305.35
09+650.00	416.85	95.28	952.81	164.28	556.13	-	-	-	2,185.35
09+660.00	451.00	103.09	1,030.86	177.73	802.22	-	-	-	2,564.90
09+670.00	447.89	102.37	1,023.74	176.51	1,322.10	-	-	-	3,072.60

09+680.00	440.10	100.60	1,005.95	173.44	1,554.41	-	-	-	3,274.50
09+690.00	430.39	98.37	983.74	169.61	1,392.14	-	-	-	3,074.25
09+700.00	418.96	95.76	957.62	165.11	867.10	-	-	-	2,504.55
09+710.00	529.36	121.00	619.74	106.85	525.64	-	-	-	1,902.60
09+720.00	545.78	124.75	638.96	110.17	209.54	-	-	-	1,629.20
09+730.00	361.00	82.51	422.63	72.87	501.83	-	-	-	1,440.85
09+740.00	470.81	40.35	403.55	69.58	175.41	-	-	-	1,159.70
09+750.00	295.22	177.13	253.05	199.28	219.52	-	-	-	1,144.20
09+760.00	292.17	409.03	250.43	197.21	38.86	-	-	-	1,187.70
09+770.00	139.94	195.92	119.95	94.46	546.67	-	-	-	1,096.95
09+780.00	53.97	75.56	46.26	36.43	998.27	-	-	-	1,210.50
09+790.00	29.81	41.73	25.55	20.12	1,224.80	-	-	-	1,342.00
09+800.00	100.83	141.17	86.43	68.06	784.96	-	-	-	1,181.45
09+810.00	95.28	133.39	81.67	64.31	528.85	-	-	-	903.50
09+820.00	51.28	71.79	43.95	34.61	874.52	-	-	-	1,076.15
09+830.00	96.39	134.94	82.62	65.06	936.94	-	-	-	1,315.95
09+840.00	149.22	208.91	127.90	100.73	726.69	-	-	-	1,313.45
09+850.00	155.92	218.28	133.64	105.24	557.01	-	-	-	1,170.10
09+860.00	161.97	226.76	138.83	109.33	364.35	-	-	-	1,001.25

09+870.00	114.69	160.57	98.31	77.42	641.86	-	-	-	1,092.85
09+880.00	20.50	28.70	17.57	13.84	908.44	-	-	-	989.05
09+890.00	17.00	23.80	14.57	11.48	836.60	-	-	-	903.45
09+900.00	-	-	-	33.20	331.92	663.83	-	-	1,028.95
09+910.00	-	-	-	13.90	329.06	677.14	-	-	1,020.10
09+920.00	-	-	-	3.50	305.48	638.02	-	-	947.00
09+930.00	-	-	-	28.50	292.85	586.50	-	-	907.85
09+940.00	-	-	-	149.40	293.81	467.59	-	-	910.80
09+950.00	-	-	-	437.55	270.55	130.60	-	-	838.70
09+960.00	-	-	-	256.18	206.60	177.67	-	-	640.45
09+970.00	-	-	-	184.58	148.85	128.02	-	-	461.45
09+980.00	-	-	-	123.38	99.50	85.57	-	-	308.45
09+990.00	-	-	-	138.12	111.39	95.79	-	-	345.30
10+000.00	-	-	-	249.16	200.94	172.80	-	-	622.90
10+010.00	-	-	-	307.74	248.18	213.43	-	-	769.35
10+020.00	-	-	-	452.02	364.53	313.50	-	-	1,130.05
10+030.00	-	-	-	759.72	612.68	526.90	-	-	1,899.30
10+040.00	-	-	-	896.64	723.10	621.86	-	-	2,241.60
10+050.00	-	-	-	797.86	643.44	553.35	-	-	1,994.65

10+060.00	-	-	-	698.20	563.06	484.24	-	-	1,745.50
10+070.00	-	-	-	615.14	496.08	426.63	-	-	1,537.85
10+080.00	-	-	-	513.00	413.71	355.79	-	-	1,282.50
10+090.00	-	-	-	459.18	370.31	318.46	-	-	1,147.95
10+100.00	-	-	-	378.56	305.29	262.55	-	-	946.40
10+110.00	-	-	-	250.80	202.26	173.94	-	-	627.00
10+120.00	-	-	-	288.30	232.50	199.95	-	-	720.75
10+130.00	-	-	-	479.24	386.48	332.38	-	-	1,198.10
10+140.00	-	-	-	650.60	524.68	451.22	-	-	1,626.50
10+150.00	-	-	-	609.60	491.61	422.79	-	-	1,524.00
10+160.00	-	-	-	514.62	415.02	356.91	-	-	1,286.55
10+170.00	-	-	-	474.16	382.39	328.85	-	-	1,185.40
10+180.00	-	-	-	424.34	342.21	294.30	-	-	1,060.85
10+190.00	-	-	-	962.42	776.15	667.48	-	-	2,406.05
10+200.00	-	-	-	1,233.88	995.06	855.76	-	-	3,084.70
10+210.00	-	-	-	756.32	609.94	524.54	-	-	1,890.80
10+220.00	-	-	-	400.92	323.32	278.06	-	-	1,002.30
10+230.00	-	-	-	193.52	156.06	134.22	-	-	483.80
10+240.00	-	-	-	162.04	130.68	112.38	-	-	405.10

10+250.00	-	-	-	176.80	142.58	122.62	-	-	442.00
10+260.00	-	-	-	598.02	482.27	414.76	-	-	1,495.05
10+270.00	-	-	-	1,179.78	951.44	818.23	-	-	2,949.45
10+280.00	-	-	-	1,265.16	1,020.29	877.45	-	-	3,162.90
10+290.00	-	-	-	1,230.72	992.52	853.56	-	-	3,076.80
10+300.00	-	-	-	1,132.50	913.31	785.44	-	-	2,831.25
10+310.00	-	-	-	940.38	758.37	652.20	-	-	2,350.95
10+320.00	-	-	-	699.00	563.71	484.79	-	-	1,747.50
10+330.00	-	-	-	319.46	257.63	221.56	-	-	798.65
10+340.00	-	-	-	92.96	74.97	64.47	-	-	232.40
10+350.00	-	-	-	79.52	64.13	55.15	-	-	198.80
10+360.00	-	-	-	132.52	106.87	91.91	-	-	331.30
10+370.00	-	-	-	245.10	197.66	169.99	-	-	612.75
10+380.00	-	-	-	260.60	210.16	180.74	-	-	651.50
10+390.00	-	-	-	856.24	690.52	593.84	-	-	2,140.60
10+400.00	-	-	-	1,365.20	1,100.97	946.83	-	-	3,413.00
10+410.00	-	-	-	1,157.24	933.26	802.60	-	-	2,893.10
10+420.00	-	-	-	967.12	779.94	670.74	-	-	2,417.80
10+430.00	-	-	-	689.38	555.95	478.12	-	-	1,723.45

