

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

**APLICACIÓN DEL METODO AIR DECK PARA REDUCIR EL P80
EN LA FRAGMENTACION DE LA ROCA EN LA MINA
SHOUGANG HIERRO PERU, MARCONA - ICA**

PRESENTADO POR:

Br. DANIEL ALEXANDER PINARES ARANDA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO DE MINAS**

ASESOR:

Mg. ODILON CONTRERAS ARANA

CUSCO – PERÚ

2025



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor ODILON CONTRERAS ARANA
..... quien aplica el software de detección de similitud al
trabajo de investigación/tesis titulada: APLICACIÓN DEL METODO AIR DECK
..... PARA REDUCIR EL P80 EN LA FRAGMENTACION DE LA ROCA EN
..... LA MINA SHOUANG, HIERRO PERU, MARCONA - ICA

Presentado por: DANIEL ALEXANDER PINARES ARANDA DNI N° 47833789;
presentado por: DNI N°:
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO DE MINAS

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 02 veces, mediante el
Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de
Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 08%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto**
las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 02 de FEBRERO de 2026

.....
Firma
Post firma Odilon Contreras Arana
Nro. de DNI 23823356
ORCID del Asesor 0000-0002-9164-1705

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:552177176

daniel alexander pinares aranda

APLICACIÓN DEL METODO AIR DECK PARA REDUCIR EL P80 EN LA FRAGMENTACION DE LA ROCA EN LA MINA SHOUGAN...

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:552177176

Fecha de entrega

2 feb 2026, 3:07 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 feb 2026, 3:17 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

APLICACIÓN DEL METODO AIR DECK PARA REDUCIR EL P80 EN LA FRAGMENTACION DE LA ROCApdf

Tamaño del archivo

15.5 MB

156 páginas

17.080 palabras

82.399 caracteres

8% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 20 palabras)
- Trabajos entregados

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Texto oculto**
73 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres: Carlos Vicente Pinares Vásquez y Verónica Aranda Limachi con todo el amor que siento hacia ellos, por ser los principales responsables de mis sueños, por ser mi motivo e inspiración para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por cuidarme y acompañarme en todo momento en mi vida universitaria, a mis Padres y Hermana por el apoyo constante durante toda mi etapa de formación Profesional.

A mi Alma Mater, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, del cual me enorgullezco de ser egresado.

A mi Asesor por su colaboración y orientación durante el desarrollo y conclusión de la tesis y a mis docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por las pautas y experiencias otorgadas.

Un agradecimiento especial a la Empresa San Martín Contratistas Generales por darme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente.

PRESENTACION

Decano de la facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica, señores docentes miembros del jurado de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

En cumplimiento de lo establecido por la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, para la obtención del título universitario, me es grato presentar el trabajo de investigación intitulado: “APLICACIÓN DEL METODO AIR DECK PARA REDUCIR EL P80 EN LA FRAGMENTACION DE LA ROCA EN LA MINA SHOUGANG HIERRO PERU, MARCONA - ICA”, con la finalidad de conocer la importancia de la aplicación de método Air Deck, así como el aporte que esto significa.

Se da a conocer que la investigación sea el inicio para futuras investigaciones y se realice varios aportes que contribuya al área de Perforación y Voladura en Minas y a los estudiantes, se presenta la investigación que se pone a su disposición.

INTRODUCCIÓN

Todas las etapas en el minado son importantes y necesarios para lograr dicho objetivo empresarial trazado, si se logra eficiencia y optimización en toda la actividad productiva y operativa se benefician todos los grupos de interés. La tesis busca optimizar una parte necesaria del ciclo de minado muy importante, que es la voladura mediante el uso de Air Deck. Siendo de gran importancia llevar a cabo un estudio de este tipo es que es necesario elegir por la mejor opción que conlleven a optimizar recursos.

Se ha revisado antecedentes bibliográficos y existen bastantes estudios donde se usan Air Deck en voladuras. Por lo que, este trabajo precisa cuál sería el beneficio y efecto en la fragmentación de roca.

En el primer capítulo se encuentra todos los aspectos metodológicos del trabajo donde se plantea la problemática para definir cuáles serán los principales objetivos, se enfatiza la justificación que define los motivos para realizar la tesis como también se plantean las hipótesis. En tanto al segundo capítulo se realiza la inspección bibliográfica y de antecedentes, se expone las principales teorías y conceptos indispensables, así como la definición de términos. Para el tercer capítulo se detalla los aspectos generales actual del área de estudio. En el cuarto capítulo se muestra la evaluación de voladura aplicando la técnica de cámaras de aire. En el quinto capítulo se detalla el análisis y discusión de resultados. Finalmente, se detalla y presentan las conclusiones logradas con la investigación, recomendaciones del tesista, la lista de referencias y los anexos.

RESUMEN

La tesis tiene como objetivo principal analizar el impacto del uso de Air Deck en la optimización de la voladura en Mina 5 Producción a tajo abierto en la empresa Shougang Hierro Perú en la ciudad de Nazca – Marcona. Se utilizó como método la recopilación de informes anteriores, el análisis de fragmentación con el software WipFrag y data del desempeño de productividad. Se tomaron como recopilación de datos ocho voladuras con el método convencional; Y cuatro voladuras con la aplicación de cámaras de aire. Los datos se registraron por el área de voladura. En su totalidad todas las voladuras se midieron el factor potencia, la fragmentación y la cantidad de explosivos utilizados. Los resultados obtenidos indican que el uso de Air Deck permite la optimización del proceso debido a que mejora la fragmentación, y como resultado a ello permite corresponder a lo solicitado por el área de operaciones y, finalmente, aumenta la productividad en la compañía. Esto significa que realizar una voladura con cámara de aire es favorable con la reducción del 52% de la fragmentación con respecto al método convencional, disminuyendo su fragmentación roca promedio de 14.85” a 7.18” y como consecuencia aumentar el rendimiento de los equipos de carguío en un 11.5%, factor de llenado de los camiones de acarreo aumento en 8.9% y la planta chancadora aumento su rendimiento efectivo en 4.8%.

PALABRAS CLAVE: Fragmentación, Cámaras de aire, Voladura, Granulometría

ABSTRACT

The main objective of the thesis is to analyze the impact of the use of air deck in the optimization of blasting in Mine 5 Open pit production in the company Shougang Hierro Perú in the city of Nazca – Marcona. The collection of previous reports, fragmentation analysis with WipFrag software and productivity performance data were used as a method. Eight blasts with the conventional method were taken as data collection. And four blasts with the application of air deck. Data was recorded by blasting área. In all blasts, the power factor, fragmentation and the amount of explosives used were measured. The results obtained indicate that the use of air deck allows the optimization of the process because it improves fragmentation, and as a result, it allows it to correspond to what is requested by the operations area and, finally, increases productivity in the company. This means that blasting with an air deck is favorable with a 52% reduction in fragmentation compared to the conventional method, decreasing its average rock fragmentation from 14.85” to 7.18” and as a consequence increase the performance of loading equipment by 11.5%, the fill factor of the haul trucks increased by 8.9% and the crushing plant increased its effective performance by 4.8%.

KEYWORDS: Fragmentation, Air deck, Blasting, Granulometry

CONTENIDO

CAPITULO I.....	1
ASPECTOS METODOLOGICOS DEL TRABAJO	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1.1. Fundamentación del problema.....	1
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problemas específicos.....	2
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.4.1. Justificación teórica	3
1.4.2. Justificación práctica	3
1.5. HIPÓTESIS	3
1.5.1. Hipótesis general	3
1.5.2. Hipótesis específicas.....	4
1.6. VARIABLES E INDICADORES	4
1.6.1. Operacionalización De Las Variables	4
1.7. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	4
1.7.1. Tipo de investigación	4
1.7.2. Enfoque de investigación.....	4
1.7.3. Diseño de investigación.....	5
1.8. POBLACION Y MUESTRA	5
1.8.1. Población	5
1.8.2. Muestra	5
1.9. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS	5
1.9.1. Técnica de recolección de datos	5
1.9.2. Instrumentos de recolección de datos.....	5
1.9.3. Procesamiento de datos y presentación de resultados	6
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	7

2.1.1.	Antecedentes internacionales	7
2.1.2.	Antecedentes nacionales	8
2.2.	BASES TEORICAS	9
2.2.1.	Minería superficial.....	9
2.2.1.1.	Diseño de tajo	10
2.2.1.2.	Diseño de banco	10
2.2.2.	Perforación.....	11
2.2.2.1.	Maquinas perforadoras y accesorio	11
A).	Perforación rotopercutiva	12
B).	Perforación rotativa	12
2.2.2.2.	Diseño de malla de perforación	14
A)	Espaciamiento	14
B)	Burden	15
C)	Dimensiones de taladros	17
2.2.3.	Voladura en bancos	18
2.2.3.1.	Explosivos	18
A)	Clasificación de explosivos	19
B)	Agente de voladura	19
B.1)	ANFO	19
B.2)	Heavy ANFO	20
B.3)	Emulsiones	22
B.4)	Emulsión gasificado San-g APU	23
2.2.3.2.	Taco superior y taco intermedio	23
2.2.3.3.	Factor de voladura	23
2.2.3.4.	Impedancia.....	24
2.2.3.5.	Presión de detonación	24
2.2.3.6.	Velocidad de detonación	25
2.2.3.7.	Accesorios de voladura.....	25
2.2.3.8.	Tipos de voladura	25
2.2.3.9.	Tipos de tacos	26
2.2.3.10.	Evaluación de resultados de voladura	26
2.2.3.11.	Fragmentación de la roca.....	26
2.2.4.	Air Deck	27

2.2.4.1. Acción de cámaras de aire	27
2.2.4.2. Etapas del proceso de Air Deck en voladura	28
2.2.4.3. Beneficios del uso de Air Deck	29
2.2.4.4. Clasificación de Air Deck.....	30
CAPITULO III.	35
ASPECTOS GENERALES ACTUAL DEL AREA DE ESTUDIO	35
3.1. HISTORIA DE LA MINA SHOUGANG HIERRO	35
3.2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	36
3.2.1. UBICACIÓN	36
3.2.2. ACCESIBILIDAD	37
3.3. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO	37
3.3.1. Geología regional	37
3.3.1.1. Estratigrafía	38
3.3.2. Geología local.....	39
3.3.2.1. Formación y tipo de yacimiento	41
3.3.2.2. Mineralización y alteraciones	41
3.3.2.2.1. Mineralización	41
3.3.2.2.2. Alteración	41
3.3.3. Geología estructural.....	42
3.3.4. Geología económica	43
3.3.4.1. Mineralogía.....	43
3.3.4.2. Reservas de Mineral	43
3.3.5. Características Geomecánicas	45
3.3.5.1. Mapeo Geomecánico	45
3.3.5.2. Calidad de Roca.....	46
3.4. OPERACIÓN MINA.....	46
3.4.1. Parámetros de diseño y producción	46
3.4.2. Equipos de mina	47
3.4.3. Descripción del ciclo de mina	49
3.4.3.1. Perforación	50
3.4.3.1.1. Malla de perforación.....	51
3.4.3.2. Voladura	53
3.4.3.2.1. Resultados de voladura sin air deck	57

a). Granulometría.....	57
b). Proyección.....	59
c). Producción.....	60
d). Factor de potencia	61
e). Costos Perforación y voladura	61
f). Fallas.....	64
3.4.3.3. Carguío	66
3.4.3.4. Acarreo	68
3.4.3.5. Equipos auxiliares.....	68
3.4.4. Chancado (Mina)	70
3.4.5. Envío de Crudos	71
3.4.6. Flow sheet.....	72
3.4.7. Control de calidad.....	73
CAPITULO IV.....	74
EVALUACION DE VOLADURA APLICANDO LA TECNICA DE CAMARAS DE AIRE.....	74
4.1. RECOPIACION DE DATOS E INFORMACION HISTORICA CON EL METODO CONVENCIONAL	74
4.2. ANALISIS DE INFORMACION POST VOLADURA CON EL METODO CONVENCIONAL	75
4.3. VOLADURA CON CÁMARA DE AIRE	80
4.3.1. Diseño de carga	80
4.3.1.1. Explosivo utilizado y accesorios	82
4.3.1.2. Carga por taladro	83
4.4. RECOLECCION DE DATOS DE CAMPO POST VOLADURA APLICANDO CAMARAS DE AIRE.....	83
4.5. ANALISIS DE INFORMACION POST VOLADURA APLICANDO CAMARAS DE AIRE.....	84
4.5.1. Fragmentación obtenida aplicando cámaras de aire	84
4.5.2. Proyección de partículas.....	85
4.5.3. Tonelaje producido por disparo	86
4.5.4. Consumo de Explosivo por disparo.....	86
4.5.5. Factor de voladura	86
4.5.6. Costo de voladura utilizando air deck	87
4.5.7. Reporte de las voladuras ejecutadas.	88

4.5.7.1. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 514 – Py 05 – Py 06.....	88
4.5.7.1.1. Antecedentes Nv. 514 – Py 05 – Py 06.	88
4.5.7.1.2. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 514 – Py 05 – Py 06.	88
4.5.7.1.3. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 05 – Py 06.	89
4.5.7.1.4. Control de taco (SD) Nv. 514 - Py 05 – Py 06.....	91
4.5.7.1.5. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.....	93
4.5.7.1.6. Secuencia de Iniciacion Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.	93
4.5.7.1.7. Isotiempos del Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.....	94
4.5.7.1.8. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06 ...	94
4.5.7.1.9. Post Voladura del Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.....	95
4.5.7.1.10. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 – Py 05 – Py 06....	96
4.5.7.2. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 514 - Py 08 .	97
4.5.7.2.1. Antecedentes Nv. 514 - Py 08	97
4.5.7.2.2. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 08	97
4.5.7.2.3. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 08	97
4.5.7.2.4. Control de taco (SD) Nv. 514 - Py 08	98
4.5.7.2.5. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 514 - Py 08.....	99
4.5.7.2.6. Secuencia de Iniciacion Proyecto Nv. 514 - Py 08.....	99
4.5.7.2.7. Isotiempos del Proyecto Nv. 514 - Py 08	100
4.5.7.2.8. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 514 - Py 08	100
4.5.7.2.9. Post Voladura del Proyecto Nv. 514 - Py 08.....	101
4.5.7.2.10. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 08.....	101
4.5.7.3. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 514 - Py 09	102
4.5.7.3.1. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 09	102
4.5.7.3.2. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 09	102
4.5.7.3.3. Control de taco (SD) Nv. 514 - Py 09	103
4.5.7.3.4. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 514 - Py 09.....	104
4.5.7.3.5. Secuencia de Iniciacion Proyecto Nv. 514 - Py 09.....	104
4.5.7.3.6. Isotiempos del Proyecto Nv. 514 - Py 09	105
4.5.7.3.7. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 514 - Py 09	105
4.5.7.3.8. Post Voladura del Proyecto Nv. 514 - Py 09.....	106
4.5.7.3.9. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 09.....	106
4.5.7.4. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 502 - Py 01	107

4.5.7.4.1. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 502 - Py 01	107
4.5.7.4.2. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 502 - Py 01	107
4.5.7.4.3. Control de taco (SD) Nv. 502 - Py 01	108
4.5.7.4.4. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 502 - Py 01	109
4.5.7.4.5. Secuencia de Iniciacion Proyecto Nv. 502 - Py 01.....	109
4.5.7.4.6. Isotiempos del Proyecto Nv. 502 - Py 01	110
4.5.7.4.7. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 502 - Py 01	110
4.5.7.4.8. Post Voladura del Proyecto Nv. 502 - Py 01	111
4.5.7.4.9. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 502 - Py 01.....	111
CAPITULO V.	112
ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION	112
5.1. ANALISIS DE RESULTADOS.....	112
5.1.1. RESULTADOS COMPARANDO FRAGMENTACION	112
5.1.2. RESULTADOS EN RELACION A FACTOR DE POTENCIA.....	113
5.1.3. RESULTADOS A NIVEL ECONOMICO EN VOLADURA	114
5.1.4. RESULTADOS PRODUCTIVIDAD EN OPERACIONES DE CARGUIO	116
5.1.5. RESULTADOS PRODUCTIVIDAD EN OPERACIONES DE ACARREO	118
5.1.6. RESULTADOS PRODUCTIVIDAD EN OPERACIONES DE CHANCADO	122
5.2. DISCUSIÓN.....	123
CONCLUSIONES.....	126
RECOMENDACIONES	127
BIBLIOGRAFIA	128
ANEXOS.....	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista de Mina 5 Producción.....	10
Figura 2. Perforadoras SandVik DR412i y DML.....	11
Figura 3. Perforadoras Rotativas	12
Figura 4. Broca CoreTech de 11” de diámetro	17
Figura 5. Detonación	18
Figura 6. Explosivos Industriales	19
Figura 7. Estructura del Heavy ANFO	21
Figura 8. Heavy ANFO 45/55 con Densidad 1.27gr/cc que representa 2104.1gr	22
Figura 9. Factor de Potencia Metodo Convencional	24
Figura 10. Fragmentación Gruesa	27
Figura 11. Test de Acción de Air Deck.....	28
Figura 12. Explodeck activado	33
Figura 13. Mapa del Distrito Minero de Marcona.....	37
Figura 14. Geología De Mina 5 Shougang Hierro Peru	38
Figura 15. Leyenda Descripción Estratigráfica	39
Figura 16. Columna Estratigráfica del Distrito Minero De Marcona.....	40
Figura 17. Ingreso al Tajo Mina 5 de la contrata San Martin.....	47
Figura 18. Vista del Tajo Mina 5 De La Contrata San Martin	47
Figura 19. Dinámica De Operación Tajo Mina 5	50
Figura 20. Equipos De Perforación de Diámetro 9”.....	51
Figura 21. Equipos De Perforación de Diámetro 11”	51
Figura 22. diseño de perforación, malla triangular.....	52
Figura 23. Plataforma zona mineral ya perforada, malla triangular.	53
Figura 24. Booster y Fanel debidamente ordenada	54
Figura 25. Detonador Electronico Daveytronic.....	54
Figura 26. Diseño de Carga Explosiva y Accesorios de voladura usadas por taladro, Voladura Sin Cámaras de Aire, Taladros ø11”	55
Figura 27. Camión Fabrica a la espera del carguío	56
Figura 28. Trabajador Wincheando La Carga Explosiva	56
Figura 29. Dentro del cargado de explosivo se realiza el control de densidades	57
Figura 30. Tapado de taladros con minicargador, Material Stemming	57
Figura 31. Análisis Granulométrico sin cámara de aire. P80: 17”	58
Figura 32. Análisis de Proyección sin cámaras de aire Nivel 514-05	59
Figura 33. Determinación de Proyección sin Cámaras de Aire Proyecto 514-05	59
Figura 34. Fragmentación gruesa	64
Figura 35. Bolones en zona de taco	65
Figura 36. Cañas de taladros intactos	65
Figura 37. Bolones preformados en Cresta	66
Figura 38. Cargador Frontal CAT 992G	66
Figura 39. Cargador Frontal CAT 994F	67
Figura 40. Pala 6040FS CATERPILLAR	67
Figura 41. Pala 6050FS CATERPILLAR	67

Figura 42. Flota de Camiones Mineros	68
Figura 43. Motoniveladoras CATERPILLAR.....	69
Figura 44. Excavadora CATERPILLAR.....	69
Figura 45. Tractor CATERPILLAR.....	69
Figura 46. Perforadora JUNJIN de 5” de diametro	70
Figura 47. Zona de Chancado Planta 2, Shougang Hierro Peru	70
Figura 48. Envío de Crudos, Shougang Hierro Perú	71
Figura 49. Proceso de Producción Shougang Hierro Peru	72
Figura 50. Diseño de carga con cámaras de aire, Taladros de Producción M5P	82
Figura 51. Plano de perforación Nv. 514 – Py 05 – Py 06	89
Figura 52. Diseño de carga Nv. 514 - Py 05.	90
Figura 53. Diseño de carga Nv. 514 - Py 06.	91
Figura 54. Control de taco Nv. 514 - Py 05.....	92
Figura 55. Control de taco Nv. 514 - Py 06.....	92
Figura 56. Plano de evacuación Nv. 514 – Py 05 – Py 06.....	93
Figura 57. Secuencia de iniciación Nv. 514 – Py 05 – Py 06.....	93
Figura 58. Isotiempos Nv. 514 – Py 05 – Py 06.....	94
Figura 59. Desplazamiento del material Nv. 514 – Py 05 – Py 06.....	95
Figura 60. Comparación de granulometría de los proyectos Nv. 514 – Py 05 – Py 06..	95
Figura 61. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514-05. P80: 14”	96
Figura 62. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514-06. P80: 7”	96
Figura 63. Plano de perforación Nv. 514 – Py 08.	97
Figura 64. Diseño de carga Nv. 514 - Py 08.	98
Figura 65. Control de taco Nv. 514 - Py 08.....	98
Figura 66. Plano de evacuación Nv. 514 – Py 08.....	99
Figura 67. Secuencia de iniciación Nv. 514 – Py 08.....	99
Figura 68. Isotiempos Nv. 514 – Py 08.	100
Figura 69. Desplazamiento del material Nv. 514 – Py 08.....	100
Figura 70. Resultado granulométrico del proyecto Nv. 514 – Py 08	101
Figura 71. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 08. P80: 7”	101
Figura 72. Plano de perforación Nv. 514 – Py 09	102
Figura 73. Diseño de carga Nv. 514 - Py 09	103
Figura 74. Control de taco Nv. 514 - Py 09.....	103
Figura 75. Plano de evacuación Nv. 514– Py 09.....	104
Figura 76. Secuencia de iniciación Nv. 514 – Py 09.....	104
Figura 77. Isotiempos Nv. 514 – Py 09	105
Figura 78. Desplazamiento del material Nv. 514 – Py 09.....	105
Figura 79. Resultado granulométrico del proyecto Nv. 514 – Py 09	106
Figura 80. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 09. P80: 7”	106
Figura 81. Plano de perforación Nv. 502 – Py 01.	107
Figura 82. Diseño de carga Nv. 502 - Py 01	108
Figura 83. Control de taco Nv. 502 - Py 01.....	108
Figura 84. Plano de evacuación Nv. 502– Py 01	109
Figura 85. Secuencia de iniciación Nv. 502 – Py 01	109

Figura 86. Isotiempos Nv. 502 – Py 01	110
Figura 87. Desplazamiento del material Nv. 502 – Py 01.....	110
Figura 88. Resultado granulométrico del proyecto Nv. 502 – Py 01	111
Figura 89. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 502 - Py 01. P80: 7”	111

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimación De Reserva De Mineral En Toneladas Métricas	44
Tabla 2. Estimado De Reservas Minables En Toneladas Métricas.	45
Tabla 3. Característica Geomecanico De Mina 5	45
Tabla 4. Calidad De Roca De Mina 5.....	46
Tabla 5. Equipos de Mina de San Martin	48
Tabla 6. Mallas de Perforacion Mina 5.	52
Tabla 7. Resumen Granulométrico de los proyectos Mina 5 Produccion	58
Tabla 8. Resumen De Proyección de M5P	60
Tabla 9. Resumen de Producción de M5P.....	60
Tabla 10. Resumen de Factor de potencia de M5P	61
Tabla 11. Datos del Proyecto 514-05-06	61
Tabla 12. Parametros de perforacion.....	62
Tabla 13. Costos de Perforacion.....	62
Tabla 14. Precios de Voladura.....	63
Tabla 15. Cantidades Consumidas de Explosivo y Accesorio Sin Camaras de Aire	63
Tabla 16. Costo Total de Voladura sin Camaras de Aire	63
Tabla 17. Cuadro Resumen Costo Perforacion y Voladura Sin Camaras de Aire	64
Tabla 18. Resumen de fragmentación obtenida con el método convencional.	76
Tabla 19. Rendimiento equipos de carguío con material fragmentado con el método convencional.....	76
Tabla 20. Factor de llenado camiones de acarreo con material fragmentado con el método convencional.....	78
Tabla 21. Rendimiento plantas chancadoras con material fragmentado con el método convencional.....	79
Tabla 22. Resumen Ejecutivo de las Voladuras	80
Tabla 23. Resumen de explosivo y accesorios utilizados.....	83
Tabla 24. Resumen de carga por taladro de M5P	83
Tabla 25. Resumen del P80 obtenido en taladros de producción con Camaras de Aire	84
Tabla 26. Resumen de Proyeccion de particulas de M5P	85
Tabla 27. Resumen de Tonelaje Total por proyecto de M5P	86
Tabla 28. Resumen De consumo de explosivo por Disparo De M5P	86
Tabla 29. Resumen de Factor de Voladura De M5P cumpliendo con los estándares. ...	86
Tabla 30. Precios de Voladura Con Camaras de Aire	87
Tabla 31. Cantidad de Explosivo y Accesorios Con Camara de Aire.....	87
Tabla 32. Costo Total De Voladura Con Camaras de Aire	88
Tabla 33. Cuadro Resumen Costo Voladura Con Cámaras de Aire.....	88
Tabla 34. Cuadro comparativo de fragmentación entre Método Convencional VS Con Cámaras de Aire	112
Tabla 35. Cuadro Comparativo de Factor de Potencia Real (Con Cámaras de Aire) vs Diseño (Sin Cámaras de Aire).....	114
Tabla 36. Comparacion de Costo de Voladura Con Camaras de Aire vs Sin Camaras de Aire	115

Tabla 37. Comparación de Costos Unitarios de Voladura	116
Tabla 38. Rendimiento equipos de carguío con material fragmentado con Camaras de Aire	116
Tabla 39. Cuadro comparativo de Rendimiento Equipos de Carguio Con Camaras de Aire vs Sin Camaras de Aire	117
Tabla 40. Factor de llenado Camiones de Acarreo con material fragmentado con Camaras de Aire	119
Tabla 41. Cuadro comparativo de Factor de Llenado equipos de Acarreo con Cámaras de Aire vs sin Camaras de Aire	121
Tabla 42. Rendimiento Planta Chancadora con Material Fragmentado Con Camaras de Aire	122
Tabla 43. Cuadro comparativo Rendimiento Planta Chancadora	123

ÍNDICE DE GRAFICOS

Gráfico 1. Rendimiento promedio equipos de carguío con material fragmentado con el método convencional.....	77
Gráfico 2. Factor de llenado promedio por flota de acarreo con material fragmentado con el método convencional.....	79
Gráfico 3. Rendimiento promedio de plantas chancadoras de material fragmentado con el método convencional.....	80
Gráfico 4. P80 obtenido frente al Factor de potencia por proyecto.....	85
Gráfico 5. Histograma de P80 obtenido con Método Convencional VS Con Cámara de Aire	113
Gráfico 6. Histograma de Factor de Potencia Obtenida vs FP de Diseño	114
Gráfico 7. Costo de Explosivo en Voladura Ejecutada Proyecto 514-05-06	115
Gráfico 8. Rendimiento Promedio equipos de Carguio con Material Fragmentado con Camaras de Aire	117
Gráfico 9. Histograma de Rendimiento de Palas Obtenido con Camaras de Aire vs Sin Camara de Aire.....	118
Gráfico 10. Factor de Llenado Promedio Por Flota de Acarreo con Material Fragmentado con Camaras de Aire.....	120
Gráfico 11. Histograma comparativo de factor de llenado en equipos de acarreo	122
Gráfico 12. Histograma Comparativo Rendimiento de Planta.....	123

ABREVIATURAS

%: Porcentaje

γ : Peso específico.

B: Burden

BA: Andesita basáltica

E: Espaciamiento

Dig Rate: Tasa de excavación

ISMR: Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas

g/cm³: Gramos por centímetro cúbico

GPa: Gigapascales

Air Deck: Cámaras de aire

IA: Andesita intrusiva

IA-SIL: Andesita intrusiva silícea

Kbar: kilo bar

kJ/kg: Kilojulios por kilogramo

KPI: Key Performance Indicator

l/kg: Litros por kilogramo

Ma: Millón de años

m.s.n.m.: Metros sobre el nivel del mar

m/s: Metros por segundo

M1: Parámetros de roca intacta

HA45: Mezcla explosiva Heavy ANFO 45

mm: Milímetro

MPa: Mega pascales

P80: Pasante al 80%

in: Pulgadas

M5P: Mina 5 Produccion

RMR: Rock Mass Rating

RQD: Rock Quality Designation

t/h: Toneladas por hora

t/m³: Toneladas por metro cúbico

TI: Resistencia a la tracción de índice de roca intacta

U.M.: Unidad minera.

UCS: Resistencia a la compresión uniaxial de la roca.

US\$/Año: Dólares por año

US\$/Día: Dólares por día

US\$/Mes: Dólares por mes

UTM: Universal Transverse Mercator

CAPITULO I

ASPECTOS METODOLOGICOS DEL TRABAJO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.1. Fundamentación del problema

La Empresa San Martin esta jugando un rol muy interesante en el desarrollo de los principales proyectos de operación y construcción minera a nivel nacional e internacional; Para nuestro cliente la Empresa Minera Shougang Hierro Perú S.A.A. presta servicios de extracción de mineral (Fe) y eliminación de desmonte de sus diferentes minas a tajo abierto.

La empresa minera Shougang Hierro Perú S.A.A. se encarga principalmente en la extracción y explotación del mineral Magnetita, este mineral primario se subdivide en tres clases de materiales, Coarse Grade (CG), Fine Grade (FG), Refractario (R), presenta una densidad promedio de 4.47 gr/cm³, aplicando la calificación ISMR (Ensayo de índice manual de resistencia de la roca) se realizó pruebas de carga puntual teniendo como resultado que la resistencia de la roca oscila entre 100-210 MPa por lo que significaría que es una roca muy dura.

La voladura se realiza con Heavy Anfo 45 y la granulometría que obtenemos varía entre 9"-15" pero la granulometría requerido por planta es de hasta 9" por lo cual se presenta obstrucciones constantes; esta fragmentación genera un dig rate disminuido y baja performance de los equipos de acarreo y planta chancadora,

incrementado las demoras operativas en todo nuestro ciclo de minado, así mismo post - voladura se presenta fragmentación gruesa, bolones en zona de taco, cañas de taladro intacto, bolones preformados en cresta, frente a esta situación nos vemos en la necesidad de aplicar el método Air Deck para evaluar su desempeño en cuanto a fragmentación así como las ventajas técnico y productividad que representa para la operaciones.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

- ❖ ¿Como influye el uso del método Air Deck en la optimización de la fragmentación de roca en la Empresa Minera Shougang Hierro Perú?

1.2.2. Problemas específicos

- ❖ ¿Cómo será el procedimiento para aplicar el método Air Deck en las actividades de perforación y voladura?
- ❖ ¿En cuánto reduce el P80 en la fragmentación de roca con la aplicación del método Air Deck?
- ❖ ¿Como influye la aplicación del método Air Deck en el Dig Rate Operativo?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general

- ❖ Determinar la influencia del uso del método Air Deck en la voladura para optimizar la fragmentación de la roca

1.3.2. Objetivos específicos

- ❖ Analizar y describir los parámetros de perforación y voladura para la aplicación del método Air Deck.
- ❖ Determinar el nivel de reducción del P80 de la fragmentación mediante pruebas de campo comparando el método convencional con el método Air Deck.
- ❖ Examinar la influencia del método Air Deck en el Dig Rate Operativo.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación teórica

En toda empresa minera la operación unitaria binomial de perforación y voladura es el primer proceso del ciclo de minado de operaciones minero-metalúrgico, que da inicio al proceso de fragmentación de la roca a un tamaño adecuado y procede a las otras operaciones unitarias, por lo tanto, es importante aplicar la mejora continua en el proceso de perforación y voladura a fin de lograr una menor granulometría para reducir costos en procesos posteriores y así mejorar la rentabilidad en la empresa minera.

Tampoco dejar de considerarse las pérdidas en chancadora por mayores kilowatts, por obstrucciones, por mala voladura y selección en el minado, afectando tanto al cliente como a la misma empresa especializada, se debe mencionar también que los demás procesos tienen mayor costo en términos de combustible por hora en las operaciones mineras.

1.4.2. Justificación práctica

En las operaciones de perforación y voladura, los responsables de generar la fragmentación requerida, tienen como principio de ingeniería realizar mejoras en sus procesos de voladura, para ello se aplican diferentes métodos y para este estudio se aplicará el método de Air Deck, considerando los estudios del comportamiento de rocas, los explosivos y los diseños.

En el presente estudio se aplica el método Air Deck intermedio con doble iniciación, utilizando mezcla explosiva Heavy Anfo 45, con diámetro de taladro 11", distribución de carga explosiva con 760 kg por taladro y reducción del taco en el taladro a 3.5 m, para así mejorar la fragmentación de roca en taladros de producción, logrando una óptima fragmentación con un target de P80 a 8.5".

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- ❖ El uso del método Air Deck influye positivamente en la optimización de la fragmentación de la roca en la empresa minera Shougang Hierro Perú

1.5.2. Hipótesis específicas

- ❖ El procedimiento del método Air Deck será utilizado en voladura para mejorar la fragmentación de roca.
- ❖ Al emplear el método Air Deck se logra reducir la fragmentación de roca en 52%.
- ❖ La aplicación del método Air Deck influye eficazmente en el Dig Rate Operativo.

1.6. VARIABLES E INDICADORES

VARIABLES	
INDEPENDIENTE	DEPENDIENTE
Uso del Método Air Deck	Fragmentación Optima

1.6.1. Operacionalización De Las Variables

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: Uso del método Air Deck	Diseño de Air Deck	Intermedio: 1m
	Diseño de Perforación	Burden(m), Espaciamiento(m), Θ Taladro(pul), Altura de banco(m)
	Explosivos y Accesorios	Kg/Taladro
Dependiente: Fragmentación Optima	Grado de Fragmentación	$P80 \leq 9$ in
	DigRate	Tn/Hr

1.7. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

1.7.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es experimental, porque se analiza los datos de variables recopiladas en un periodo de tiempo sobre una población muestra o subconjunto predefinido.

1.7.2. Enfoque de investigación

Enfoque cuantitativo

1.7.3. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es correlacional por que se crea mediante la recopilación, análisis y luego estas se comparan estadísticamente.

1.8. POBLACION Y MUESTRA

1.8.1. Población

La población está conformada por la cantidad de 72 voladuras que se realizaron en todo el año 2023 (6 voladuras al mes) en mina 5 Producción.

1.8.2. Muestra

Es no probabilística, teniendo un muestreo por conveniencia, que es de la siguiente manera: se tomaron datos de 12 voladuras. Las ocho primeras voladuras fueron realizadas de manera convencional, es decir, sin el uso de Air Deck; mientras que las cuatro siguientes voladuras fueron con Air Deck.

1.9. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

1.9.1. Técnica de recolección de datos

La recolección de datos se realiza en campo post voladura mediante la técnica de observación, recolección y procesamiento de datos.

La recolección de datos se realiza en hoja de cálculo predeterminada para su respectivo almacenamiento, procesamiento y análisis.

1.9.2. Instrumentos de recolección de datos

Para la recolección de datos se usará:

La principal herramienta utilizada es el software JK SimBlast. Este programa sirve para desarrollar trabajos de simulación de voladura y perforación haciendo uso de parámetros estandarizados calculados y permite establecer el grado de influencia energética en cada proceso planteado y análisis de fragmentación.

Así también, se recolectó información para el análisis de fragmentación a través de toma de fotografías de los frentes de minado, se utilizaron el programa WipFrag, el cual ayuda al estudio a través de la obtención de resultados de análisis de voladura eficiente en temas de fragmentación de roca, de manera complementaria se utilizaron otros programas como Excel para la realización de cálculos matemáticos y estadísticos.

1.9.3. Procesamiento de datos y presentación de resultados

Para el procesamiento de datos se usará hojas de cálculo de Excel, Provisión, etc y la presentación de resultados se hará estadísticamente en forma de graficas o curvas.

CAPITULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Garrido Rojas Cristhian (Chile) (2020) “Aplicación de cámaras de aire en tronadura de producción de una mina de hierro”. Universidad de Concepción. Optar Título Profesional Ingeniero de Minas. Obteniendo como conclusión. Demostrar la factibilidad de la utilización de cámaras de aire en tronaduras de producción para mejorar los resultados de fragmentación y disminuir las eyecciones de taco, vibraciones y emanación de polvo, a medida que se disminuye el costo en utilización de explosivos. Para esto se plantea demostrar cuantitativamente que la velocidad de detonación y presión cambian a lo largo de este espacio, incluyendo mediciones de estas variables además de resultados de fragmentación, eyecciones y vibraciones. Los resultados se lograron realizando una tronadura en una mina de hierro en Chile, dividiendo la malla en una zona con cámaras de aire y otra sin cámaras de aire.

Francisco Xavier Heras Naranjo & Raúl Ricardo Guijarro Vallejo (Ecuador) (2020) “Análisis de la implementación de cámaras de aire en las voladuras de canteras urbanas”. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Optar Título Profesional Ingeniero de Minas. Obteniendo como conclusión. El análisis se hizo con respecto a un solo taladro de perforación. perteneciente a una malla cuadrada, utilizando cuatro diámetros diferentes (3”, 3.5”, 4” y 4.5”), para una altura de

banco fija de 12 metros. Los indicadores analizados fueron la carga de columna, consumo específico y velocidad de oscilación. Los resultados obtenidos fueron; la disminución en las vibraciones en aproximadamente un 50% con el uso del air deck. Además, todos los diámetros proporcionaron un factor de carga mayor a 0.32 kg/Tn, adecuado para la fragmentación de la caliza. Por consiguiente, se concluyó que para reducir las vibraciones es aconsejable optar por el método cámaras de aire y para evitar los fly rocks, no sólo es preciso dimensionar el taco del taladro con una relación del 60 a 80% respecto al burden, sino también seleccionar un tamaño de partícula del agregado según el diámetro.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Machuca Cotrina Paola (Trujillo) (2018) “Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig rate) en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha”. Universidad Privada del Norte. Optar Título Profesional Ingeniero de Minas. En conclusión, se explica y determina el efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig rate) en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha. Para el desarrollo de la investigación se utilizó el método científico, posteriormente, se comparó el costo por taladro usando aquadeck, cartuflex vs. Taladro sin cámaras de aire, tomando en cuenta las consideraciones generales de altura de banco, mezcla explosiva, taco y diámetro del taladro; al no emplear cámaras de aire el Costo/Taladro es de US\$ 275.81, US\$246.94 y US\$244.84 para cartuflex y aquadeck, respectivamente. Anualmente se planifica volar 5000 taladros ahorrando con cartuflex US\$144,350.00 y con aquadeck US\$154,850.00.

Bazán & Pino (Arequipa) (2021) en su investigación “Propuesta de utilización de cámara de aire de doble iniciación en el proceso de voladura de roca tipo toba cristal para reducir el P80 a 12" e incrementar la productividad de la pala PH 4100A en una mina a tajo abierto”. Universidad Continental. Optar Título Profesional Ingeniero de Minas. En conclusión. Evalúa el método de cámara de aire de doble iniciación en el proceso de voladura, determina la productividad de la pala PH4100A, modifica el diseño de voladura inicial utilizando cámara de aire de doble iniciación y evalúa los beneficios del uso de cámara de aire de doble iniciación en el proceso de voladura. Como resultado del planteamiento concluye que, después de ejecutar cuatro diseños, el último ensayo de carga satisface el

alcance de la investigación obteniendo un P80 de 11,85 in y un Dig Rate de 7,293 Tn/Hr, y obtiene así una mejor productividad de la pala PH4100A.

Vásquez Gómez, Abelardo Jonel (Trujillo) (2017) “Reducción Del Factor De Potencia En El Proceso De Voladura Mediante La Aplicación De Cámaras De Aire En Columna Explosiva, En La Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - Comarsa”. Universidad Nacional de Trujillo. Optar Título Profesional Ingeniero de Minas. En conclusión. Para solucionar dicho problema se implementó el uso de cámaras de aire en columna explosiva que permitieron optimizar el proceso de voladura empleando 23 kg menos de explosivo, disminuyendo el factor de potencia de 0,39 kg/TM para taladro tradicional a 0.33 kg/TM para taladro con cámara de aire, asimismo se mejoró la fragmentación de mineral al reducir el tamaño de 4.83 pulg a 3.84 pulg, facilitando notablemente las operaciones de carguío y transporte; se redujo el costo de 0,28 a 0.24 US\$/TM, significando un ahorro de orden de 14.3%.

Cumpa Flores, Jorge Luis (Chiclayo) (2016) “Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú”. Universidad Cesar Vallejo. Optar Título Profesional Ingeniero de Minas. En conclusión. Los experimentos demostraron que el uso de cámaras de aire en la columna explosiva presenta efectos positivos en la distribución granulométrica p80 dando mejoras de entre 20.83% a 24.96% en la fragmentación del material y reduce las vibraciones hasta un 58.30% frente a la voladura convencional que no utiliza cámaras de aire. Adicionalmente el uso de cámaras de aire presenta otros beneficios como la reducción de los fly rock, incremento de la eficiencia en las etapas posteriores

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. Minería superficial

Según Herrera Herbert. Juan. (2017) “introducción a la minería”. La minería a cielo abierto o tajo abierto es toda excavación que se realiza sobre la superficie, se caracteriza por el movimiento de grandes volúmenes de material, durante la etapa de desbroce y explotación.

La minería a tajo abierto se emplea cuando los depósitos de mineral (metálico y no metálico) se encuentran cerca de la superficie.

2.2.1.1. Diseño de tajo

CAMUS, J. P. 2002. “Management of Mineral Resources: creating value in the mining business, Society for Mining Metallurgy”. El diseño de una mina a tajo abierto, es una de las actividades más importantes en el estudio técnico económico de un proyecto minero, pues no solo nos proporcionará las reservas económicas a explotar, sino la forma de la mina al final de su vida en cada banco de explotación, la pendiente de los taludes en diferentes niveles, el tonelaje de material estéril a extraer, la ubicación del tonelaje y ley que suministrará la mayor rentabilidad.

Figura 1. Vista de Mina 5 Producción.



Fuente: Elaboración Propia

2.2.1.2. Diseño de banco

CAMUS, J. P. 2002. “Management of Mineral Resources: creating value in the mining business, Society for Mining Metallurgy”. La función principal de los bancos es proporcionar un entorno seguro para el personal y el equipo que debe trabajar cerca a la cara del talud. En consecuencia, deben satisfacer las necesidades de:

- Confiabilidad; porque se requiere que las caras del banco y crestas de sean estables. Las variables primarias que controlan la estabilidad de las caras

y crestas del banco son la geometría de las juntas y la resistencia al corte de las mismas.