10+440.00	-	-	-	433.24	349.39	300.47	-	-	1,083.10
10+450.00	-	-	-	354.80	286.13	246.07	-	-	887.00
10+460.00	-	-	-	458.38	369.66	317.91	-	-	1,145.95
10+470.00	-	-	-	488.60	394.03	338.87	-	-	1,221.50
10+480.00	-	-	-	283.38	228.53	196.54	-	-	708.45
10+490.00	-	-	-	129.86	104.73	90.06	-	-	324.65
10+500.00	-	-	-	364.10	193.63	42.52	-	-	600.25
10+510.00	-	-	-	407.55	342.34	311.36	-	-	1,061.25
10+520.00	-	-	-	421.75	434.53	490.77	-	-	1,347.05
10+530.00	-	-	-	424.55	475.00	572.95	-	-	1,472.50
10+540.00	-	-	-	361.60	413.55	506.85	-	-	1,282.00
10+550.00	-	-	-	292.45	319.26	377.99	-	-	989.70
10+560.00	-	-	-	281.60	277.00	300.10	-	-	858.70
10+570.00	-	-	-	271.30	244.02	241.13	-	-	756.45
10+580.00	-	-	-	211.80	172.03	149.47	-	-	533.30
10+590.00	-	-	-	174.55	98.63	32.57	-	-	305.75
10+600.00	-	-	-	80.15	84.10	96.45	-	-	260.70
10+610.00	-	-	-	134.30	102.34	80.61	-	-	317.25
10+620.00	-	-	-	168.41	120.29	84.20	-	-	372.90

10+630.00	-	-	-	214.60	157.65	116.45	-	-	488.70
10+640.00	-	-	-	191.45	303.63	446.17	-	-	941.25
10+650.00	-	-	-	209.45	418.00	668.35	-	-	1,295.80
10+660.00	-	-	-	215.10	383.39	590.01	-	-	1,188.50
10+670.00	-	-	-	226.70	339.79	486.86	-	-	1,053.35
10+680.00	-	-	-	203.45	314.87	457.78	-	-	976.10
10+690.00	-	-	-	169.75	271.23	399.82	-	-	840.80
10+700.00	-	-	-	146.20	208.61	291.89	-	-	646.70
10+710.00	-	-	-	121.95	161.87	217.98	-	-	501.80
10+720.00	-	-	-	108.70	135.90	176.70	-	-	421.30
10+730.00	-	-	-	81.85	94.85	117.35	-	-	294.05
10+740.00	-	-	-	40.50	58.98	83.37	-	-	182.85
10+750.00	-	-	-	15.45	49.90	89.35	-	-	154.70
10+760.00	-	-	-	21.30	66.77	118.93	-	-	207.00
10+770.00	-	-	-	75.05	96.16	126.89	-	-	298.10
10+780.00	-	-	-	117.55	99.76	91.94	-	-	309.25
10+790.00	-	-	-	87.75	65.92	50.68	-	-	204.35
10+800.00	-	-	-	54.45	33.34	15.56	-	-	103.35
10+810.00	-	-	-	256.76	41.06	63.48	-	-	361.30

10+820.00	-	-	-	589.00	86.94	89.16	-	-	765.10
10+830.00	-	-	-	273.15	103.20	531.80	-	-	908.15
10+840.00	-	-	-	267.40	419.89	614.36	-	-	1,301.65
10+850.00	-	-	-	309.45	375.83	1,381.77	-	-	2,067.05
10+860.00	-	-	-	328.00	458.49	1,735.21	-	-	2,521.70
10+870.00	-	-	-	347.15	360.72	1,276.08	-	-	1,983.95
10+880.00	-	-	-	648.35	177.32	149.58	-	-	975.25
10+890.00	-	-	-	207.30	68.83	102.42	-	-	378.55
10+900.00	-	-	-	430.77	103.48	34.90	-	-	569.15
10+910.00	-	-	-	271.65	401.05	570.55	-	-	1,243.25
10+920.00	-	-	-	144.90	575.97	1,064.63	-	-	1,785.50
10+930.00	-	-	-	124.30	804.89	1,565.96	-	-	2,495.15
10+940.00	-	-	-	98.15	774.39	1,528.06	-	-	2,400.60
10+950.00	-	-	-	93.55	496.52	949.13	-	-	1,539.20
10+960.00	-	-	-	54.00	327.76	634.29	-	-	1,016.05
10+970.00	-	-	-	104.05	277.74	479.21	-	-	861.00
10+980.00	-	-	-	174.45	342.89	545.61	-	-	1,062.95
10+990.00	-	-	-	105.15	375.74	683.91	-	-	1,164.80
11+000.00	-	-	-	42.10	370.24	735.41	-	-	1,147.75

11+010.00	-	-	-	48.10	391.19	773.41	-	-	1,212.70
				Frente de Andamayo (ZP4)					**245,568.60**
11+270.00	-	-	-	-	-	57.85	333.95	1,526.80	1,918.60
11+280.00	-	-	-	-	-	99.75	337.15	1,459.10	1,896.00
11+290.00	-	-	-	-	-	50.90	144.50	1,013.45	1,208.85
11+300.00	-	-	-	-	-	12.05	77.75	1,018.60	1,108.40
11+310.00	-	-	-	-	-	153.90	88.10	1,303.10	1,545.10
11+320.00	-	-	-	-	-	345.95	102.75	1,690.75	2,139.45
11+330.00	-	-	-	-	-	388.25	81.25	1,812.25	2,281.75
11+340.00	-	-	-	-	-	321.45	18.95	1,629.00	1,969.40
11+350.00	-	-	-	-	-	207.30	24.45	1,562.45	1,794.20
11+360.00	-	-	-	-	-	292.40	65.80	1,724.60	2,082.80
11+370.00	-	-	-	-	-	271.65	64.65	1,907.20	2,243.50
11+380.00	-	-	-	-	-	144.90	24.45	1,772.05	1,941.40
11+390.00	-	-	-	-	-	124.30	28.50	1,563.90	1,716.70
11+400.00	-	-	-	-	-	98.15	45.30	1,735.40	1,878.85
11+410.00	-	-	-	-	-	93.55	35.30	1,973.55	2,102.40
11+420.00	-	-	-	-	-	54.00	66.55	2,040.75	2,161.30
11+430.00	-	-	-	-	-	104.25	53.15	2,035.75	2,193.15