- La seguridad; porque se requiere anchos de banco suficientes para detener y mitigar el peligro de las rocas y contener cualquier derrame de los bancos anteriores.
- Acceso a lo largo de los bancos para los operadores implicados en actividades tales como el monitoreo de talud y la limpieza de la roca y el vertido.

2.2.2. Perforación

Es la primera operación unitaria en el ciclo de minado. Su propósito es de abrir en la roca huecos cilíndricos con estos para poder alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o pozos.

Se enfoca en los principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del taladro utilizado.

Figura 2. Perforadoras SandVik DR412i y DML



Fuente: Elaboración Propia

2.2.2.1. Maquinas perforadoras y accesorio

Dentro de los tipos de perforación más usados en minería superficial son:

A). Perforación rotopercutiva

Son los más utilizados en casi todos los tipos de rocas, tanto si el martillo se sitúa en la cabeza o en el fondo del barreno. La principal característica de este tipo de perforadoras es que a medida que da cierto giro, también va acompañado de una energía de impacto o percusión

B). Perforación rotativa

El principio utilizado por las perforadoras rotativas consiste en aplicar energía a la roca haciendo rotar una broca que destroza conjuntamente con la acción de una gran fuerza de empuje. Los diámetros habituales de barreno conseguidos con este tipo de perforadoras oscilan entre 50 y 311 mm, estando los mayores diámetros especialmente indicados para los grandes volúmenes de excavación.

Este sistema consta de una fuente de energía, una columna de barras o tubos individuales o conectados en serie, que transmiten el peso, la rotación y el aire de barrido a una boca con dientes de acero o de insertos de carburo de tungsteno que deben fragmentar la roca. Este tipo de perforación es principalmente para taladros de producción.

Figura 3. Perforadoras Rotativas



Fuente: Elaboración Propia

B.1). Sistema de rotación

Las perforadoras llevan un sistema de rotación montada generalmente sobre un bastidor que se desliza a lo largo del mástil de la perforadora, con el fin de hacer girar las barras y transmitir la fuerza.

El sistema hidráulico consiste en un circuito cerrado con una bomba de presión constante y un convertidor de par con el que se logra varias la velocidad de rotación del motor hidráulico, situado en la cabeza de la sarta de perforación.

B.2). Sistema de empuje y elevación

Para obtener una buena velocidad de penetración en la roca, es preciso un determinado empuje que depende tanto de la resistencia de la roca como el diámetro del barreno que se pretende perforar. Como el peso de las barras no es suficiente para obtener la carga precisa, se hace necesario aplicar fuerzas adicionales que suelen transmitirse casi exclusivamente a través de energía hidráulica.

Estos mecanismos de empuje permiten, además de suministrar un esfuerzo de empuje perfectamente controlado, izar las barras que constituyen la sarta de perforación.

B.3). Velocidad de perforación

La velocidad de perforación depende de muchos factores externos: características geológicas, propiedades físicas de las rocas, distribución de tensiones y estructura interna. Esto hace que la determinación de velocidad de perforación durante el desarrollo de un proyecto sea una tarea difícil para el ingeniero proyectista, pero necesaria ya que la decisión que se tome va a incidir decisivamente en el resto de las operaciones.

B.4). Sistema de evaluación de detritus

El aire comprimido cumple las siguientes funciones:

- Enfriar y lubricar los cojinetes del tricono

- Limpiar el fondo del barreno
- Elevar el detrito con una velocidad ascensional adecuada

El aire circula por un tubo desde el compresor al mástil y desde este, por manguera flexible protegida, a la cabeza de rotación, de donde pasa al interior de la barra de perforación que lo conduce hasta la boca, saliendo entre los conos para producir la remoción del detritus elevándolo hasta la superficie. Es necesario evacuar bien el detritus ya que una mala evacuación produciría remolienda, la falta de aire produce un desgaste de energía innecesario, una menor velocidad de penetración y un mayor desgaste de la broca. Por el contrario, si la velocidad de evacuación es mayor produce un mayor desgaste en el centralizador y en las barras de perforación.

B.5). Columna de perforación

La columna de perforación conecta los componentes de superficie del equipo de perforación con el arreglo de fondo de pozo y el barreno, tanto para bombear el fluido de perforación al barreno como para poder subir, bajar y hacer rotar el arreglo de fondo de pozo y al barreno.

La columna de perforación está conformada por el amortiguador (shock absorber), el adaptador superior (top sub), barra de perforación (drill pipe), adaptador inferior (bit sub), tricono.

2.2.2.2. Diseño de malla de perforación

La malla de perforación y voladura se refiere a la distribución de los taladros con carga, en esta distribución se toma las dimensiones del burden x espaciamento. En el trazo de los taladros en una voladura de bancos la secuencia de salida puede generar mallas del tipo triangular, cuadrada, rectangular y alterna

A) Espaciamento

Es la distancia entre los taladros de una misma fila, se obtiene en función al burden y el tiempo de salida, teniendo en cuenta que si los taladros salen al mismo tiempo los espaciamentos deben ser mayores que el burden para evitar malos resultados.

Si se tiene espaciamientos muy pequeños se produce un sobreexeso de fragmentación y bloques inestables en el talud.

Si el espaciamiento es de gran tamaño se produce mala fracturación, mal perfil en el pie de banco y una cara libre irregular, normalmente el espaciamiento se calcula de la siguiente forma:

$$E=1.3\cong 1.5*B$$

B) Burden

Es la distancia medida perpendicular desde el centro de la gravedad de una mezcla explosiva cargada dentro de un taladro a la cara libre más cercana en la dirección en el cual probablemente se dé el desplazamiento.

El burden está en función a las características del explosivo, características geomecánicas de la roca y modelo matemático y parámetros más influyentes y críticos son:

- Si el burden es excesivo se formarán cráteres en la zona, mala fragmentación, problemas de perfil en el pie de banco y, al contrario
- Si el burden es demasiado pequeño se producirá flyrock, excesiva fragmentación, nivel de vibraciones alto, para su determinación se emplean los siguientes modelos matemáticos:

B.1) Burden Modelo Matematico De R.L Ash

En un intento de hacer intervenir parámetros físicos de la roca y el explosivo, Ash plantea un formula modificada para el cálculo del burden

$$B = \frac{K_s(D_e)}{12} \left(\frac{\rho_{r1}}{\rho_{r2}} \right)^{1/3} \left(\frac{SG_2(Ve_2^2)}{SG_1(Ve_1^2)} \right)^{1/3}$$

Donde:

B: burden (pies)

KB: factor (pies)

De: diámetro de la carga explosiva (pulgadas)

pr1: densidad de la roca estándar ($\rho = 2.7 \text{ Tm/m}^3$)

pr2: densidad de la roca a ser disparada (Tm/m^3)

SG1: gravedad específica de la MEC (estándar)

SG2: gravedad específica de la MEC a ser usada

Ve1: velocidad de detonación de la MEC estándar (m/s)

Ve2: velocidad de detonación de la MEC a ser usada (m/s)

B.2) Modelo Matematico De Pearse

En este modelo matemático, el burden está basado en la interacción de la energía proporcionada por la mezcla explosiva, representada por la presión de detonación, y la resistencia a la tensión dinámica de la roca.

Investigaciones posteriores según Bórquez, (1981) establecen que el factor de volabilidad de la roca depende de las estructuras geológicas, diaclasas, etc. que, de alguna manera, ya han sido cuantificadas.

Este modelo matemático fue formulado mediante la siguiente expresión matemática

$$R = B = 0.0254 * K_v * D * \sqrt{\frac{PD}{T_s}}$$

Donde:

R: radio crítico (metros)

B: burden (metros)

D: diámetro del taladro (pulgadas)

PD: presión de detonación de la carga explosiva (Mpa)

Ts: resistencia a la tensión dinámica de la roca (Mpa)

Kv: factor de volabilidad

C) Dimensiones de taladros

El diámetro del taladro depende fundamentalmente del tamaño de la broca con la cual se realizó el taladro, entre los taladros principales tenemos a taladros de producción, de precorte, taladros de piloto y taladros de buffer.

Generalmente el diámetro de los taladros se aprecia en pulgadas.

Las bocas utilizan botones de carburo de tungsteno, con los tipos de perfiles más adecuados, ya sean esféricos, parabólicos, balísticos o piramidales. Las brocas generalmente se ofrecen en diámetro de 1 ½ como mínimo en adelante.

Figura 4. Broca CoreTech de 11" de diámetro



Fuente: Elaboración propia

2.2.3. Voladura en bancos

La operación unitaria o proceso productivo de Voladura, tiene como principal objetivo el arrancar el material involucrado desde su lugar original, de modo que este material triturado puede ser cargado y retirado por los equipos respectivos (y procesado según se requiera), por lo que este material tendrá que cumplir con una granulometría requerida o adecuada y una disposición espacial para poder optar los posteriores procesos asociados.

Figura 5. Detonación



Fuente: Elaboración propia

2.2.3.1. Explosivos

Hernández G. (2019) describe que los explosivos son mezclas en meta estable de oxidantes y combustibles. Se descomponen violentamente liberando gran cantidad de energía que se utiliza para romper la roca. La mayoría de los explosivos comerciales utilizan nitratos como oxidantes, siendo el nitrato de amonio el material básico de fabricación.

Manual de tronadura ENAEX S.A. En general, existen dos tipos de explosivos: los moleculares y los compuestos. Los moleculares tienen O y combustible dentro de las mismas moléculas; su ventaja es que sus oxidantes y combustibles están en contacto íntimo, de manera que la reacción se lleva a cabo en forma extremadamente rápida y generalmente es completa. El trinitrotolueno (TNT) es un ejemplo de un explosivo molecular.

Los explosivos compuestos contienen oxidantes y combustibles en diferentes moléculas o en diferentes compuestos. Debido a que el combustible y el oxidante

están muy separados, la reacción de descomposición se lleva a cabo mucho más lentamente que en un explosivo molecular. El ANFO, las emulsiones y los acuageles son todos ejemplos de explosivos compuestos, aunque, ellos son un sistema híbrido ya que el nitrato de amonio contiene tanto combustible H y O en asociación molecular, en adición al combustible separado contenido en el petróleo.

A) Clasificación de explosivos

Haro, A. (2014) menciona la clasificación de explosivos y la describe de la siguiente manera:

Figura 6. Explosivos Industriales



Fuente: Haro, A.

B) Agente de voladura

López, J (2003). Describe que los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N° 8, por lo que necesitan un cebo reforzado, primer o Booster para iniciar su detonación. Estos explosivos a diferencia de los primarios que tienen alta energía y sensibilidad, se caracterizan por desarrollar un mayor trabajo útil, en el estricto sentido de arranque y fragmentación de roca. Es así que se tienen los siguientes agentes de voladura que se utilizan en minería de tajo abierto por su gran poder rompedor y bajo costo.

B.1) ANFO

López Jimeno, (2003). Las propiedades explosivas del ANFO están directamente ligadas a su densidad. A medida que ésta aumenta su densidad, también aumenta su velocidad de detonación. Sin embargo, este aumento de

densidad dificulta su iniciación, volviéndose inerte a una densidad por encima de 1.20 gr/cc, no pudiendo detonar o solamente en el área inmediata al iniciador. Por este motivo es imperante tener un nitrato de amonio grado explosivo (poroso) para tener la densidad ideal.

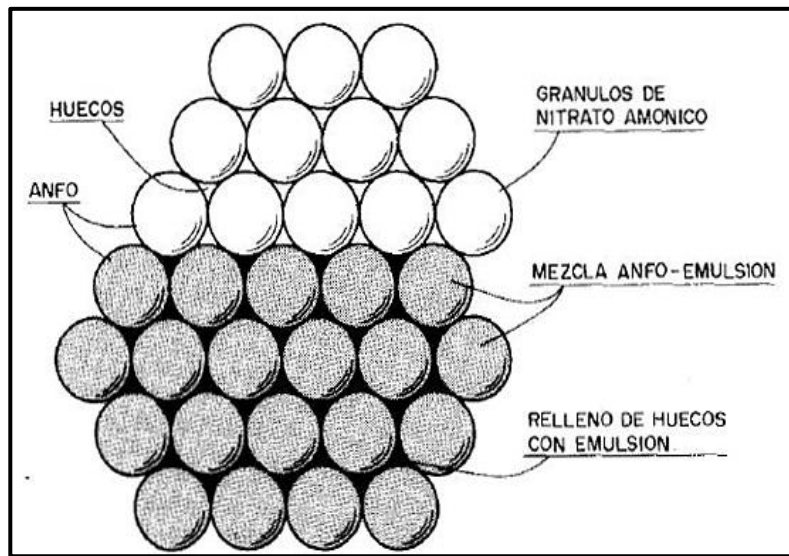
El ANFO es una mezcla explosiva industrial cuya aplicación se ha extendido por todo el mundo, debido a su seguridad en la manipulación, bajo costo y alto rendimiento energético. ANFO por sus siglas en inglés hace referencia a Ammonium Nitrate/Fuel Oil, los componentes que al mezclarse forman el agente explosivo. Su composición más exacta donde tiene mayor rendimiento es de 94% nitrato de amonio y 6% combustible. El nitrato de amonio es una sal inorgánica, no explosiva, siendo de aplicación en minería aquella que se fabrica como partículas esféricas o prills porosos, por lo tanto, es crítica su capacidad de absorción y retención.

Teniendo un balance de oxígeno correcto, el ANFO es la fuente de mayor energía explosiva más barata del mercado. Sin embargo, la principal desventaja del ANFO es su baja resistencia al agua. Esto se debe a que el agua absorbe gran cantidad de energía para su vaporización y rebaja la potencia del explosivo. Además, el nitrato es soluble en agua, perdiendo todas sus propiedades al estar en contacto con esta. De igual manera, el nitrato es higroscópico, es decir absorbe la humedad del medio ambiente, por lo que su almacenamiento debe ser en lugares apropiado y conservados.

B.2) Heavy ANFO

Salcedo (2015, p.34) mencionó: El ANFO pesado es una mezcla de emulsión base (a granel) con ANFO. Para su preparación se aprovechan los huecos intersticiales entre los prills de ANFO que pueden ser ocupados por un explosivo líquido (Ver Figura), como la emulsión, y que actúa como una matriz energética.

Figura 7. Estructura del Heavy ANFO



Fuente: Salcedo (2015, p.34)

Aunque las propiedades de este explosivo dependen de los porcentajes de los componentes iniciales, las ventajas principales que presentan son:

- Mayor energía que el ANFO.
- Mejores características de sensibilidad.
- Mejora su resistencia al agua a medida que incrementa la cantidad de emulsión en la mezcla.
- Posibilidad de efectuar cargas con variación de energía a lo largo del taladro.

Figura 8. Heavy ANFO 45/55 con Densidad 1.27gr/cc que representa 2104.1gr



Fuente: Elaboración Propia

B.3) Emulsiones

López Jimeno (2003). Las emulsiones explosivas son agentes de voladura cuando no tiene un sensibilizante, en cambio sí existe un sensibilizante vendría a ser un alto explosivo, del tipo denominado "agua en aceite" en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado, comúnmente diésel 2. El tamaño de los componentes de esta mezcla (oxidante y combustible) tiene influencia directa en la velocidad de detonación y en general en el performance del explosivo.

El desarrollo de los explosivos ha llevado una reducción progresiva del tamaño de las partículas, pasando desde los sólidos a las soluciones salinas con sólidos y, por último, a las microgotas de una emulsión explosiva.

Propiedades principales:

- Son altamente seguras a la fricción, impacto y fuego.
- Son muy resistentes al agua.
- Dependiendo de la consistencia pueden ser bombeadas

B.4) Emulsión gasificado San-g APU

Villanueva, R. (2015). Explicó que la emulsión gasificada SAN G APU es un agente dispuesto en base a emulsión, se sensibiliza antes de ser cargado a los taladros con una solución gasificante, se genera una mezcla explosiva de menor densidad y mayor VOD que los anfos pesados. Está compuesto de la emulsión matriz gasificable que, al mezclarse con el sensibilizador N-30, forma burbujas de nitrógeno, cuyo tamaño y distribución determinan la velocidad de detonación del agente. La densidad de la San G APU ya sensibilizada varia de 0.9 a 1.3 gr/cm³ y puede ser regulada en función de la concentración de su sensibilizador, aspecto que permite usar el producto en diferentes tipos de roca, ya sea en zonas secas o con presencia de agua. Entre sus principales ventajas se encuentra un incremento en la velocidad de detonación (VOD), de 4,800 m/s a 5,500 m/s en comparación con el rango de 3,700 m/s a 4,400 m/s que alcanza el anfo pesado. Por estar compuesta únicamente de emulsión cuyo balance de oxígeno es estable y no está sujeto a las condiciones finales de la mezcla dentro del taladro. Se favorece la detonación completa y de alto orden, de esta manera se elimina la posibilidad de gases nitrosos.

2.2.3.2. Taco superior y taco intermedio

Manual de tronadura ENAEX S.A. Es el material inerte añadido en la cima del pozo de tronadura para efectuar el confinamiento de los gases de la explosión y prevenir una proyección y sobre presión excesiva. El taco intermedio se añade a la columna del explosivo para reducir deliberadamente la cantidad de explosivo contenido en un pozo de tronadura. Se agrega taco intermedio en aquellas posiciones del pozo de tronadura donde la roca circundante es lo suficientemente débil como para no producir un quebrantamiento adicional.

2.2.3.3. Factor de voladura

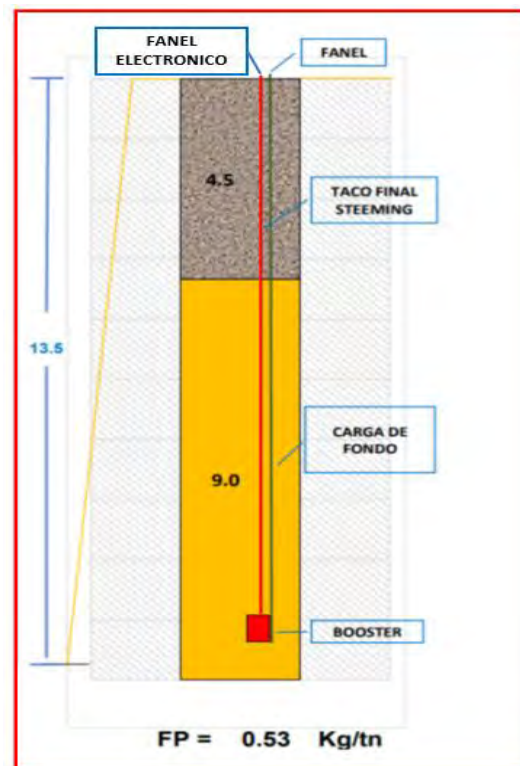
A.1) Factor de Carga

Es la cantidad de explosivo utilizado para fragmentar un metro cúbico de roca. El factor depende del tipo de roca del intemperismo de la masa rocosa y de la sección a excavar.

A.2) Factor de Potencia

Se denomina a la cantidad necesaria de explosivo que se necesita para volar una tonelada de material en la mina.

Figura 9. Factor de Potencia Metodo Convencional



Fuente: Elaboración propia

2.2.3.4. Impedancia

Muñoz, J (2019). Describe La impedancia de un explosivo es el producto de su densidad y velocidad de detonación. Idealmente los explosivos deben tener la misma impedancia que la roca (impedancia de la roca es el producto de la onda P y densidad) que se va a fragmentar, para efectuar la máxima transferencia de energía desde el pozo de tronadura a la masa rocosa.

2.2.3.5. Presión de detonación

Manual Práctico de Voladura EXSA. La presión de detonación ocurre dentro de la zona primaria de reacción, está limitada en un lado por el frente de choque y en el otro por el plano de Chapman Jouguet (C-J). Detrás del plano C-J están los productos de la reacción; y aún algunos productos todavía sufren reacción, ejercida por una presión menor, que se conoce como la presión de explosión, o presión peak de pozo. Presión de detonación es usualmente una cantidad calculada basada en la densidad del explosivo (ρ_{exp}) y el VOD del explosivo (VOD_{exp}),

y normalmente se calcula de la ecuación, donde $\rho = [\text{kg/m}^3]$, $\text{VOD} = [\text{m/s}]$, $\text{PD} = [\text{MPa}]$,

$$PD = \frac{VD^2 \times \rho_e}{4}$$

2.2.3.6. Velocidad de detonación

Silva, L.(2014) Menciona que la velocidad de detonación (VOD) es una medida de la razón a que la reacción de la detonación procede, por la columna del explosivo. Típicamente, el VOD variará entre 3000 m/ s para ANFO en pozos de tronadura de diámetros pequeños y 6000 m/ s para emulsión y acuagel en pozos de tronadura de diámetros más grandes. Se considera un indicador del potencial de fragmentación de un explosivo, con el potencial creciente para un VOD creciente.

2.2.3.7. Accesorios de voladura

Mauricio Santa (2015) Dispositivos requeridos para la iniciación del explosivo; tales como: cable de ignición, detonador común, mecha de seguridad, detonador eléctrico, detonador no eléctrico, fulminantes, cordón detonante, multiplicador.

2.2.3.8. Tipos de voladura

A.1). Voladura primaria

El proceso de voladura es la acción de fracturar o fragmentar la roca, el suelo duro, el hormigón o de desprender algún elemento metálico, mediante el empleo de explosivos.

La ejecución de voladuras para el arranque de rocas de dureza media y alta es una técnica insustituible en obras civiles y minería. La razón fundamental es que esta técnica continúa siendo la más barata y la que permite obtener mayores producciones de material arrancado.

A.2). Voladura secundaria

Las voladuras secundarias se utilizan cuando se obtienen piedras muy grandes de la voladura principal, las cuales por su tamaño representan un problema para su manejo

2.2.3.9. Tipos de tacos

El retacado o taco es un parámetro del diseño de perforación y voladura de rocas en minería subterránea.

Normalmente se rellena con material inerte que puede ser arcilla o piedra chancada fina, para que cumpla la función de retener, dentro del taladro, los gases producto de la explosión.

El taco es el relleno de la parte superior del taladro con material estéril. Su misión es la de retener los gases producto de la explosión, durante fracciones de segundos, suficientes para evitar que los gases fuguen por la boca del taladro, de esta manera trabaje por completo en el proceso de la fragmentación de la roca.

A.) Si no hay taco los gases escaparán a la atmosfera arrastrando gran cantidad de energía que debería actuar en la fragmentación de la roca.

B.) Si el taco es insuficiente habrá problemas de fuerte ruido por onda aérea, de craterización y proyecciones.

C.) Si el taco es excesivo, se obtendrá gran cantidad de bloques procedentes de la parte superior del banco, por tanto, fragmentación irregular, poco esponjamiento de la pila del material y un nivel de vibración muy alto.

2.2.3.10. Evaluación de resultados de voladura

Las variables controlables se definen como aquellos parámetros de diseño que es posible controlar, de tal forma que se obtenga el resultado deseado de una voladura. Las variables controlables se clasifican de forma muy general como variables de tipo geométricas, químico-físicas de los explosivos y como variables de tiempo.

2.2.3.11. Fragmentación de la roca

La fragmentación de rocas por voladura comprende a la acción de un explosivo y a la consecuente respuesta de la masa de roca circundante, involucrando factores de tiempo, energía termodinámica, ondas de presión, mecánica de rocas y otros, en un rápido y complejo mecanismo de interacción.

Figura 10. Fragmentación Gruesa



Fuente: Elaboración propia

2.2.4. Air Deck

Viene a ser un accesorio de voladura que es un espacio de aire que se genera por medio del "taponamiento" del taladro, el cual se ubica en distintas partes dentro del taladro de la voladura.

Puede ser ubicada en la parte superior, media o inferior de la carga explosiva dependiendo del propósito. Puede ubicarse también 02 cámaras de aire en un solo taladro para el caso de taladros de pre-corte.

La energía disponible en una columna explosiva que no siempre se distribuye en forma eficiente a lo largo de un pozo de voladura de roca. Las cámaras de aire en sus diferentes configuraciones ayudan a distribuir mejor la carga explosiva.

2.2.4.1. Acción de cámaras de aire

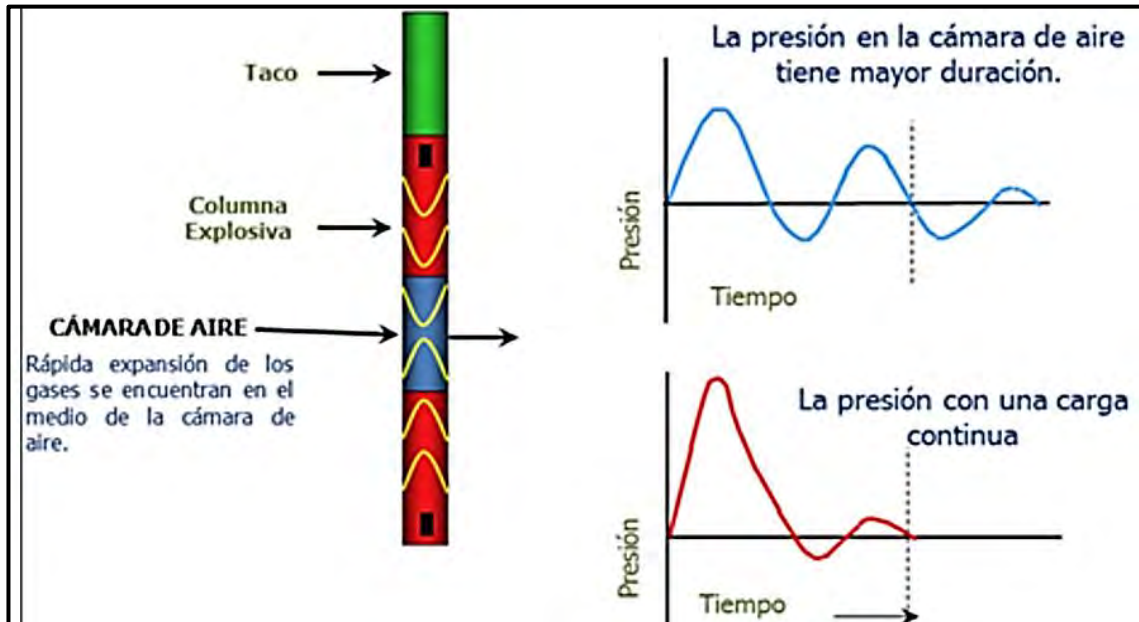
Según Salas (2011) "Las cámaras de aire incrementan la duración de la acción de la onda de choque sobre el medio circundante, esto debido a una serie de pulsos causados por las reflexiones de las ondas de presión originadas inmediatamente después de la detonación de un taladro".

Reduciendo la presión inicial aplicada por la carga explosiva, pero incrementando la duración del pulso de presión. Esto efectivamente reduce la energía utilizada para quebrantar la roca cercana al taladro, al mismo tiempo, incrementa la cantidad de energía transmitiéndola a mayor distancia dentro de la roca.

En presencia de agua, los resultados del uso de cámaras de aire son óptimo, por cuanto el agua es un excelente conductor de las ondas de choque.

Los test realizados se muestran en la figura siguiente:

Figura 11. Test de Acción de Air Deck



Fuente: Salas (2011)

2.2.4.2. Etapas del proceso de Air Deck en voladura

B.1). Primera etapa

Etapa de equilibrio. La cámara de aire hace que se equilibre la presión en los taladros; es decir que donde no existe explosivo la presión se incrementara rápidamente hasta equilibrarse con la presión que se está generando por el producto de la detonación, la detonación es hacia el fondo del taladro., creando una fractura que se expande en forma horizontal hacia los taladros vecinos.

B.2). Segunda etapa

Transmisión de la energía en el taladro. Se generan multitud ondas reflectivas que chocan con las ondas de choque provenientes de la detonación. Al mismo tiempo ondas de choque por la fractura horizontal producida anteriormente, generando una especie de precorte en los taladros colindantes.

B.3). Tercera etapa

Reflexión de las ondas de choque. Las ondas de choque son reflejadas al entrar un cambio de medio formado por la fractura horizontal en el fondo de la voladura. Las ondas de choque se reflejan en forma de ondas de tensión. Las ondas de tensión ofrecen más cantidad de daño a la roca.

B.4). Cuarta etapa

Interacción de taladros con cámara de aire al fondo. Las ondas de tensión son reflejadas con mayor intensidad volviendo a la formación. Así mismo, interaccionan con las ondas de tensión originadas por el proceso de los taladros vecinos.

2.2.4.3. Beneficios del uso de Air Deck

Se realizó muchos estudios sobre las cámaras de aire teniendo como resultados buenos beneficios en voladura, y como resultado en otras unidades mineras se están estandarizando ya las cámaras de aire.

Entre los beneficios tenemos a los siguiente:

- Reducción de la columna explosiva y ahorro en el consumo de explosivos.
- Reducción de vibraciones por menor uso de carga explosiva.
- Eliminación o reducción de la sobre perforación.
- Reducción de la eyección de tacos (fly rock).
- Fragmentación más homogénea (reducción de gruesos en la zona del taco)
- Aumento de la presión de barreno en la zona de la cámara.
- Se transforma la energía potencial del aire en Energía cinética.
- Se disminuye la Onda aérea.
- Reducción de finos.
- En algunas aplicaciones evita la contaminación del taco con el explosivo.

- Mejora de pisos.
- Reducción de la longitud del taco.

2.2.4.4. Clasificación de Air Deck

D.1). Taponex

Paola Yaquelin Machuca Cotrina (2018). El Taponex es un accesorio de plástico con un diseño particular, que permite crear cámaras de aire en un pozo de voladura, su diseño único permite ser instalado sin necesidad de aire comprimido ni gases, su forma es auto soportante. Su diseño se basa a las numerosas pruebas de campo y su construcción en plástico de alta resistencia, aseguran que el Taponex quede en la posición correcta.

Beneficios:

- Disminución de la sobre perforación.
- Reducción de la columna explosiva.
- Contracción de la eyección de tacos.
- Reducción de "Fly Rock".
- Descenso de las vibraciones
- Disminución de la onda aérea.
- Fragmentación más homogénea.
- La granulometría es más fina a pesar de la disminución del factor de carga.
- No se detecta diferencia en pozos con agua y secos.
- El sistema se ha utilizado en rocas de 80 MPa hasta 230 MPa. ISMR (Ensayo de índice manual de resistencia de la roca)
- Se mantiene la misma malla, secuencia de salida y tipos de explosivo.

Modo de uso:

Para el caso de colocarlo en el fondo de los taladros el Taponex consiste de un recipiente plástico, un vástago y una vara de madera de 1 metro de longitud en la mayoría de los casos, esta longitud dependerá de la longitud de la cámara de aire que se elija dejar en el trayecto del taladro. Luego se llena con detritus al taponex y finalmente se hace caer en el fondo del taladro.

D.2). Cartuflex

Paola Yaquelin Machuca Cotrina (2018). Es una bolsa de aire, utilizada como cámara de aire en voladura, está compuesta de Bicarbonato de sodio en combinación con vinagre, los cuales no son tóxicos ni inflamables.

Modo de uso:

- Revisar que el producto este 100% funcional.
- Ubicar la flecha (pulsador) de activación en la parte inferior del producto.
- Medir la cuerda a la altura deseada, y revisar que la cuerda se encuentre libre de cualquier estancamiento.
- Coloque su mano izquierda detrás del producto a la altura de la flecha (pulsador) de activación y sujetándolo realice un golpe fuerte para activar adecuadamente el producto, provocando la reacción de inflado de la bolsa.
- Introduzca la bolsa inmediatamente en el taladro a la altura deseada y con ayuda de la cuerda agitar de un lado a otro hasta que el producto se encuentre sujetado en las paredes del taladro

D.3). Explodeck

Es nuevo propulsor de aerosoles está clasificado por la Notificación Nacional de Química Industrial del Gobierno de Australia y Evaluación Esquema (NICNAS) como un gas no inflamable y clasificado con el Código Australiano de mercancías peligrosas como Clase 2, la división 2.2 no inflamable y gas no tóxico.

Beneficios:

- Disminuir vibraciones

- Reducir el consumo de explosivos
- Mejora la fragmentación
- Disminuye o elimina la sobre perforación.
- Utilizado como cámara intermedia y de fondo.

Modo de uso:

- Revisar que el producto este 100% funcional.
- Ubicar la flecha de activación en la parte inferior del producto.
- Medir la cuerda a la altura deseada, y revisar que la cuerda se encuentre libre de cualquier estancamiento.
- Coloque su mano izquierda detrás del producto a la altura de la flecha de activación y sujetándolo realice un golpe fuerte para activar
- Adecuadamente el producto, provocando la reacción de inflado de la bolsa.
- Introduzca la bolsa inmediatamente en el taladro a la altura deseada y con ayuda de la cuerda agitar de un lado a otro hasta que el producto se encuentre sujetado en las paredes del taladro.

Figura 12. Explodeck activado



Fuente: Elaboración propia

D.4). Aquadeck

Paola Yaquelin Machuca Cotrina (2018). Aquadeck. Es un dispositivo de polietileno, con una alta resistencia a la tracción y con un diseño reforzado para trabajar en el fondo del taladro, que sirve para generar cámaras de agua en la parte superior del taladro.

Beneficios:

- Ahorro considerable en explosivo.
- Evita voladuras en forma de proyectiles.
- Su instalación es muy fácil.
- Disminuye los ruidos de explosión.
- Disminuye la vibración.
- Funciona en casi cualquier condición de pozo: pozos secos de agua estática o dinámica, protección de la capa de minerales.
- Su diseño auto portante permite que sea colocado con gran precisión en cualquier tipo de roca y el estado del pozo.

Modo de uso:

- Ubicar la longitud a la cual se amarrará la varilla de madera con la driza. Hacer un buen nudo para evitar deslizamientos.
- Extender toda la driza de manera que cuando caiga no hayan nudos preformados.
- Ubicar la varilla de madera a un lado de la boca del taladro. Es importante que quede bien sujeta la varilla de madera para que no caiga cuando se instale el Aquadeck.
- En taladros secos colocar 01 puñado de gravilla y/o detritus y colocarlo en el Aquadeck; mientras que en taladros con agua colocar 03 puñados de gravilla con piedras pequeñas, sin que supere la cuarta parte del Aquadeck.
- Coger con ambas manos (diametralmente opuestas) el Aquadeck y ubicarlo en la parte central del taladro, luego dejarlo caer hasta que se tense bien la driza. Para asegurar una buena expansión del producto, deje caer un poco más de material detritus al final del proceso.

CAPITULO III.

ASPECTOS GENERALES ACTUAL DEL AREA DE ESTUDIO

3.1. HISTORIA DE LA MINA SHOUGANG HIERRO

En 1870, el sabio italiano Antonio Raimondi hizo público la existencia de un depósito de hierro en las pampas de San Juan de Marcona. Años más tarde en 1915 se inician las primeras exploraciones en la zona, el lugareño Justo Pastor guio al grupo de ingenieros hacia unas pampas donde se tenía referencia de la existencia de hierro. En 1925 el gobierno del presidente Augusto B. Leguía declara a Marcona Reserva Nacional, para su futura explotación.

En las primeras décadas del siglo XX varios pescadores de las zonas de Pisco y el Callao vienen atraídos por la abundancia de peces y mariscos hacia las bahías de San Nicolás y San Juan, dando inicio a la formación de pequeñas caletas pesqueras.

En el año 1943 el Estado peruano crea la Corporación Peruana del Santa, para la explotación de los recursos del carbón y hierro, el establecimiento de una siderúrgica en Chimbote. Posteriormente ya comprobadas las enormes reservas de hierro en San Juan de Marcona, un grupo de empresas estadounidenses (entre ellas Utah) forman la minera norteamericana Marcona Mining Company, dándose inicio a la formación del pequeño campamento minero alrededor del puerto de San Juan.

A los pocos años de formado, el pequeño campamento va adquiriendo importancia y el 2 de mayo de 1955 mediante ley N° 12314 resuelto por el Congreso de la República del Perú se crea el distrito de Marcona, desde esa fecha hasta la actualidad se ha hecho notorio el crecimiento urbano de la ciudad de San Juan de Marcona.

Durante el Gobierno militar del general Juan Velasco Alvarado (1968-1975) se nacionaliza el yacimiento de San Juan de Marcona y se crea la estatal del hierro del Perú, HIERRO PERÚ encargándose por 17 años de la administración, producción y comercialización del mineral de hierro.

En el año de 1992 el Gobierno de Alberto Fujimori privatiza la empresa estatal, la cual es adjudicada a la Corporación Shougang de China, la que hasta la actualidad explota y comercializa el mineral de hierro.

La empresa Shougang Hierro Perú es la única productora de hierro a nivel nacional y realiza operaciones en el Distrito de San Juan de Marcona, Provincia de Nazca. La mina tiene reservas de mineral de hierro probadas y probables por más de 1,65 mil millones de toneladas. Cuenta con un puerto propio (muelle de San Nicolás) que le permite recibir barcos de hasta 220 mil toneladas de capacidad.

Últimamente se ha producido un incremento de la población surgiendo zonas urbano-marginales a las afueras de la ciudad causando conflictos entre estas poblaciones y la transnacional China Shougang.

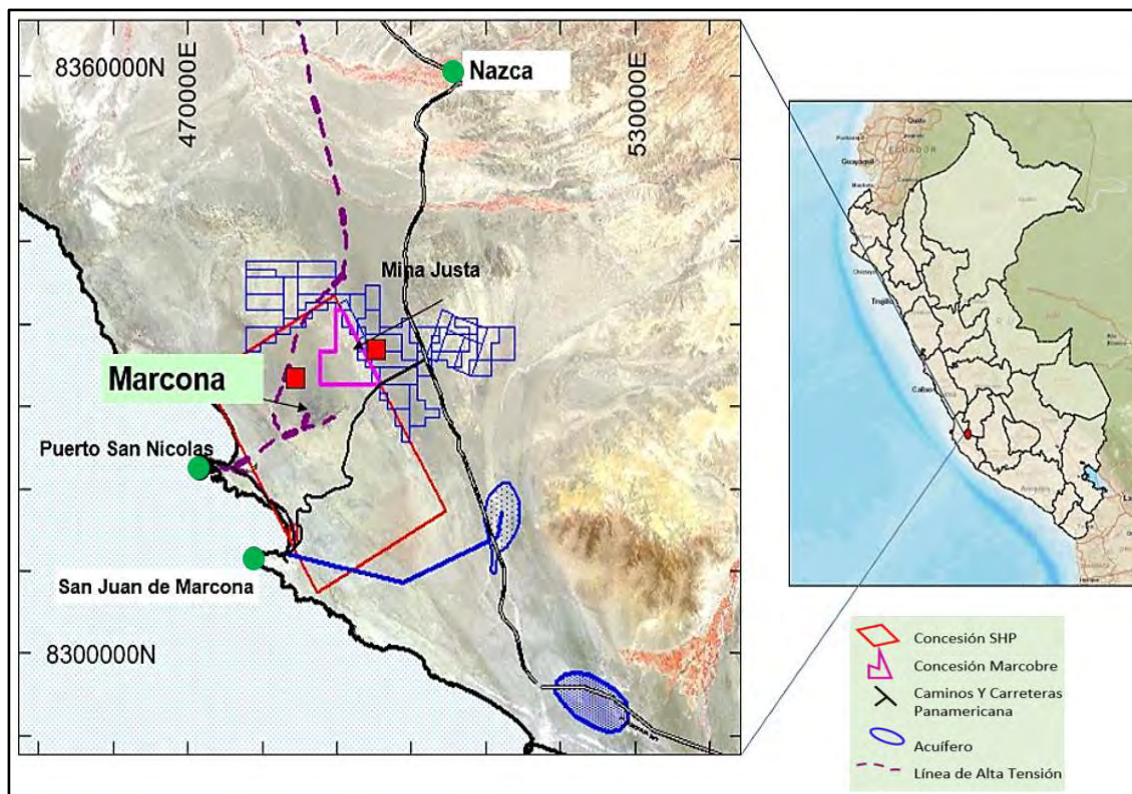
3.2. UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD

3.2.1. UBICACIÓN

La minera Shougang Hierro Perú S.A.A se encuentra en el departamento de Ica, Provincia de Nazca en el distrito de Marcona a 840 km al sur de Lima a 800 m.s.n.m unido al puerto San Juan por una carretera de 27 km y a 13 km en línea recta del puerto San Nicolas.

San Juan de Marcona es una localidad minera y portuaria, primer y único productor de mineral de hierro en el Perú. Conocida también como la capital de Hierro y cuna del pingüino de Humboldt en la costa del Perú. Su población se dedica mayormente a la minería, el comercio y la pesca artesanal.

Figura 13. Mapa del Distrito Minero de Marcona



Fuente: Shougang Hierro Perú

3.2.2. ACCESIBILIDAD

La minera Shougang es accesible a media hora del distrito de San Juan de Marcona por pista asfaltada o también desde la ciudad de Nazca, 52 kilómetros en dirección a la antigua Panamericana Sur, y desde el Puerto de San Juan de Marcona, a 29,7 Km. Donde se encuentran sus diferentes tajos.

3.3. GEOLOGIA DEL YACIMIENTO

3.3.1. Geología regional

El área de estudio es una amplia meseta que forma una plataforma de erosión marina, la que se encuentra en la cadena costera, por el Oeste se encuentran 27 terrazas litorales, se formaron por el movimiento costanero desarrollado en el Tercio superior y Cuaternario. Por haber sido una zona de sedimentación no se presenta grandes variaciones topográficas, es así como se puede calificar como una penillanura donde se encuentran pequeñas colinas de altitudes mínimas y cubierto en su gran mayoría por encapado aluvial no consolidado.