11+440.00	-	-	-	-	-	174.45	2.80	2,064.00	2,241.25
11+450.00	-	-	-	-	-	105.15	3.15	1,860.95	1,969.25
11+460.00	-	-	-	-	-	42.10	2.45	1,576.35	1,620.90
11+470.00	-	-	-	-	-	48.10	1.35	775.55	825.00
11+480.00	-	-	-	-	-	52.55	64.95	267.05	384.55
11+490.00	-	-	-	-	-	36.80	88.90	638.25	763.95
11+560.00	-	-	-	-	-	69.95	27.75	1,581.95	1,679.65
11+570.00	-	-	-	-	-	76.05	5.55	2,156.40	2,238.00
11+580.00	-	-	-	-	-	68.85	3.25	1,838.60	1,910.70
11+590.00	-	-	-	-	-	51.45	11.40	1,790.80	1,853.65
11+600.00	-	-	-	-	-	82.50	31.00	1,605.60	1,719.10
11+610.00	-	-	-	-	-	79.20	40.05	1,573.35	1,692.60
11+620.00	-	-	-	-	-	23.10	31.45	1,458.65	1,513.20
12+090.00	-	-	-	-	-	66.15	13.45	917.15	996.75
12+100.00	-	-	-	-	-	206.55	6.05	613.85	826.45
12+110.00	-	-	-	-	-	347.30	17.65	747.65	1,112.60
12+120.00	-	-	-	-	-	382.25	19.40	1,424.45	1,826.10
12+130.00	-	-	-	-	-	329.45	6.60	1,288.90	1,624.95
12+140.00	-	-	-	-	-	201.40	11.95	758.90	972.25

12+150.00	-	-	-	-	-	119.30	66.05	1,214.05	1,399.40
12+160.00	-	-	-	-	-	236.10	206.55	1,494.35	1,937.00
12+170.00	-	-	-	-	-	589.80	347.30	1,131.25	2,068.35
12+180.00	-	-	-	-	-	787.35	382.25	1,281.50	2,451.10
12+190.00	-	-	-	-	-	678.55	329.45	1,566.25	2,574.25
12+200.00	-	-	-	-	-	542.60	201.40	1,285.70	2,029.70
12+210.00	-	-	-	-	-	420.70	119.30	885.00	1,425.00
12+220.00	-	-	-	-	-	380.70	236.10	911.85	1,528.65
12+230.00	-	-	-	-	-	391.45	589.80	999.00	1,980.25
12+240.00	-	-	-	-	-	401.50	787.35	1,539.75	2,728.60
12+250.00	-	-	-	-	-	373.60	678.55	2,153.65	3,205.80
12+260.00	-	-	-	-	-	360.05	542.60	1,834.25	2,736.90
12+270.00	-	-	-	-	-	491.70	420.70	1,201.85	2,114.25
12+280.00	-	-	-	-	-	632.80	380.70	536.45	1,549.95
12+290.00	-	-	-	-	-	654.75	391.45	99.95	1,146.15
12+300.00	-	-	-	-	-	497.45	401.50	-73.50	825.45
12+310.00	-	-	-	-	-	274.25	373.60	13.55	661.40
12+320.00	-	-	-	-	-	209.90	360.05	305.05	875.00
12+330.00	-	-	-	-	-	222.30	491.70	505.35	1,219.35

12+340.00	-	-	-	-	-	216.65	632.80	526.40	1,375.85
12+350.00	-	-	-	-	-	169.85	654.75	876.95	1,701.55
12+360.00	-	-	-	-	-	63.60	497.45	1,671.60	2,232.65
12+370.00	-	-	-	-	-	3.10	274.25	2,150.85	2,428.20
12+380.00	-	-	-	-	-	15.15	209.90	2,110.00	2,335.05
12+390.00	-	-	-	-	-	45.45	222.30	1,627.30	1,895.05
12+400.00	-	-	-	-	-	98.75	216.65	849.55	1,164.95
12+410.00	-	-	-	-	-	118.00	223.90	601.40	943.30
12+420.00	-	-	-	-	-	77.95	189.15	745.75	1,012.85
12+430.00	-	-	-	-	-	53.50	160.20	759.75	973.45
12+440.00	-	-	-	-	-	69.75	189.50	926.35	1,185.60
12+450.00	-	-	-	-	-	48.85	202.70	1,254.55	1,506.10
12+460.00	-	-	-	-	-	105.10	236.15	1,539.65	1,880.90
12+470.00	-	-	-	-	-	239.40	275.60	1,658.60	2,173.60
12+480.00	-	-	-	-	-	272.75	257.70	1,885.40	2,415.85
12+490.00	-	-	-	-	-	1,025.55	235.60	1,386.15	2,647.30
12+500.00	-	-	-	-	-	1,988.20	252.95	1,126.20	3,367.35
12+510.00	-	-	-	-	-	2,375.40	235.95	912.05	3,523.40
12+520.00	-	-	-	-	-	1,561.21	269.40	432.54	2,263.15

12+530.00	-	-	-	-	-	917.20	308.75	1,201.45	2,427.40
12+540.00	-	-	-	-	-	342.60	272.75	1,645.90	2,261.25
12+550.00	-	-	-	-	-	1,264.40	893.75	109.35	2,267.50
12+560.00	-	-	-	-	-	2,262.25	4.00	1.25	2,267.50
12+570.00	-	-	-	-	-	2,177.20	890.00	1,191.60	4,258.80
12+580.00	-	-	-	-	-	1,803.10	165.90	2,948.55	4,917.55
12+590.00	-	-	-	-	-	815.60	2,814.96	387.79	4,018.35
12+600.00	-	-	-	-	-	629.72	2,262.40	370.28	3,262.40
12+610.00	-	-	-	-	-	999.40	59.60	1,903.10	2,962.10
12+620.00	-	-	-	-	-	1,090.25	1,602.94	110.21	2,803.40
12+630.00	-	-	-	-	-	1,294.10	1,202.71	50.49	2,547.30
12+640.00	-	-	-	-	-	1,531.00	313.00	2.15	1,846.15
12+650.00	-	-	-	-	-	1,960.70	815.60	1,687.10	4,463.40
12+660.00	-	-	-	-	-	455.22	633.35	1,408.83	2,497.40
12+670.00	-	-	-	-	-	806.77	1,009.85	145.00	1,961.62
12+680.00	-	-	-	-	-	35.29	1,105.50	77.66	1,218.45
12+690.00	-	-	-	-	-	215.60	1,319.85	234.30	1,769.75
12+700.00	-	-	-	-	-	1,558.30	492.30	387.05	2,437.65
12+710.00	-	-	-	-	-	1,731.60	119.82	151.28	2,002.70

12+720.00	-	-	-	-	-	530.70	1,002.90	1,024.75	2,558.35
12+730.00	-	-	-	-	-	180.20	977.80	819.80	1,977.80
12+740.00	-	-	-	-	-	115.45	637.56	465.44	1,218.45
12+750.00	-	-	-	-	-	1,008.20	568.60	192.95	1,769.75
12+760.00	-	-	-	-	-	1,638.20	588.20	211.25	2,437.65
12+770.00	-	-	-	-	-	1,514.05	164.98	52.57	1,731.60
12+780.00	-	-	-	-	-	530.70	455.54	1,090.21	2,076.45
12+790.00	-	-	-	-	-	1,366.29	180.20	1,181.71	2,728.20
12+800.00	-	-	-	-	-	1,508.90	115.45	1,303.35	2,927.70
12+810.00	-	-	-	-	-	689.36	1,008.20	747.34	2,444.90
12+820.00	-	-	-	-	-	1,541.20	82.63	14.37	1,638.20
12+830.00	-	-	-	-	-	665.60	707.49	140.96	1,514.05
12+840.00	-	-	-	-	-	163.15	799.96	1,113.34	2,076.45
12+850.00	-	-	-	-	-	172.20	1,004.22	1,551.78	2,728.20
12+860.00	-	-	-	-	-	489.45	1,159.65	1,278.60	2,927.70
12+870.00	-	-	-	-	-	921.90	326.02	1,196.98	2,444.90
12+880.00	-	-	-	-	-	855.00	331.62	354.58	1,541.20
12+890.00	-	-	-	-	-	1,999.17	665.60	932.53	3,597.30
12+900.00	-	-	-	-	-	2,879.06	163.15	755.89	3,798.10

12+910.00	-	-	-	-	-	484.32	172.20	995.78	1,652.30
12+920.00	-	-	-	-	-	315.20	489.45	126.45	931.10
12+930.00	-	-	-	-	-	56.00	921.90	67.65	1,045.55
12+940.00	-	-	-	-	-	1,015.25	462.64	96.71	1,574.60
12+950.00	-	-	-	-	-	1,708.96	942.13	946.21	3,597.30
12+960.00	-	-	-	-	-	512.95	1,245.63	2,039.52	3,798.10
12+970.00	-	-	-	-	-	538.85	656.60	456.85	1,652.30
12+980.00	-	-	-	-	-	590.20	125.09	215.81	931.10
12+990.00	-	-	-	-	-	625.95	202.40	217.20	1,045.55
13+000.00	-	-	-	-	-	637.90	195.48	181.87	1,015.25
13+010.00	-	-	-	-	-	564.55	62.05	80.45	707.05
13+020.00	-	-	-	-	-	45.00	312.95	162.55	520.50
13+030.00	-	-	-	-	-	538.85	112.00	12.30	663.15
13+040.00	-	-	-	-	-	590.20	208.33	45.02	843.55
13+050.00	-	-	-	-	-	625.95	300.70	59.20	985.85
13+060.00	-	-	-	-	-	637.90	225.80	86.10	949.80
13+070.00	-	-	-	-	-	564.55	144.66	18.99	728.20
13+080.00	-	-	-	-	-	78.05	520.50	77.75	676.30
13+090.00	-	-	-	-	-	12.63	654.50	128.92	796.05

13+100.00	-	-	-	-	-	768.00	56.26	19.29	843.55
13+110.00	-	-	-	-	-	440.30	125.89	419.66	985.85
13+120.00	-	-	-	-	-	102.60	762.90	84.30	949.80
13+130.00	-	-	-	-	-	87.16	624.80	16.24	728.20
13+140.00	-	-	-	-	-	5.06	567.03	104.21	676.30
13+150.00	-	-	-	-	-	486.50	120.99	188.56	796.05
13+160.00	-	-	-	-	-	415.07	768.00	328.38	1,511.45
13+170.00	-	-	-	-	-	320.90	440.30	1,638.70	2,399.90
13+180.00	-	-	-	-	-	1,048.22	102.60	1,297.38	2,448.20
13+190.00	-	-	-	-	-	86.59	458.92	1,223.44	1,768.95
13+200.00	-	-	-	-	-	116.84	536.80	476.26	1,129.90
13+210.00	-	-	-	-	-	59.66	486.50	322.04	868.20
13+220.00	-	-	-	-	-	694.65	788.34	28.46	1,511.45
13+230.00	-	-	-	-	-	496.55	805.62	1,097.73	2,399.90
13+240.00	-	-	-	-	-	365.20	1,048.98	1,034.02	2,448.20
13+250.00	-	-	-	-	-	281.90	596.17	890.88	1,768.95
13+260.00	-	-	-	-	-	272.40	218.20	639.30	1,129.90
13+270.00	-	-	-	-	-	322.45	61.30	484.45	868.20
13+280.00	-	-	-	-	-	524.40	45.00	125.25	694.65

13+290.00	-	-	-	-	-	15.06	496.55	191.94	703.55
13+300.00	-	-	-	-	-	65.13	365.20	653.62	1,083.95
13+310.00	-	-	-	-	-	194.86	281.90	575.29	1,052.05
13+320.00	-	-	-	-	-	154.06	272.40	724.29	1,150.75
13+330.00	-	-	-	-	-	96.85	322.45	1,176.90	1,596.20
13+340.00	-	-	-	-	-	112.30	524.40	869.95	1,506.65
13+350.00	-	-	-	-	-	151.23	703.55	510.52	1,365.30
13+360.00	-	-	-	-	-	98.12	1,083.95	32.63	1,214.70
13+370.00	-	-	-	-	-	156.03	890.70	5.32	1,052.05
13+380.00	-	-	-	-	-	200.89	725.40	224.46	1,150.75
13+390.00	-	-	-	-	-	226.94	1,017.04	352.22	1,596.20
13+400.00	-	-	-	-	-	401.35	565.49	539.81	1,506.65
13+410.00	-	-	-	-	-	255.40	412.68	697.22	1,365.30
13+420.00	-	-	-	-	-	337.40	615.47	270.38	1,223.25
13+430.00	-	-	-	-	-	445.40	540.50	61.50	1,047.40
13+440.00	-	-	-	-	-	508.80	26.26	202.99	738.05
13+450.00	-	-	-	-	-	509.65	543.45	-509.65	543.45
13+460.00	-	-	-	-	-	329.46	64.80	20.89	415.15
13+470.00	-	-	-	-	-	200.94	255.45	47.11	503.50