3.3.1.1. Estratigrafía

Toda la secuencia de las formaciones que van desde el Pre-Cámbrico hasta el Cuaternario, no forma una continuidad geológica, sino que existen ausencias o hiatos que han determinado disconformidades y discordancias entre ellas. Como parte de la estratigrafía tenemos:

- Complejo Lomas
- Formación Marcona
- Formación Cerritos
- Formación Copara
- Formación Pisco
- Cuaternario Aluvial
- Rocas Intrusivas

Figura 14. Geología De Mina 5 Shougang Hierro Peru



Fuente: Departamento de Ingeniería Shougang Hierro Perú

Figura 15. Leyenda Descripción Estratigráfica

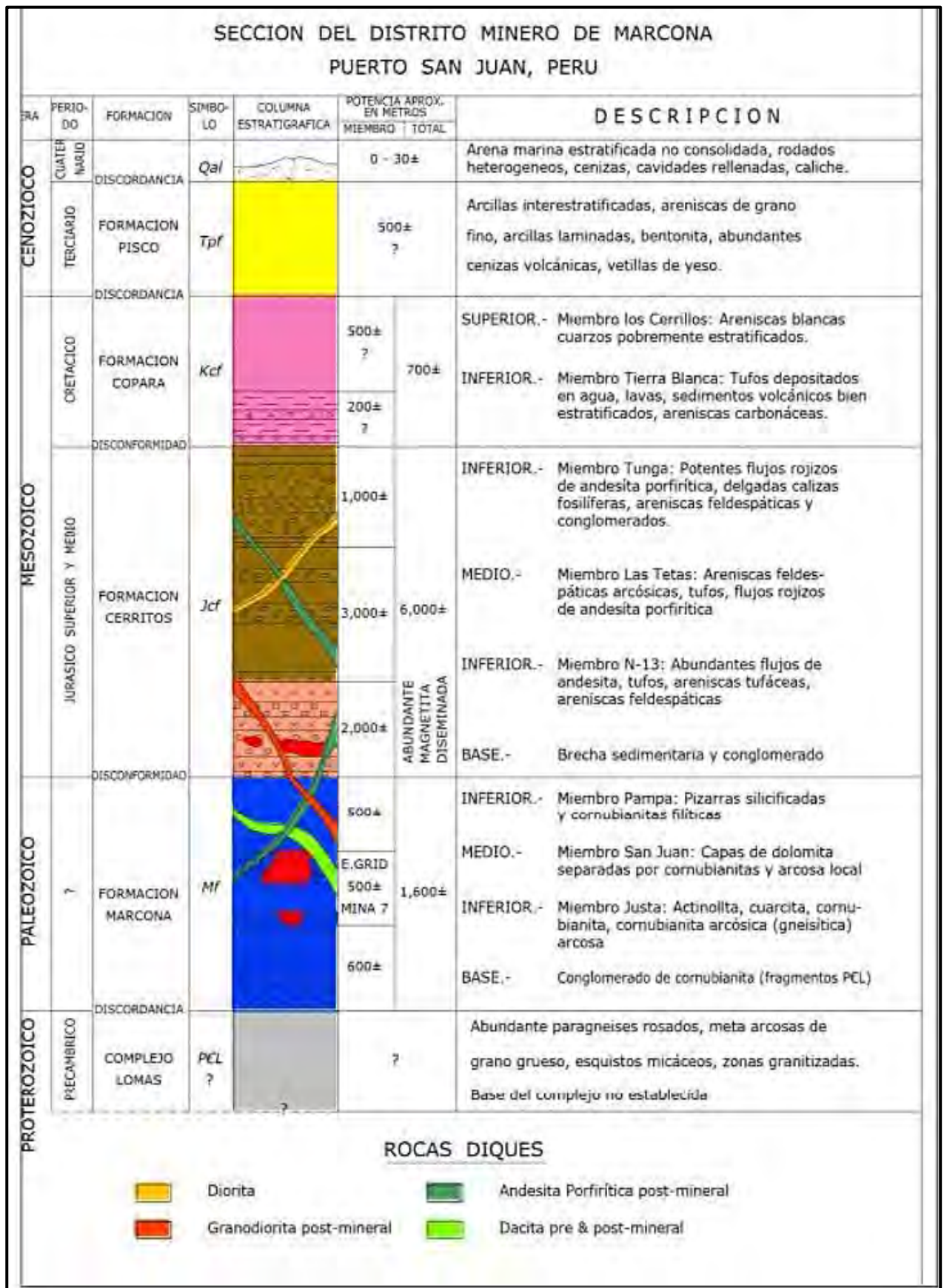
LEYENDA					
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS	
				PLUTONICAS	HIPABISALES
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente	Depósitos : aluviales y eólicos	Q-al Q-e	
		Pleistoceno	Terrazas Marinas	Q - tm	
	TERCIARIO	Plioceno	Volcánica Seneca	Ts - vse	
		Mioceno	Formación Pisco	Ts - pi	
MESOZOICO	CRETACEO	Albiano			
		Aptiano	Formación Copara	Kim-co	
		Neocomiano			
	JURASICO	Titoniano	Formación Yauca	Ki - ya	
		Oxfordiano	Formación Jahway	Js - ja	
		Calloviano	Formación Rio Grande	Js - rg	
		Inferior	Formación Matcona	P - ma	
PROTEROZOICO	PRECAMBRIANO		Formación San Juan	Pe - sj	
			Formación Chiquerín	Pe - chl	
			Complejo Basal de la Costa	Pe - gr	
				Pe - gn	

Fuente: Columna Estratigráfica De Shougang Hierro Perú

3.3.2. Geología local

San Juan de Marcona pertenece a la llamada Cordillera de la Costa formada en su núcleo por el batolito de granodiorita de San Nicolás que intruyó principalmente a metamórficos precámbricos, meta-sedimentos marinos Paleozoicos del período Carbonífero inferior, además encontramos meta-sedimentos terrestres y meta volcánicos mesozoicos de edad Jurásica y tufos con sedimentos del Cretácico inferior y superior, ocurren también sedimentos Terciarios poco consolidados.

Figura 16. Columna Estratigráfica del Distrito Minero De Marcona



Fuente: Área De Ingeniería Shougang Hierro Perú

3.3.2.1. Formación y tipo de yacimiento

Los depósitos de minerales identificados hasta la fecha son 117 cuerpos que están distribuidos en un área de 150 Km². Que son de diferentes dimensiones, llegando en algunos casos a longitudes de 2700 m. y otros muy pequeños y de forma tabular.

Todos estos cuerpos son de origen Metasomático generados por soluciones residuales derivadas de magmas intrusivos que invadieron a través de las fisuras, las rocas de la formación Marcona y Cerritos, debido a procesos metasomáticos que se generaron cambios en las rocas existentes produciéndose una sustitución metasomática y dando lugar a minerales nuevos y al emplazamiento de la magnetita.

La presencia del batolito de San Nicolás, originó diversos diques y dio lugar a que estos diques de dacitas trajeran las soluciones mineralizadas, remplazando los horizontes dolomíticos de la formación Marcona y las partes calcáreas de las areniscas feldespáticas de la formación Cerritos. Por todas estas características este yacimiento ha sido definido genéticamente como “UN YACIMIENTO DE REEMPLAZAMIENTO METAZOMATICO”.

3.3.2.2. Mineralización y alteraciones

3.3.2.2.1. Mineralización

El mineral de mena fundamental o principal de estos yacimientos es la Magnetita (Fe_3O_4) criptocristalinas y masivas, con contenido de hierro entre 40 y 60 %. Con abundante pirita diseminada.

Se encuentra también presente mineral de cobre, como la calcopirita (CuFeS_2), Covelita (CuS) entre otros. Dando como promedio valores que varían de 0,07% a 0,4% de cobre. Según la mina o cuerpo que se analice. Igualmente existe Pirrotita (FeS), esta da origen a una clasificación de los minerales en función a su porcentaje que está presente. También se encuentra como mineral de ganga cobalto asociado a la pirita, así como actinolita, epidota, calcita, biotita, brocantita, clorita y sericita.

3.3.2.2.2. Alteración

A. Fallamiento y Estructura

Se tiene tres sistemas principales de fallamientos que se han dado en periodos diferentes, estos son:

a) Fallas Pista

Se produjeron antes y continuamente después de la mineralización, son de tipos normales gravitacionales, su rumbo es N60°E y su buzamiento 60°NE. Estas fallas han dado lugar a plegamientos menores y fuertes fracturamientos en la formación Marcona

b) Falla Repetición

Son fallas tensionales-compresionales inversas de rumbos paralelos a la estratificación (N45°E) y posterior a la mineralización, estas se aprecian al sur de la mina 5 donde se pone en contacto a la formación Marcona y Cerritos. Su nombre se debe a que ha originado la repetición u omisión de estratos.

c) Falla La Huaca

También son pos-mineral y las más recientes son paralela a la cordillera de los Andes (N25°E), han dado origen a la repetición, omisión de estratos y a los cambios bruscos en los ángulos de rumbo y buzamiento.

B. Diaclasamiento

Debido a las fuerzas regionales y locales se tiene una gran cantidad de diaclasamiento con un predominante sistema Norte - Sur y buzamiento N (70° - 80°) E, así como otros sistemas horizontales, verticales y en ángulos variables.

3.3.3. Geología estructural

Las estructuras están vinculadas al desarrollo tectónico, de la cual se tiene escasas y limitadas evidencias directas, conformadas por aquellas estructuras que llegan a afectar a las rocas mesozoicas en forma directa o relacionada, no así a las más antiguas. Entre los acontecimientos más importantes que han afectado la región estudiada, puede mencionarse el Domo de Marcona, el Plegamiento del Macizo Andino y el Fallamiento.

3.3.4. Geología económica

3.3.4.1. Mineralogía

La ley de mineral que se explota en Shougang Hierro Perú está determinada por el contenido de Fe. Por ello la ley de cabeza que se extrae de las minas en operación es de <50 % de Fe. Pero durante el proceso de minado se genera material de dilución conocido como baja ley, la cual debe contener como mínimo 30 % de Fe. Este mineral pasa por un separador magnético conocido como planta Dry Cobbing que permite elevar la ley hasta un 50 % de Fe. Eliminando de esta forma el desmote y concentrando el mineral que será transportado a la planta de beneficio.

3.3.4.2. Reservas de Mineral

De los análisis que se hicieron a las minas y proyectos de las empresas, por medio de trabajos de exploración, desarrollos y explotación. Por medio de sondeos y percusión se ha determinado las siguientes reservas:

- Reservas geológicas.
- Reservas minables al límite final probable.
- Reservas minables al talud actual.

A) Reservas Geológicas

Son todos los recursos de mineral probado y reconocidos de los sondeos de exploración, en las minas actuales que se encuentran operativas y los nuevos proyectos.

Tabla 1. Estimación De Reserva De Mineral En Toneladas Métricas

ESTIMACION DE RESERVAS GEOLOGICAS DE MINERAL (TM)			
Deposito	Probado	Probable	Total General
Mina 2	60,367,764	15,040,407	75,408,171
Mina 3	71,982,626	25,677,352	97,659,978
Mina 4	195,269,801	64,273,444	259,543,245
Mina 5	109,198,204	77,037,583	186,235,787
Mina 9	60,012,697	25,203,306	85,216,003
Mina 10	10,057,943	4,434,025	14,491,968
Mina 11	29,809,245	5,590,692	35,399,937
Mina 14	81,657,848	30,762,947	112,420,795
Mina 16	6,789,321	5,689,858	12,479,179
Mina 18	19,967,681	2,784,779	22,752,460
Mina 21	224,932,345	87,422,894	312,355,239
TOTAL GENERAL	870,045,475	343,917,287	1,213,962,762

Fuente: Shougang Hierro Peru

B) Reservas Minables

Cuando un cuerpo de mineral es considerado beneficioso y explotable se le hace un diseño de minado.

Todos los recursos de mineral que están dentro de este diseño de explotación (Tajo), son considerados reservas minables y se les denomina según el desarrollo que se le esté haciendo en la mina en:

- Reservas Minables Al Limite Final Probable:

Son todos los recursos que están dentro del diseño óptimo de minado.

- Reservas Minables Del Talud Actual:

Son los recursos que están dentro de los actuales que se están explotando en este momento sin considerar los futuros desarrollos.

Tabla 2. Estimado De Reservas Minables En Toneladas Métricas.

ESTIMACION DE RESERVAS MINABLES AL LIMITE FINAL PROBABLE (TM)				
Mina	Mineral	Desmante	Total General	Ratio
Mina 2	30,543,400	75,710,091	106,253,491	2.48
Mina 3	4,096,512	4,206,665	8,303,177	1.03
Mina 4	74,930,628	54,568,146	129,498,774	0.73
Mina 5	76,190,248	147,624,968	223,815,216	1.94
Mina 9/10	41,444,216	26,353,976	67,798,192	0.64
Mina 11	33,912,048	92,409,621	126,321,669	2.72
Mina 14	69,230,444	142,436,597	211,667,041	2.06
Mina 16	9,032,443	26,167,149	35,199,592	2.90
Mina 18	19,257,264	49,927,081	69,184,345	2.59
	358,637,203	619,404,294	978,041,497	1.73

Fuente: Shougang Hierro Peru

3.3.5. Características Geomecánicas

3.3.5.1. Mapeo Geomecánico

Consideremos varias características de la roca las más principales son la resistencia a la compresión uniaxial, clasificación RMR y GSI, donde esta analizado según el tipo de mineral existente en el tajo, en mina 5 los minerales existentes son: andesita, hornfels, magnética, granodiorita y dacita.

Tabla 3. Característica Geomecanico De Mina 5

Litología	Resistencia a la Compresión Simple	Clasificación RMR	Descripción de Roca	GSI
Magnetita	Clase III	60-67	Muy Buena	60
Andesita	Clase III	55-60	Buena	55
Dacita	Clase II – Clase III	55-60	Buena	55
Granodiorita	Clase II – Clase III	60-65	Buena	45

Fuente: Shougang Hierro Perú

Sin embargo, a través del mapeo geológico realizado a lo largo de los bancos y taludes, se observa que las rocas del yacimiento Marcona están dominados por fallas mayores que las cortan de manera transversal. Estas fallas son: falla Pista con rumbo N 65° W e inclinaciones de 45° a 60° NE y de 70° a 74° SW, falla repetición con rumbo N 45°E con inclinación de 35° a 65° SW y la falla La Huaca con rumbo de N25°W, con inclinaciones de 55° a 60° NE y de 77° a 80° SW. Estas

discontinuidades mayores están acompañadas por diaclasas y fracturas, cuyas orientaciones se presentan de manera paralela a dichos planos principales de falla.

3.3.5.2. Calidad de Roca

En la mayoría de los tajos que tiene la empresa Shougang Hierro Perú son de roca media, dura a muy dura y fracturada, debido a esa dureza de la roca se da la posibilidad de construir bancos de mayor altura en la operación, estos taludes en su mayor parte son estables.

Tabla 4. Calidad De Roca De Mina 5

Litología	Índice RQD	Calidad de Roca
Magnetita	65	Media
Andesita	66	Media
Dacita	55	Media
Granodiorita	68	Media

Fuente: Shougang Hierro Perú

3.4. OPERACIÓN MINA

3.4.1. Parámetros de diseño y producción

La explotación de Mina 5 se realiza por fases (Push Backs).

La altura de Banco es de 13 m dependiendo del tipo de roca varían las alturas, con rampas de diseño de 9% de gradiente, anchos de rampas de 18 m, taludes de trabajo de 70° y banquetas de 5m. La producción diaria es de 24,000 Tn de Mineral al día y 24,000 Tn de desmonte actualmente.

Figura 17. Ingreso al Tajo Mina 5 de la contrata San Martin



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Vista del Tajo Mina 5 De La Contrata San Martin



Fuente: Elaboración Propia

3.4.2. Equipos de mina

Todos los equipos mina que tiene actualmente la contrata San Martin se detalla a continuación:

Tabla 5. Equipos de Mina de San Martin

Nº	EQUIPO	CODIGO	MODELO	MARCA	CAPACIDAD
1	PERFORADORA	EP-131AL	DR412i	SANDVIK	12 1/4"
2	PERFORADORA	EP-130AL	DR412i	SANDVIK	12 1/4"
3	PERFORADORA	EP-129AL	DR412i	SANDVIK	12 1/4"
4	PERFORADORA	EP-15	D75KS	SANDVIK	11"
5	PERFORADORA	EP-31	D75KS	SANDVIK	11"
6	PERFORADORA	EP-38	D75KS	SANDVIK	11"
7	PERFORADORA	EP-19	DML	DRILLTECH	9"
8	PERFORADORA	EP-32	DML	DRILLTECH	9"
9	PERFORADORA	EP-33	DML	DRILLTECH	9"
10	PERFORADORA	EP-127AL	JD-2000	CRAWLER DRILL	5"
11	PALA	CH-02	6040FS	CATERPILLAR	22m3
12	PALA	CH-04	6040FS	CATERPILLAR	22m3
13	PALA	CH-06	6050FS	CATERPILLAR	26m3
14	PALA	CH-08	6050FS	CATERPILLAR	26m3
15	CARGADOR FRONTAL	C-45	994-F	CATERPILLAR	18m3
16	CARGADOR FRONTAL	C-39	992-G	CATERPILLAR	12m3
17	CAMION MINERO	FC-70	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
18	CAMION MINERO	FC-71	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
19	CAMION MINERO	FC-72	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
20	CAMION MINERO	FC-73	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
21	CAMION MINERO	FC-74	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
22	CAMION MINERO	FC-75	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
23	CAMION MINERO	FC-76	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
24	CAMION MINERO	FC-77	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
25	CAMION MINERO	FC-78	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
26	CAMION MINERO	FC-84	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
27	CAMION MINERO	FC-85	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
28	CAMION MINERO	FC-86	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
29	CAMION MINERO	FC-93	777-F	CATERPILLAR	90 Tn.
30	CAMION MINERO	FC-58	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
31	CAMION MINERO	FC-59	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
32	CAMION MINERO	FC-60	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
33	CAMION MINERO	FC-61	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
34	CAMION MINERO	FC-62	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
35	CAMION MINERO	FC-63	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
36	CAMION MINERO	FC-82	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
37	CAMION MINERO	FC-99	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.

Continúa siguiente página

Continuación Tabla 5

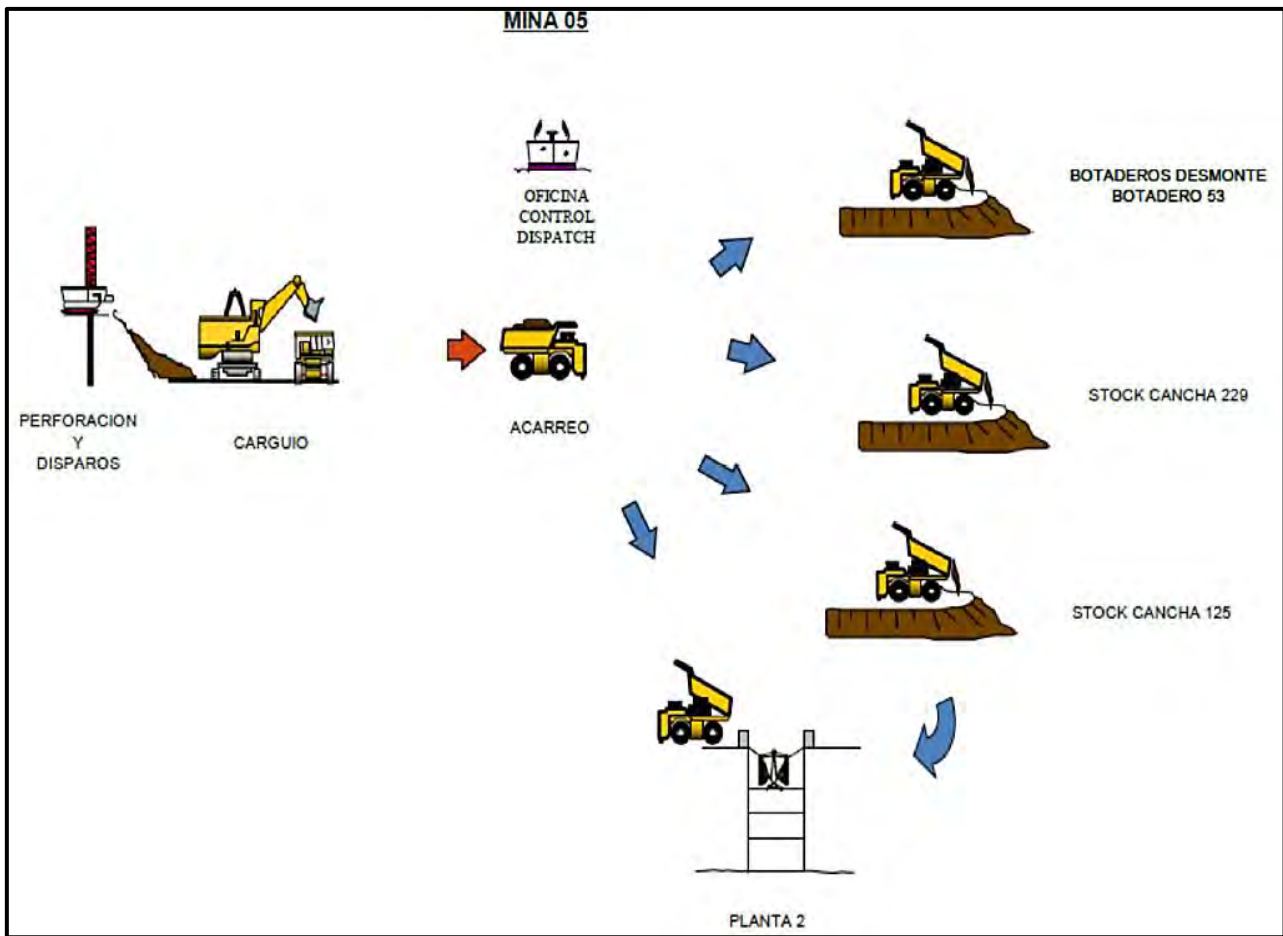
Nº	EQUIPO	CODIGO	MODELO	MARCA	CAPACIDAD
38	CAMION MINERO	FC-100	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
39	CAMION MINERO	FC-107	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
40	CAMION MINERO	FC-108	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
41	CAMION MINERO	FC-109	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
42	CAMION MINERO	FC-110	HD1500-7	KOMATSU	150 Tn.
43	CAMION MINERO	FC-29	785-C	CATERPILLAR	140 Tn.
44	CAMION MINERO	FC-30	785-C	CATERPILLAR	140 Tn.
45	CAMION MINERO	FC-103	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
46	CAMION MINERO	FC-104	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
47	CAMION MINERO	FC-105	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
48	CAMION MINERO	FC-106	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
49	CAMION MINERO	FC-111	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
50	CAMION MINERO	FC-112	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
51	CAMION MINERO	FC-116	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
52	CAMION MINERO	FC-117	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
53	CAMION MINERO	FC-118	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
54	CAMION MINERO	FC-119	785-D	CATERPILLAR	140 Tn.
55	CAMION MINERO	FC-55	775F	CATERPILLAR	60 Tn.
56	CAMION MINERO	FC-56	775F	CATERPILLAR	60 Tn.
57	CAMION MINERO	FC-79	775F	CATERPILLAR	60 Tn.
58	CAMION MINERO	FC-80	775F	CATERPILLAR	60 Tn.
59	CAMION MINERO	FC-81	775F	CATERPILLAR	60 Tn.
60	MOTONIVELADORA	MO-189-AL	160-K	CATERPILLAR	190 hp
61	MOTONIVELADORA	MO-22	160-K	CATERPILLAR	190 hp
62	CARGADOR FRONTAL	C-59	WA-500	KOMATSU	5 m3
63	CARGADOR FRONTAL	C-85	966-H	CATERPILLAR	5 m3
64	TRACTOR	T-25	D9T	CATERPILLAR	410 hp
65	TRACTOR	T-49	D8T	CATERPILLAR	410 hp
66	BULLDOZER	T-55	D9T	CATERPILLAR	410 hp

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3. Descripción del ciclo de mina

A continuación, se detalla la descripción del ciclo de minado de mina 5 producción

Figura 19. Dinámica De Operación Tajo Mina 5



Fuente: Elaboración Propia

3.4.3.1. Perforación

Se realiza la perforación vertical (cuerpos de mineral de hierro) mediante taladros; se realizan 2 tipos de perforación: Perforación Primaria y Perforación Secundaria si es necesario el caso.

La perforación de mina 5 se realizan con equipos Diesel EP – 32, este equipo es de la marca Atlas Copco DML de 9" de diámetro; EP – 129, EP – 130 son de la marca Sandvik DR412i de 11" de diámetro; EP-38 de la marca Sandvik D75KS de 11" de diámetro.

Figura 20. Equipos De Perforación de Diámetro 9''



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21. Equipos De Perforación de Diámetro 11''



Fuente: Elaboracion Propia

3.4.3.1.1. Malla de perforación

El diseño de mallas de perforación es generado en el gabinete de topografía y planeamiento según las condiciones del terreno, dureza, diámetro del taladro, las mallas más comunes que se maneja entre proyectos se van ajustando de acuerdo a la dureza del terreno, buscando optimizar el rendimiento de

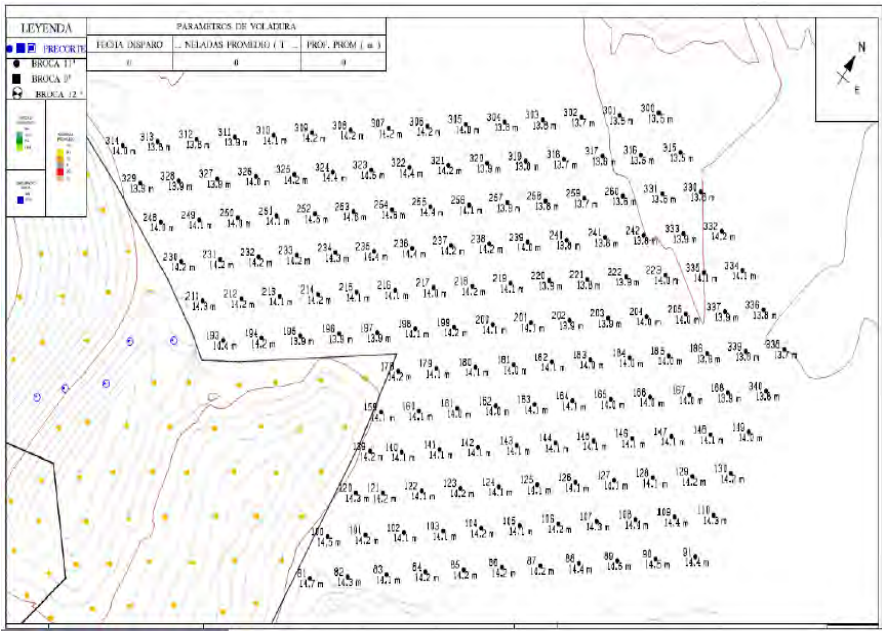
perforación y minimizar los costos, la sobreperforación en el proyecto varía entre 1 m - 2m. Para el caso de mineral las mallas son triangulares.

Tabla 6. Mallas de Perforacion Mina 5.

EQUIPO	DIÁMETRO (Pulg)	MALLA DE PERFORACIÓN	TIPO
EP-130	11”	4.7m x 5.4m	MINERAL
EP-130	11”	6.7m x 7.0m	DESMONTE
EP-129	11”	4.7m x 5.4m	MINERAL
EP-129	11”	6.7m x 7.0m	DESMONTE
EP-38	11”	4.7m x 5.4m	MINERAL
EP-32	9”	3.5m x 4.0m	MINERAL
EP-131	11”	6.7m x 7.0m	DESMONTE
EP-33	7 7/8”	3.5m x 4.0m	DESMONTE

Fuente: Elaboracion Propia

Figura 22. diseño de perforación, malla triangular.



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 23. Plataforma zona mineral ya perforada, malla triangular.



Fuente: Elaboracion Propia

3.4.3.2. Voladura

Las voladuras son producidas por explosivos y accesorios los cuales detonan para producir el efecto de liberación violenta de energía, convirtiéndose en gases con alta presión y temperatura con liberación de calor, estos explosivos, se clasifican de forma cinética y de forma energética dependiendo de la velocidad de propagación y de la cantidad de energía necesaria para su activación respectivamente. La finalidad de las explosiones es fracturar la roca, o lograr un empuje hacia adelante o hacia la cara libre.

La voladura se hace con Heavy Anfo 28,37,45 dependiendo del caso, se hace el carguío de taladros con camión fabrica (se cuenta con 4 camiones fabrica); para el tapado de taladros se utiliza minicargadores (se cuenta con 3 minicargadores); para el traslado de explosivos y accesorios se utiliza 2 furgonetas y 2 camionetas de servicio; y los accesorios de voladura son tanto como Enaex, Famesa y Orica.

La iniciación de detonación esta encargada por la empresa Enaex.

Figura 24. Booster y Fanel debidamente ordenada



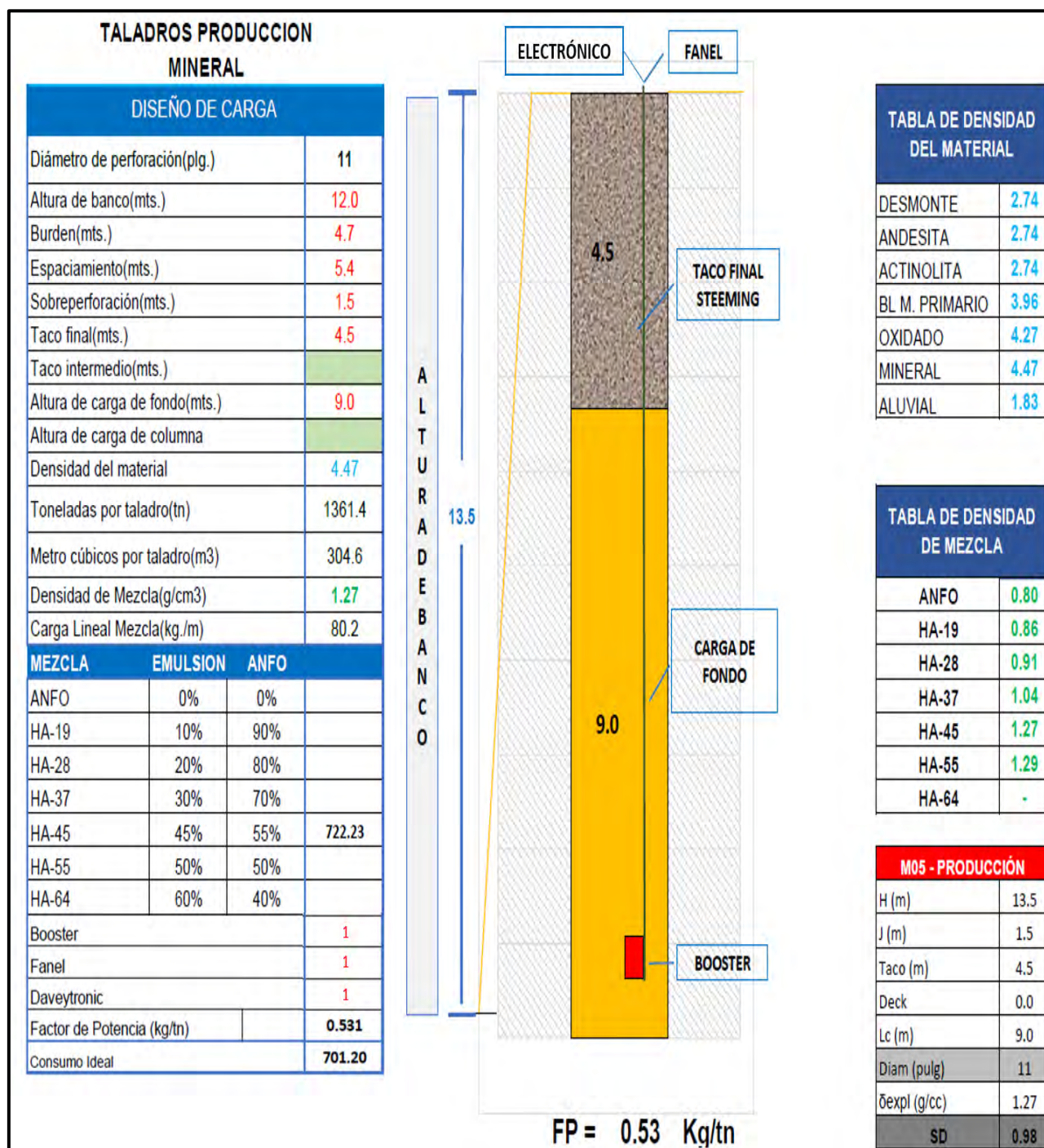
Fuente: Elaboracion Propia

Figura 25. Detonador Electronico Daveytronic



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 26. Diseño de Carga Explosiva y Accesorios de voladura usadas por taladro, Voladura Sin Cámaras de Aire, Taladros ø11"



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27. Camión Fabrica a la espera del carguío



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28. Trabajador Wincheando La Carga Explosiva



Fuente: Elaboración Propia

Figura 29. Dentro del cargado de explosivo se realiza el control de densidades



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 30. Tapado de taladros con minicargador, Material Stemming



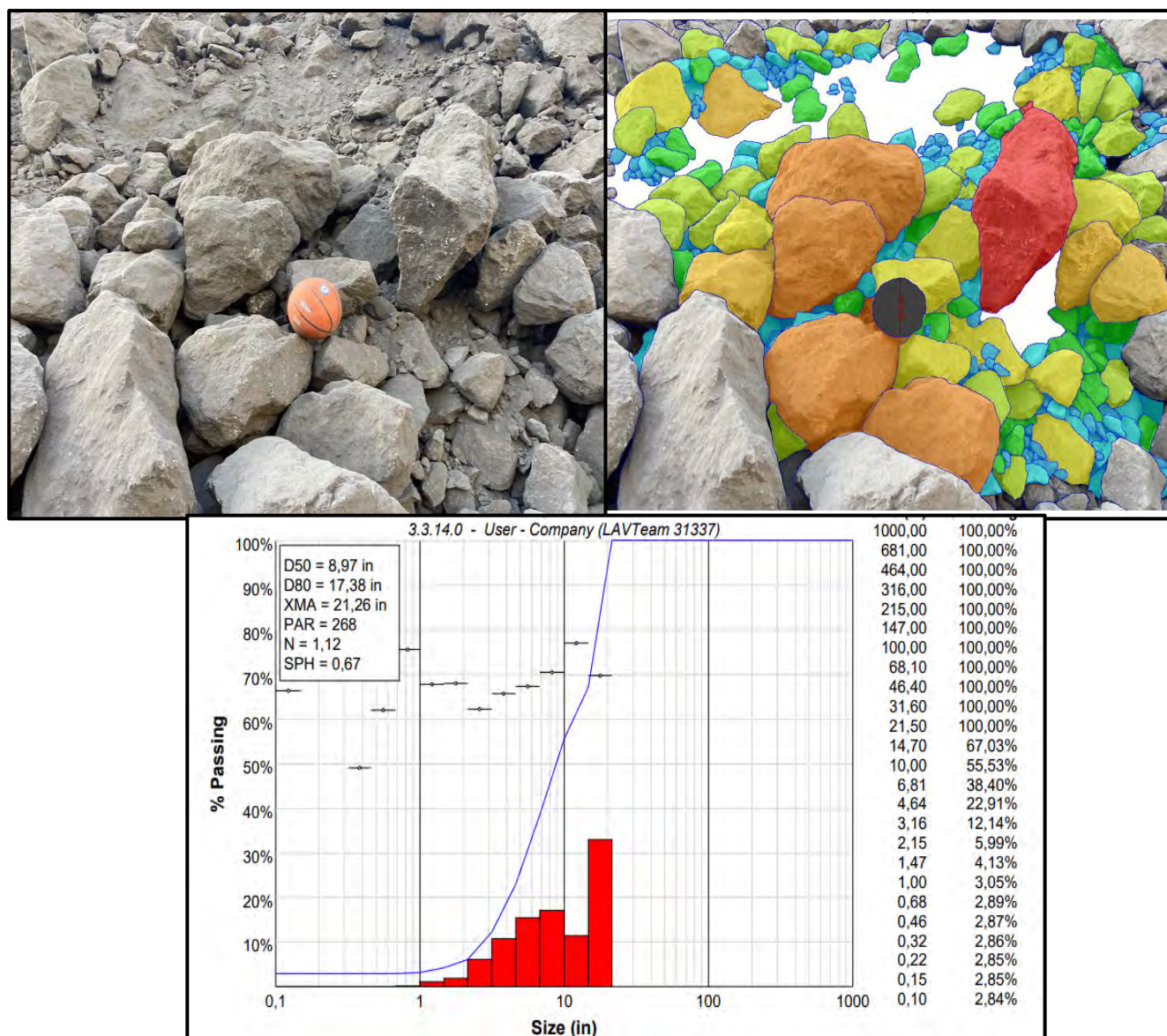
Fuente: Elaboracion Propia

3.4.3.2.1. Resultados de voladura sin air deck

a). Granulometría

En el proyecto Mina 5 produccion se tiene la siguiente granulometría sin Air Deck:

Figura 31. Análisis Granulométrico sin cámara de aire. P80: 17"



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7. Resumen Granulométrico de los proyectos Mina 5 Produccion

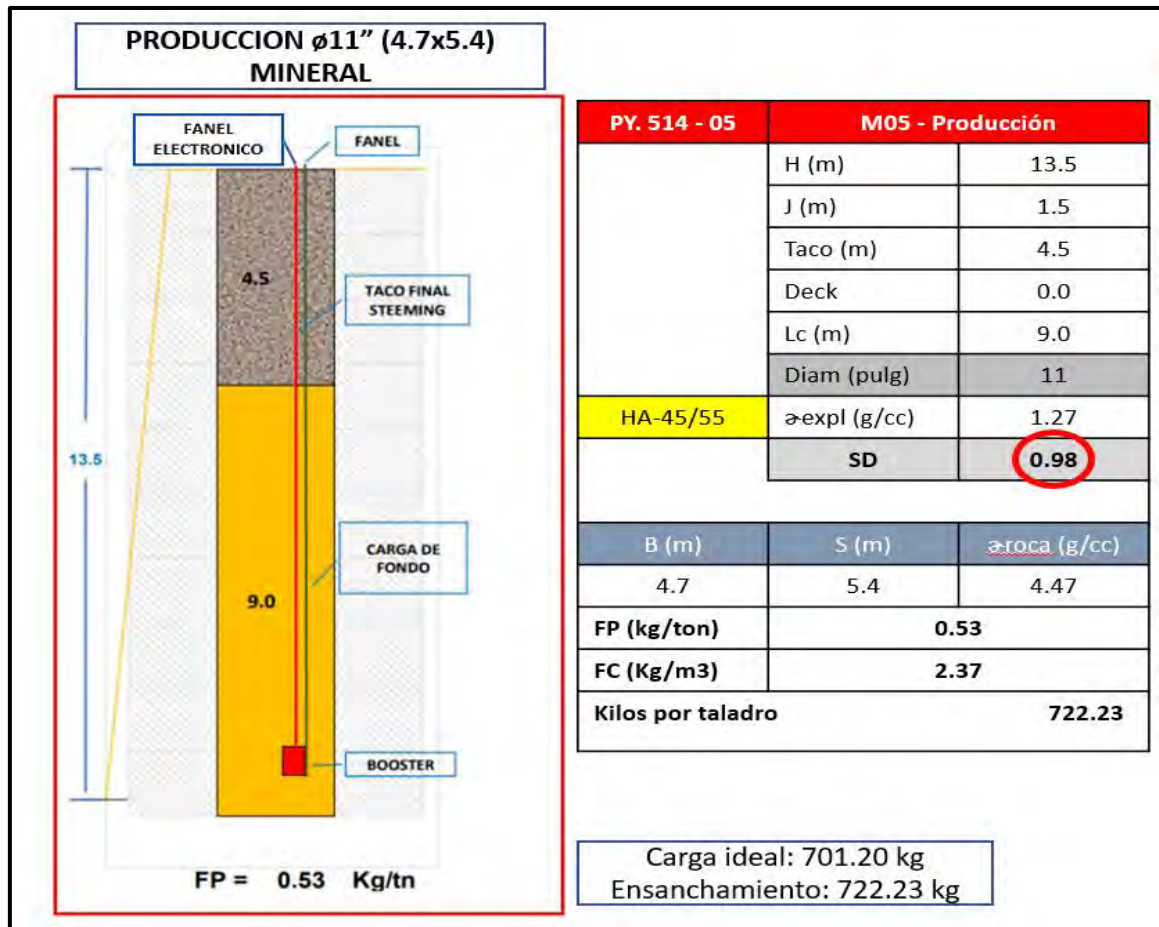
Nº	Tajo	Nivel	Material	Explosivo	Granulometría P80 (pulg)
1	Mina 5	538-01	Mineral	HA45/55	15.23
2	Mina 5	538-10	Mineral	HA45/55	16.80
3	Mina 5	538-12	Mineral	HA45/55	17.38
4	Mina 5	526-02	Mineral	HA45/55	14.78
5	Mina 5	526-08	Mineral	HA45/55	12.62
6	Mina 5	526-10	Mineral	HA45/55	11.85
7	Mina 5	514-02	Mineral	HA45/55	15.38
8	Mina 5	514-05	Mineral	HA45/55	14.74
					14.85

Fuente: Elaboración Propia

b). Proyección

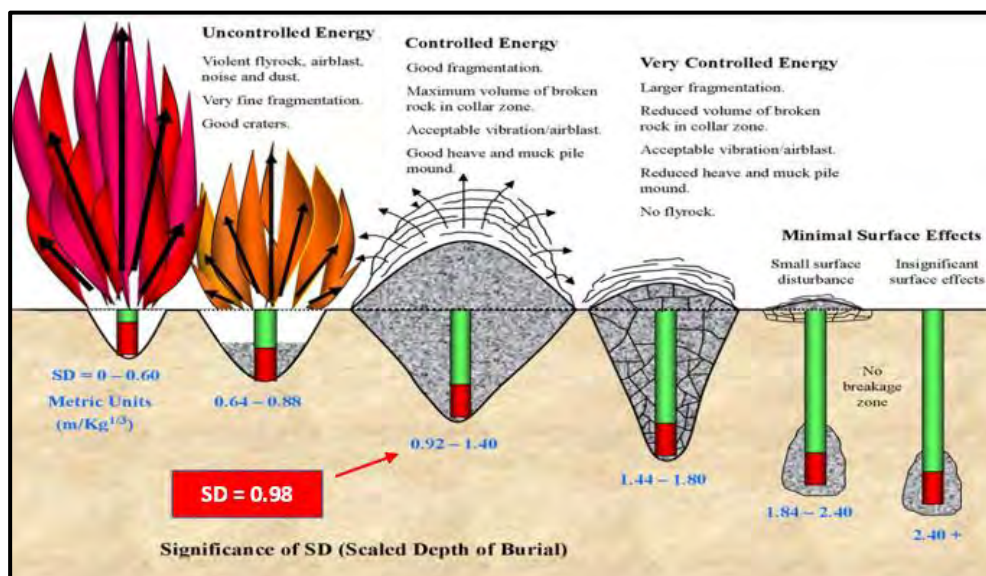
Las proyecciones de los proyectos de mina 5 producción son las siguientes:

Figura 32. Análisis de Proyección sin cámaras de aire Nivel 514-05



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33. Determinación de Proyección sin Cámaras de Aire Proyecto 514-05



Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Resumen De Proyección de M5P

N ^a	Tajo	Nivel	H taladro (m)	Taco (m)	Altura de carga (m)	Carga de fondo (kg)	SD
1	Mina 5	538-01	13.5	4.5	9	722.00	0.98
2	Mina 5	538-10	13.5	4.5	9	710.25	0.97
3	Mina 5	538-12	13.5	4.5	9	715.20	0.98
4	Mina 5	526-02	13.5	4.5	9	701.56	0.97
5	Mina 5	526-08	13.5	4.5	9	708.61	0.97
6	Mina 5	526-10	13.5	4.5	9	725.36	0.98
7	Mina 5	514-02	13.5	4.5	9	721.92	0.98
8	Mina 5	514-05	13.5	4.5	9	722.23	0.98

Fuente: Elaboración Propia

c). Producción

Producción entablada a mina 5 producción sin cámara de aire.

Tabla 9. Resumen de Producción de M5P

N ^a	Tajo	Nivel	Burden (m)	Espaci amiento (m)	Altura de Banco (m)	Densidad de Roca (g/cc)	N ^a de Taladros	Toneladas por Taladro (ton)	Tonelada Promedio de Diseño Oficina (ton)	Tonelada Real Campo (ton)
1	Mina 5	538-01	4.7	5.4	12	4.47	141	1361.4	191,957	190,202
2	Mina 5	538-10	4.7	5.4	12	4.47	120	1361.4	163,368	162,364
3	Mina 5	538-12	4.7	5.4	12	4.47	112	1361.4	152,477	152,101
4	Mina 5	526-02	4.7	5.4	12	4.47	125	1361.4	170,175	169,254
5	Mina 5	526-08	4.7	5.4	12	4.47	117	1361.4	159,283	159,109
6	Mina 5	526-10	4.7	5.4	12	4.47	121	1361.4	164,729	163,274
7	Mina 5	514-02	4.7	5.4	12	4.47	105	1361.4	142,947	140,129
8	Mina 5	514-05	4.7	5.4	12	4.47	43	1361.4	58,540	57,978

Fuente: Elaboración Propia

d). Factor de potencia

Factores de potencia de los proyectos de voladura sin cámara de aire

Tabla 10. Resumen de Factor de potencia de M5P

Nº	Nivel	Carga por taladro (Kg/Tal)	Toneladas por taladro (ton)	Factor de Potencia (Kg/Ton)
1	538-01	720.30	1361.4	0.53
2	538-10	710.25	1361.4	0.52
3	538-12	715.20	1361.4	0.53
4	526-02	701.56	1361.4	0.52
5	526-08	722.40	1361.4	0.53
6	526-10	710.85	1361.4	0.52
7	514-02	715.46	1361.4	0.52
8	514-05	722.23	1361.4	0.53

Fuente: Elaboración Propia

e). Costos Perforación y voladura

La toma de datos se realizó en el Proyecto 514-05-06 los cuales se perforaron 87 taladros, los datos son los siguientes:

Tabla 11. Datos del Proyecto 514-05-06

Mina 5 Producción	
Fecha	21/03/2023
Proyecto	514-05-06
Material	Mineral
Altura de Banco	12 m
Sobre Perforacion	1.5 m
Longitud de Taladro	13.5 m
Diametro	11 Pulg
Total de Taladros	87 Taladros

Fuente: Elaboración Propia

❖ Costos De Perforación Sin Cámara De Aire

A continuación, se presentan los valores obtenidos en la unidad minera:

Tabla 12. Parametros de perforacion

Nº	Taladro	Unidad	Medida
1	Burden	M	4.7
2	Espaciamiento	M	5.4
3	Altura de Banco	M	12
4	Sobre-Perforacion	M	1.5
5	Longitud de Taladro	M	13.5
6	Densidad de la Roca	Gr/cc	4.47
7	Toneladas Rotas/Tal	Tn/Tal	1361.4

Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 13. Costos de Perforacion

Perforación		
Nº	Item	Unidad
1	Toneladas Rotas/Taladro	1361.4 Tn/Tal
2	Costo Perforado/M	20.62 \$/M
3	Longitud De Taladro	13.5M
4	Costo Taladro Perforado	278.37 \$/Tal
5	Costo Perforado/Tn	0.204 \$/Tn
6	Total N° Taladros	87 Taladros
7	Costo Total Perforacion	24218.19 \$

Fuente: Elaboración Propia

❖ Costos de Voladura Sin Cámaras de Aire

Se realizó los costos de voladura según a lo tradicional para el Proyecto 514-05-06 con 87 taladros perforados

Tabla 14. Precios de Voladura

Detalle De Precios de Voladura Sin Camaras de Aire		
Nº	Item	Precio
1	Costo de Explosivo (Heavy Anfo HA-45)	0.51 \$/Kg
2	Costo Booster Pentex (HPD-1 Libra)	2.94 \$/Unidad
3	Fulminante Antiestatico (600ms)	2.11 \$/Unidad
4	Detonador Daveytronic UG	22 \$/Unidad
5	Cable de Conexión M35	1.26 \$/M
6	Costo de Llenado del Stemming	5 \$/M ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Cantidades Consumidas de Explosivo y Accesorio Sin Camaras de Aire

Cantidades Consumidas Voladura		
Nº	Item	Cantidad
1	Explosivo (Heavy Anfo HA-45)	62815.89 Kg
2	Booster Pentex (HPD-1 Libra)	87 Unidades
3	Fulminante Antiestatico (600ms)	87 Unidades
4	Detonador Daveytronic UG	87 Unidades
5	Cable de Conexión M35	1000 Metros
6	Llenado del Stemming	29.58 M ³

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 16. Costo Total de Voladura sin Camaras de Aire

Costo de Voladura sin Camara de Aire		
Nº	Item	Precio
1	Costo Total Explosivo (Heavy Anfo HA-45)	32036.10 \$
2	Costo Total Booster Pentex (HPD-1 Libra)	255.78 \$
3	Costo Total Fulminante Antiestatico (600ms)	183.57 \$
4	Costo Total Detonador Daveytronic UG	1914 \$
5	Costo Total Cable de Conexión M35	1260 \$
6	Costo Total de Llenado del Stemming	147.9 \$
Costo Total Voladura Sin Camaras de Aire		35797.35 \$

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Cuadro Resumen Costo Perforacion y Voladura Sin Camaras de Aire

Sin Camaras de Aire			
Perforacion		Voladura	
Costo Total Perforacion	24218.19 \$	Costo Total Voladura	35797.35 \$
N° de Taladros	87 Taladros	N° de Taladros	87 Taladros
Metro Perforados	1174.5 Metros	Cantidad de Kilos de Mezcla Explosiva	62815.89 Kg
Costo / Taladro	278.37 \$/Tal	Costo / Taladro	411.46 \$/Tal
Costo / Metro	20.62 \$/M		

Fuente: Elaboración Propia

f). Fallas

Se detallará las fallas que se produjeron como resultado de voladuras sin cámaras de aire.

Figura 34. Fragmentación gruesa



Fuente: Elaboración Propia

Figura 35. Bolones en zona de taco



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 36. Cañas de taladros intactos



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 37. Bolones preformados en Cresta



Fuente: Elaboracion Propia

3.4.3.3. Carguío

Esta actividad es realizada por las palas, que tienen una capacidad de 11 m³, 17 m³, 18 m³ y 22 m³, 26 m³ o cargadores frontales de 20 m³. La pala a diesel se desplaza por medio de orugas. Los cargadores se desplazan por medio de ruedas. Estos equipos se encuentran agrupados por flotas de acuerdo a las características particulares.

El carguío se hace con los siguientes equipos:

A. Cargador Frontal CAT 992G: Cargador frontal Diesel de capacidad 12m³.

Figura 38. Cargador Frontal CAT 992G



Fuente: Elaboracion Propia

B. Cargador Frontal CAT 994F: Cargador frontal Diesel de capacidad 18m³.

Figura 39. Cargador Frontal CAT 994F



Fuente: Elaboracion Propia

C. Pala 6040FS CATERPILLAR, equipo Diesel de capacidad de cuchara 22m³.

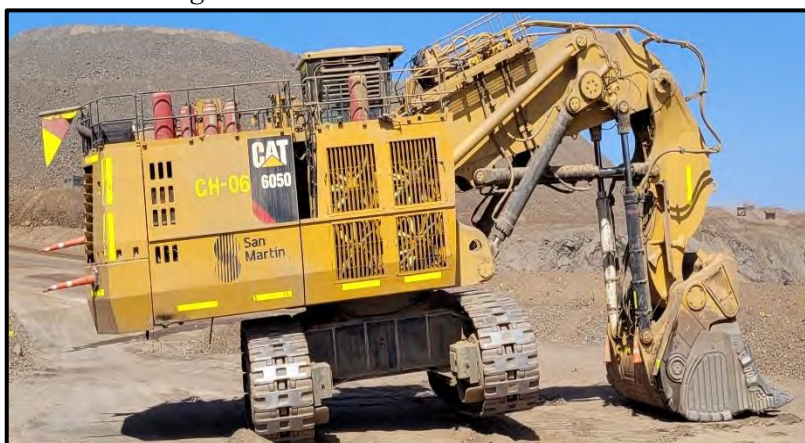
Figura 40. Pala 6040FS CATERPILLAR



Fuente: Elaboracion Propia

D. Pala 6050FS CATERPILLAR, equipo Diesel de capacidad de cuchara 26m³

Figura 41. Pala 6050FS CATERPILLAR



Fuente: Elaboracion Propia

3.4.3.4. Acarreo

En esta actividad se realiza el transporte de materiales de mineral o desmonte que son enviados a Stocks, Botaderos o Plantas de chancado.

El acarreo se realiza con camiones que tienen gran capacidad de carga. Estos camiones siguen rutas determinadas para llegar a sus destinos.

El acarreo se hace con equipos de la marca CATERPILLAR Y KOMATSU, estos equipos son Diesel de capacidades que oscilan entre 60 TM a 150 TM.

Figura 42. Flota de Camiones Mineros



Fuente: Elaboracion Propia

3.4.3.5. Equipos auxiliares

Para los trabajos auxiliares se utilizan los siguientes equipos:

- 2 motoniveladoras CATERPILLAR 160-K de 190 HP
- Cargador frontal KOMATSU W A-500 de 5m³
- Cargador frontal CATERPILLAR 966-H de 5m³
- 2 tractores CATERPILLAR D8T Y D9T de 41 O HP
- Perforadora JUNJIN JD2000 de 5" de diámetro

Figura 43. Motoniveladoras CATERPILLAR



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 44. Excavadora CATERPILLAR



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 45. Tractor CATERPILLAR



Fuente: Elaboracion Propia

Figura 46. Perforadora JUNJIN de 5'' de diametro



Fuente: Elaboracion Propia

3.4.4. Chancado (Mina)

Para este subproceso del chancado en mina se realiza el chancado de minerales y baja ley. Y para esto se utilizan 2 plantas chancadoras que son las siguientes:

- Planta 1: Chancado de Mineral
- Planta 2: Chancado de Mineral y baja Ley.

Figura 47. Zona de Chancado Planta 2, Shougang Hierro Peru



Fuente: Elaboración Propia

3.4.5. Envío de Crudos

En este subproceso se efectúa el transporte del mineral de las plantas de la mina hacia el stock de crudos que es la Planta Beneficio.

En este se encuentra el Conveyor que está conformado por segmentos de faja en una longitud total de 18.5 Km. Estas fajas trabajan con motores eléctricos.

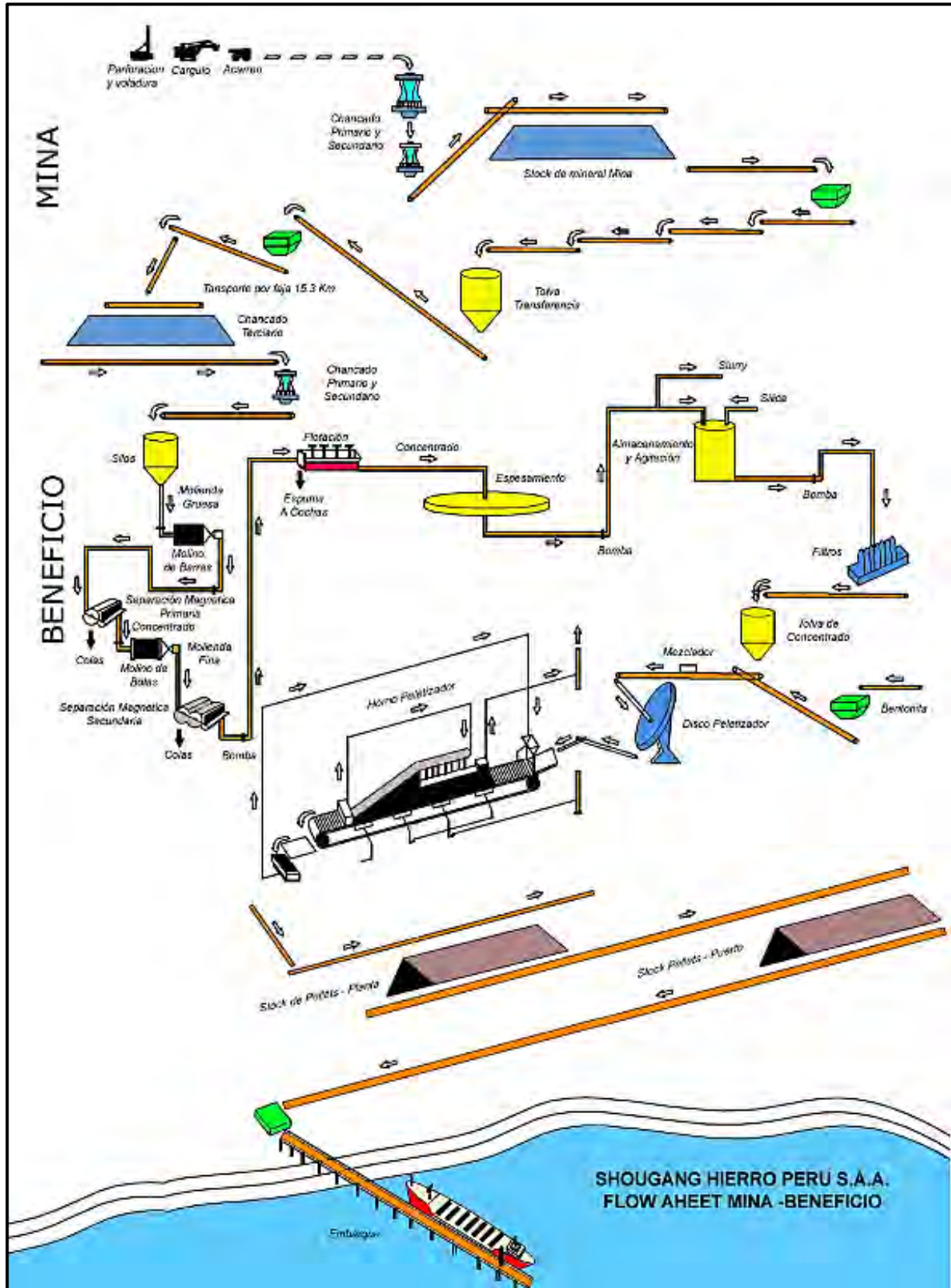
Figura 48. Envío de Crudos, Shougang Hierro Perú



Fuente: Elaboración Propia

3.4.6. Flow sheet

Figura 49. Proceso de Producción Shougang Hierro Peru



Fuente: Shougang Hierro Peru

3.4.7. Control de calidad

Durante todo el proceso, se toman muestras de las cuales son enviadas al laboratorio, el cual está dividido en:

- Laboratorio Metalúrgico: Donde se realizan pruebas físicas
- Laboratorio Químico: Donde se realizan pruebas químicas

CAPITULO IV.

EVALUACION DE VOLADURA APLICANDO LA TECNICA DE CAMARAS DE AIRE

4.1. RECOPIACION DE DATOS E INFORMACION HISTORICA CON EL METODO CONVENCIONAL

En esta etapa del proceso experimental se busca la información histórica de proyectos disparados con el diseño de carga en los cuales los parámetros de perforación (burden y espaciamiento) sean similares a los que se utilizarán en las pruebas con Camaras de Aire, ya que la única variable que se plantea modificar es el diseño de carga, los parámetros que se tomaron a consideración son los siguientes:

- **Fragmentación obtenida con HA45:** Se recopiló de la base de datos, fotos e información del P80 obtenido en cada proyecto disparado con HA45 que es el explosivo utilizado exclusivamente en zonas de mineral con el método convencional.
- **Productividad equipos de carguío:** Para cuantificar la productividad de los equipos de carguío nos basaremos en el indicador de rendimiento efectivo (Tn cargadas / Hr efectiva), este indicador lo obtendremos del área de Performance-Dispatch en el cual tomaremos en consideración solo el rendimiento de los equipos en proyectos de mineral, tomando la data desde el 01 de enero del 2023 al 30 de mayo del 2023 ya que en estos meses se usó exclusivamente el método convencional

- **Productividad equipos de acarreo:** Para cuantificar la productividad de los equipos de acarreo nos basaremos en el indicador de factor de llenado el cual se describe a continuación:

$$F.L = \left(\frac{Tn}{CN} * 100 \right) \%$$

- F.L: Factor de llenado
- CN: Capacidad Nominal del camión
- Tn: Tonelaje real acarreado

Este indicador lo obtendremos del área de Performance-Dispatch en el cual tomaremos en consideración solo el factor de llenado de los equipos en proyectos de mineral, tomando la data desde el 01 de enero del 2023 al 30 de mayo del 2023 ya que en estos meses se usó exclusivamente el método convencional.

- **Productividad planta chancadora:** Para cuantificar la productividad de la planta chancadora se tomará como referencia el indicador de rendimiento efectivo (Tn chancadas / Hr efectiva), este indicador lo obtendremos del área de Performance-Dispatch, tomando la data desde el 01 de enero del 2023 al 30 de mayo del 2023 ya que en estos meses se usó el método convencional.

4.2. ANALISIS DE INFORMACION POST VOLADURA CON EL METODO CONVENCIONAL

- **Análisis de la Fragmentación obtenida con HA45:** De la base de datos del monitoreo de fragmentación por disparó se buscó los últimos 08 proyectos disparados en mineral en mina 5 que hayan sido analizados mediante el software Wipfrag, a continuación, se muestra el P80 obtenido.

Tabla 18. Resumen de fragmentación obtenida con el método convencional.

Nº	Fecha	Nivel	Tajo	Material	Explosivo	P80 (pulg)
1	10/01/2023	538-01	Mina 5	Mineral	HA45/55	15.23
2	23/02/2023	538-10	Mina 5	Mineral	HA45/55	16.80
3	27/02/2022	538-12	Mina 5	Mineral	HA45/55	20.35
4	20/03/2023	526-02	Mina 5	Mineral	HA45/55	14.78
5	13/04/2023	526-08	Mina 5	Mineral	HA45/55	12.62
6	25/04/2023	526-10	Mina 5	Mineral	HA45/55	11.85
7	17/05/2023	514-02	Mina 5	Mineral	HA45/55	15.38
8	21/05/2023	514-05	Mina 5	Mineral	HA45/55	14.74
						15.47

Fuente: Elaboración Propia

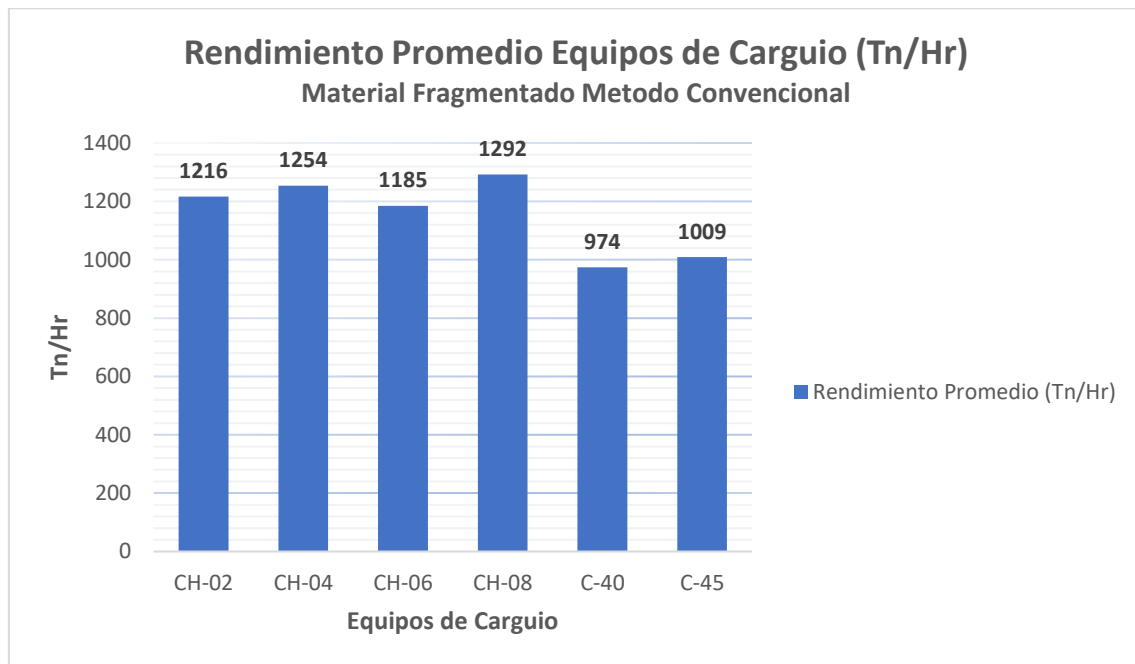
- **Análisis de la productividad equipos de carguío:** El indicador de rendimiento efectivo (Tn cargadas / Hr efectiva) se obtuvo del área de Performance-Dispatch, se tomó en consideración solo el rendimiento de los equipos en proyecto de Mina 5 mineral, en el turno A, en los meses de enero a mayo y en base a un operador diferente a cada equipo, para posteriormente cuando se realice el comparativo de productividad con los resultados con Cámaras de Aire, la eficiencia del operador, eficiencia por turno o equipo de carguío no influya en los resultados, y enfocarnos solo en el impacto de la fragmentación en el rendimiento.

Tabla 19. Rendimiento equipos de carguío con material fragmentado con el método convencional

RENDIMIENTO EQUIPOS DE CARGUIO 2023 (Tn/Hr)								
Equipo de carguío	Operador	Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Rendimiento Promedio (Tn/Hr)
CH-02	220121	Mineral	1220	1212	-	-	-	1216
CH-04	220511	Mineral	1219	1336	1249	1258	1206	1254
CH-06	220202	Mineral	1040	1204	1310	-	-	1185
CH-08	220159	Mineral	-	-	-	1285	1299	1292
C-40	220032	Mineral	1039	921	1053	931	924	974
C-45	220011	Mineral	1023	1045	1084	960	934	1009
								1155

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 1. Rendimiento promedio equipos de carguío con material fragmentado con el método convencional



Fuente: Elaboración Propia

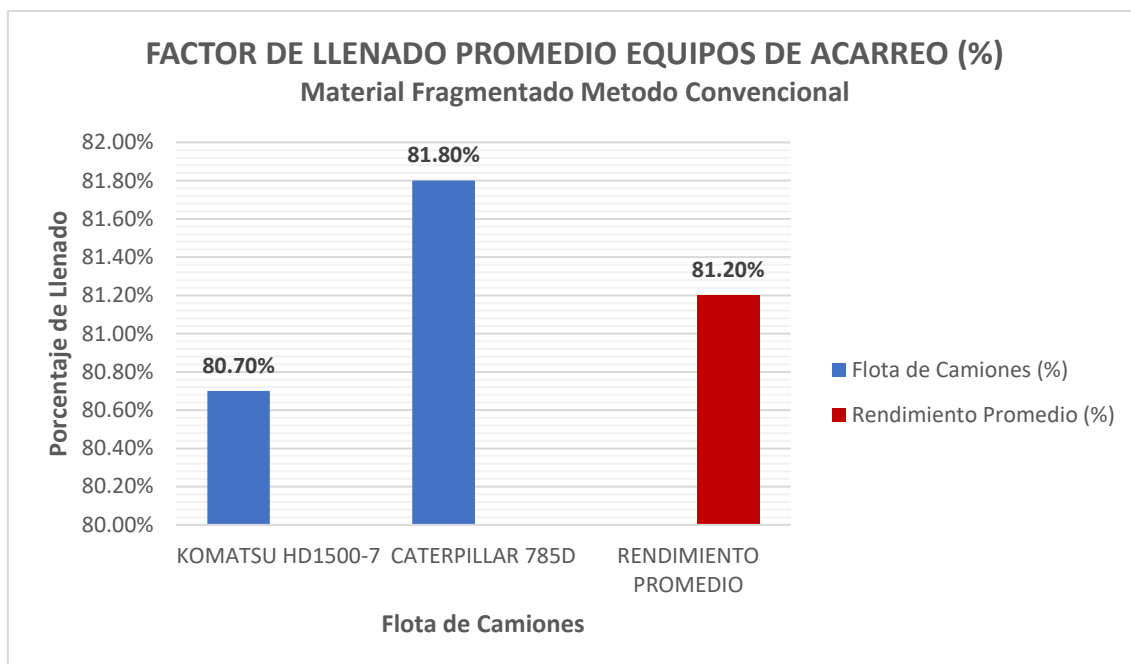
- **Análisis de la productividad equipos de acarreo:** El indicador de factor de llenado el cual es controlado y monitoreado por el área de Performance-Dispatch, se tomó en consideración solo el rendimiento de los equipos en proyecto de Mina 5 mineral en los meses de enero a mayo:

Tabla 20. Factor de llenado camiones de acarreo con material fragmentado con el método convencional

FACTOR DE LLENADO EQUIPOS DE ACARREO 2023								
FLOTA	Equipos de Acarreo	Material	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Factor de llenado promedio
KOMATSU HD1500-7	FC-58	Mineral	75.6%	80.5%	76.9%	82.7%	85.1%	80.2%
	FC-59	Mineral	76.5%	76.2%	81.5%	84.2%	86.1%	80.9%
	FC-60	Mineral	78.2%	80.1%	82.7%	78.3%	75.5%	79.0%
	FC-61	Mineral	79.3%	83.4%	86.5%	84.1%	76.6%	82.0%
	FC-62	Mineral	80.2%	82.1%	82.9%	81.4%	76.3%	80.6%
	FC-63	Mineral	86.0%	81.7%	79.2%	78.1%	76.3%	80.3%
	FC-82	Mineral	79.5%	77.8%	78.3%	79.2%	80.8%	79.1%
	FC-99	Mineral	77.6%	83.1%	79.6%	81.6%	83.6%	81.1%
	FC-100	Mineral	78.3%	80.1%	83.5%	77.6%	79.2%	79.7%
	FC-107	Mineral	82.6%	86.4%	78.3%	76.1%	81.2%	80.9%
	FC-108	Mineral	83.4%	84.2%	79.3%	78.5%	77.2%	80.5%
	FC-109	Mineral	82.3%	84.7%	81.3%	80.5%	79.6%	81.7%
CATERPILLAR 785D	FC-110	Mineral	83.6%	84.7%	80.6%	86.1%	82.8%	83.6%
	FC-103	Mineral	82.8%	78.1%	79.5%	80.1%	81.9%	80.5%
	FC-104	Mineral	82.6%	77.4%	81.6%	86.1%	83.4%	82.2%
	FC-105	Mineral	86.1%	83.6%	82.1%	84.9%	79.5%	83.2%
	FC-106	Mineral	83.4%	81.3%	79.6%	82.9%	77.6%	81.0%
	FC-111	Mineral	82.6%	85.7%	79.6%	77.5%	82.3%	81.5%
	FC-112	Mineral	86.3%	84.2%	78.6%	77.8%	83.6%	82.1%
	FC-116	Mineral	82.7%	85.2%	79.3%	79.5%	83.2%	82.0%
	FC-117	Mineral	83.3%	84.0%	76.2%	79.7%	82.6%	81.2%
	FC-118	Mineral	86.4%	77.6%	75.8%	81.2%	80.6%	80.3%
								81.2%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 2. Factor de llenado promedio por flota de acarreo con material fragmentado con el método convencional



Fuente: Elaboración Propia

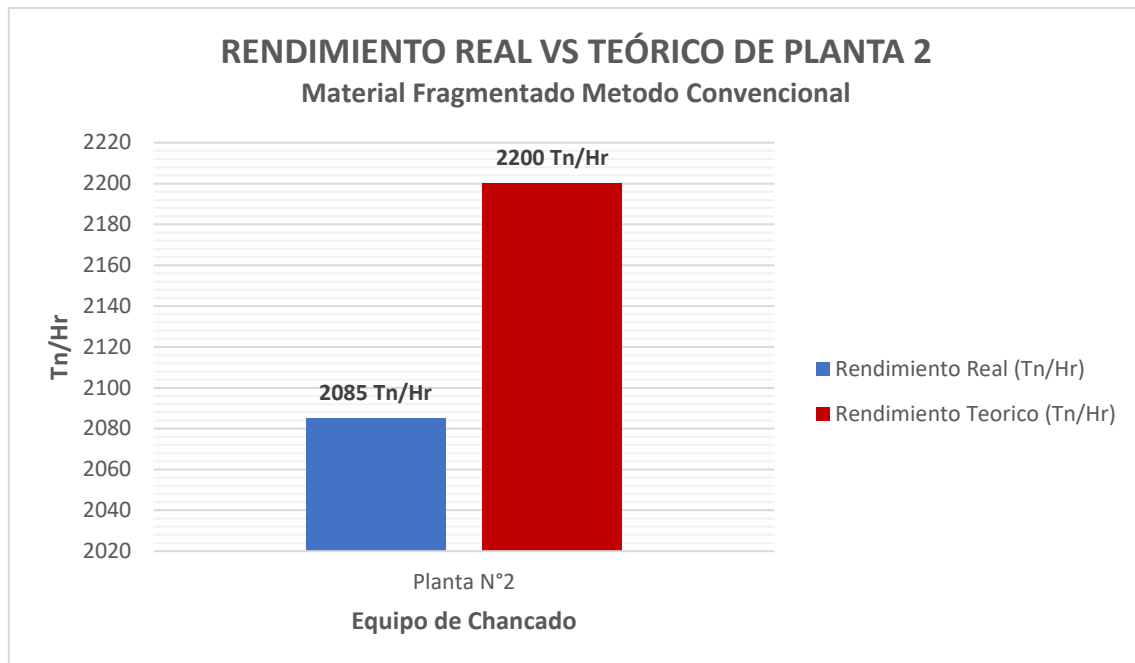
- **Análisis de la productividad planta chancadora:** El indicador de rendimiento efectivo (Tn cargadas / Hr efectiva) se obtuvo del área de Performance-Dispatch, se tomó en consideración solo el rendimiento de la planta 2 en los meses de enero a mayo antes de realizar las pruebas con Camaras de Aire.

Tabla 21. Rendimiento plantas chancadoras con material fragmentado con el método convencional

RENDIMIENTO EQUIPOS DE CHANCADO 2023 (Tn/Hr)						
Planta de Chancado	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Rendimiento Promedio (Tn/Hr)
Planta N° 2	2077	2079	2098	2089	2085	2085

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 3. Rendimiento promedio de plantas chancadoras de material fragmentado con el método convencional.



Fuente: Elaboración Propia

4.3. VOLADURA CON CÁMARA DE AIRE

Se detalla las voladuras que se realizaron con cámaras de aire:

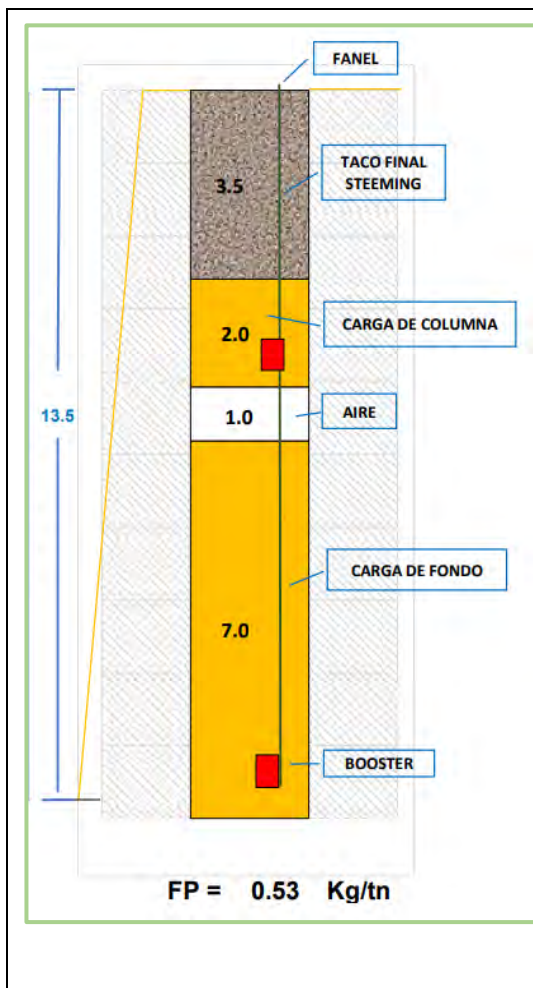
Tabla 22. Resumen Ejecutivo de las Voladuras

Nº	TAJO	PROYECTO	FECHA	HORA	TIPO DE VOLADURA
1	Mina 5	514-06	21/05/2023	12:22	Primario
2	Mina 5	514-08	02/06/2023	12:35	Primario
3	Mina 5	514-09	13/06/2023	12:56	Primario
4	Mina 5	502-01	26/06/2023	16:30	Primario

Fuente: Elaboracion Propia

4.3.1. Diseño de carga

Se tendrá en cuenta para el uso correcto de las cámaras de aire lo siguiente:



Al usar cámaras de aire de la marca Explodeck se tendrá en cuenta las siguientes características para el uso correcto:

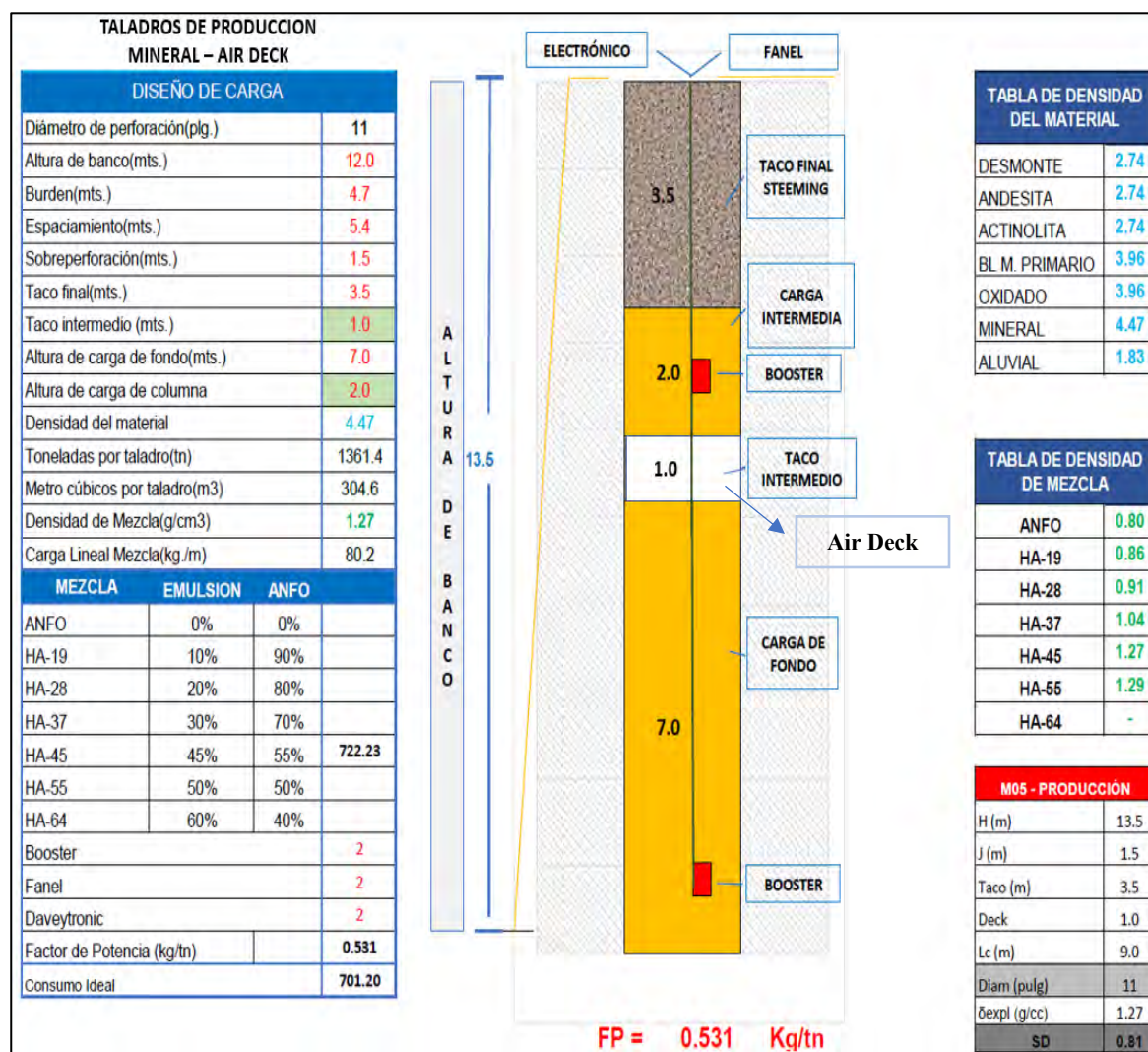
- Se verificará que el Explodeck a utilizar sea la correcta para el diámetro de taladro de 11” para garantizar la cámara de aire de 1m.
- Se verificará que el Explodeck se encuentre correctamente estabilizado con el sensor de temperatura no excediéndose a temperaturas mayores para garantizar una expansión eficaz.
- Se marcará la longitud exacta del hilo del Explodeck (en nuestro caso 5.5m) que ira dentro del taladro.
- Al termino de colocar el Explodeck, se verificará que este en la medida correcta jalando por el hilo del Explodeck.

Beneficio de cámaras de aire:

- No se afectará el factor de potencia.
- Se conservará el diseño de malla
- Se distribuye en dos partes la carga explosiva
- Se generará una cámara de aire de 1m
- Taco se reduce

La carga explosiva para los siguientes proyectos de voladura 514-06, 514-08, 514-09 y 502-01 se utilizaron la misma cantidad que se utilizó con el método convencional, pero con diferente distribución detallada en la siguiente figura de diseño de carga.

Figura 50. Diseño de carga con cámaras de aire, Taladros de Producción M5P



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.1. Explosivo utilizado y accesorios

El explosivo utilizado es Heavy Anfo 45/55, en el siguiente cuadro se detallará los accesorios utilizados:

Tabla 23. Resumen de explosivo y accesorios utilizados

N°	Nivel	Mina	Explosivo	N° Taladros	HDP-1 Booster (Und)	Fulminante Antiestático 600ms (Und)	Detonador Daveytronic UG (Und)	ExploDeck (Und)	Cable Conexión M35 (M)
1	514-06	Mina 5	Heavy Anfo 45/55	44	88	88	88	44	1000
2	514-08	Mina 5	Heavy Anfo 45/55	95	190	190	190	95	1000
3	514-09	Mina 5	Heavy Anfo 45/55	98	196	196	196	98	1000
4	502-01	Mina 5	Heavy Anfo 45/55	156	312	312	312	156	1500

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.2. Carga por taladro

Se detalla la carga por taladro de los proyectos volados.

Tabla 24. Resumen de carga por taladro de M5P

N°	Tajo	Nivel	Diametro de taladro (pulg)	Densidad de Explosivo (g/cc)	Altura de carga (m)		Carga por Taladro (kg/tal)
					Fondo	Intermedia	
1	Mina 5	514-06	11	1.265	7	2	721.82
2	Mina 5	514-08	11	1.270	7	2	711.60
3	Mina 5	514-09	11	1.271	7	2	714.38
4	Mina 5	502-01	11	1.267	7	2	718.15

Fuente: Elaboración Propia

4.4. RECOLECCION DE DATOS DE CAMPO POST VOLADURA APLICANDO CAMARAS DE AIRE

En esta etapa del proceso experimental se busca la recolectar los datos después de realizar los disparos en los proyectos cargados con Camaras de Aire, se buscará recolectar los mismos datos que se tiene con el Metodo Convencional para posteriormente realizar un análisis comparativo.

4.5. ANALISIS DE INFORMACION POST VOLADURA APLICANDO CAMARAS DE AIRE

4.5.1. Fragmentación obtenida aplicando cámaras de aire

Para el análisis granulométrico de los frentes volados se utilizó el Sistema de análisis de fragmentación “WipFrag”, el cual está diseñado para hacer un análisis de fragmentación de imágenes tomadas y mediante inteligencia automatizada procesa el delineamiento de los límites de las rocas y calcular con precisión la distribución del tamaño de partículas, procesando automáticamente el análisis de fragmentación de voladuras.

A continuación, se detalla los resultados obtenidos del análisis realizado en los frentes de minado cargados y disparados con Camaras de Aire.