13+480.00	-	-	-	-	-	351.34	112.46	18.25	482.05
13+490.00	-	-	-	-	-	387.42	132.80	3.93	524.15
13+500.00	-	-	-	-	-	304.15	241.00	101.90	647.05
13+510.00	-	-	-	-	-	293.55	301.62	15.48	610.65
13+520.00	-	-	-	-	-	308.50	57.89	130.36	496.75
13+530.00	-	-	-	-	-	293.80	156.40	115.70	565.90
13+540.00	-	-	-	-	-	321.80	46.72	208.58	577.10
13+550.00	-	-	-	-	-	369.25	20.61	24.34	414.20
13+560.00	-	-	-	-	-	24.00	304.15	91.50	419.65
13+570.00	-	-	-	-	-	56.90	293.55	159.05	509.50
13+580.00	-	-	-	-	-	45.60	308.50	396.30	750.40
13+590.00	-	-	-	-	-	22.46	293.80	619.04	935.30
13+600.00	-	-	-	-	-	86.02	321.80	459.63	867.45
13+610.00	-	-	-	-	-	111.08	369.25	170.67	651.00
13+620.00	-	-	-	-	-	80.50	419.65	8.05	508.20
13+630.00	-	-	-	-	-	145.99	509.50	415.06	1,070.55
13+640.00	-	-	-	-	-	160.34	750.40	826.96	1,737.70
13+650.00	-	-	-	-	-	180.70	935.30	535.95	1,651.95
13+660.00	-	-	-	-	-	33.15	867.45	27.95	928.55

13+670.00	-	-	-	-	-	48.09	531.00	27.66	606.75
13+680.00	-	-	-	-	-	77.49	508.20	282.46	868.15
13+690.00	-	-	-	-	-	65.82	770.33	234.40	1,070.55
13+700.00	-	-	-	-	-	350.60	450.88	936.22	1,737.70
13+710.00	-	-	-	-	-	425.30	496.17	730.48	1,651.95
13+720.00	-	-	-	-	-	425.25	390.18	113.12	928.55
13+730.00	-	-	-	-	-	101.56	468.20	36.99	606.75
13+740.00	-	-	-	-	-	86.51	195.80	585.84	868.15
13+750.00	-	-	-	-	-	98.60	630.90	128.02	857.52
13+760.00	-	-	-	-	-	80.20	350.60	224.35	655.15
13+770.00	-	-	-	-	-	40.59	425.30	120.16	586.05
13+780.00	-	-	-	-	-	55.61	425.25	231.04	711.90
13+790.00	-	-	-	-	-	46.20	148.65	273.35	468.20
13+800.00	-	-	-	-	-	24.50	615.07	69.13	708.70
13+810.00	-	-	-	-	-	88.65	691.05	113.75	893.45
13+820.00	-	-	-	-	-	94.25	568.65	180.15	843.05
13+830.00	-	-	-	-	-	96.53	660.30	98.47	855.30
13+840.00	-	-	-	-	-	13.35	720.10	334.10	1,067.55
13+850.00	-	-	-	-	-	53.60	481.25	681.25	1,216.10

13+860.00	-	-	-	-	-	88.12	924.75	127.53	1,140.40
13+870.00	-	-	-	-	-	144.28	531.25	197.72	873.25
13+880.00	-	-	-	-	-	30.54	519.30	40.26	590.10
13+890.00	-	-	-	-	-	79.00	391.35	181.05	651.40
13+900.00	-	-	-	-	-	62.35	334.10	341.30	737.75
13+910.00	-	-	-	-	-	82.59	422.00	199.93	704.52
13+920.00	-	-	-	-	-	498.45	318.00	4.85	821.30
13+930.00	-	-	-	-	-	370.65	258.91	125.99	755.55
13+940.00	-	-	-	-	-	374.20	150.66	216.59	741.45
13+950.00	-	-	-	-	-	541.10	245.00	177.65	963.75
13+960.00	-	-	-	-	-	788.60	184.60	18.15	991.35
13+970.00	-	-	-	-	-	59.62	721.50	229.03	1,010.15
13+980.00	-	-	-	-	-	88.52	498.45	531.38	1,118.35
13+990.00	-	-	-	-	-	64.90	370.65	534.75	970.30
14+000.00	-	-	-	-	-	57.15	374.20	207.70	639.05
				Frente de Ayo (ZP7)					**245,568.60**
36+000.00	-	-	-	157.72	139.10	283.90	144.72	63.16	788.60
36+010.00	-	-	-	74.78	56.16	134.60	61.78	46.58	373.90
36+020.00	-	-	-	84.72	66.10	152.50	71.72	48.56	423.60

36+030.00	-	-	-	103.90	85.28	187.02	90.90	52.40	519.50
36+040.00	-	-	-	113.16	94.54	203.69	100.16	54.25	565.80
36+050.00	-	-	-	122.88	104.26	221.18	109.88	56.20	614.40
36+060.00	-	-	-	168.11	149.49	302.60	155.11	65.24	840.55
36+070.00	-	-	-	202.97	184.35	365.35	189.97	72.21	1,014.85
36+080.00	-	-	-	197.78	179.16	356.00	184.78	71.18	988.90
36+090.00	-	-	-	164.51	145.89	296.12	151.51	64.52	822.55
36+100.00	-	-	-	129.05	110.43	232.29	116.05	57.43	645.25
36+110.00	-	-	-	116.51	97.89	209.72	103.51	54.92	582.55
36+120.00	-	-	-	100.88	82.26	181.58	87.88	51.80	504.40
36+130.00	-	-	-	93.30	74.68	167.94	80.30	50.28	466.50
36+140.00	-	-	-	101.02	82.40	181.84	88.02	51.82	505.10
36+150.00	-	-	-	154.66	136.04	278.39	141.66	62.55	773.30
36+160.00	-	-	-	200.63	182.01	361.13	187.63	71.75	1,003.15
36+170.00	-	-	-	214.72	196.10	386.50	201.72	74.56	1,073.60
36+180.00	-	-	-	270.45	251.83	486.81	257.45	85.71	1,352.25
36+190.00	-	-	-	263.86	245.24	474.95	250.86	84.39	1,319.30
36+200.00	-	-	-	204.53	185.91	368.15	191.53	72.53	1,022.65
36+210.00	-	-	-	94.09	75.47	169.36	81.09	50.44	470.45