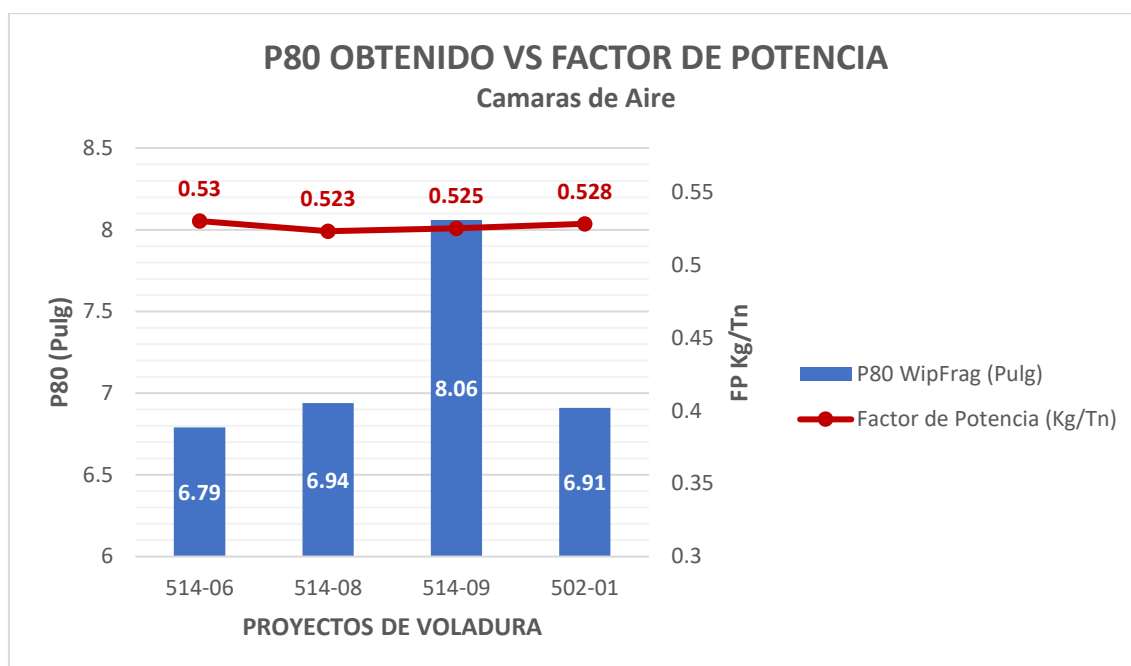
Tabla 25. Resumen del P80 obtenido en taladros de producción con Camaras de Aire

Nº Disparo	Proyecto	Equipo de excavacion	Fotos Analizadas	P80 WipFrag (pulg)	P80 Maximo Requerido (Pulg)	Densidad Explosivo g/cc	Factor de Potencia (Kg/Ton)
1	514-06	Pala-CH-04	16	6.79	9	1.265	0.530
2	514-08	Pala-CH-06	20	6.94	9	1.270	0.523
3	514-09	Pala-CH-06	14	8.06	9	1.271	0.525
4	502-01	Pala-CH-04	12	6.91	9	1.267	0.528
Consumo Total		-	62	7.18	9	1.268	0.527

Fuente: Elaboración Propia

Se observa una fragmentación de **1.82’’ menor que la máxima requerida.**

Gráfico 4. P80 obtenido frente al Factor de potencia por proyecto



Fuente: Elaboración Propia

4.5.2. Proyección de partículas

Se detalla las proyecciones de partículas de los proyectos volados que se aplicaron cámaras de aire.

Tabla 26. Resumen de Proyeccion de particulas de M5P

Nº	Tajo	Nivel	H taladro (m)	Taco (m)	Material de Taco	Altura de carga (m)		Carga Lineal (kg/m)	SD
						Fondo	Intermedia		
1	Mina 5	514-06	13.5	3.5	Stemming	7	2	80.20	0.81
2	Mina 5	514-08	13.5	3.5	Stemming	7	2	79.07	0.81
3	Mina 5	514-09	13.5	3.5	Stemming	7	2	79.38	0.81
4	Mina 5	502-01	13.5	3.5	Stemming	7	2	79.79	0.81

Fuente: Elaboración Propia

4.5.3. Tonelaje producido por disparo

Se detalla el tonelaje resultante de cada proyecto volado con la aplicación de cámaras de aire.

Tabla 27. Resumen de Tonelaje Total por proyecto de M5P

N°	Tajo	Nivel	N° de Taladros	Toneladas por Taladro (ton)	Tonelada Diseño (ton)	Tonelada Real (ton)
1	Mina 5	514-06	44	1361	59,884	60,120
2	Mina 5	514-08	95	1361	129,295	129,594
3	Mina 5	514-09	98	1361	133,378	133,921
4	Mina 5	502-01	156	1361	212,316	212,617

Fuente: Elaboración Propia

4.5.4. Consumo de Explosivo por disparo

Se detalla el consumo de explosivo de los proyectos volados.

Tabla 28. Resumen De consumo de explosivo por Disparo De M5P

N ^a	Nivel	Carga por taladro (Kg/Tal)	N° de taladros	Total de Mezcla (kg)
1	514-06	721.82	44	31,760
2	514-08	711.60	95	67,602
3	514-09	714.38	98	70,009
4	502-01	718.15	156	112,032

Fuente: Elaboración Propia

4.5.5. Factor de voladura

Factor de voladura de los proyectos volados con el método de cámaras de aire.

Tabla 29. Resumen de Factor de Voladura De M5P cumpliendo con los estándares.

N ^a	Nivel	Carga por taladro (Kg/Tal)	Toneladas por taladro (ton/tal)	Factor de Potencia (Kg/Ton)	Metros cúbicos por taladro (m ³ /tal)	Factor de Carga (kg/m ³)
1	514-06	721.82	1361	0.530	305	2.367
2	514-08	711.60	1361	0.523	305	2.333
3	514-09	714.38	1361	0.525	305	2.342
4	502-01	718.15	1361	0.528	305	2.355

Fuente: Elaboración Propia

4.5.6. Costo de voladura utilizando air deck

Para el caso de costo de voladura con cámaras de aire utilizaremos los datos del proyecto 514-05-06, detallamos los siguientes datos:

Tabla 30. Precios de Voladura Con Camaras de Aire

Detalle De Precios de Voladura Con Camara de Aire		
N°	Item	Precio
1	Costo de Explosivo (Heavy Anfo HA-45)	0.51 \$/Kg
2	Costo Booster Pentex (HPD-1 Libra)	2.94 \$/Unidad
3	Fulminante Antiestatico (600ms)	2.11 \$/Unidad
4	Detonador Daveytronic UG	22 \$/Unidad
5	Cable de Conexión M35	1.26 \$/M
6	Costo de Llenado del Stemming	5 \$/M ³
7	ExploDeck	11 \$/Unidad

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31. Cantidad de Explosivo y Accesorios Con Camara de Aire

Cantidades Consumidas Voladura		
N°	Item	Cantidad
1	Explosivo (Heavy Anfo HA-45)	62815.89 Kg
2	Booster Pentex (HPD-1 Libra)	174 Unidades
3	Fulminante Antiestatico (600ms)	174 Unidades
4	Detonador Daveytronic UG	174 Unidades
5	Cable de Conexión M35	1000 Metros
7	Llenado del Stemming	29.58 M ³
6	ExploDeck	87 Unidades

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 32. Costo Total De Voladura Con Camaras de Aire

Costo de Voladura sin Camaras de Aire		
Nº	Item	Precio
1	Costo Total Explosivo (Heavy Anfo HA-45)	32036.10 \$
2	Costo Total Booster Pentex (HPD-1 Libra)	511.56 \$
3	Costo Total Fulminante Antiestatico (600ms)	367.14 \$
4	Costo Total Detonador Daveytronic UG	3828 \$
5	Costo Total Cable de Conexión M35	1260 \$
6	Costo Total de Llenado del Stemming	147.9 \$
7	Costo Total ExploDeck	957 \$
Costo Total Voladura Con Camaras de Aire		39107.7 \$

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 33. Cuadro Resumen Costo Voladura Con Cámaras de Aire

Voladura Con Cámaras de Aire	
Costo Total Voladura	39107.7 \$
Nº de Taladros	87 Taladros
Cantidad de Kilos de Mezcla Explosiva	62815.89 Kg
Costo / Taladro	449.51 \$/Tal

Fuente: Elaboración Propia

4.5.7. Reporte de las voladuras ejecutadas.

A continuación, se detallan los resultados de 4 voladuras electrónicas realizadas en Mina 05 Nv. 514-05-06, Nv. 514-08, Nv.514-09 y Nv.502-01 usando el método de cámaras de aire.

4.5.7.1. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

Se realizo el 21 de mayo del 2023, 12:22hr.

4.5.7.1.1. Antecedentes Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

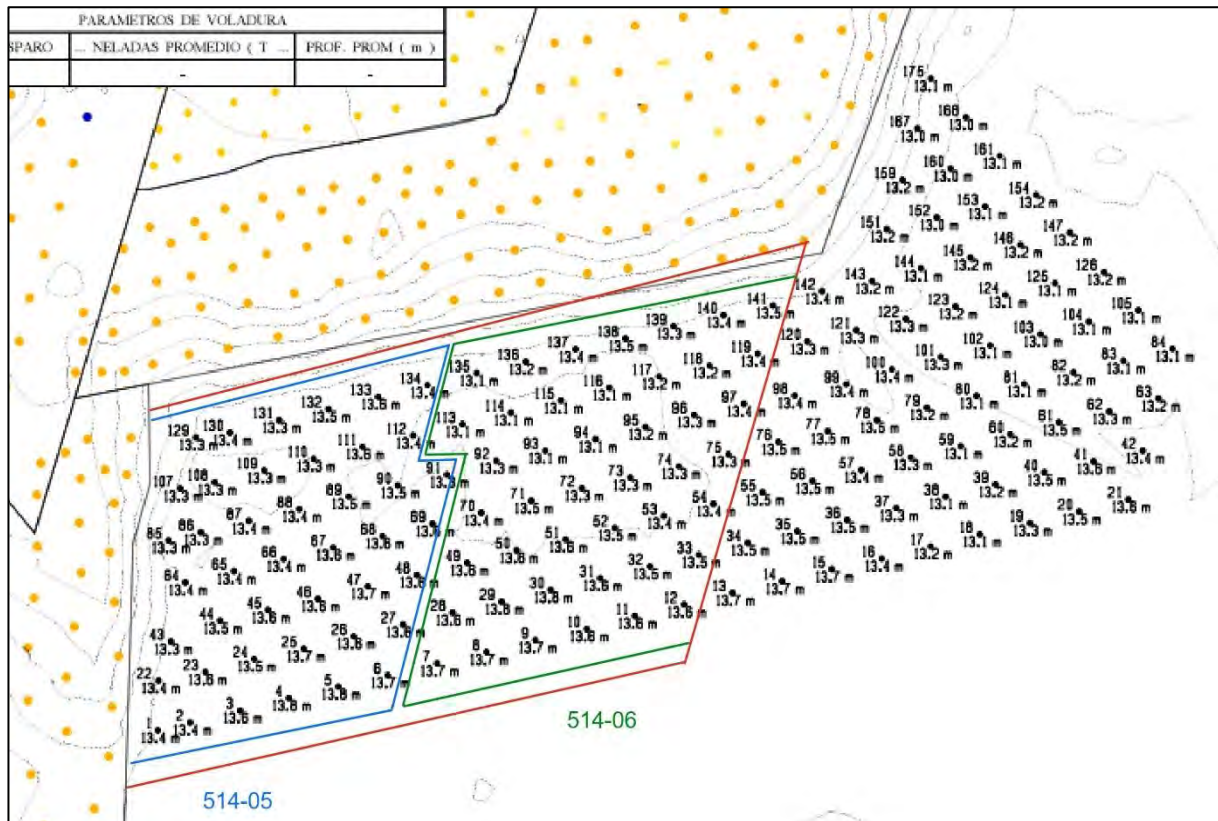
Para tema de estudio se realizó una voladura con dos diseños de carga diferentes, es decir, uno con método convencional y otro con cámaras de aire.

4.5.7.1.2. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

La malla de perforación es triangular con burden de 4.7m. y espaciamento 5.4m, diámetro de perforación de 11”, una sobreperforacion de 1.5m y profundidad promedio de 13.5m. para ambos métodos de voladura.

Se establece la delimitación de malla con el método convencional con el color azul con un total de 43 taladros correspondiente al proyecto 05, como también se delimita la malla con el método de cámaras de aire con el color verde con un total de 44 taladros correspondiente al proyecto 06.

Figura 51. Plano de perforación Nv. 514 – Py 05 – Py 06

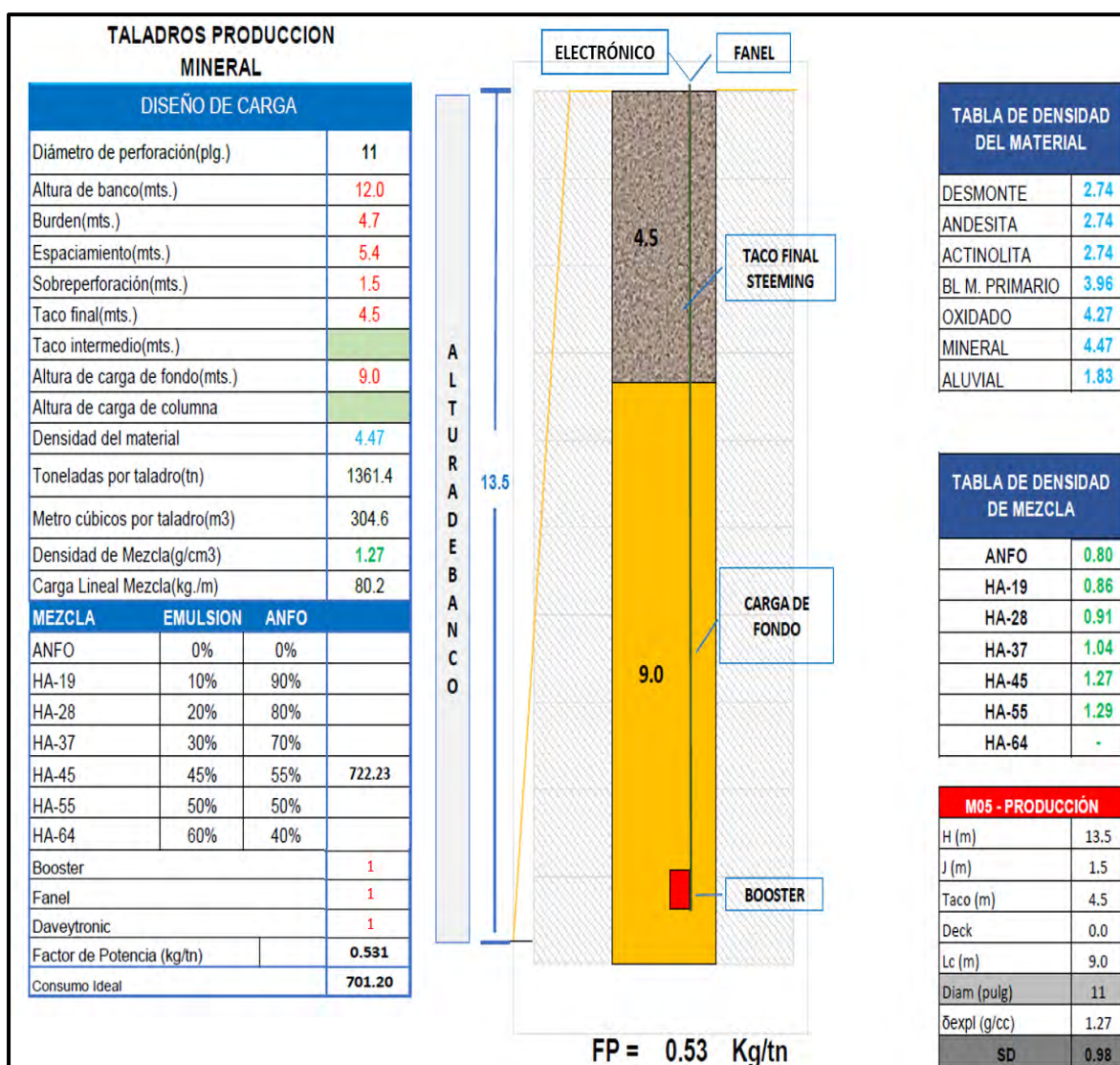


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.3. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 05 – Py 06.

Con el método convencional se cargaron 43 taladros de producción, se utilizaron disparadores con detonadores electrónicos, también se utilizó Heavy ANFO 45 con una densidad de 1.27gr/cc, con una cantidad de 31,055kg en total, se usaron 43 boosters de 1 lb, 43 fulminantes antiestático, 43 Detonador Daveytronic, asimismo, la columna explosiva en este caso está compuesta por 9m de carga explosiva y un taco final de altura de 4.5m.

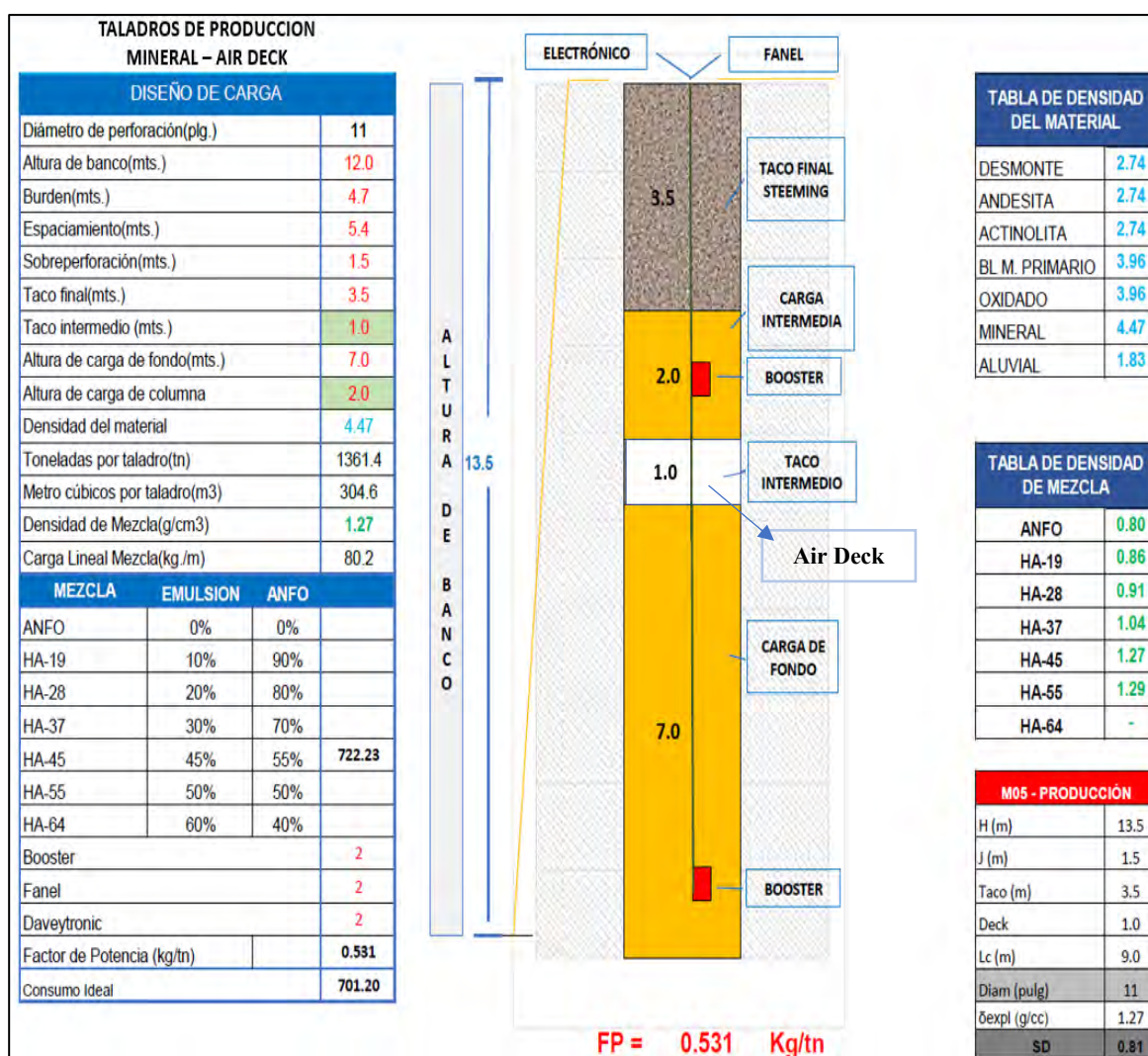
Figura 52. Diseño de carga Nv. 514 - Py 05.



Fuente: Elaboración Propia

Con el método de cámaras de aire se cargaron 44 taladros de producción, se utilizaron disparadores con detonadores electrónicos, también se utilizó Heavy ANFO 45 con una densidad de 1.27gr/cc, con una cantidad de 31,760kg en total, además se usaron 88 boosters de 1 lb, 88 fulminantes antiestático, 88 Detonador Daveytronic, 44 explodeck, asimismo, la columna explosiva en este caso está compuesta por 7 metros de carga explosiva, 1 metro de cámara de aire, 2 metros de carga explosiva intermedia y un taco final de altura de 3.5 m.

Figura 53. Diseño de carga Nv. 514 - Py 06.

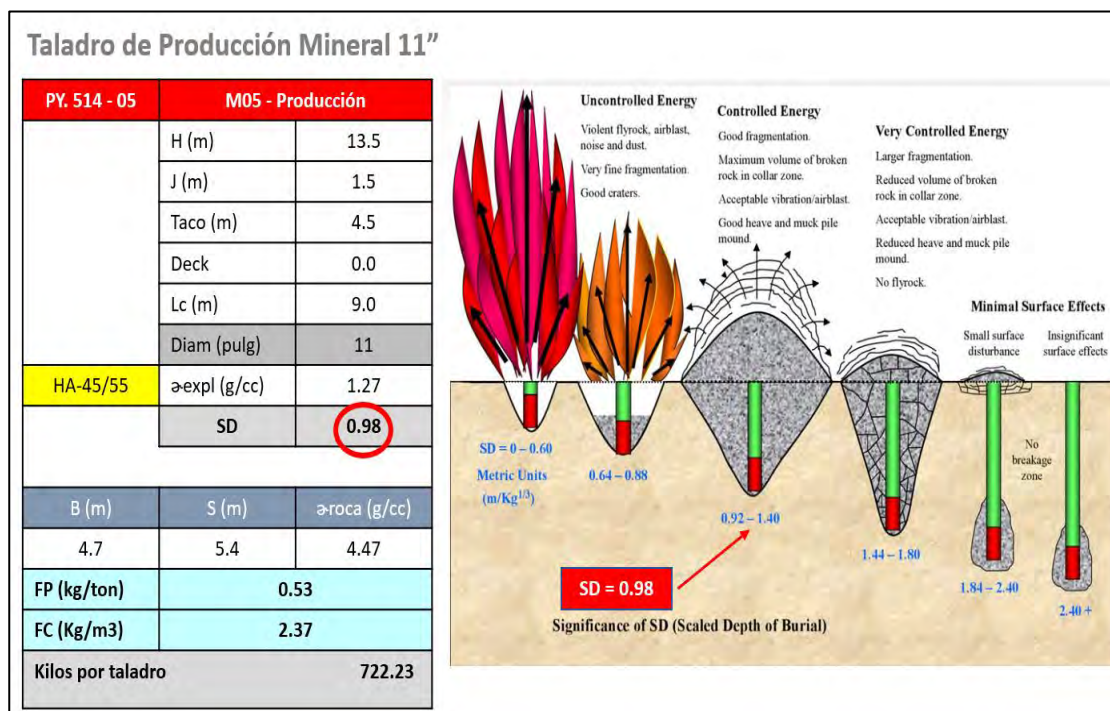


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.4. Control de taco (SD) Nv. 514 - Py 05 – Py 06.

Para el proyecto 05 Con el método convencional da como resultado de SD: 0.98 estableciendo una energía controlada como se detalla en la imagen.

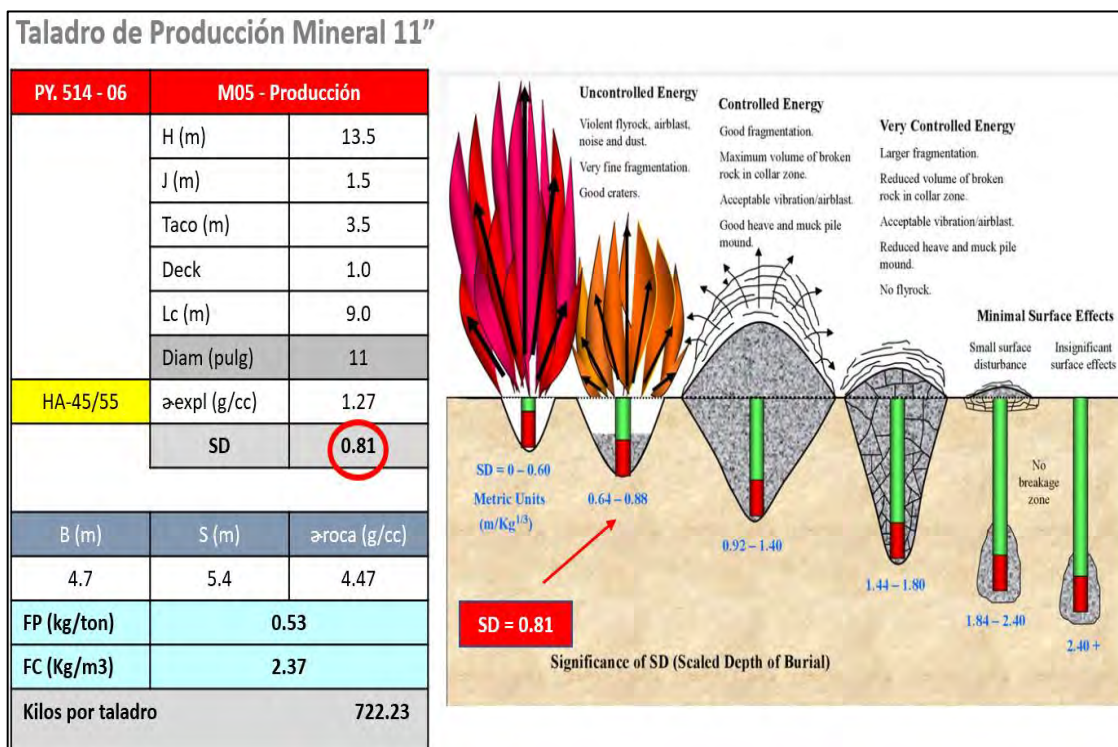
Figura 54. Control de taco Nv. 514 - Py 05



Fuente: Elaboración Propia

Asi mismo se determina para el proyecto 06 con el método de cámaras de aire un SD: 0.81 estableciendo un descontrol de energía con una fragmentación muy fina como se detalla en la imagen.

Figura 55. Control de taco Nv. 514 - Py 06

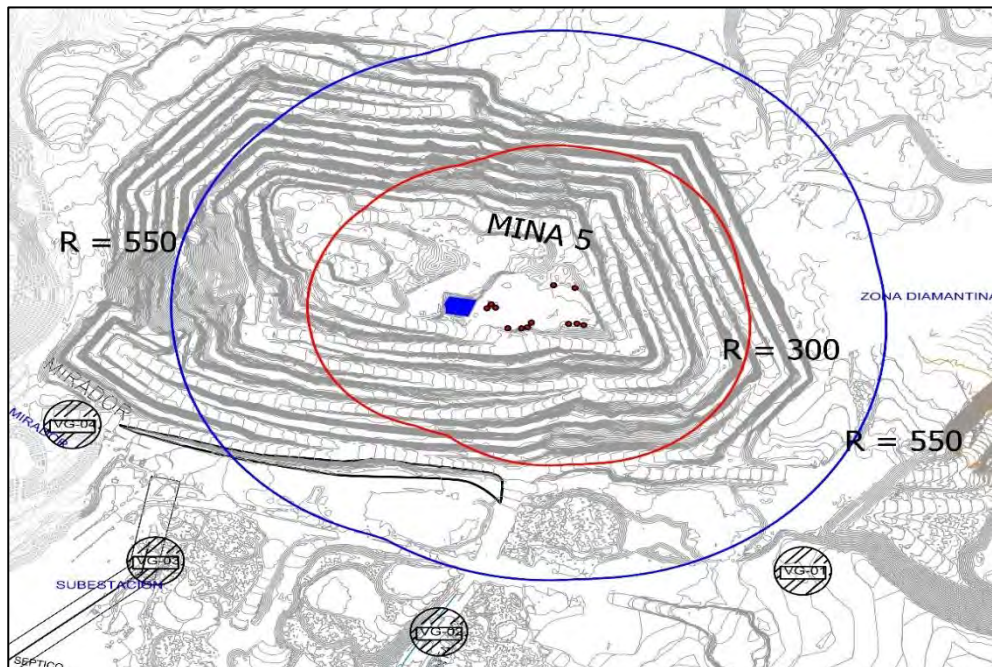


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.5. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.

Para dicho plano se delimito con ROJO la evacuación de maquinaria con un radio de 300 metros y con AZUL la evacuación de personal que trabaja en mina 05 con un radio de 550 metros. Se establece 4 vigías para el cumplimiento de evacuación.

Figura 56. Plano de evacuación Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

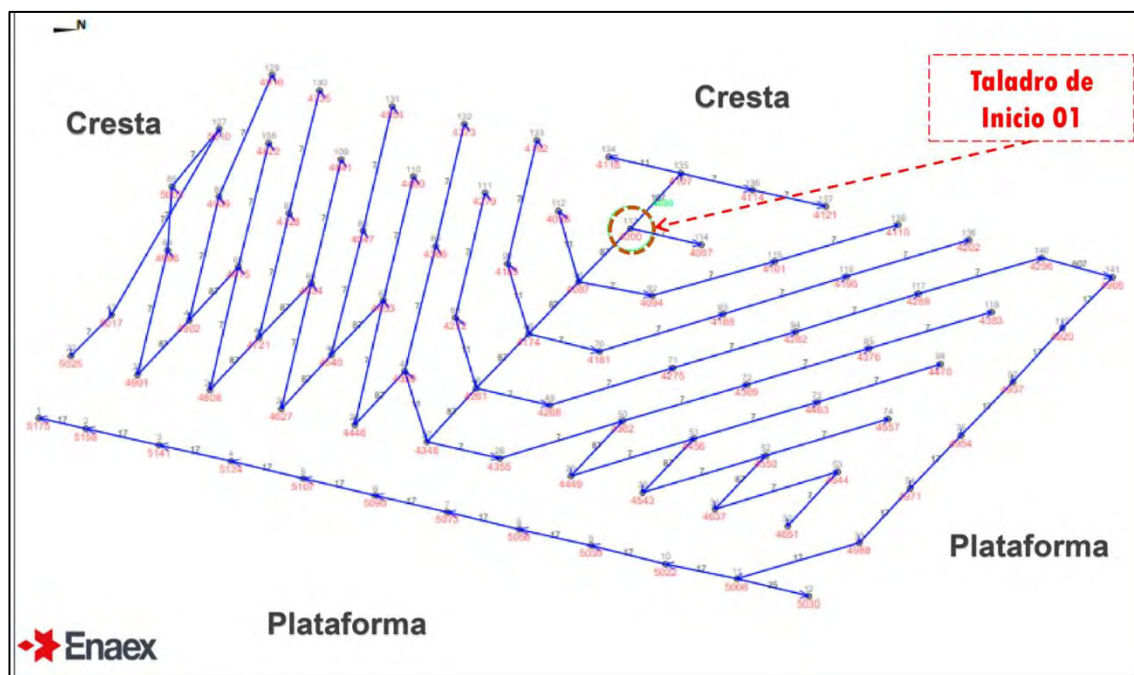


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.6. Secuencia de Iniciación Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.

Encargado por la empresa Enaex, estableciendo el taladro de inicio.

Figura 57. Secuencia de iniciación Nv. 514 – Py 05 – Py 06.



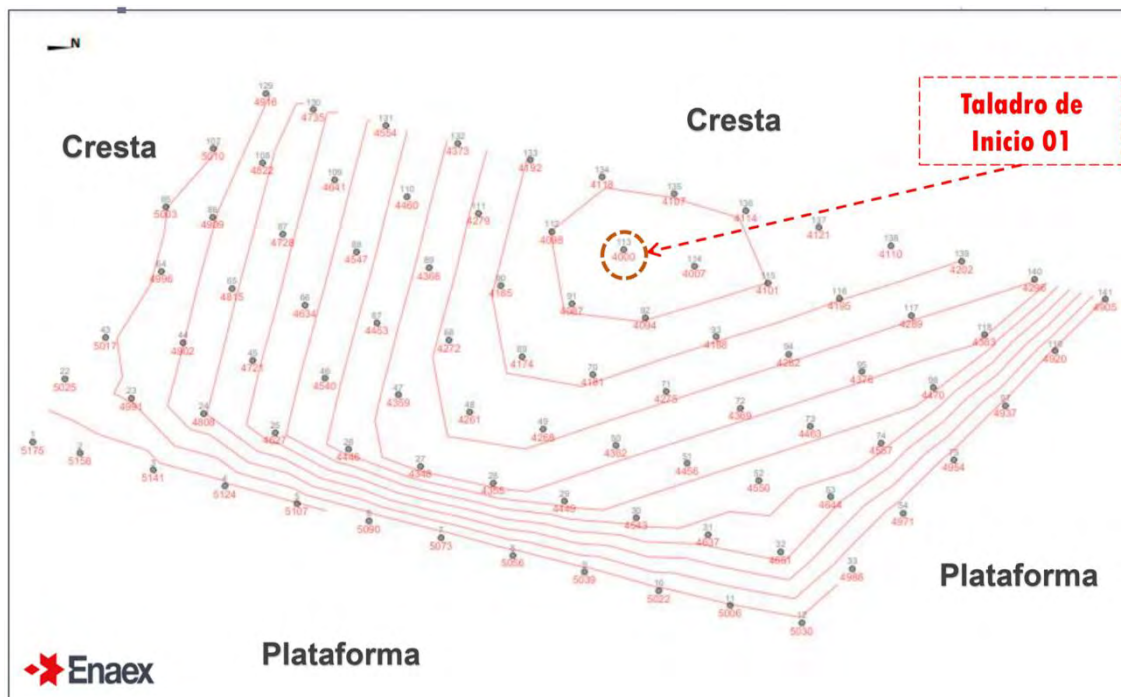
Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.7. Isotiempos del Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.

Para la malla del método convencional se establece el isotiempo estandarizado ya que es solo un detonador electrónico, en cambio va a cambiar el isotiempo de la malla del método de cámaras de aire, para la carga inferior se establece 0 milisegundos y carga superior 2 milisegundos y así sucesivamente por todos los taladros para la malla de cámaras de aire.

Al establecer la detonación primero de la parte inferior le da tiempo de accionar la parte superior como taco, luego de la detonación de la segunda carga la energía va a direccionarse hacia la parte inferior que está fragmentado.

Figura 58. Isotiempos Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

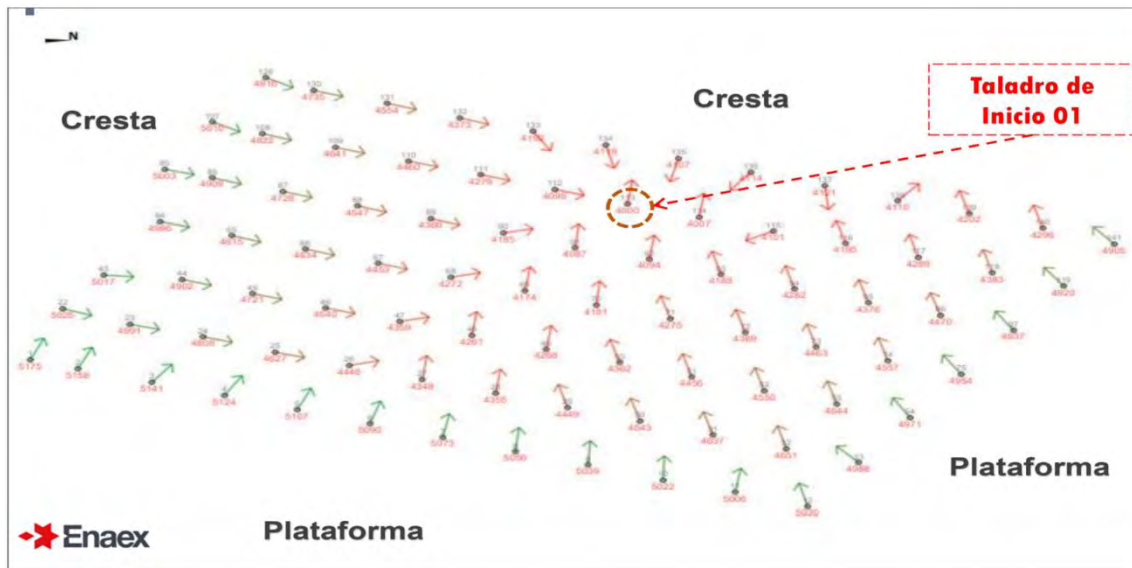


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.8. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06

El desplazamiento es direccionado hacia el taladro de inicio referente a la cresta.

Figura 59. Desplazamiento del material Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

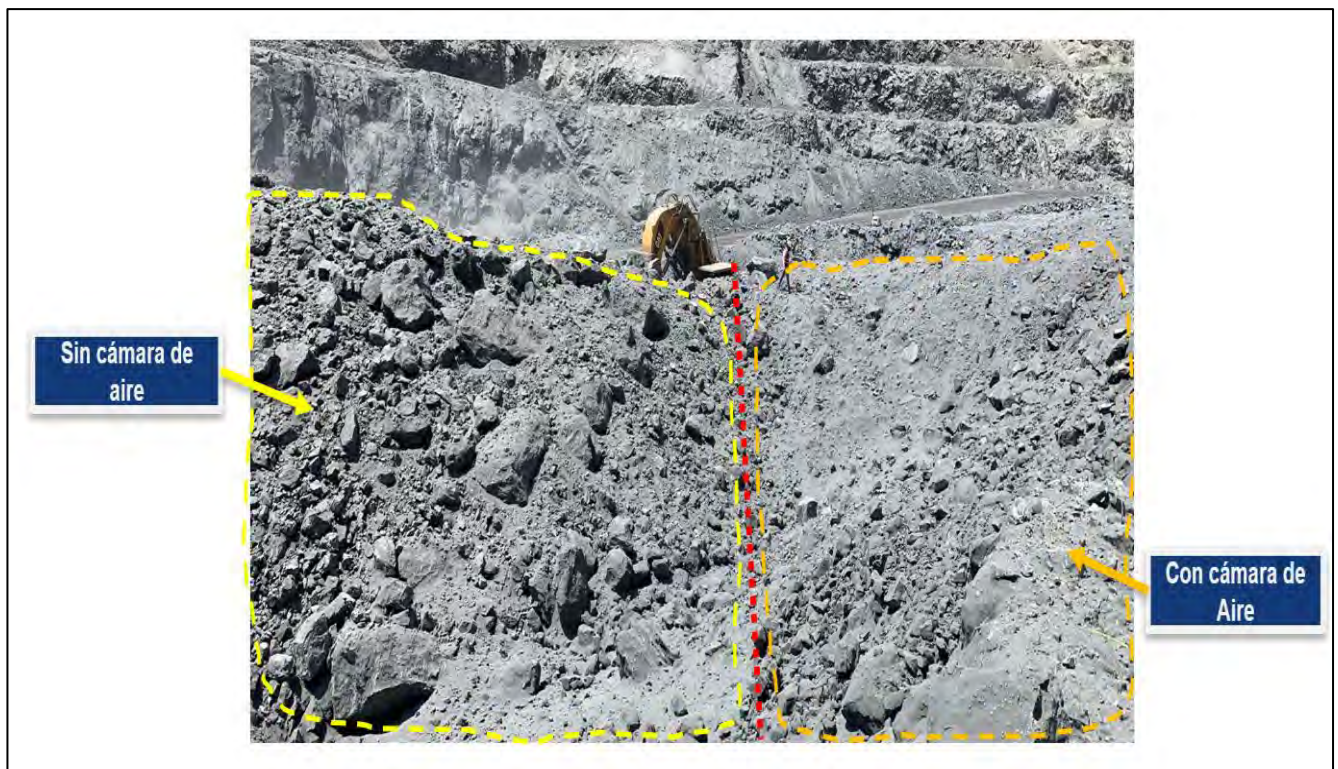


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.9. Post Voladura del Proyecto Nv. 514 - Py 05 – Py 06.

Se visualiza la diferencia granulométrica del método convencional junto con el método de cámaras de aire.

Figura 60. Comparación de granulometría de los proyectos Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

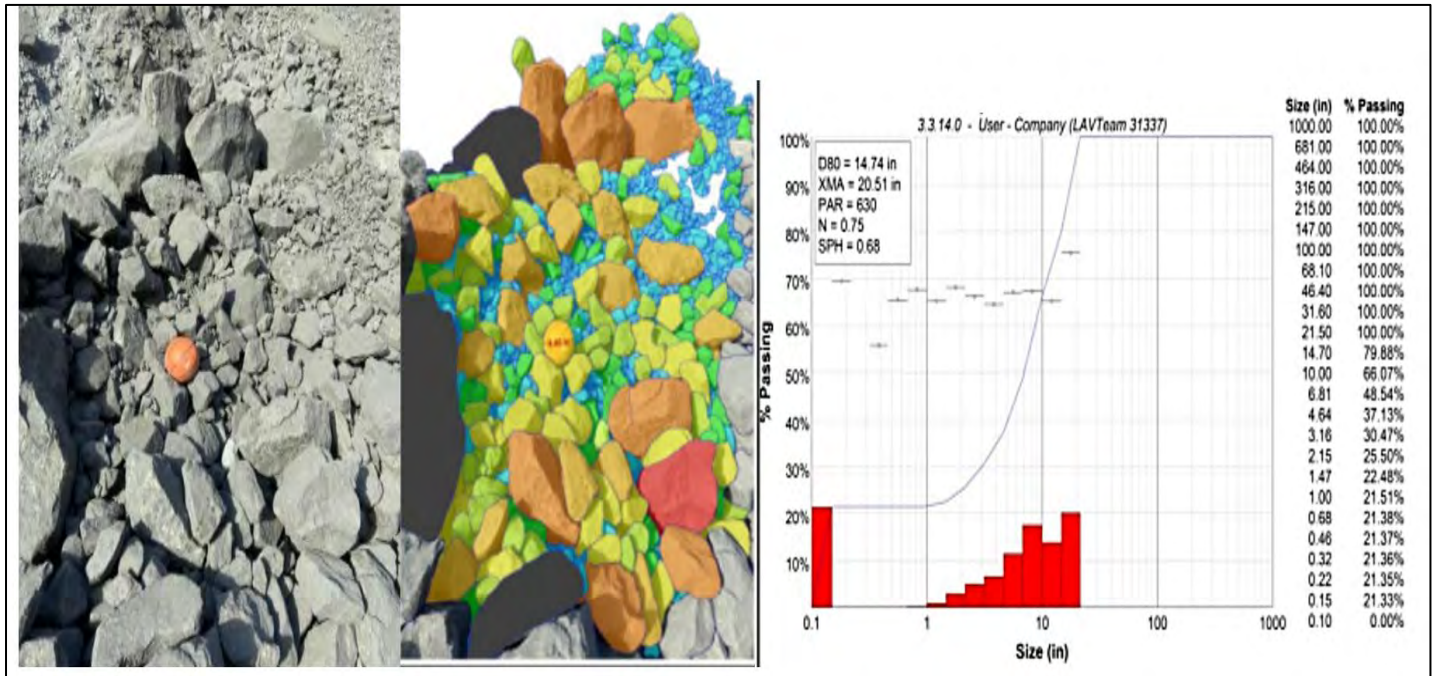


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.1.10. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 – Py 05 – Py 06.

Realizando el análisis de fragmentación para la voladura proyecto 05 con el método convencional nos da como resultado P80: 14.74”

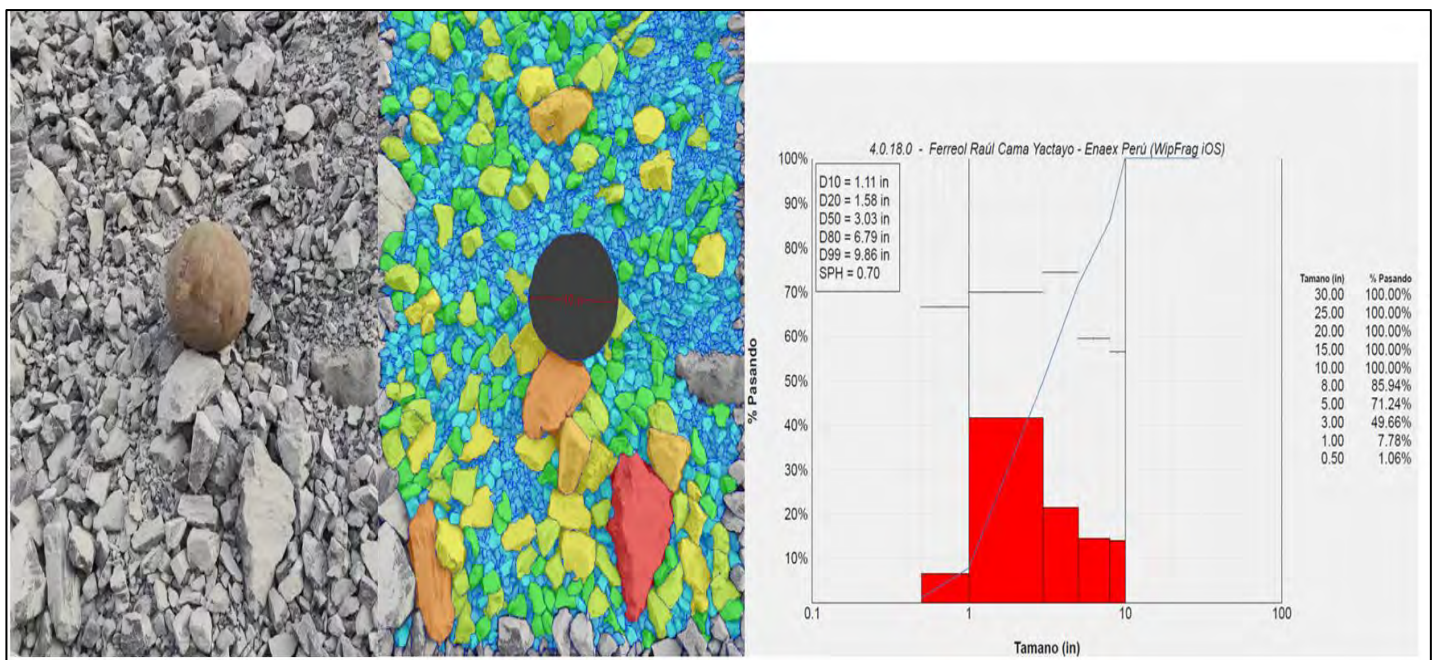
Figura 61. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514-05. P80: 14”



Fuente: Elaboración Propia

Para la voladura proyecto 06 el método con cámaras de aire se realizó el análisis de fragmentación dándonos como resultado P80: 6.69”

Figura 62. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514-06. P80: 7”



Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 514 - Py 08

Se realizo el 02 de junio del 2023, 12:35hr.

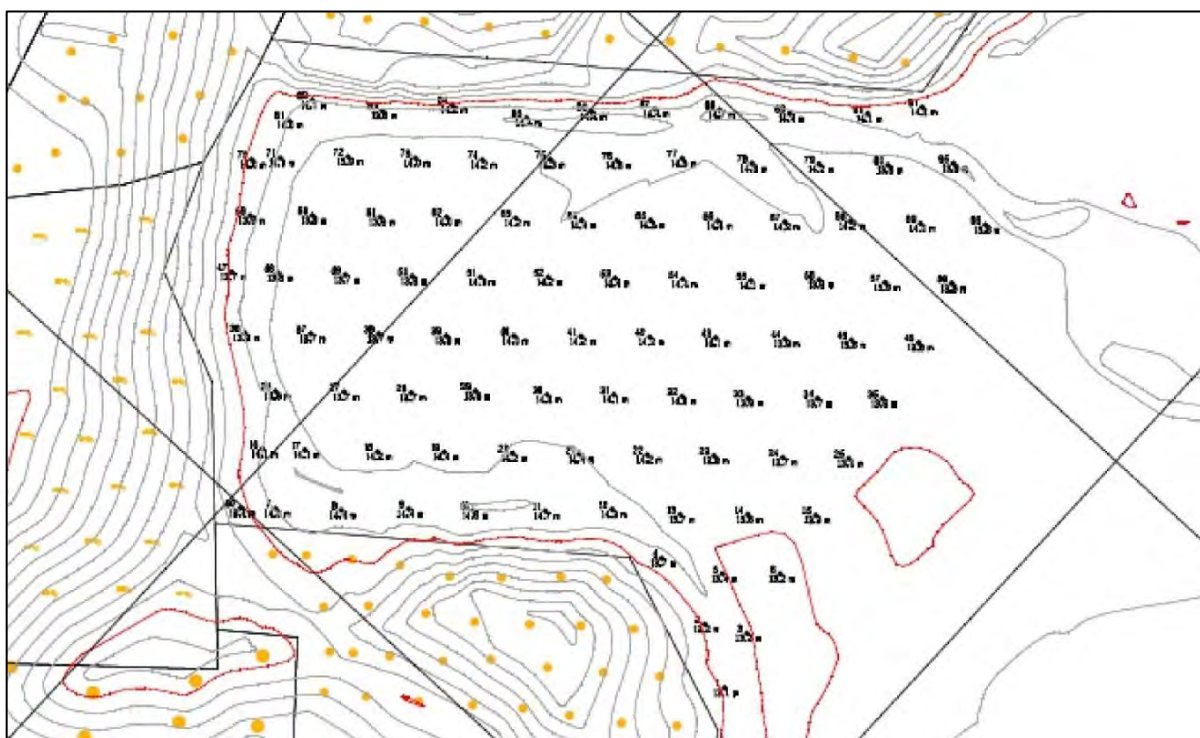
4.5.7.2.1. Antecedentes Nv. 514 - Py 08

Teniendo cambios positivos en la voladura con cámaras de aire, se dio visto bueno para ejecutarla para las siguientes voladuras.

4.5.7.2.2. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 08

La malla de perforación es triangular cuenta con 95 taladros de producción, con burden de 4.7m. y espaciamiento 5.4m, diámetro de perforación de 11", una sobreperforacion de 1.5m y profundidad promedio de 13.5m. manteniéndose la misma malla.

Figura 63. Plano de perforación Nv. 514 – Py 08.

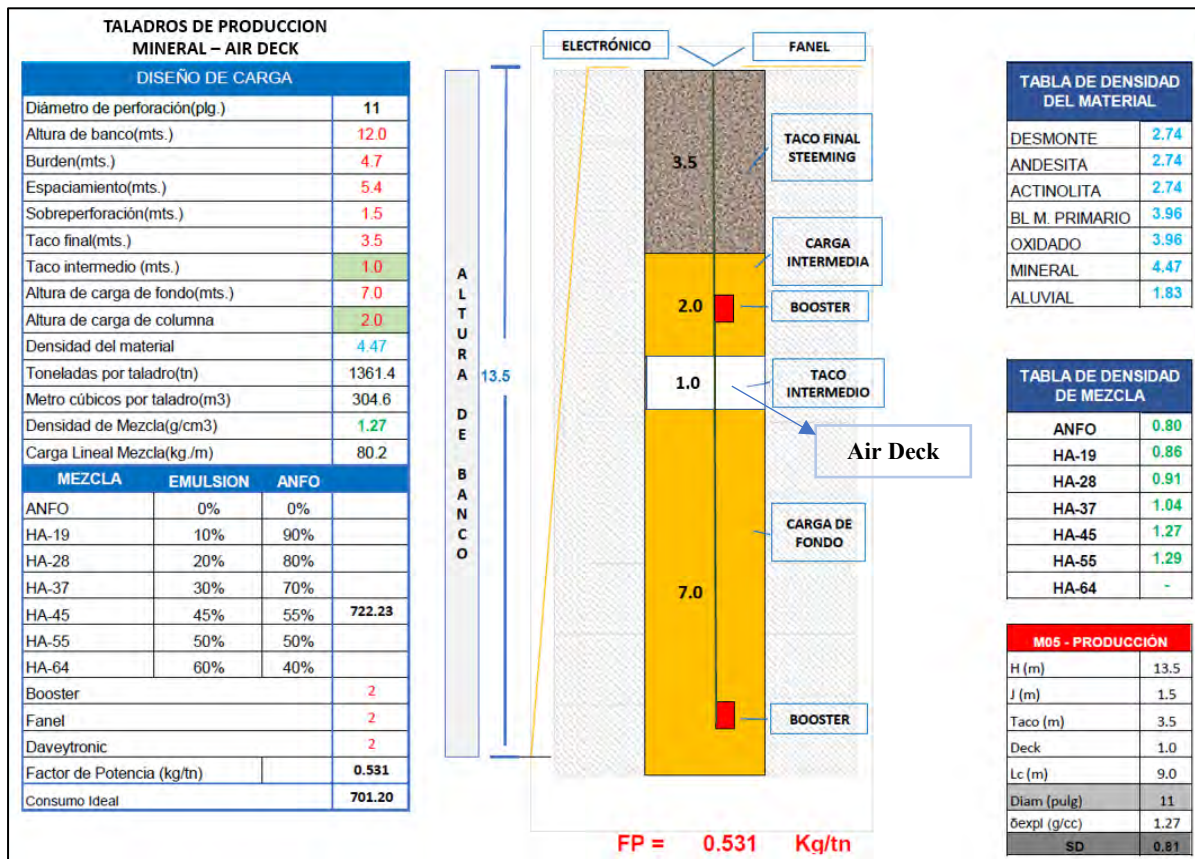


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.3. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 08

Estableciéndose el método de cámaras de aire se cargaron 95 taladros de producción, se utilizaron disparadores con detonadores electrónicos, también se utilizó Heavy ANFO 45 con una densidad de 1.27gr/cc, con una cantidad de 67,602kg en total, además se usaron 190 boosters de 1 lb, 190 fulminantes antiestático, 190 Detonador Daveytronic, 95 explodeck, asimismo, la columna explosiva en este caso está compuesta por 7 metros de carga explosiva, 1 metro de cámara de aire, 2 metros de carga explosiva intermedia y un taco final de altura de 3.5 m.

Figura 64. Diseño de carga Nv. 514 - Py 08.

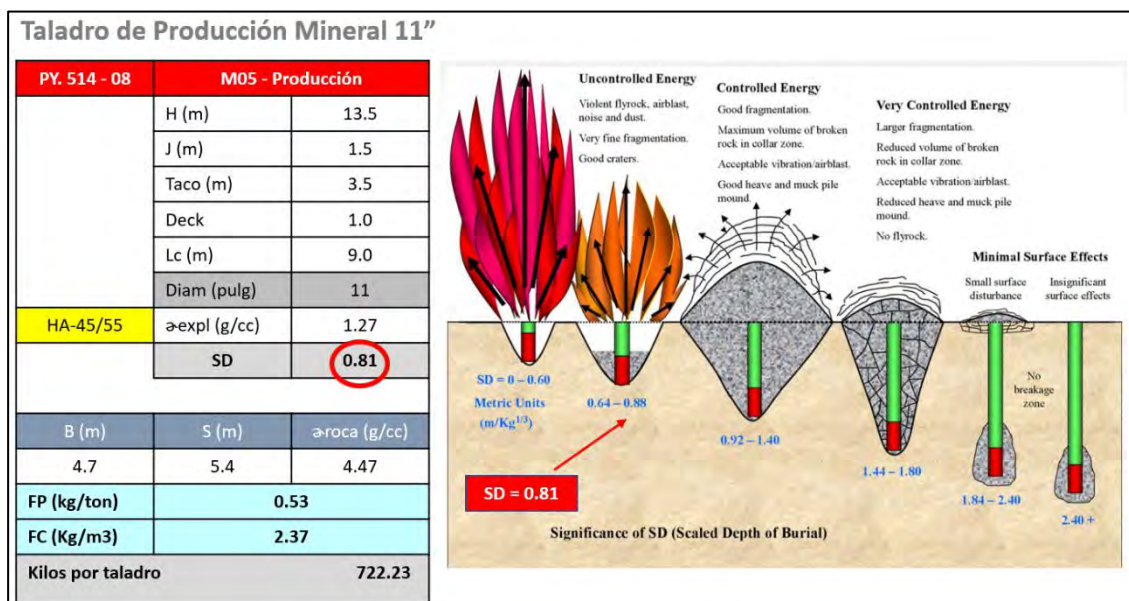


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.4. Control de taco (SD) Nv. 514 - Py 08

Se determina para el proyecto 08 con el método de cámaras de aire un SD: 0.81 estableciendo un descontrol de energía con una fragmentación muy fina como se detalla en la imagen.

Figura 65. Control de taco Nv. 514 - Py 08

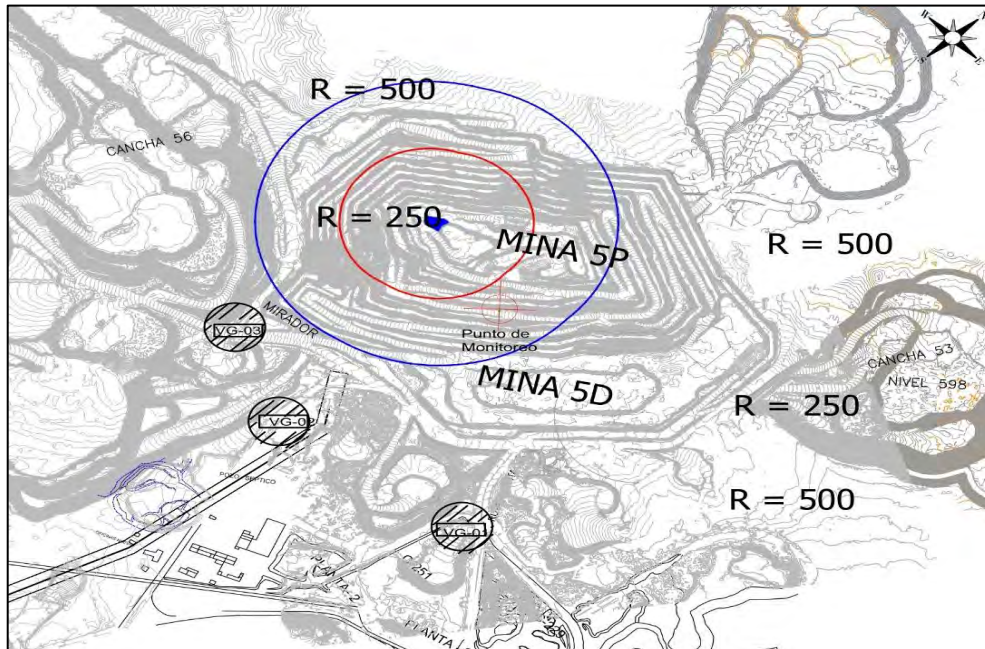


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.5. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 514 - Py 08

Para dicho plano se delimito con ROJO la evacuación de maquinaria con un radio de 250 metros y con AZUL la evacuación de personal que trabaja en mina 05 con un radio de 500 metros. Se establece 3 vigías para el cumplimiento de evacuación.

Figura 66. Plano de evacuación Nv. 514 – Py 08

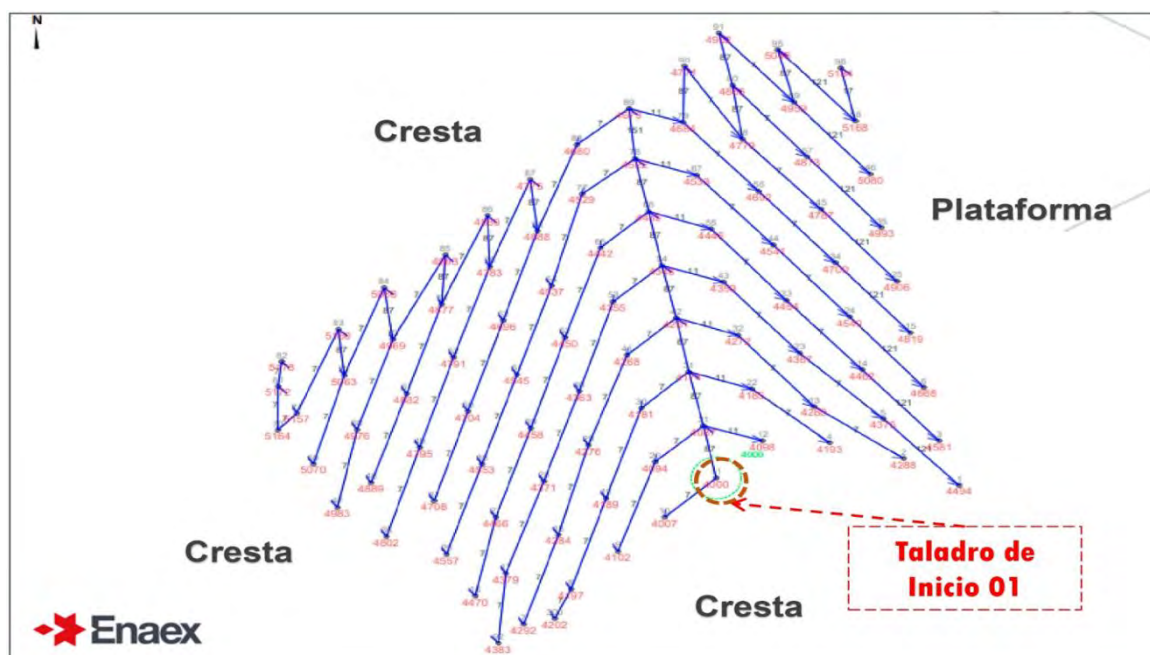


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.6. Secuencia de Iniciación Proyecto Nv. 514 - Py 08

Encargado por la empresa Enaex, estableciendo el taladro de inicio.

Figura 67. Secuencia de iniciación Nv. 514 – Py 08.

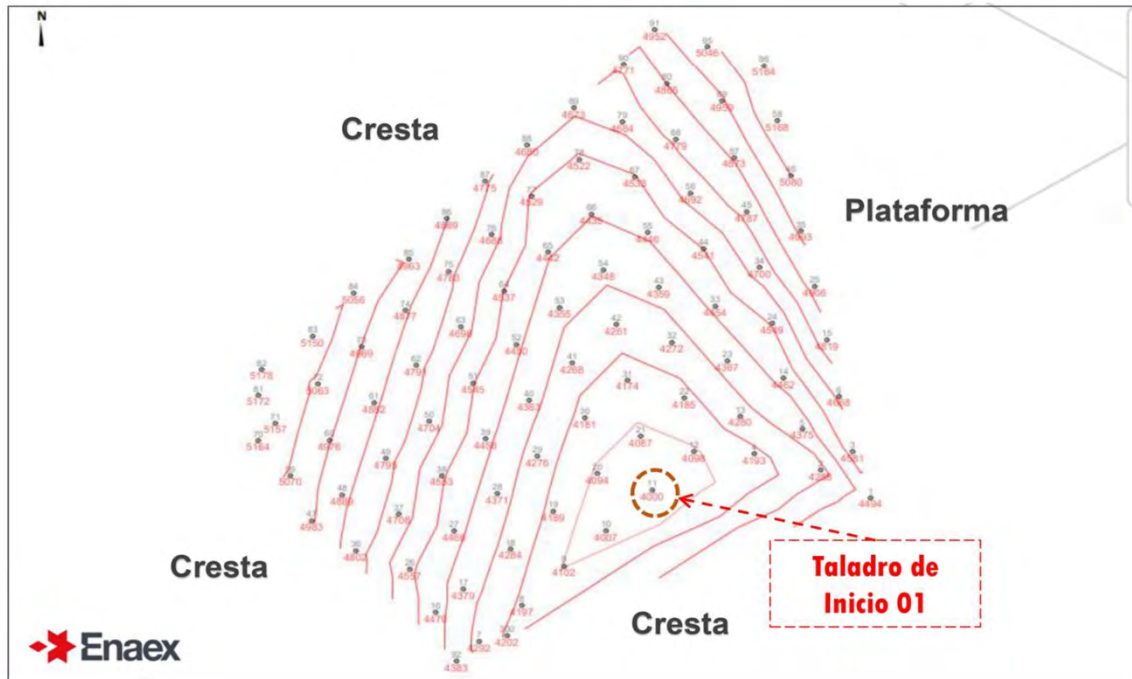


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.7. Isotiempos del Proyecto Nv. 514 - Py 08

El isotiempo de la malla del método de cámaras de aire, para la carga inferior se establece 0 milisegundos y carga superior 2 milisegundos y así sucesivamente por todos los taladros para la malla de cámaras de aire.

Figura 68. Isotiempos Nv. 514 – Py 08.

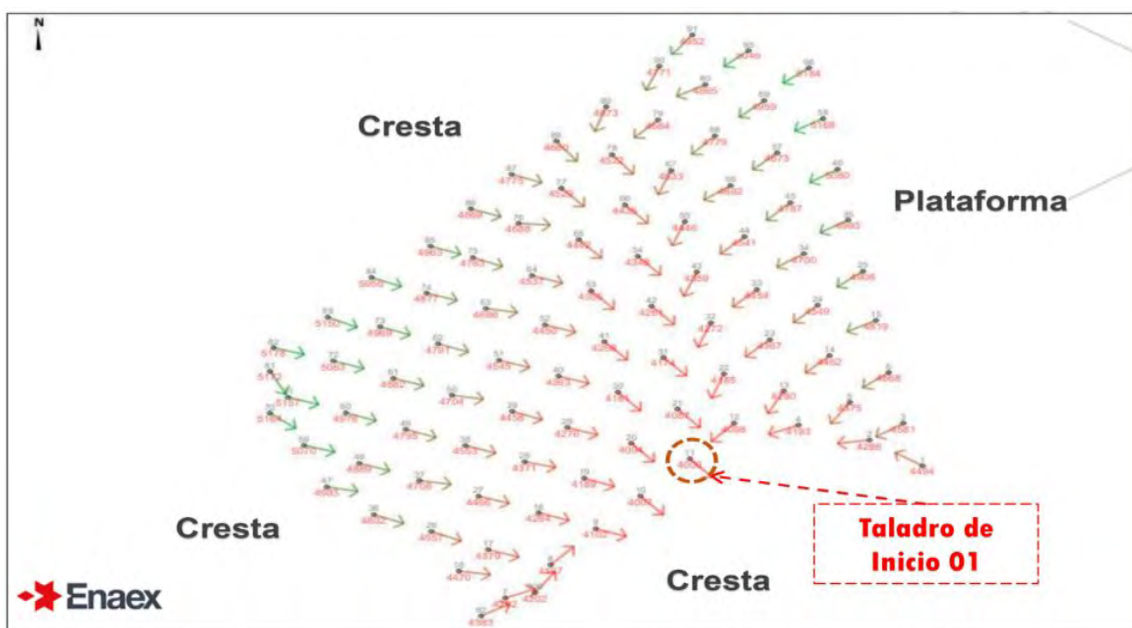


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.8. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 514 - Py 08

El desplazamiento es direccionado hacia el taladro de inicio referente a la cresta

Figura 69. Desplazamiento del material Nv. 514 – Py 08.



Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.9. Post Voladura del Proyecto Nv. 514 - Py 08

Se visualiza la granulométrica reducida con el método de cámaras de aire.

Figura 70. Resultado granulométrico del proyecto Nv. 514 – Py 08

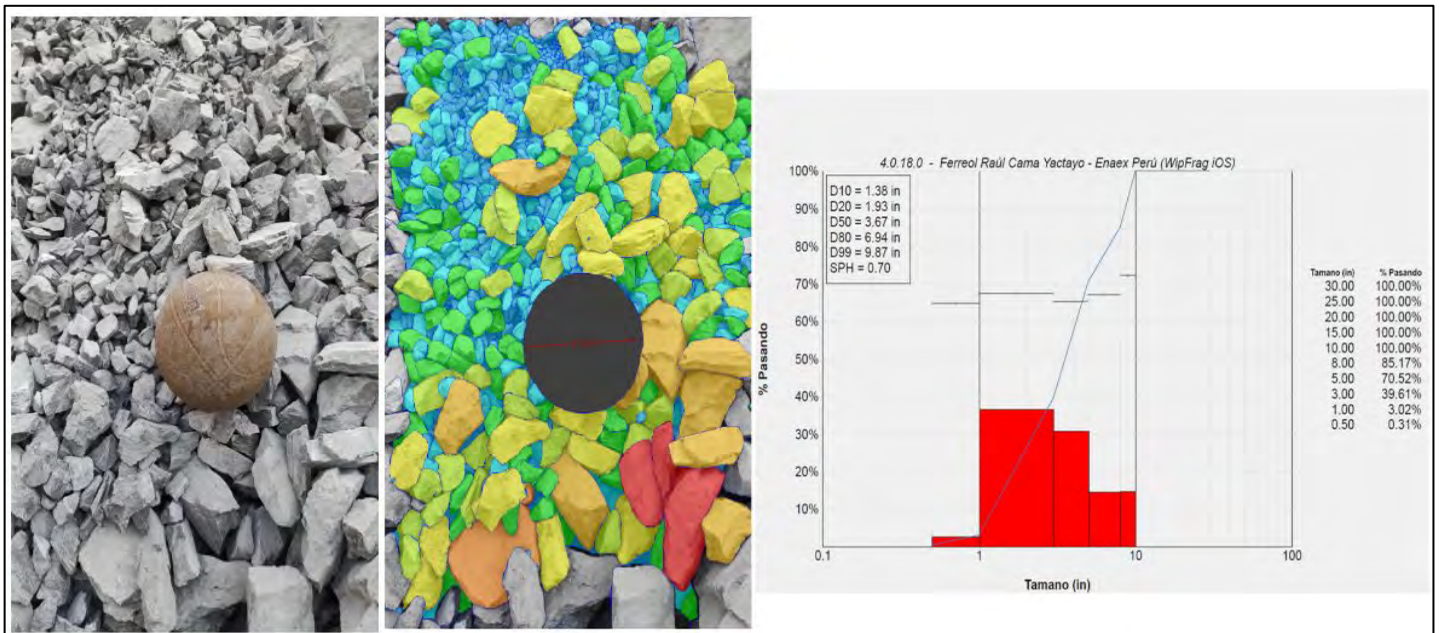


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.2.10. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 08.

Para el método con cámaras de aire se realizó el análisis de fragmentación dándonos como resultado P80: 6.94”.

Figura 71. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 08. P80: 7”



Fuente: Elaboración Propia

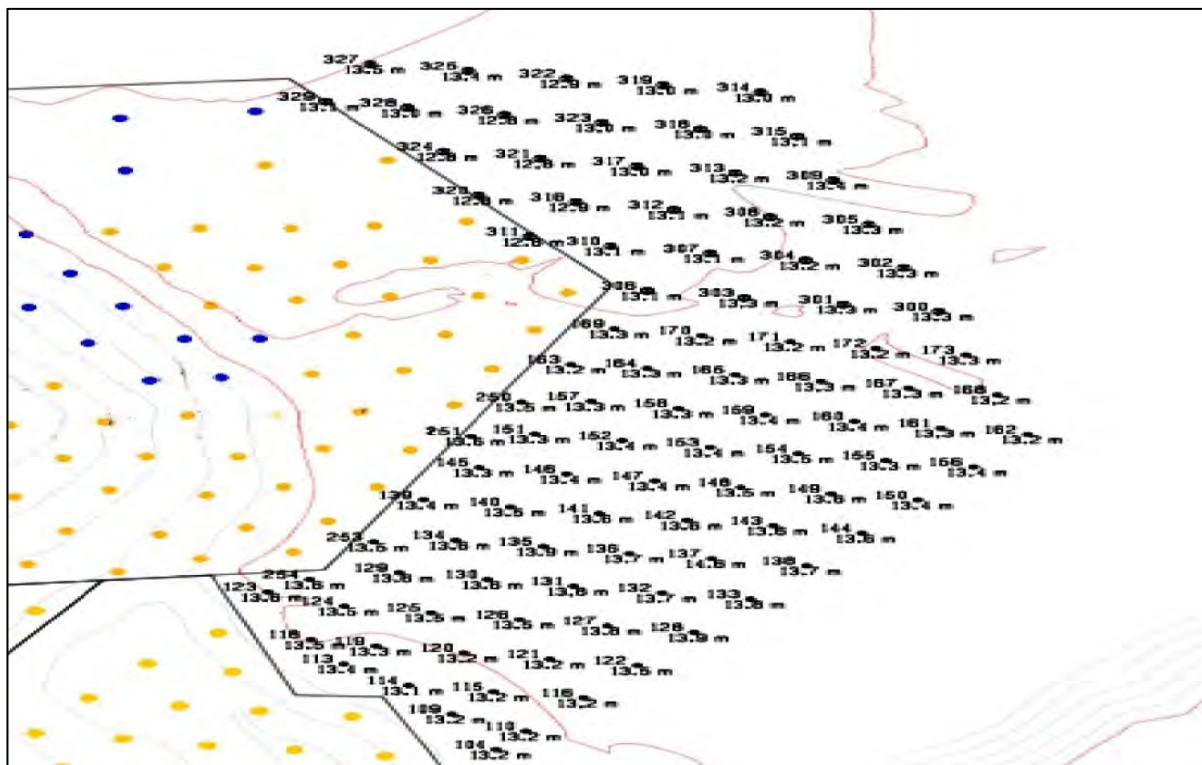
4.5.7.3. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 514 - Py 09

Se realizo el 13 de junio del 2023, 12:56hr.

4.5.7.3.1. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 09

La malla de perforación es triangular con 98 taladros de producción, con burden de 4.7m. y espaciamiento 5.4m, diámetro de perforación de 11", una sobreperforacion de 1.5m y profundidad promedio de 13.5m. manteniéndose la misma malla.

Figura 72. Plano de perforación Nv. 514 – Py 09

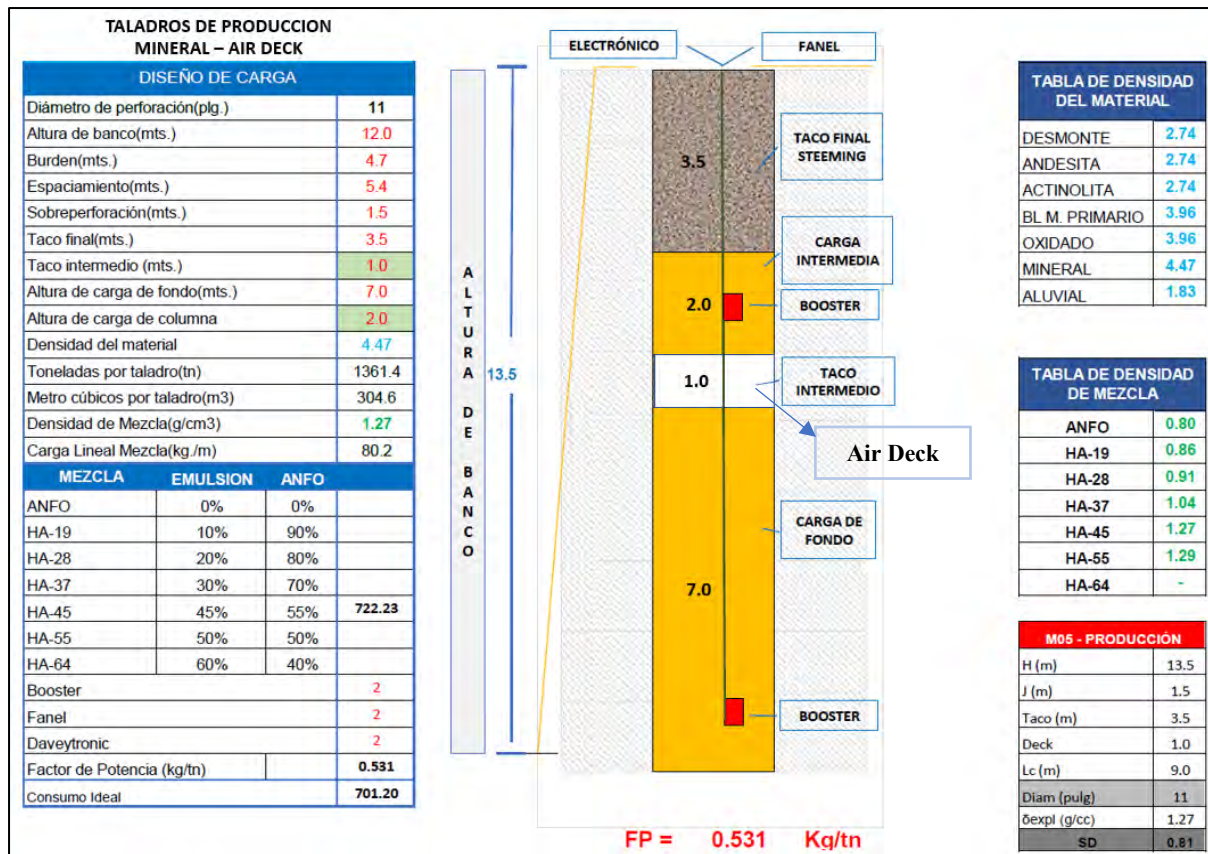


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.2. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 514 - Py 09

Estableciéndose el método de cámaras de aire se cargaron 98 taladros de producción, se utilizaron disparadores con detonadores electrónicos, también se utilizó Heavy ANFO 45 con una densidad de 1.27gr/cc, con una cantidad de 70,009kg en total, además se usaron 196 boosters de 1 lb, 196 fulminantes antiestático, 196 Detonador Daveytronic, 98 explodeck, asimismo, la columna explosiva en este caso está compuesta por 7 metros de carga explosiva, 1 metro de cámara de aire, 2 metros de carga explosiva intermedia y un taco final de altura de 3.5 m.

Figura 73. Diseño de carga Nv. 514 - Py 09

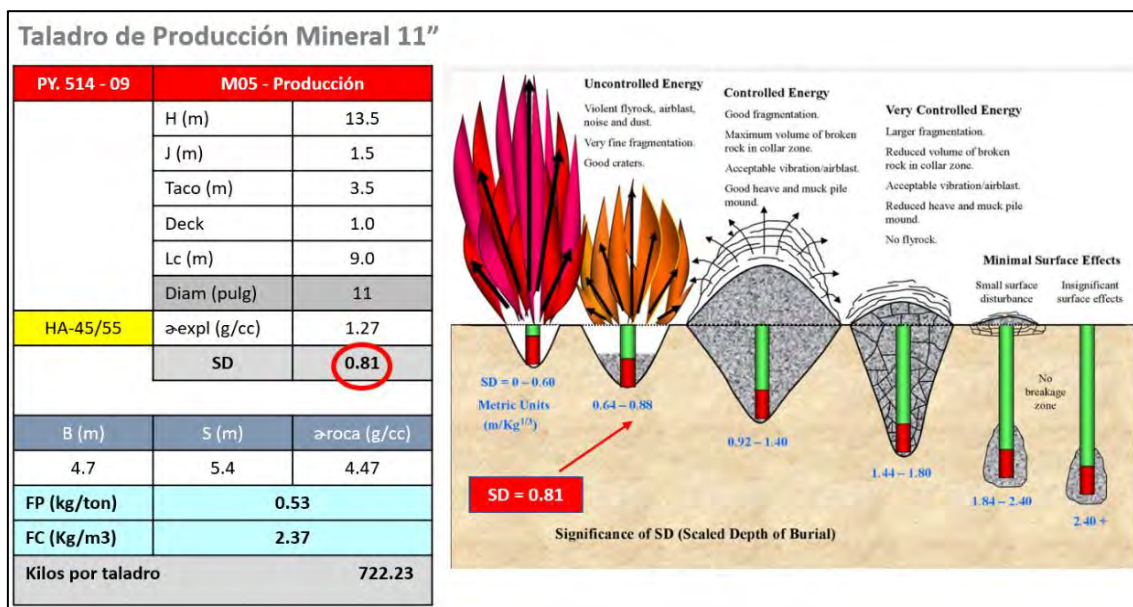


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.3. Control de taco (SD) Nv. 514 - Py 09

Se determina para el proyecto 09 con el método de cámaras de aire un SD: 0.81 estableciendo un descontrol de energía con una fragmentación muy fina como se detalla en la imagen.

Figura 74. Control de taco Nv. 514 - Py 09

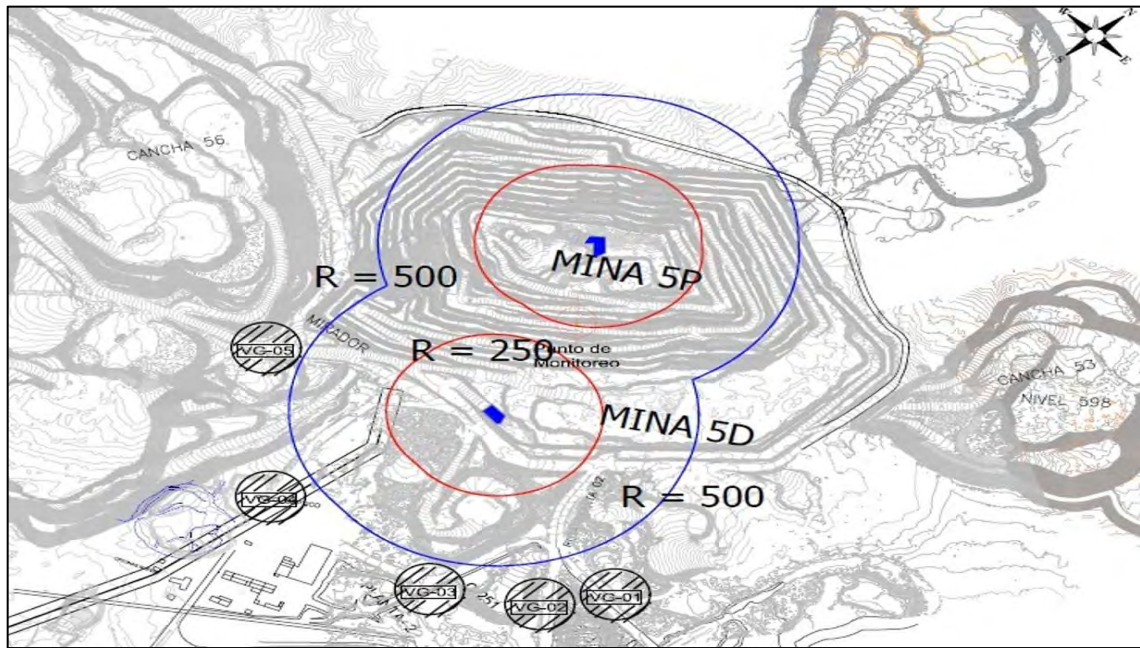


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.4. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 514 - Py 09

Para dicho plano se delimito con ROJO la evacuación de maquinaria con un radio de 250 metros y con AZUL la evacuación de personal que trabaja en mina 05 con un radio de 500 metros. Se establece 5 vigías para el cumplimiento de evacuación por llevarse a cabo 02 voladuras.