36+220.00	-	-	-	101.64	83.02	182.95	77.06	63.53	508.20
36+230.00	-	-	-	207.00	188.38	372.60	182.42	84.60	1,035.00
36+240.00	-	-	-	184.60	165.98	332.28	160.02	80.12	923.00
36+250.00	-	-	-	146.38	127.76	263.48	121.80	72.48	731.90
36+260.00	-	-	-	119.71	101.09	215.48	95.13	67.14	598.55
36+270.00	-	-	-	107.03	88.41	192.65	82.45	64.61	535.15
36+280.00	-	-	-	163.94	145.32	295.09	139.36	75.99	819.70
36+290.00	-	-	-	218.00	199.38	392.40	193.42	86.80	1,090.00
36+300.00	-	-	-	225.30	206.68	405.54	200.72	88.26	1,126.50
36+310.00	-	-	-	260.03	241.41	468.05	235.45	95.21	1,300.15
36+320.00	-	-	-	247.91	229.29	446.24	223.33	92.78	1,239.55
36+330.00	-	-	-	169.32	150.70	304.78	144.74	77.06	846.60
36+340.00	-	-	-	152.60	133.98	274.68	128.02	73.72	763.00
36+350.00	-	-	-	506.10	487.48	910.98	481.52	144.42	2,530.50
36+360.00	-	-	-	1,110.41	1,091.79	1,998.74	1,085.83	265.28	5,552.05
36+370.00	-	-	-	1,376.52	1,357.90	2,477.74	1,351.94	318.50	6,882.60
36+380.00	-	-	-	1,625.36	1,606.74	2,925.65	1,600.78	368.27	8,126.80
36+390.00	-	-	-	1,969.39	1,950.77	3,544.90	1,944.81	437.08	9,846.95
36+400.00	-	-	-	1,955.12	1,936.50	3,519.22	1,930.54	434.22	9,775.60

36+410.00	-	-	-	1,861.31	1,842.69	3,350.36	1,836.73	415.46	9,306.55
36+420.00	-	-	-	1,874.45	1,855.83	3,374.01	1,849.87	418.09	9,372.25
36+430.00	-	-	-	1,901.37	1,882.75	3,422.47	1,876.79	423.47	9,506.85
36+440.00	-	-	-	1,795.16	1,776.54	3,231.29	1,770.58	402.23	8,975.80
36+450.00	-	-	-	1,572.90	1,554.28	2,831.22	1,548.32	357.78	7,864.50
36+460.00	-	-	-	1,510.87	1,492.25	2,719.57	1,486.29	345.37	7,554.35
36+470.00	-	-	-	1,536.57	1,517.95	2,765.83	1,511.99	350.51	7,682.85
36+480.00	-	-	-	1,380.32	1,361.70	2,484.58	1,355.74	319.26	6,901.60
36+490.00	-	-	-	1,257.83	1,239.21	2,264.09	1,233.25	294.77	6,289.15
36+500.00	-	-	-	1,423.17	1,404.55	2,561.71	1,398.59	327.83	7,115.85
36+510.00	-	-	-	1,695.17	1,676.55	3,051.31	1,670.59	382.23	8,475.85
36+520.00	-	-	-	1,466.87	1,448.25	2,640.37	1,442.29	336.57	7,334.35
36+530.00	-	-	-	755.87	737.25	1,360.57	731.29	194.37	3,779.35
36+540.00	-	-	-	374.60	355.98	674.28	350.02	118.12	1,873.00
36+550.00	-	-	-	276.92	258.30	498.46	252.34	98.58	1,384.60
36+560.00	-	-	-	204.27	185.65	367.69	179.69	84.05	1,021.35
36+570.00	-	-	-	238.29	219.67	428.92	213.71	90.86	1,191.45
36+580.00	-	-	-	431.89	413.27	777.40	407.31	129.58	2,159.45
36+590.00	-	-	-	451.91	433.29	813.44	427.33	133.58	2,259.55

36+600.00	-	-	-	280.98	262.36	505.76	256.40	99.40	1,404.90
36+610.00	-	-	-	235.88	217.26	424.58	211.30	90.38	1,179.40
36+620.00	-	-	-	222.27	203.65	400.09	197.69	87.65	1,111.35
36+630.00	-	-	-	158.87	140.25	285.97	134.29	74.97	794.35
36+640.00	-	-	-	92.88	74.26	167.18	68.30	61.78	464.40
36+650.00	-	-	-	96.86	78.24	174.35	72.28	62.57	484.30
36+660.00	-	-	-	115.34	96.72	207.61	90.76	66.27	576.70
36+670.00	-	-	-	130.12	111.50	234.22	105.54	69.22	650.60
36+680.00	-	-	-	193.45	174.83	348.21	168.87	81.89	967.25
36+690.00	-	-	-	166.57	147.95	299.83	141.99	76.51	832.85
36+700.00	-	-	-	86.79	68.17	156.22	62.21	60.56	433.95
36+710.00	-	-	-	225.04	206.42	405.07	200.46	88.21	1,125.20
36+720.00	-	-	-	456.94	438.32	822.49	432.36	134.59	2,284.70
36+730.00	-	-	-	447.94	429.32	806.29	423.36	132.79	2,239.70
36+740.00	-	-	-	279.96	261.34	503.93	255.38	99.19	1,399.80
36+750.00	-	-	-	179.32	197.94	322.78	191.98	4.58	896.60
36+760.00	-	-	-	101.51	120.13	182.72	84.17	19.02	507.55
36+770.00	-	-	-	58.77	77.39	105.79	41.43	10.47	293.85
36+780.00	-	-	-	318.38	337.00	573.08	301.04	62.40	1,591.90