Figura 75. Plano de evacuación Nv. 514– Py 09

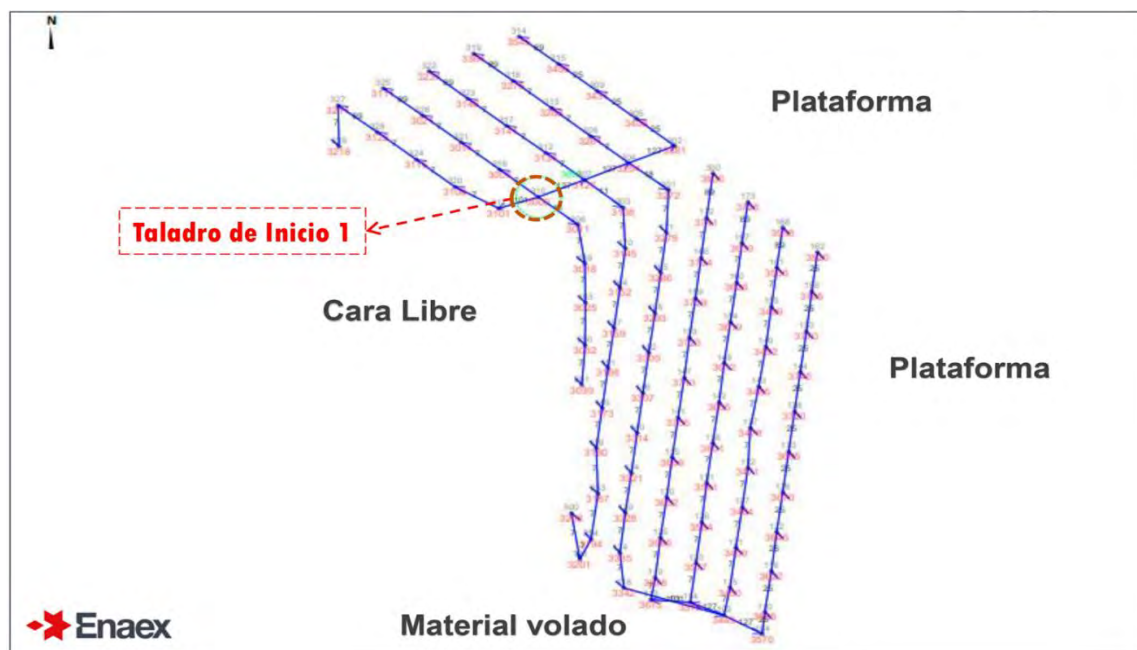


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.5. Secuencia de Iniciacion Proyecto Nv. 514 - Py 09

Encargado por la empresa Enaex, estableciendo el taladro de inicio.

Figura 76. Secuencia de iniciación Nv. 514 – Py 09

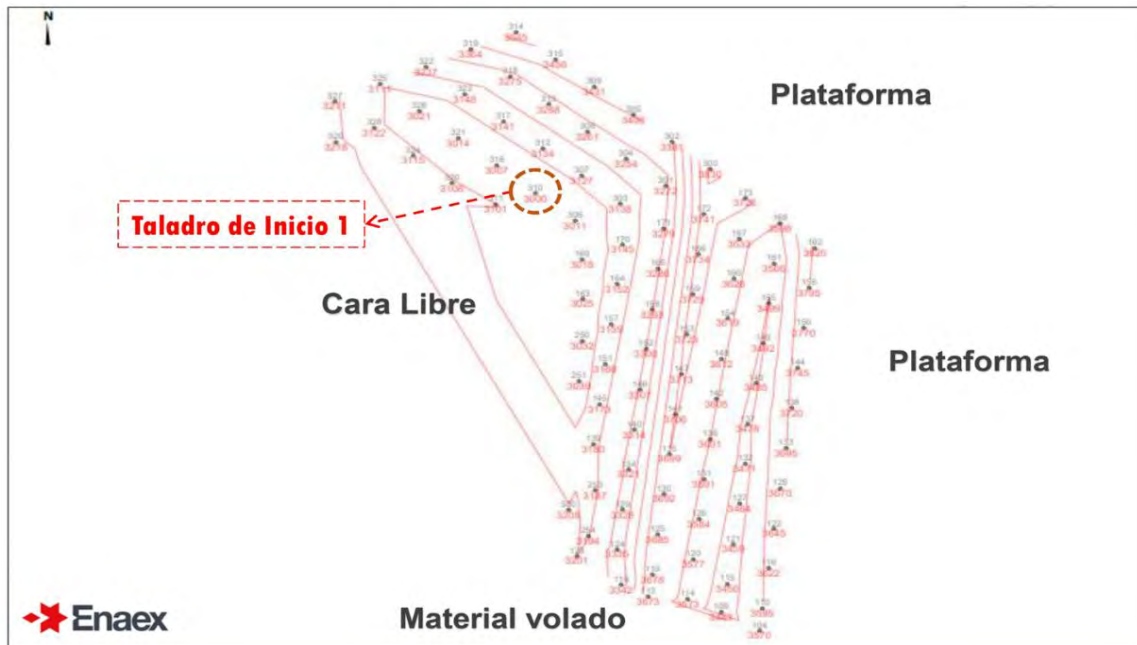


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.6. Isotiempos del Proyecto Nv. 514 - Py 09

El isotiempo de la malla del método de cámaras de aire, para la carga inferior se establece 0 milisegundos y carga superior 2 milisegundos y así sucesivamente por todos los taladros para la malla de cámaras de aire.

Figura 77. Isotiempos Nv. 514 – Py 09

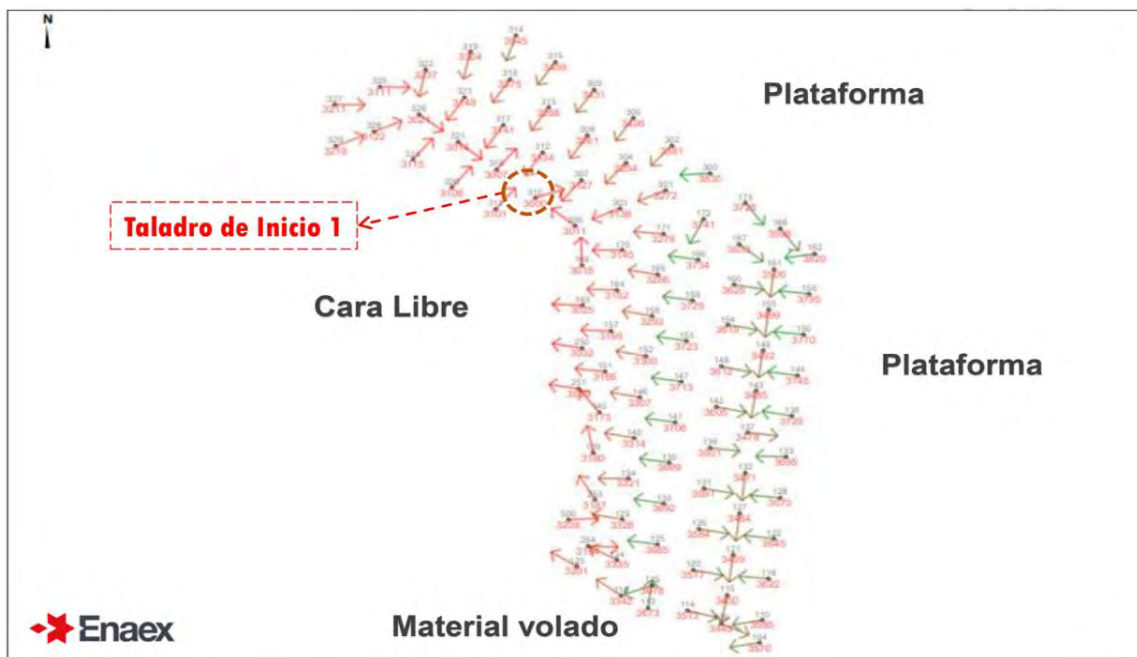


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.7. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 514 - Py 09

El desplazamiento es direccionado hacia el taladro de inicio referente a la cresta

Figura 78. Desplazamiento del material Nv. 514 – Py 09.



Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.8. Post Voladura del Proyecto Nv. 514 - Py 09

Se visualiza la granulométrica reducida con el método de cámaras de aire.

Figura 79. Resultado granulométrico del proyecto Nv. 514 – Py 09

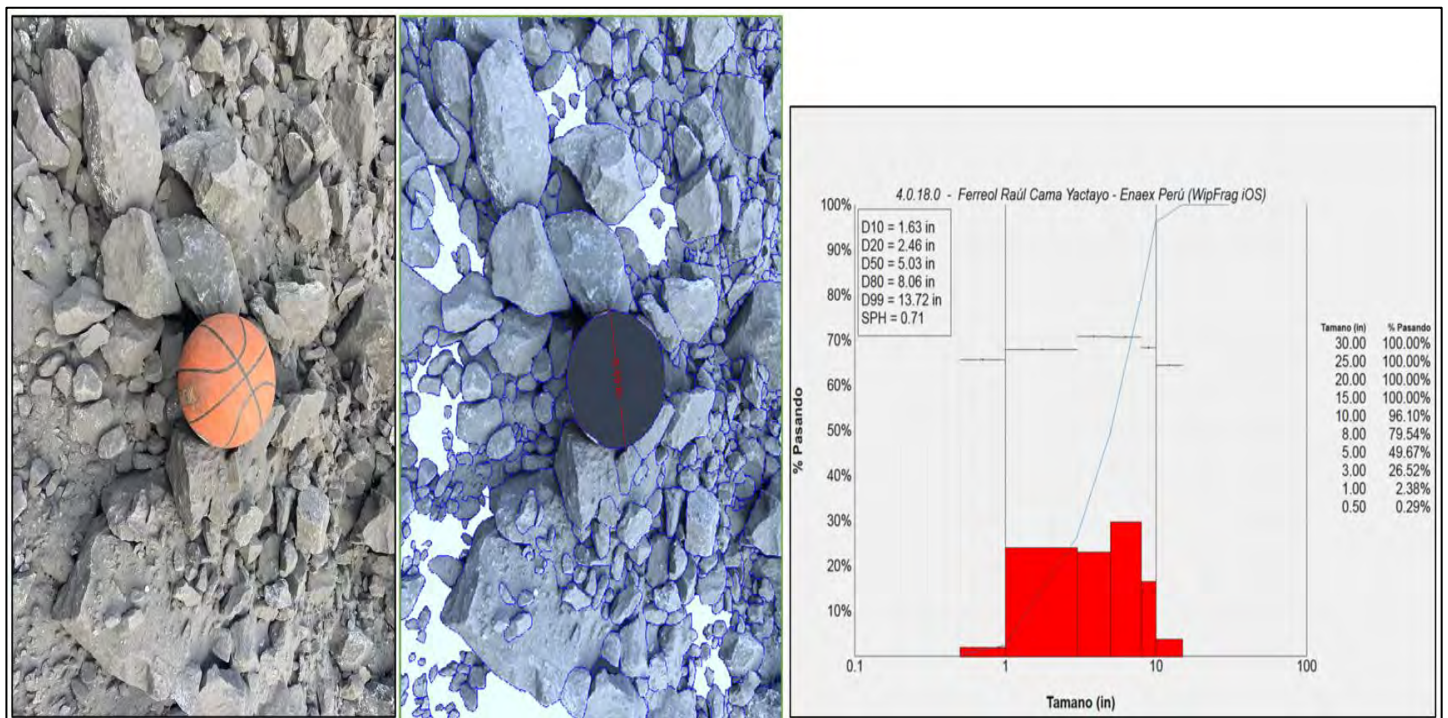


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.3.9. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 09.

Para el método con cámaras de aire se realizó el análisis de fragmentación dándonos como resultado P80: 8.06”

Figura 80. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 514 - Py 09. P80: 7”



Fuente: Elaboración Propia

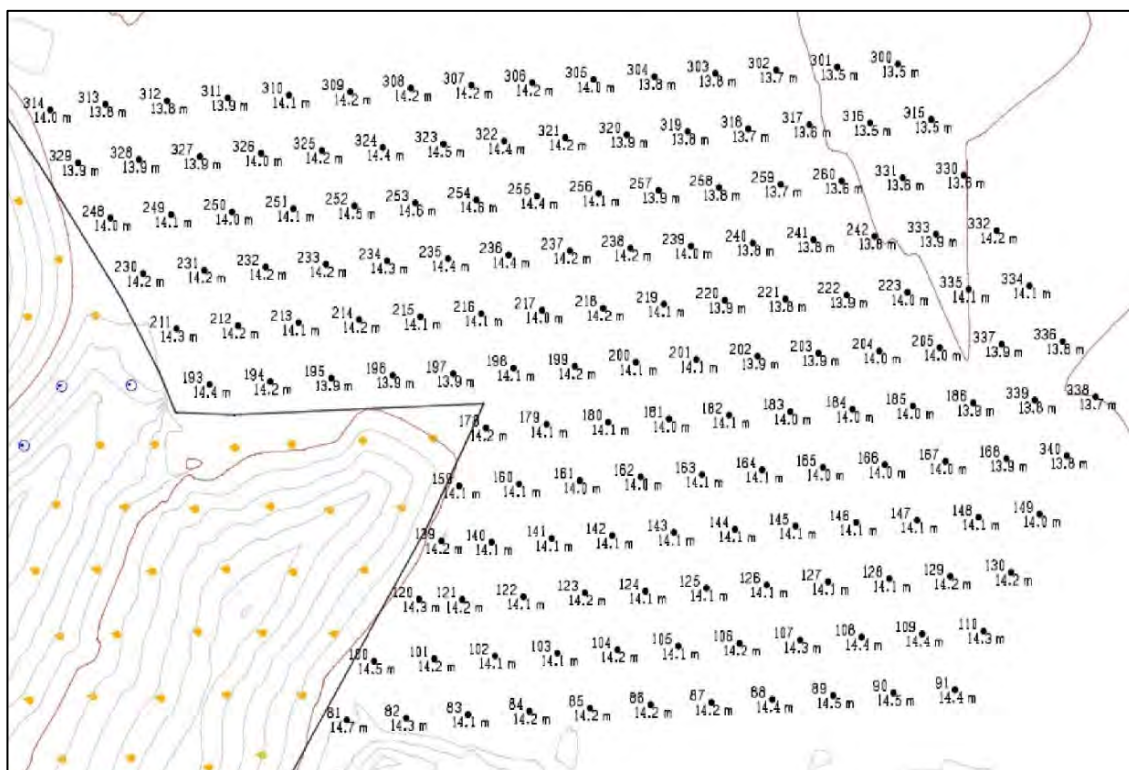
4.5.7.4. Resumen ejecutivo de voladura electrónica Mina 05 Nv. 502 - Py 01

Se realizo el 26 de junio del 2023, 16:30hr.

4.5.7.4.1. Diseño de malla por P&V (mineral) Nv. 502 - Py 01

La malla de perforación es triangular con 156 taladros de producción, con burden de 4.7m. y espaciamiento 5.4m, diámetro de perforación de 11", una sobreperforacion de 1.5m y profundidad promedio de 13.5m. manteniéndose la misma malla.

Figura 81. Plano de perforación Nv. 502 – Py 01.

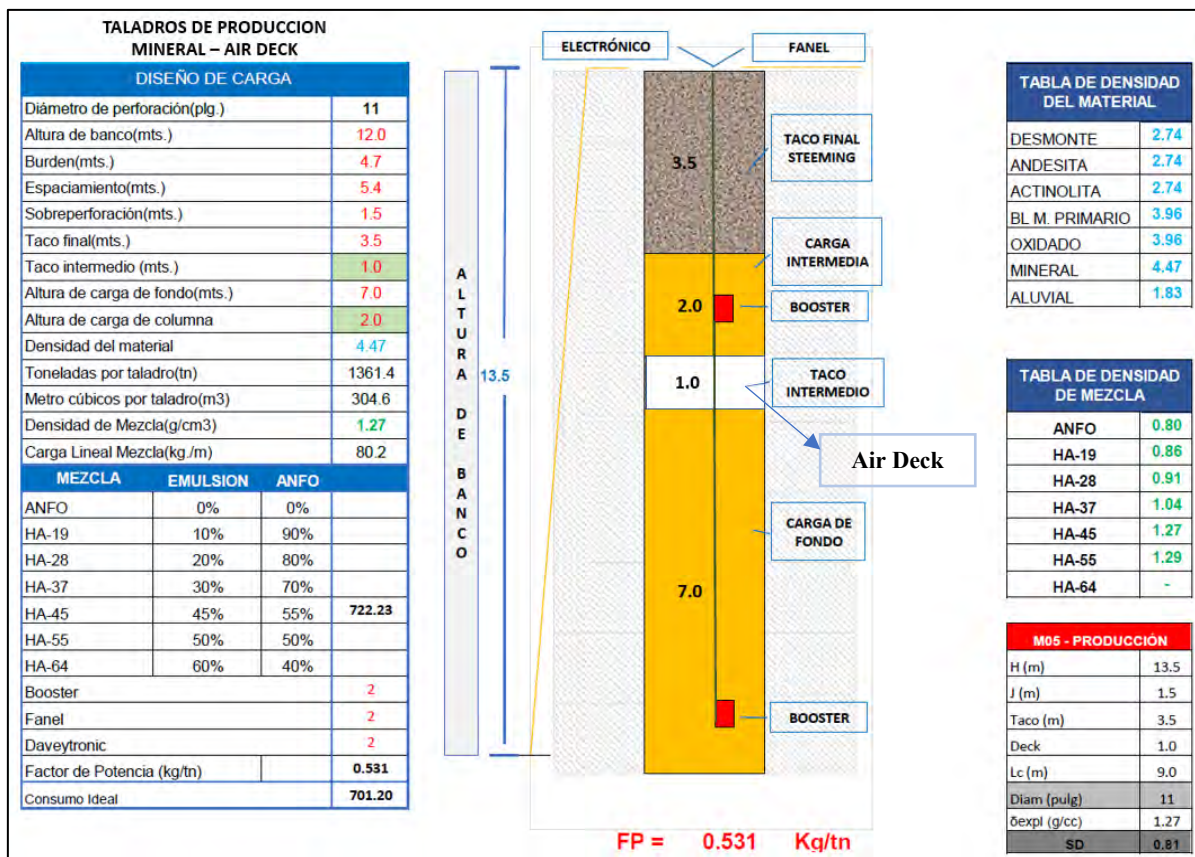


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.2. Diseño de carga por P&V (mineral) Nv. 502 - Py 01

Estableciéndose el método de cámaras de aire se cargaron 156 taladros de producción, se utilizaron disparadores con detonadores electrónicos, también se utilizó Heavy ANFO 45 con una densidad de 1.27gr/cc, con una cantidad de 112,032kg en total, además se usaron 312 boosters de 1 lb, 312 fulminantes antiestático, 312 Detonador Daveytronic, 156 explodeck, asimismo, la columna explosiva en este caso está compuesta por 7 metros de carga explosiva, 1 metro de cámara de aire, 2 metros de carga explosiva intermedia y un taco final de altura de 3.5 m.

Figura 82. Diseño de carga Nv. 502 - Py 01

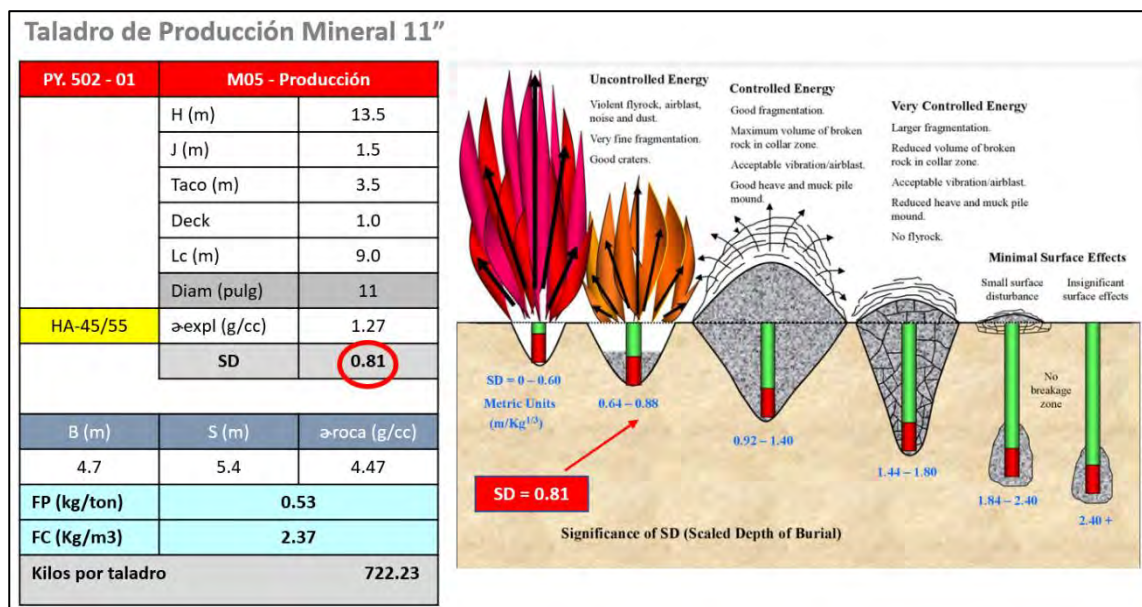


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.3. Control de taco (SD) Nv. 502 - Py 01

Se determina para el proyecto 09 con el método de cámaras de aire un SD: 0.81 estableciendo un descontrol de energía con una fragmentación muy fina como se detalla en la imagen.

Figura 83. Control de taco Nv. 502 - Py 01

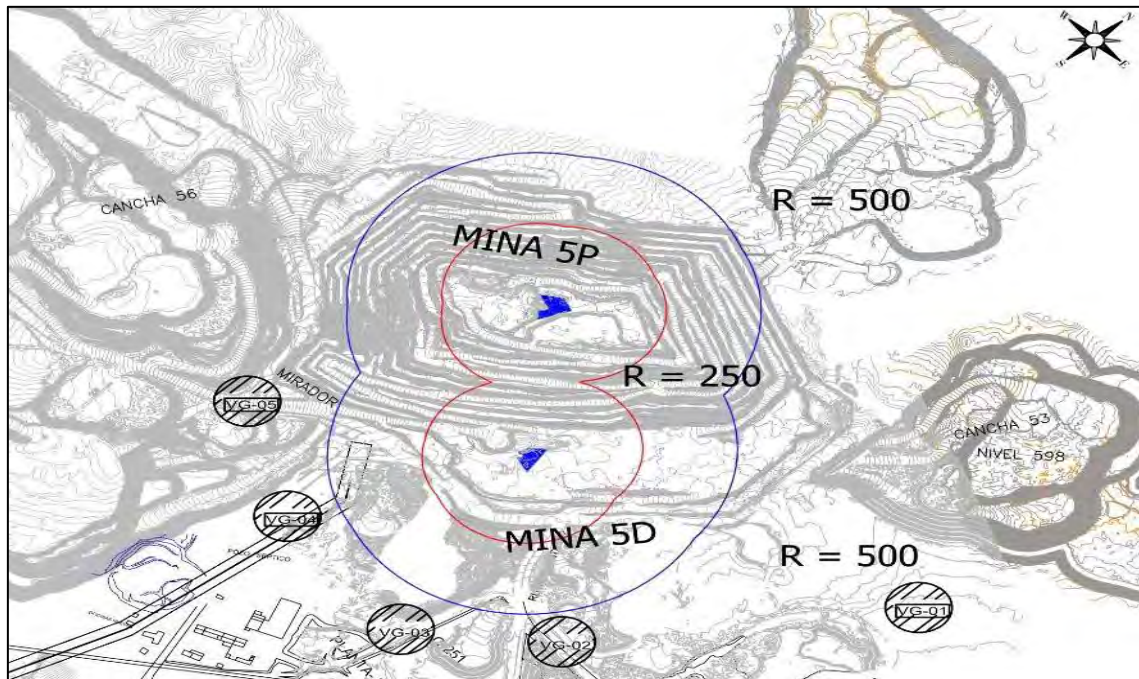


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.4. Plano de evacuación del Proyecto Nv. 502 - Py 01

Para dicho plano se delimito con ROJO la evacuación de maquinaria con un radio de 250 metros y con AZUL la evacuación de personal que trabaja en mina 05 con un radio de 500 metros. Se establece 5 vigías para el cumplimiento de evacuación por llevarse a cabo 02 voladuras.

Figura 84. Plano de evacuación Nv. 502– Py 01

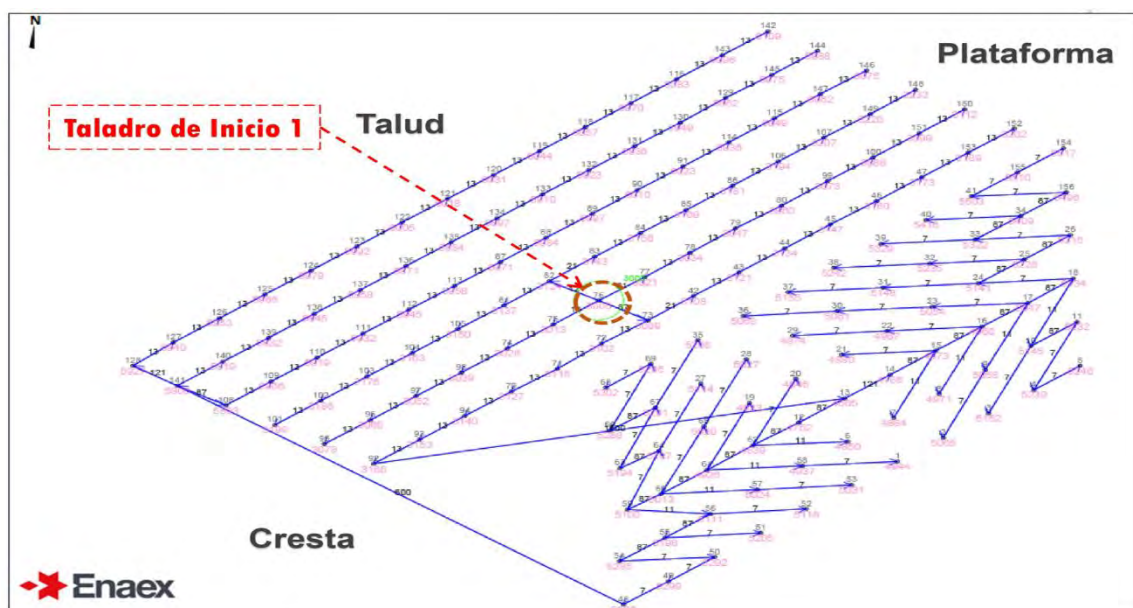


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.5. Secuencia de Iniciación Proyecto Nv. 502 - Py 01

Encargado por la empresa Enaex, estableciendo el taladro de inicio.

Figura 85. Secuencia de iniciación Nv. 502 – Py 01

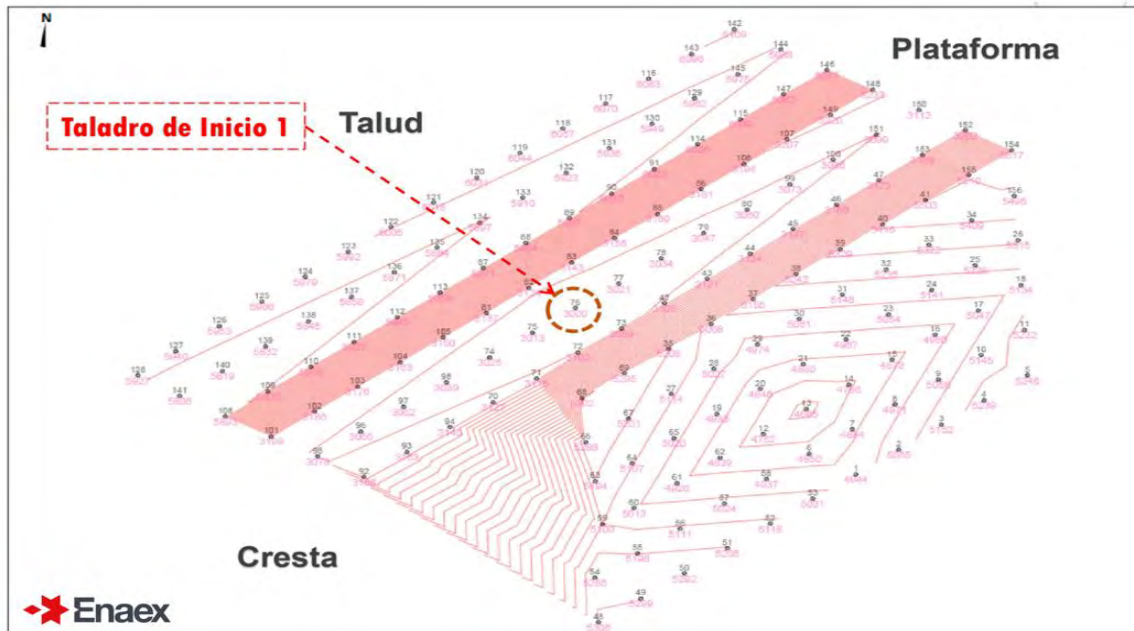


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.6. Isotiempos del Proyecto Nv. 502 - Py 01

El isotiempo de la malla del método de cámaras de aire, para la carga inferior se establece 0 milisegundos y carga superior 2 milisegundos y así sucesivamente por todos los taladros para la malla de cámaras de aire.

Figura 86. Isotiempos Nv. 502 – Py 01

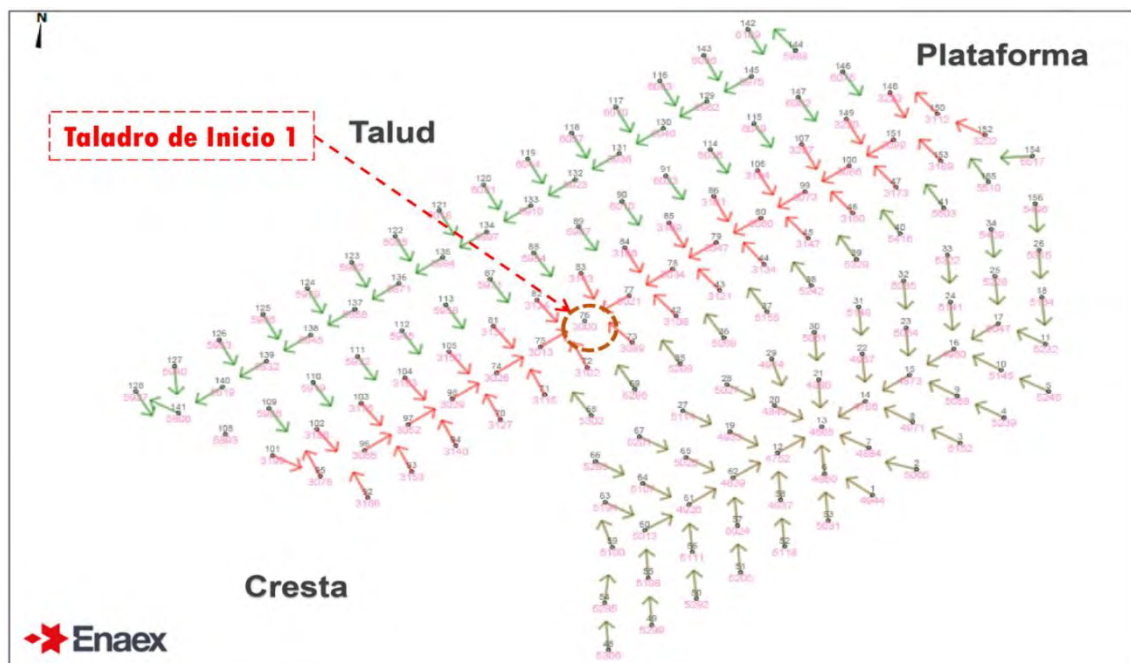


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.7. Desplazamiento del Material Proyecto Nv. 502 - Py 01

El desplazamiento es direccionado hacia el taladro de inicio referente a la cresta

Figura 87. Desplazamiento del material Nv. 502 – Py 01.



Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.8. Post Voladura del Proyecto Nv. 502 - Py 01

Se visualiza la granulometría reducida con el método de cámaras de aire.

Figura 88. Resultado granulométrico del proyecto Nv. 502 – Py 01

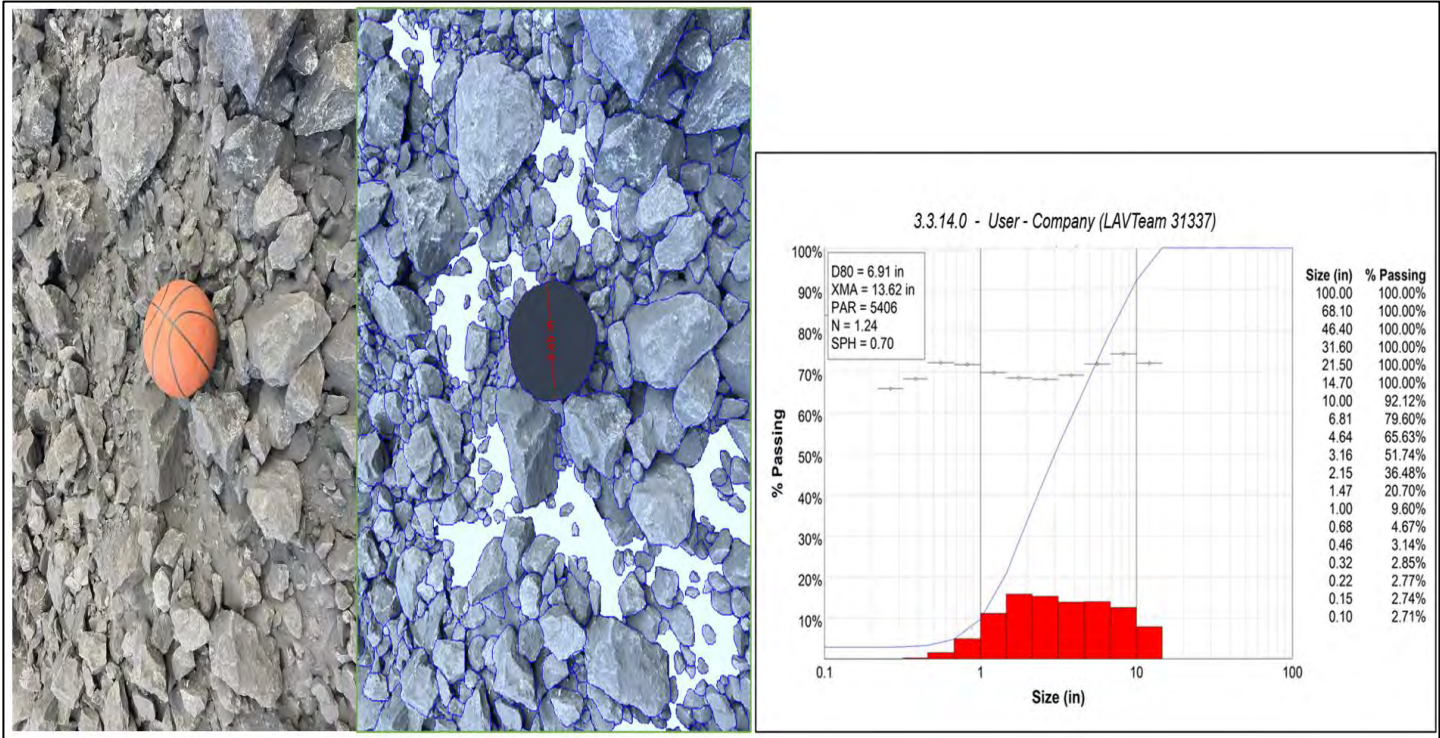


Fuente: Elaboración Propia

4.5.7.4.9. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 502 - Py 01.

Para el método con cámaras de aire se realizó el análisis de fragmentación dándonos como resultado P80: 6.91”

Figura 89. Análisis de Fragmentación Proyecto Nv. 502 - Py 01. P80: 7”



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V.

ANALISIS DE RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. ANALISIS DE RESULTADOS

5.1.1. RESULTADOS COMPARANDO FRAGMENTACION

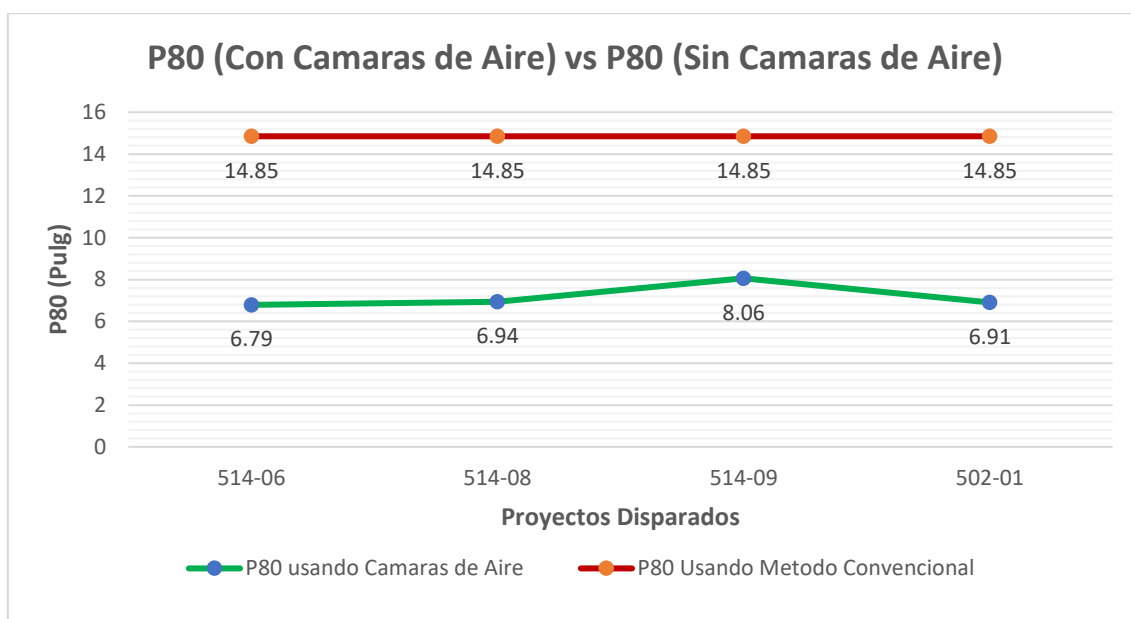
Se compara el P80 promedio obtenido en los disparos realizados con el método convencional Sin cámaras de Aire en proyectos de mineral VS los resultados obtenidos en cada proyecto disparado con Cámaras de Aire.

Tabla 34. Cuadro comparativo de fragmentación entre Método Convencional VS Con Cámaras de Aire

N° Disparo	Proyecto	Fotos Analizadas	Con Camaras de Aire	Sin Camaras de Aire	% de Variación
			P80 WipFrag (Pulg)	P80 Promedio (pulg)	
1	514-06	16	6.79	14.85	54%
2	514-08	20	6.94	14.85	53%
3	514-09	14	8.06	14.85	46%
4	502-01	12	6.91	14.85	53%
Total		62	7.18	14.85	52%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 5. Histograma de P80 obtenido con Método Convencional VS Con Cámara de Aire



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar hay una disminución en la fragmentación del 52% con respecto al Método Convencional en proyectos de mineral.

Teniendo como antecedente a Cumpa Flores Jorge “ Efecto de las cámaras de aire en taladros de producción para mejorar la fragmentación del material y reducir el nivel de vibraciones por voladura en minería tajo abierto en el norte de peru” se demostró que el uso de cámaras de aire presenta resultados positivos en la fragmentación.

5.1.2. RESULTADOS EN RELACION A FACTOR DE POTENCIA

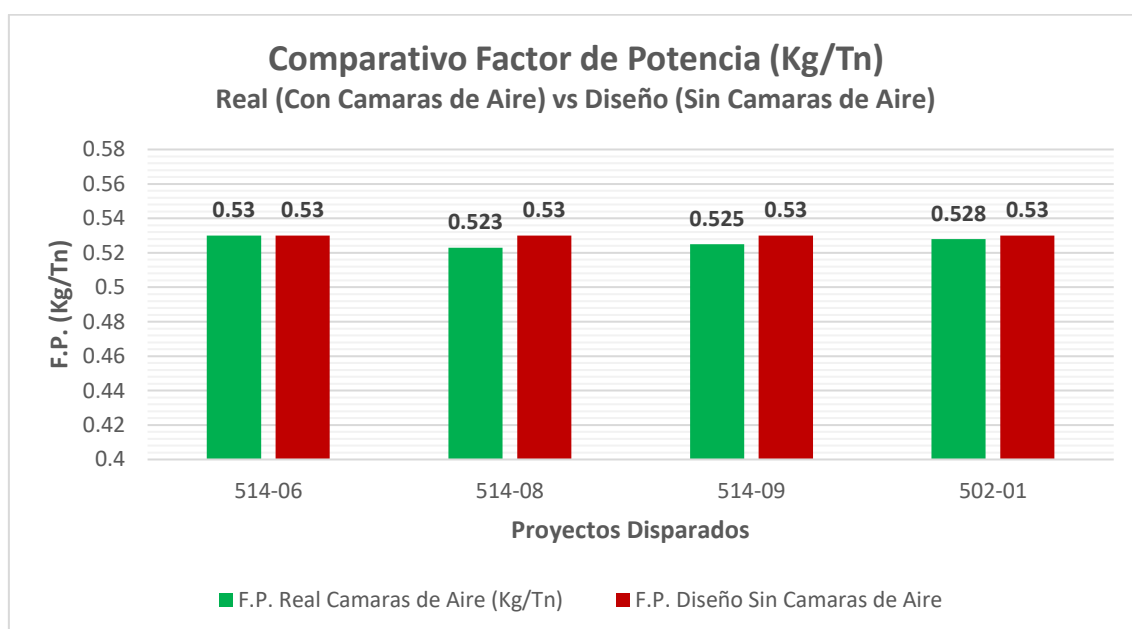
A continuación, se detalla el comparativo del indicador de Factor de Potencia obtenido en los taladros de producción de los proyectos disparados con cámaras de aire, en comparación con los proyectos disparados con el método convencional que se usa para estos tipos de roca, donde se puede apreciar que para los dos diseños de carga son las mismas teniendo como resultado el mismo Factor de Potencia.