36+790.00	-	-	-	796.64	815.26	1,433.95	779.30	158.05	3,983.20
36+800.00	-	-	-	983.81	1,002.43	1,770.86	966.47	195.48	4,919.05
36+810.00	-	-	-	950.23	968.85	1,710.41	932.89	188.77	4,751.15
36+820.00	-	-	-	1,008.23	1,026.85	1,814.81	990.89	200.37	5,041.15
36+830.00	-	-	-	1,087.06	1,105.68	1,956.71	1,069.72	216.13	5,435.30
36+840.00	-	-	-	965.42	984.04	1,737.76	948.08	191.80	4,827.10
36+850.00	-	-	-	697.19	715.81	1,254.94	679.85	138.16	3,485.95
36+860.00	-	-	-	466.72	485.34	840.10	449.38	92.06	2,333.60
36+870.00	-	-	-	256.11	274.73	461.00	238.77	49.94	1,280.55
36+880.00	-	-	-	101.86	120.48	183.35	84.52	19.09	509.30
36+890.00	-	-	-	89.32	107.94	160.78	71.98	16.58	446.60
36+900.00	-	-	-	112.59	131.21	202.66	95.25	21.24	562.95
36+910.00	-	-	-	115.84	134.46	208.51	98.50	21.89	579.20
36+920.00	-	-	-	197.33	215.95	355.19	179.99	38.19	986.65
36+930.00	-	-	-	268.47	287.09	483.25	251.13	52.41	1,342.35
36+940.00	-	-	-	168.39	187.01	303.10	151.05	32.40	841.95
36+950.00	-	-	-	74.78	93.40	134.60	57.44	13.68	373.90
36+960.00	-	-	-	157.70	176.32	283.86	140.36	30.26	788.50
36+970.00	-	-	-	201.74	220.36	363.13	184.40	39.07	1,008.70

36+980.00	-	-	-	210.47	229.09	378.85	193.13	40.81	1,052.35
36+990.00	-	-	-	165.62	184.24	298.12	148.28	31.84	828.10
				Frente de Ayo (ZP6)					**99,404.20**
37+000.00	-	-	66.20	966.52	799.53	-	-	-	1,832.25
37+010.00	-	-	45.10	658.46	1,455.54	-	-	-	2,159.10
37+020.00	-	-	17.55	256.23	2,681.97	-	-	-	2,955.75
37+030.00	-	-	5.60	81.76	3,673.29	-	-	-	3,760.65
37+040.00	-	-	8.85	129.21	4,598.94	-	-	-	4,737.00
37+050.00	-	-	9.90	144.54	4,120.81	-	-	-	4,275.25
37+060.00	-	-	6.50	94.90	2,263.45	-	-	-	2,364.85
37+070.00	-	-	5.80	84.68	967.97	-	-	-	1,058.45
37+080.00	-	-	9.95	145.27	490.13	-	-	-	645.35
37+090.00	-	-	31.90	465.74	735.26	-	-	-	1,232.90
37+100.00	-	-	61.65	900.09	2,398.81	-	-	-	3,360.55
37+110.00	-	-	56.15	819.79	5,372.81	-	-	-	6,248.75
37+120.00	-	-	24.25	354.05	275.00	-	-	-	653.30
37+130.00	-	-	7.95	116.07	449.23	-	-	-	573.25
37+140.00	-	-	18.75	273.75	161.45	-	-	-	453.95
37+150.00	-	-	46.55	218.79	78.12	-	-	-	343.45

37+160.00	-	-	67.90	190.12	25.28	-	-	-	283.30
37+170.00	-	-	57.90	162.12	36.73	-	-	-	256.75
37+180.00	-	-	23.00	64.40	229.40	-	-	-	316.80
37+190.00	-	-	4.95	72.27	400.33	-	-	-	477.55
37+200.00	-	-	9.20	134.32	524.28	-	-	-	667.80
37+210.00	-	-	14.60	213.16	683.79	-	-	-	911.55
37+220.00	-	-	13.90	202.94	993.36	-	-	-	1,210.20
37+230.00	-	-	6.40	93.44	1,248.31	-	-	-	1,348.15
37+240.00	-	-	2.30	33.58	1,192.52	-	-	-	1,228.40
37+250.00	-	-	10.10	147.46	743.89	-	-	-	901.45
37+260.00	-	-	12.30	179.58	411.87	-	-	-	603.75
37+270.00	-	-	7.25	105.85	433.25	-	-	-	546.35
37+280.00	-	-	4.30	62.78	509.62	-	-	-	576.70
37+290.00	-	-	2.30	33.58	591.67	-	-	-	627.55
37+300.00	-	-	15.30	223.38	443.37	-	-	-	682.05
37+310.00	-	-	63.45	590.09	50.61	-	-	-	704.15
37+320.00	-	-	85.55	453.42	337.84	-	-	-	876.80
37+330.00	-	-	56.65	300.25	738.46	-	-	-	1,095.35
37+340.00	-	-	38.55	358.52	877.14	-	-	-	1,274.20

37+350.00	-	-	35.10	512.46	926.34	-	-	-	1,473.90
37+360.00	-	-	29.20	426.32	1,173.13	-	-	-	1,628.65
37+370.00	-	-	36.15	527.79	1,196.56	-	-	-	1,760.50
37+380.00	-	-	63.45	926.37	833.93	-	-	-	1,823.75
37+390.00	-	-	70.60	1,030.76	657.09	-	-	-	1,758.45
37+400.00	-	-	56.55	825.63	673.47	-	-	-	1,555.65
37+410.00	-	-	48.65	710.29	640.46	-	-	-	1,399.40
37+420.00	-	-	56.95	831.47	343.28	-	-	-	1,231.70
37+430.00	-	-	98.40	797.04	293.56	-	-	-	1,189.00
37+440.00	-	-	131.75	1,067.18	109.08	-	-	-	1,308.00
37+450.00	-	-	120.05	972.41	271.25	-	-	-	1,363.70
37+770.00	-	-	101.90	825.39	454.76	-	-	-	1,382.05
37+780.00	-	-	141.80	1,148.58	45.27	-	-	-	1,335.65
37+790.00	-	-	133.50	1,081.35	93.80	-	-	-	1,308.65
37+800.00	-	-	109.50	886.95	331.40	-	-	-	1,327.85
37+810.00	-	-	113.05	915.71	321.65	-	-	-	1,350.40
37+820.00	-	-	72.15	1,053.39	239.91	-	-	-	1,365.45
37+830.00	-	-	48.70	711.02	618.88	-	-	-	1,378.60
37+840.00	-	-	56.55	825.63	410.62	-	-	-	1,292.80

37+850.00	-	-	55.75	813.95	66.45	-	-	-	936.15
37+860.00	-	-	22.80	332.88	358.97	-	-	-	714.65
37+870.00	-	-	22.45	327.77	590.83	-	-	-	941.05
37+880.00	-	-	71.35	1,041.71	226.59	-	-	-	1,339.65
37+890.00	-	-	126.60	557.04	1,257.06	-	-	-	1,940.70
37+900.00	-	-	269.10	1,184.04	1,311.66	-	-	-	2,764.80
37+910.00	-	-	251.85	1,108.14	1,819.51	-	-	-	3,179.50
37+920.00	-	-	84.55	372.02	2,049.38	-	-	-	2,505.95
37+930.00	-	-	41.35	181.94	1,295.16	-	-	-	1,518.45
37+940.00	-	-	28.30	124.52	799.88	-	-	-	952.70
37+950.00	-	-	14.25	62.70	559.50	-	-	-	636.45
37+960.00	-	-	0.45	1.98	567.12	-	-	-	569.55
37+970.00	-	-	3.40	14.96	687.69	-	-	-	706.05
37+980.00	-	-	5.65	24.86	947.89	-	-	-	978.40
37+990.00	-	-	91.85	404.14	746.36	-	-	-	1,242.35
				Frente de Ayo (ZP5)					**86,405.20**
38+000.00	55.75	209.60	543.97	1,253.43	-	-	-	-	2,062.75
38+010.00	22.80	198.05	452.74	882.01	-	-	-	-	1,555.60
38+020.00	22.45	81.05	212.18	1,144.68	-	-	-	-	1,460.35

38+030.00	71.35	14.95	176.92	1,075.19	-	-	-	-	1,338.40
38+040.00	126.60	18.25	296.94	762.31	-	-	-	-	1,204.10
38+050.00	269.10	18.30	589.17	1,114.18	-	-	-	-	1,990.75
38+060.00	251.85	10.65	538.13	3,386.08	-	-	-	-	4,186.70
38+070.00	84.55	10.35	194.55	5,285.41	-	-	-	-	5,574.85
38+150.00	91.85	28.55	246.82	4,145.33	-	-	-	-	4,512.55
38+160.00	209.60	47.25	526.54	2,243.56	-	-	-	-	3,026.95
38+170.00	198.05	116.90	645.65	1,107.30	-	-	-	-	2,067.90
38+180.00	81.05	329.95	390.45	127.90	-	-	-	-	929.35
38+250.00	47.25	301.60	156.98	73.62	-	-	-	-	579.45
38+260.00	116.90	71.40	84.74	308.22	-	-	-	-	581.25
38+270.00	329.95	22.50	59.92	37.43	-	-	-	-	449.80
38+280.00	301.60	27.00	55.86	238.74	-	-	-	-	623.20
38+290.00	71.40	28.60	17.00	999.45	-	-	-	-	1,116.45
38+300.00	22.50	21.45	7.47	1,752.43	-	-	-	-	1,803.85
38+310.00	27.00	36.70	10.83	1,770.37	-	-	-	-	1,844.90
38+320.00	28.60	50.35	13.42	1,367.53	-	-	-	-	1,459.90
38+330.00	21.45	259.45	47.75	891.55	-	-	-	-	1,220.20
38+340.00	36.70	245.90	48.04	603.01	-	-	-	-	933.65

38+350.00	50.35	13.10	10.79	926.61	-	-	-	-	1,000.85
38+360.00	259.45	25.00	48.36	788.69	-	-	-	-	1,121.50
38+370.00	245.90	77.20	54.93	934.07	-	-	-	-	1,312.10
38+380.00	13.10	112.60	21.37	1,245.38	-	-	-	-	1,392.45
39+320.00	632.80	157.95	134.43	562.97	-	-	-	-	1,488.15
39+330.00	714.20	194.35	154.45	44.90	-	-	-	-	1,107.90
39+340.00	85.85	150.10	40.11	142.64	-	-	-	-	418.70
39+420.00	251.95	62.95	53.53	135.52	-	-	-	-	503.95
39+430.00	296.36	14.95	124.52	735.12	-	-	-	-	1,170.95
39+440.00	89.96	8.85	39.52	805.57	-	-	-	-	943.90
39+450.00	22.65	13.45	14.44	471.66	-	-	-	-	522.20
39+460.00	27.70	8.45	14.46	666.04	-	-	-	-	716.65
39+470.00	17.95	6.65	23.37	1,077.08	-	-	-	-	1,125.05
39+480.00	22.90	4.25	25.79	1,437.96	-	-	-	-	1,490.90
39+490.00	42.60	4.60	44.84	2,349.81	-	-	-	-	2,441.85
39+500.00	21.80	5.65	26.08	1,990.72	-	-	-	-	2,044.25
39+610.00	49.63	2.20	49.24	1,321.63	-	-	-	-	1,422.70
39+620.00	85.60	66.60	144.59	1,127.01	-	-	-	-	1,423.80
39+630.00	59.46	137.25	186.87	709.17	-	-	-	-	1,092.75

39+640.00	1,102.35	91.85	1,134.49	373.56	-	-	-	-	2,702.25
39+650.00	57.60	0.60	55.29	3,863.31	-	-	-	-	3,976.80
39+660.00	177.70	1.85	170.57	3,271.33	-	-	-	-	3,621.45
39+670.00	214.85	2.50	206.48	1,768.52	-	-	-	-	2,192.35
39+680.00	150.70	5.10	148.01	835.54	-	-	-	-	1,139.35
39+690.00	108.85	13.20	115.95	528.15	-	-	-	-	766.15
39+700.00	82.70	19.40	97.00	715.61	-	-	-	-	914.70
39+710.00	83.30	50.00	126.64	1,133.37	-	-	-	-	1,393.30
39+720.00	76.05	46.30	116.23	1,855.97	-	-	-	-	2,094.55
39+730.00	45.60	15.20	57.76	1,820.14	-	-	-	-	1,938.70
39+810.00	90.35	29.00	113.38	806.92	-	-	-	-	1,039.65
39+820.00	173.45	65.45	226.96	115.60	-	-	-	-	581.45
39+830.00	95.75	43.40	132.19	137.31	-	-	-	-	408.65
39+840.00	127.70	11.50	132.24	100.91	-	-	-	-	372.35