Tabla 35. Cuadro Comparativo de Factor de Potencia Real (Con Cámaras de Aire) vs Diseño (Sin Cámaras de Aire)

N° de Disparo	Proyecto	Tipo de Material	N° Taladros	Cantidad de Explosivo (Kg)	F.P. Real Con Camaras de Aire (Kg/Tn)	F.P. Diseño Sin Camaras de Aire (Kg/Tn)
1	514-06	Mineral	44	31,760	0.530	0.53
2	514-08	Mineral	95	67,602	0.523	0.53
3	514-09	Mineral	98	70,009	0.525	0.53
4	502-01	Mineral	156	112,032	0.528	0.53
Consumo Total			393	281403	0.53	0.53

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 6. Histograma de Factor de Potencia Obtenida vs FP de Diseño



Fuente: Elaboración Propia

5.1.3. RESULTADOS A NIVEL ECONOMICO EN VOLADURA

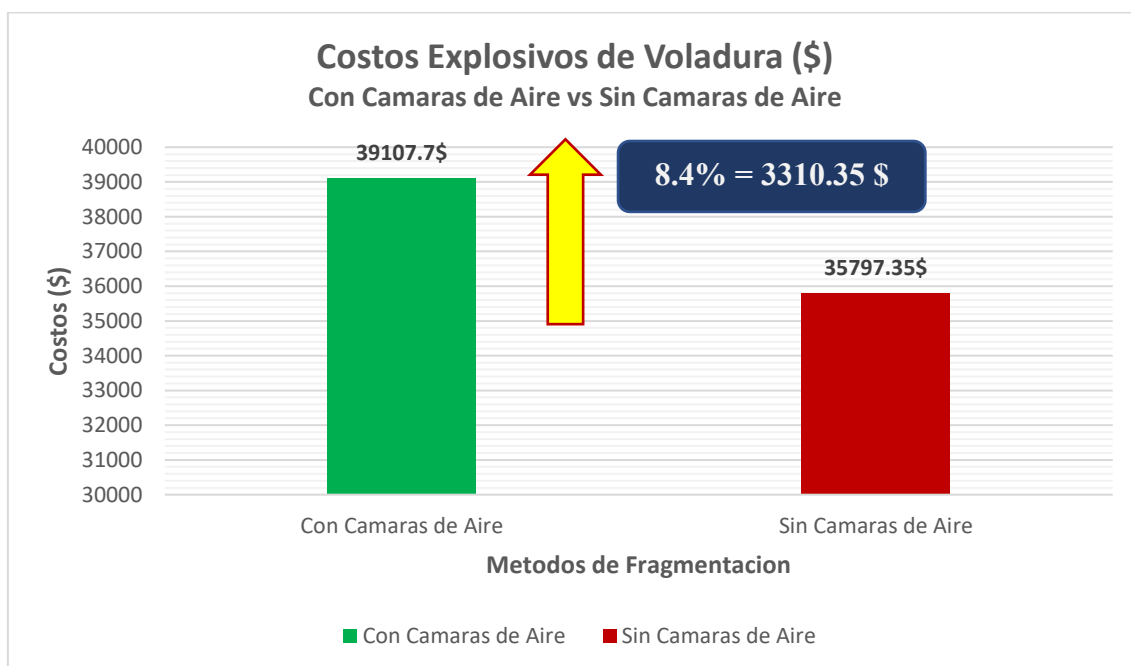
Para tener un comparativo de resultados se determinó costos de voladura sin cámaras de aire vs costos de voladura con cámaras de aire del Proyecto 514-05-06 que cuenta con 87 taladros disparados.

Tabla 36. Comparacion de Costo de Voladura Con Camaras de Aire vs Sin Camaras de Aire

	Costo de Voladura Con Camaras de Aire	Costo de Voladura Sin Camaras de Aire
Costo Total Voladura	39107.7 \$	35797.35 \$
N° de Taladros	87 Taladros	87 Taladros
Kilogramos Totales	62815.89 Kg	62815.89 Kg
Costo / Taladro	449.51 \$/Taladro	411.46 \$/Taladro

Fuente: Elaboracion Propia

Gráfico 7. Costo de Explosivo en Voladura Ejecutada Proyecto 514-05-06



Fuente: Elaboracion Propia

Tabla 37. Comparación de Costos Unitarios de Voladura

	Costo Unitario de Voladura	
	Con Camaras de Aire	Sin Camaras de Aire
Costo Total Voladura	39107.7 \$	35797.35 \$
Toneladas Totales	118441.8 Toneladas	118441.8 Toneladas
Costo Unitario	0.33 \$/Tn	0.30 \$/Tn

Fuente: Elaboracion Propia

Como se puede observar aumento en 8.4% los costos Explosivos De Voladura con el método de Cámaras de aire a comparación de Sin Camaras de Aire

5.1.4. RESULTADOS PRODUCTIVIDAD EN OPERACIONES DE CARGUIO

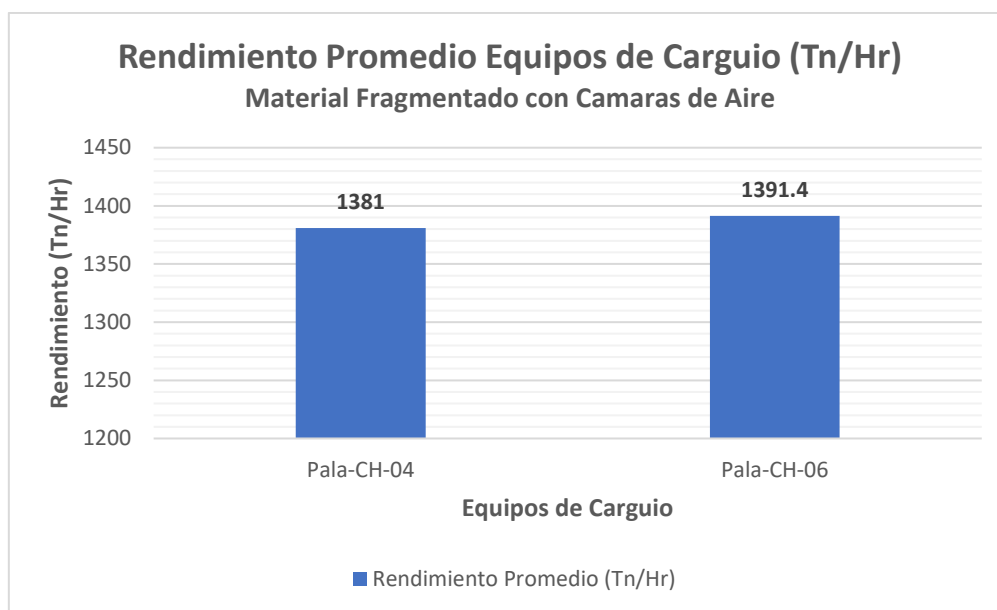
Para hacer un comparativo de resultados se determinó el rendimiento efectivo de cada equipo de carguío con material fragmentado con Camaras de Aire mediante el control generado por el área de Performance-Dispatch:

Tabla 38. Rendimiento equipos de carguío con material fragmentado con Camaras de Aire

N° Disparo	Proyecto	Equipo de Excavación	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
1	514-06	Pala-CH-04	1410	1378	1355	-	-	-	-	1381.0
2	514-08	Pala-CH-06	1415	1394	1379	1354	1415	-	-	1391.4
3	514-09	Pala-CH-06	1332	1355	1423	1394	1388	-	-	1378.4
4	502-01	Pala-CH-04	1359	1346	1415	1386	1349	1332	1349	1362.3
										1379.0

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 8. Rendimiento Promedio equipos de Carguio con Material Fragmentado con Camaras de Aire



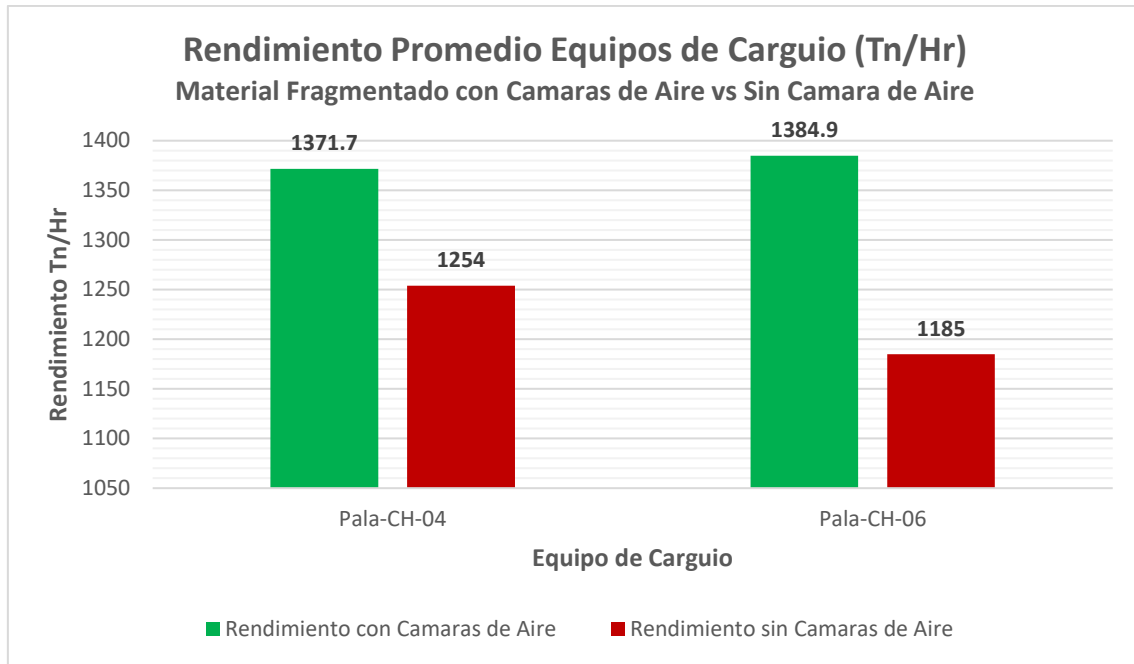
Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39. Cuadro comparativo de Rendimiento Equipos de Carguio Con Camaras de Aire vs Sin Camaras de Aire

N° Disparo	Equipo de Excavación	P80 Camaras de Aire (pulg)	Rendimiento con Camaras de Aire (Tn/Hr)	Rendimiento sin Camaras de Aire (Tn/Hr)	% de Variación
1	Pala-CH-04	6.85	1371.7	1254	8.6%
2	Pala-CH-06	7.5	1384.9	1185	14.4%
					11.5%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 9. Histograma de Rendimiento de Palas Obtenido con Camaras de Aire vs Sin Camara de Aire



Fuente: Elaboración Propia

Como se puede observar aumento en 11.5% de Rendimiento de Equipos de Carguío con el método de cámaras de aire.

Teniendo como antecedente a Machuca Cotrina Paola “Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha” se evidencio que efectivamente al utilizar cámaras de aire aumento el rendimiento de equipos de carguío.

5.1.5. RESULTADOS PRODUCTIVIDAD EN OPERACIONES DE ACARREO

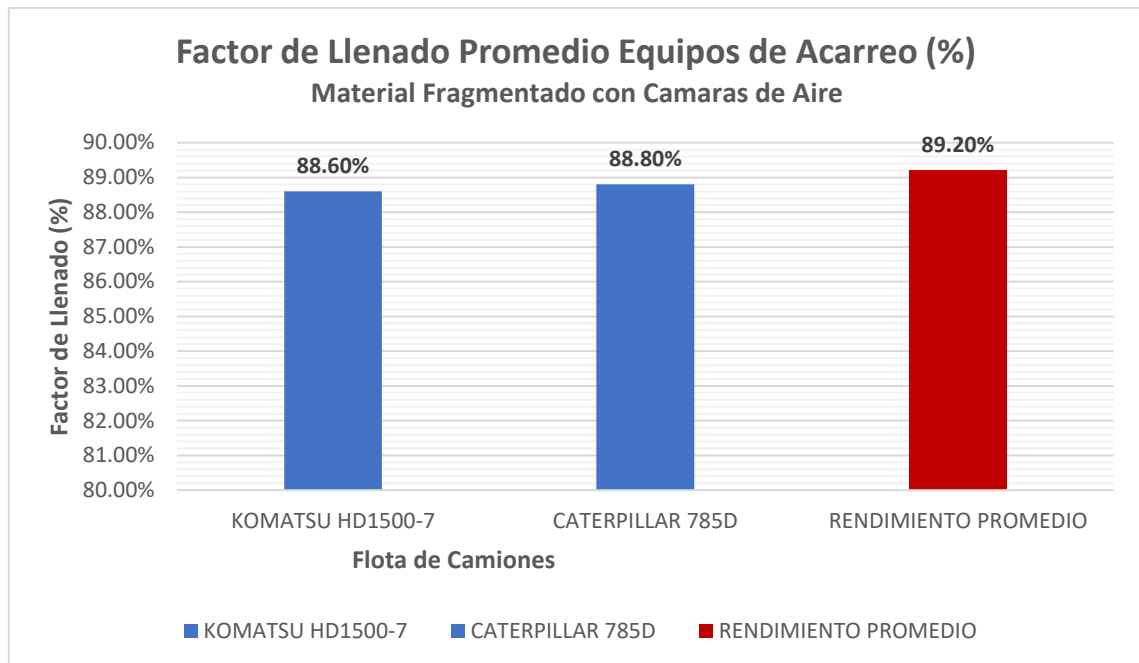
Para hacer un comparativo de resultados el área de Performance-Dispatch proporcionó la información de factor de llenado de los camiones asignados al acarreo del mineral disparado con Camaras de Aire, tanto de manera individual como por flota, los cuales serán detallados a continuación:

Tabla 40. Factor de llenado Camiones de Acarreo con material fragmentado con Camaras de Aire

FACTOR DE LLENADO EQUIPOS DE ACARREO (%)			
FLOTA	Equipos de Acarreo	Material	Factor de llenado promedio
KOMATSU HD1500-7	FC-58	Mineral	89.5%
	FC-59	Mineral	87.9%
	FC-61	Mineral	89.0%
	FC-62	Mineral	88.3%
	FC-63	Mineral	87.4%
	FC-99	Mineral	88.8%
	FC-107	Mineral	89.9%
	FC-108	Mineral	87.7%
	FC-109	Mineral	89.6%
	FC-110	Mineral	88.1%
CATERPILLAR 785D	FC-103	Mineral	87.9%
	FC-104	Mineral	88.6%
	FC-105	Mineral	87.4%
	FC-106	Mineral	88.7%
	FC-112	Mineral	90.8%
	FC-116	Mineral	89.6%
	FC-117	Mineral	88.7%
	FC-118	Mineral	87.9%
	FC-119	Mineral	89.8%
			89.2%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 10. Factor de Llenado Promedio Por Flota de Acarreo con Material Fragmentado con Camaras de Aire



Fuente: Elaboración Propia

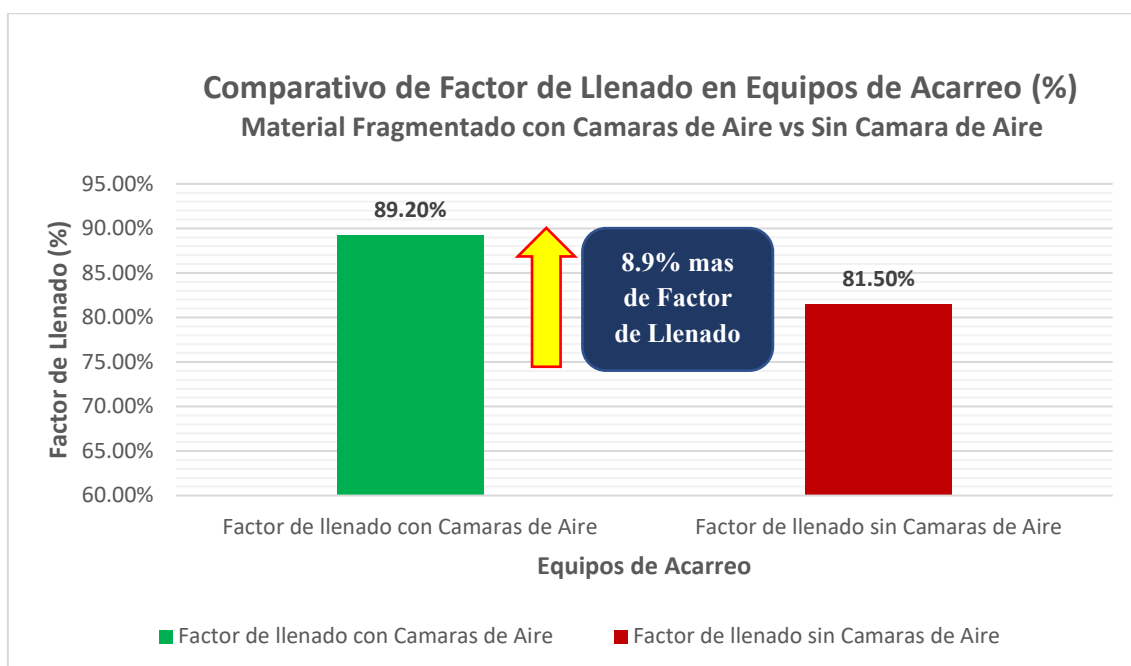
Debido a la disminución en la fragmentación usando Camaras de Aire, se encontró que el factor de llenado de los equipos de acarreo en promedio subió un 8.9% por viaje, a continuación, se detalla los resultados obtenidos.

*Tabla 41. Cuadro comparativo de Factor de Llenado equipos de Acarreo con Cámaras de Aire
vs sin Camaras de Aire*

FLOTA	Equipos de Acarreo	Material	Factor de llenado promedio con Camaras de Aire	Factor de llenado Promedio sin Camaras de Aire	% De Variacion
KOMATSU HD1500-7	FC-58	Mineral	89.5%	80.2%	11.6%
	FC-59	Mineral	87.9%	80.9%	8.7%
	FC-61	Mineral	89.0%	82.0%	8.5%
	FC-62	Mineral	88.3%	80.6%	9.6%
	FC-63	Mineral	87.4%	80.3%	8.8%
	FC-99	Mineral	88.8%	81.1%	9.5%
	FC-107	Mineral	89.9%	80.9%	11.1%
	FC-108	Mineral	87.7%	80.5%	8.9%
	FC-109	Mineral	89.6%	81.7%	9.7%
	FC-110	Mineral	88.1%	83.6%	5.4%
CATERPILLAR 785D	FC-103	Mineral	87.9%	80.5%	9.2%
	FC-104	Mineral	88.6%	82.2%	7.8%
	FC-105	Mineral	87.4%	83.2%	5.0%
	FC-106	Mineral	88.7%	81.0%	9.5%
	FC-112	Mineral	90.8%	82.1%	10.6%
	FC-116	Mineral	89.6%	82.0%	9.3%
	FC-117	Mineral	88.7%	81.2%	9.2%
	FC-118	Mineral	87.9%	80.3%	9.5%
	FC-119	Mineral	89.8%	83.5%	7.5%
			89.2%	81.5%	8.9%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 11. Histograma comparativo de factor de llenado en equipos de acarreo



Fuente: Elaboración Propia

Teniendo como antecedente a Machuca Cotrina Paola “Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha” se demuestra que la eficacia del dig rate operacional va de la mano con los resultados de la fragmentación.

5.1.6. RESULTADOS PRODUCTIVIDAD EN OPERACIONES DE CHANCADO

Para hacer un comparativo de resultados se obtuvo del área de Performance-Dispatch el indicador de rendimiento efectivo (Tn cargadas / Hr efectiva), se tomó el registro de los camiones que descargaron en planta 2 de los proyectos disparados con Camaras de Aire obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 42. Rendimiento Planta Chancadora con Material Fragmentado Con Camaras de Aire

RENDIMIENTO EQUIPOS DE CHANCADO (Tn/Hr)					
Planta De Chancado	Proyectos Disparados Con Camaras de Aire				Rendimiento Promedio (Tn/Hr)
	514-06	514-08	514-09	502-01	
Planta N° 2	2185.6	2180.3	2179.9	2187.7	2183.4

Fuente: Elaboración Propia

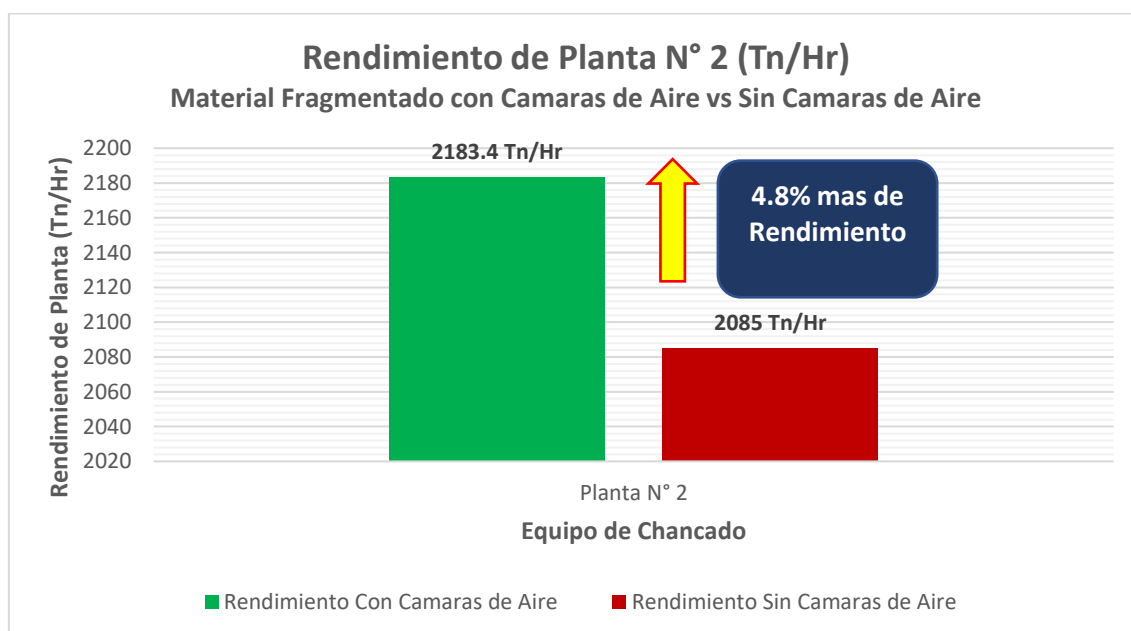
Debido a la disminución en la fragmentación usando Camaras de Aire, se encontró que el rendimiento planta chancadora en promedio subió un 4.8%, a continuación, se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 43. Cuadro comparativo Rendimiento Planta Chancadora

Planta De Chancado	Rendimiento con Camara de Aire (Tn/Hr)	Rendimiento sin Camaras de Aire (Tn/Hr)	% de Variacion
Planta N° 2	2183.4	2085	4.8%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 12. Histograma Comparativo Rendimiento de Planta



Fuente: Elaboración Propia

5.2. DISCUSIÓN

- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos se relacionan favorablemente con la investigación de Garrido Rojas Cristhian (Chile) (2020) quien en su investigación realizada aplicando cámaras de aire en tronadura de producción de una mina de hierro demostró la factibilidad de la ejecución de voladuras de producción con

cámaras de aire mejorando su fragmentación de roca, en nuestro caso mejoro un 52% con respecto al método convencional como también se realizo una voladura dividiendo la malla en una zona con cámaras de aire y otra sin cámaras de aire tal como lo realizo el investigador Garrido para tener una mayor apreciación de los resultados.

- Asimismo, nuestros resultados se vinculan con la investigación de Heras Naranjo y Guijarro Vallejo (Ecuador) (2020) quien manifiesta que al usar el método de cámaras de aire redujo las vibraciones de las voladuras, como también para reducir el fly rocks es necesario seleccionar un tamaño de partícula del agregado, en nuestro caso el material que se esta utilizando es el stemming con un rango de diámetro de 1.5 pulgadas a 2 pulgadas, gracias al stemming logramos retener el mayor tiempo posible de energía de detonación.
- En la investigación de Machuca Cotrina (Trujillo) (2018) nos explica y determina el efecto del uso del método de cámaras de aire en la voladura para incrementar la tasa de excavación (Dig Rate) en la mina Yanacocha demostrando que los resultados de una buena fragmentación van de la mano con el Dig Rate operacional como lo es en nuestra investigación, dándonos como resultado un aumento de 11.5% de rendimiento de equipos de carguío y un aumento de 8.9% de factor de llenado en equipos de acarreo.
- Asimismo, en la investigación de Bazán y Pino (Arequipa) (2021) nos detalla la implementación de cámaras de aire de doble iniciación en el proceso de voladura con el fin de reducir el P80 e incrementar la productividad de la pala obteniendo resultados positivos, para nuestra investigación también se implementó el mismo método con la finalidad de poder dar tiempo a la carga inferior de 00 milisegundos y carga superior de 02 milisegundos del taladro porque cuando detona la carga inferior del taladro le da 02 milisegundos a la carga superior del taladro de accionar como taco, luego de detonar la carga superior la energía de detonación va direccionado hacia el fondo de taladro generando como resultado un incremento de 52% de fragmentación de la roca.
- En la investigación de Vásquez y Jonel (Trujillo) (2017) nos explica y determina la implementación de método de cámaras de aire con la finalidad de reducir el factor de potencia generando un ahorro en el consumo de explosivo, como también obtuvo una mejora de fragmentación de mineral, en nuestra investigación

lo que se realizó fue aplicar el método de cámaras de aire para reducir la granulometría del mineral en la zona del taco para ello se mantuvo el factor de potencia para una mayor fragmentación.

- Finalmente, nuestros resultados obtenidos se relacionan con la investigación de Cumpa Flores (Chiclayo) (2016) logrando demostrar la aplicación de cámaras de aire en la columna explosiva efectos positivos en la distribución granulométrica dando como resultados mejoras en la fragmentación del material como también reducción de fly rock. Teniendo como resultado nuestro la reducción en la fragmentación de roca de 52% con respecto al método convencional.

CONCLUSIONES

- En la tesis se pudo establecer que el uso de cámaras de aire influye positivamente en los proyectos volados ya que ha permitido optimizar la fragmentación de la roca en zona de mineral, de tal manera que se está logrando una alta eficiencia en las operaciones.
- Se mantuvo los parámetros de perforación, así como también se respetó el factor de potencia dada por el cliente 0.53Kg/Tn ya sea con la aplicación Con cámaras de aire o Sin cámaras de aire. (pág. 113)
- Se concluye que con el uso de cámaras de aire se obtiene una reducción en la fragmentación de roca de 52% con respecto al método convencional, disminuyendo su fragmentación promedio de 14.85'' a 7.18'' en roca de densidad promedio de 4.47 gr/cm³ y con índice de resistencia a la compresión uniaxial entre 100-210 MPa que según la clasificación ISRM es una roca muy dura. (pág. 111, 112)
- Se concluye que la reducción de la fragmentación usando cámaras de Aire influye eficazmente en el Dig Rate Operativo, ya que el rendimiento de los equipos de carguío aumentó en un 11.5%, el factor de llenado de los camiones de acarreo también se vio afectado ya que en promedio aumento en 8.9 % y las plantas chancadoras aumentaron su rendimiento efectivo en 4.8% todo esto en comparación a los datos históricos obtenidos con material disparado con el método convencional. (pág. 116, 120, 122)

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los estudiantes y profesionales del sector minero comprender la importancia del uso del método Air Deck y su distribución, realizar simulaciones con software de diseño, para analizar y tomar decisiones, así mismo entender la relación que existe entre la ingeniería de rocas, de explosivos y de diseño para alcanzar objetivos óptimos en temas de fragmentación del macizo rocoso.
- A las empresas mineras enfocar los procesos de mejora continua en las áreas de perforación y voladura, es ahí donde se realiza el primer proceso de fragmentación, es conveniente invertir más en kilogramos explosivo que en costos de operación, costos de productividad, Toneladas/Hora, de esa manera existirá un mejor rendimiento en la cadena productiva, generando ganancias globales.
- Realizar capacitación especial al personal para el manejo adecuado de cámara de aire con el fin de obtener eficiencia en su colocación y lograr un beneficio mayor con el uso de estos mismos.
- Para el tapado de taladros se recomienda el uso de Stemming de 1.5” a 2” en taladros de 11” de diámetro para aumentar el confinamiento del explosivo y obtener mejores resultados.
- Se recomienda desarrollar estudios bajo el concepto mine to mill vinculando el grado de fragmentación con las áreas unitarias de carguío y acarreo producto de la voladura.

BIBLIOGRAFIA

- Alcalá, E.; Flores, A. y Beltrán A. (2012) Manual de entrenamiento minero. Bolivia: SERGEOTECMIN.
- Ames, V., & León, G. (2007). Tecnología de Explosivos (Segunda ed.). Lima.
- Bazán & Pino (Universidad Continental) (2021) en su investigación “Propuesta de utilización de cámara de aire de doble iniciación en el proceso de voladura de roca tipo toba cristal para reducir el P80 a 12" e incrementar la productividad de la pala PH 4100A en una mina a tajo abierto”.
- Blast Dynamics Inc. (2014). “Diseño eficiente de Voladura”.
- CAMUS, J. P. 2002. “Management of Mineral Resources”.
- Cuchula Rodriguez Jose Luis & Huari Chulluncuy Dilmer Adilio (Universidad Continental) (2021) “Análisis del uso de cámaras de aire para la reducción de costos en voladura en una mina a tajo abierto – Nazca 2021”
- Cumpa Flores, Jorge Luis (Universidad Cesar Vallejo) (2016) “Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a Tajo Abierto en el Norte del Perú”.
- Eduardo Araya Chávez, Ing. Minas, International Technologies (Chile). "Cámaras de Aire una real alternativa en Voladura de Rocas".
- ENAEX S.A. (2014). “Manual de Tronadura”.
- EXSA. (s.f.). Manual Práctico de Voladura. Edición Especial.
- Famesa. (2017). Ficha técnica accesorios de voladura.
- Famesa (2013). "Manual de Explosivos y Accesorios" - Edición Especial.
- Francisco Xavier Heras Naranjo & Raúl Ricardo Guijarro Vallejo (Ecuador) (2020) “Análisis de la implementación de cámaras de aire en las voladuras de canteras urbanas”.

- Garrido Rojas Cristhian (Chile) (2020) “Aplicación de cámaras de aire en tronadura de producción de una mina de hierro”.
- Haro, A. (2014) “Clasificación de explosivos”.
- Herrera Herbert. Juan. (2017) “introducción a la minería”.
- Hernández G. (2019) “Sustancias explosivas”.
- Hernández Sampieri, R. (2014) “Metodología de la Investigación”
- Hernandez-Sampieri, R. & Mendoza Torres, C. P. (2018). Metodología de la investigación: las rutas: cuantitativa, cualitativa y mixta.: Mc Graw Hill-educación.
- Jayro Mendivil Paucar (Universidad San Antonio Abad de Cusco) (2020) “Reduccion De Costos De Perforación Y Voladura Aplicando La Técnica De Cámaras De Aire En Mina Shougang, Nazca-Ica”.
- Jeysson Saire Pacheco (Universidad San Antonio Abad de Cusco) (2022) “Control Dispatch en Contratista Minería De Shougang Hierro Perú-Marcona-Ica”.
- Jorge Alcalde Ruiz (Universidad Nacional De Trujillo) (2019) “Emulsion gasificada en reemplazo de heavy anfo para reducir el P80 en la fragmentacion e incrementar la productividad en carguío, acarreo, y chancado en mina Shougang Hierro Perú”.
- Konya, C., & Albarrán, E. (1998). Diseño De Voladuras. México D.F. Ediciones Cuicatl.
- LÓPEZ JIMENO, CARLOS (Madrid) (2003) “Manual de Perforación y Voladura de Rocas”.
- Machuca Cotrina Paola (Universidad Privada del Norte) (2018) en su investigación “Efecto de la cámara de aire en la voladura a tajo abierto para incrementar la tasa de excavación (Dig rate) en el tajo tapado oeste de minera Yanacocha”.

- Mauricio Santa (2015) “Accesorios de voladura”.
- Muñoz, J (2019) “Impedancia”.
- Rusbel Arias Peña (Universidad Nacional de Moquegua) (2021) “Aplicación del Metodo Air Deck Intermedio Para Optimizar la Fragmentacion de Roca IA-SIL en Zona Stemming de Taladros de Produccion en la Unidad Minera Cuajone 2020”.
- Salcedo (2015) “Heavy ANFO”.
- Salas (2011) “Air Deck”.
- Silva, L.(2014) “Velocidad de detonación”.
- Vásquez Gómez, Abelardo Jonel (Universidad Nacional de Trujillo) (2017) “Reducción Del Factor De Potencia En El Proceso De Voladura Mediante La Aplicación De Cámaras De Aire En Columna Explosiva, En La Compañía Minera Aurífera Santa Rosa S.A. - Comarsa”.
- Villanueva, R. (2015). “Emulsión gasificada SAN G APU”.

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia

“APLICACIÓN DEL METODO AIR DECK PARA REDUCIR EL P80 EN LA FRAGMENTACION DE LA ROCA EN LA MINA SHOUGANG HIERRO PERU, MARCONA – ICA”

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES INDEPENDIENTES	INDICADORES
¿Como influye el uso del método Air Deck en la optimización de la fragmentación de roca en la Empresa Minera Shougang Hierro Peru?	Determinar la influencia del uso del método Air Deck en la optimización de la fragmentación de roca	El uso del método Air Deck influye positivamente en la optimización de la fragmentación de la roca en la empresa minera Shougang Hierro Peru	Uso del método Air Deck	-Diseño de Air Deck -Diseño de Perforación -Explosivos y Accesorios
PROBLEMA ESPECIFICO	OBJETIVO ESPECIFICO	HIPÓTESIS ESPECIFICO	VARIABLES DEPENDIENTES	INDICADORES
*¿Cómo será el procedimiento para aplicar el metodo Air Deck en las actividades de perforación y voladura? *¿En cuanto reduce el P80 en la fragmentación de roca con la aplicación del método Air Deck? *¿Cómo influye la aplicación del método Air Deck en el DigRate Operativo?	*Analizar y describir los parámetros de perforación y voladura para la aplicación del método Air Deck *Determinar el nivel de reducción del p80 de la fragmentación mediante pruebas de campo comparando el método convencional con el método air deck *Examinar la influencia del método Air Deck en el DigRate Operativo	*El procedimiento del método Air Deck será utilizado en voladura para mejorar la fragmentación de roca. *Al emplear el método Air Deck se logra reducir la fragmentación de roca en 40%. *La aplicación del método Air Deck influye eficazmente en el DigRate Operativa.	Fragmentación Optima	-Grado de Fragmentación -DigRate

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 2. Mapa Geológico del cuadrángulo de San Juan



Fuente: Carta geologica del Peru

ANEXO 3. Tabla de Densidades

VASO COSMOS TABLA DE DENSIDADES

Peso vaso = 700 g
Peso agua = 1106 g

Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)	Vaso + Muestra Indicación Balanza (g)	Densidad (g/cm ³)
1570	0.787	1625	0.836	1680	0.886	1735	0.936	1790	0.986	1845	1.035	1900	1.085	1955	1.135	2010	1.184
1571	0.788	1626	0.837	1681	0.887	1736	0.937	1791	0.986	1846	1.036	1901	1.086	1956	1.136	2011	1.185
1572	0.788	1627	0.838	1682	0.888	1737	0.938	1792	0.987	1847	1.037	1902	1.087	1957	1.137	2012	1.186
1573	0.789	1628	0.839	1683	0.889	1738	0.939	1793	0.988	1848	1.038	1903	1.088	1958	1.137	2013	1.187
1574	0.790	1629	0.840	1684	0.890	1739	0.939	1794	0.989	1849	1.039	1904	1.089	1959	1.138	2014	1.188
1575	0.791	1630	0.841	1685	0.891	1740	0.940	1795	0.990	1850	1.040	1905	1.090	1960	1.139	2015	1.189
1576	0.792	1631	0.842	1686	0.892	1741	0.941	1796	0.991	1851	1.041	1906	1.090	1961	1.140	2016	1.190
1577	0.793	1632	0.843	1687	0.892	1742	0.942	1797	0.992	1852	1.042	1907	1.091	1962	1.141	2017	1.191
1578	0.794	1633	0.844	1688	0.893	1743	0.943	1798	0.993	1853	1.042	1908	1.092	1963	1.142	2018	1.192
1579	0.795	1634	0.844	1689	0.894	1744	0.944	1799	0.994	1854	1.043	1909	1.093	1964	1.143	2019	1.193
1580	0.796	1635	0.845	1690	0.895	1745	0.945	1800	0.995	1855	1.044	1910	1.094	1965	1.144	2020	1.193
1581	0.797	1636	0.846	1691	0.896	1746	0.946	1801	0.995	1856	1.045	1911	1.095	1966	1.145	2021	1.194
1582	0.797	1637	0.847	1692	0.897	1747	0.947	1802	0.996	1857	1.046	1912	1.096	1967	1.146	2022	1.195
1583	0.798	1638	0.848	1693	0.898	1748	0.948	1803	0.997	1858	1.047	1913	1.097	1968	1.146	2023	1.196
1584	0.799	1639	0.849	1694	0.899	1749	0.948	1804	0.998	1859	1.048	1914	1.098	1969	1.147	2024	1.197
1585	0.800	1640	0.850	1695	0.900	1750	0.949	1805	0.999	1860	1.049	1915	1.099	1970	1.148	2025	1.198
1586	0.801	1641	0.851	1696	0.901	1751	0.950	1806	1.000	1861	1.050	1916	1.099	1971	1.149	2026	1.199
1587	0.802	1642	0.852	1697	0.901	1752	0.951	1807	1.001	1862	1.051	1917	1.100	1972	1.150	2027	1.200
1588	0.803	1643	0.853	1698	0.902	1753	0.952	1808	1.002	1863	1.052	1918	1.101	1973	1.151	2028	1.201
1589	0.804	1644	0.854	1699	0.903	1754	0.953	1809	1.003	1864	1.052	1919	1.102	1974	1.152	2029	1.202
1590	0.805	1645	0.854	1700	0.904	1755	0.954	1810	1.004	1865	1.053	1920	1.103	1975	1.153	2030	1.203
1591	0.806	1646	0.855	1701	0.905	1756	0.955	1811	1.005	1866	1.054	1921	1.104	1976	1.154	2031	1.203
1592	0.807	1647	0.856	1702	0.906	1757	0.956	1812	1.005	1867	1.055	1922	1.105	1977	1.155	2032	1.204
1593	0.807	1648	0.857	1703	0.907	1758	0.957	1813	1.006	1868	1.056	1923	1.106	1978	1.156	2033	1.205
1594	0.808	1649	0.858	1704	0.908	1759	0.958	1814	1.007	1869	1.057	1924	1.107	1979	1.156	2034	1.206
1595	0.809	1650	0.859	1705	0.909	1760	0.958	1815	1.008	1870	1.058	1925	1.108	1980	1.157	2035	1.207
1596	0.810	1651	0.860	1706	0.910	1761	0.959	1816	1.009	1871	1.059	1926	1.108	1981	1.158	2036	1.208
1597	0.811	1652	0.861	1707	0.910	1762	0.960	1817	1.010	1872	1.060	1927	1.109	1982	1.159	2037	1.209
1598	0.812	1653	0.862	1708	0.911	1763	0.961	1818	1.011	1873	1.061	1928	1.110	1983	1.160	2038	1.210
1599	0.813	1654	0.863	1709	0.912	1764	0.962	1819	1.012	1874	1.061	1929	1.111	1984	1.161	2039	1.211
1600	0.814	1655	0.863	1710	0.913	1765	0.963	1820	1.013	1875	1.062	1930	1.112	1985	1.162	2040	1.212
1601	0.815	1656	0.864	1711	0.914	1766	0.964	1821	1.014	1876	1.063	1931	1.113	1986	1.163	2041	1.212
1602	0.816	1657	0.865	1712	0.915	1767	0.965	1822	1.014	1877	1.064	1932	1.114	1987	1.164	2042	1.213
1603	0.816	1658	0.866	1713	0.916	1768	0.966	1823	1.015	1878	1.065	1933	1.115	1988	1.165	2043	1.214
1604	0.817	1659	0.867	1714	0.917	1769	0.967	1824	1.016	1879	1.066	1934	1.116	1989	1.165	2044	1.215
1605	0.818	1660	0.868	1715	0.918	1770	0.967	1825	1.017	1880	1.067	1935	1.117	1990	1.166	2045	1.216
1606	0.819	1661	0.869	1716	0.919	1771	0.968	1826	1.018	1881	1.068	1936	1.118	1991	1.167	2046	1.217
1607	0.820	1662	0.870	1717	0.920	1772	0.969	1827	1.019	1882	1.069	1937	1.118	1992	1.168	2047	1.218
1608	0.821	1663	0.871	1718	0.920	1773	0.970	1828	1.020	1883	1.070	1938	1.119	1993	1.169	2048	1.219
1609	0.822	1664	0.872	1719	0.921	1774	0.971	1829	1.021	1884	1.071	1939	1.120	1994	1.170	2049	1.220
1610	0.823	1665	0.873	1720	0.922	1775	0.972	1830	1.022	1885	1.071	1940	1.121	1995	1.171	2050	1.221
1611	0.824	1666	0.873	1721	0.923	1776	0.973	1831	1.023	1886	1.072	1941	1.122	1996	1.172	2051	1.222
1612	0.825	1667	0.874	1722	0.924	1777	0.974	1832	1.024	1887	1.073	1942	1.123	1997	1.173	2052	1.222
1613	0.825	1668	0.875	1723	0.925	1778	0.975	1833	1.024	1888	1.074	1943	1.124	1998	1.174	2053	1.223
1614	0.826	1669	0.876	1724	0.926	1779	0.976	1834	1.025	1889	1.075	1944	1.125	1999	1.175	2054	1.224
1615	0.827	1670	0.877	1725	0.927	1780	0.976	1835	1.026	1890	1.076	1945	1.126	2000	1.175	2055	1.225
1616	0.828	1671	0.878	1726	0.928	1781	0.977	1836	1.027	1891	1.077	1946	1.127	2001	1.176	2056	1.226
1617	0.829	1672	0.879	1727	0.929	1782	0.978	1837	1.028	1892	1.078	1947	1.127	2002	1.177	2057	1.227
1618	0.830	1673	0.880	1728	0.929	1783	0.979	1838	1.029	1893	1.079	1948	1.128	2003	1.178	2058	1.228
1619	0.831	1674	0.881	1729	0.930	1784	0.980	1839	1.030	1894	1.080	1949	1.129	2004	1.179	2059	1.229
1620	0.832	1675	0.882	1730	0.931	1785	0.981	1840	1.031	1895	1.080	1950	1.130	2005	1.180	2060	1.230
1621	0.833	1676	0.882	1731	0.932	1786	0.982	1841	1.032	1896	1.081	1951	1.131	2006	1.181	2061	1.231
1622	0.834	1677	0.883	1732	0.933	1787	0.983	1842	1.033	1897	1.082	1952	1.132	2007	1.182	2062	1.231
1623	0.835	1678	0.884	1733	0.934	1788	0.984	1843	1.033	1898	1.083	1953	1.133	2008	1.183	2063	1.232
1624	0.835	1679	0.885	1734	0.935	1789	0.985	1844	1.034	1899	1.084	1954	1.134	2009	1.184	2064	1.233

Fuente: San Martín

