UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

"DISEÑO DE CARGA Y AMARRE PARA OPTIMIZAR LA VOLADURA Y SU IMPACTO ECONÓMICO EN EL TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS 2018"

TESIS

PRESENTADO POR:

Bach, RONAL HUARACCO ANAMPA

Bach. WIDMAN QUINTANILLA MONZÓN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ABANCAY - PERÚ

2019

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS

Tesis

"DISEÑO DE CARGA Y AMARRE PARA OPTIMIZAR LA VOLADURA Y SU IMPACTO ECONÓMICO EN EL TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS 2018"

Presentado por los **Bach. RONAL HUARACCO ANAMPA Y Bach. WIDMAN QUINTANILLA MONZÓN**, para optar el Título de ingeniero de minas

Sustentado y aprobado el martes, 22 de octubre del 2019 ante el jurado:

Presidente: _____

Ing. José Adolfo Cárdenas Catalán

Primer Miembro: _____

Ing. Giovanni Frisancho Triveño

Segundo Miembro: _____

Ing. Darío Dante Sánchez Castillo

Asesor: _____

Mtro. Franklin Aguirre Huillcas

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Agradecimiento

Agradecer a los Residentes: Ing. Jaime Mego Cabrera, Ing. Orlan Revilla Ulloa e Ing. Ronal Alva. Por el apoyo brindado durante el proceso de mi desarrollo profesional en la Empresa ***Orica Mining Services Perú S.A.****, de la misma manera al Asesor de Tesis Ing. Franklin Aguirre Huillcas en la elaboración de la presente Tesis.*

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Dedicatoria

En memoria de Antonia Gutiérrez Tencco

.

A mis padres, Nancy Monzón y Metodeo Quintanilla por su apoyo incondicional.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 1

RESUMEN 2

ABSTRACT 3

CAPÍTULO I 4

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 4

1.1 Descripción del problema 4

1.2 Enunciado 5

a) General 5

b) Específicos 5

1.3 Objetivos 5

a) General 5

b) Específicos 5

1.4 Justificación 6

1.5 Delimitación 6

CAPÍTULO II 7

MARCO TEÓRICO 7

2.1 Antecedentes 7

2.2 Marco referencial 9

2.2.1 Ubicación 10

2.2.2 Accesibilidad. 10

2.2.3 Fisiografía 10

2.2.4 Flora 10

2.2.5 Ecología 11

2.2.6 Fauna 11

2.2.7 Clima y meteorología 12

2.2.7.1 Temperatura 12

2.2.7.2 Humedad relativa y evaporación 12

2.2.8 Geología regional 13

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.9 Geología local 14
2.2.10 Mineralización en el tajo Ferrobamba 15
2.2.11 Geología estructural 16
2.2.12 Diseño geométrico de las voladuras 16
2.2.12.1 Diámetro del taladro 16
2.2.12.2 Altura del Banco 17
2.2.12.3 Burden 19
2.2.12.4 Espaciamiento 20
2.2.12.5 Longitud de perforación 21
2.2.12.6 Sobre perforación 21
2.2.12.7 Malla de peroración 22
2.2.13 Cálculo y distribución de la carga explosiva 22
2.2.13.1 Columna explosiva 22
2.2.13.2 Distribución de los explosivos en los taladros 22
2.2.13.2.1 Carga de fondo 24
2.2.13.2.2 Carga de columna 24
2.2.13.2.3 Selección del Taco 24
2.2.13.2.4 Determinación teórica de taco (SD) 25
2.2.14 Diseño de taladros amortiguados 28
2.2.14.1 Definición de tronadura amortiguada por análisis de velocidad critica de la roca 29
2.2.14.2 Diámetro de perforación en taladros amortiguados 29
2.2.14.3 Voladura amortiguada por el método de cráter 29
2.2.15 Diseños de amarre e iniciación 30
2.2.15.1 Determinación del tiempo entre taladros 30
2.2.15.2 Determinación del tiempo entre filas de taladros 31
2.2.16 Diseños de voladura 32
2.2.16.1 Diseño en echelon 32
2.2.16.2 Diseño en “V” 33
2.2.16.3 Diseño en rombo 33
2.2.16.4 Diseño de tronaduras de contorno 34

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.17 Aplicación de la geomecánica en la voladura 34
2.2.17.1 Clasificación geomecánica RMR 34
2.2.17.2 Designación de la calidad de rocas (RQD) 35
2.2.17.3 Impedancia 36
2.2.17.4 Velocidad de onda p (vp) 36
2.2.18 Explosivo 37
2.2.18.1 Velocidad de detonación de un explosivo 37
2.2.18.2 Presión de detonación 37
2.2.18.3 Clasificación de los explosivos 38
2.2.18.4 Agentes de voladura 38
2.2.18.4.1 Emulsión 39
2.2.18.4.2 ANFOs 40
2.2.18.4.3 ANFO Pesado 41
2.2.18.4.4 ANFO Pesado gasificado 43
2.2.18.5 Determinación de costos de los explosivos 45
2.2.18.6 Sistema de iniciación electrónica 46
2.2.18.6.1 Detonador totalmente programable i-kon 47
2.2.18.6.2 Logger 47
2.2.18.6.3 Blaster 48
2.2.18.7 Sistema de iniciación no electrónica. 48
2.2.18.7.1 Excel MS 48
2.2.19 Vibraciones 49
2.2.19.1 Amplitud de la Vibración 50
2.2.19.2 Frecuencia 51
2.2.19.3 Velocidad 51
2.3 Definición de términos 51
CAPÍTULO III 55
DISEÑO METODOLÓGICO 55
3.1 Definición de Variables 55
3.1.1 Variables independientes 55

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

3.1.1.1 Definición conceptual 55
3.1.1.2 Definición operacional 55
3.1.2 Variables dependientes 55
3.1.2.1 Definición Conceptual 55
3.1.2.2 Definición operacional 55
3.2 Operacionalización de variables 56
3.3 Hipótesis de la Investigación 57
3.3.1 Hipótesis general 57
3.3.2 Hipótesis específicas 57
3.4 Tipo y diseño de la investigación 57
3.4.1 Tipo de investigación 57
3.4.2 Diseño de investigación 57
3.5 Población y muestra 58
3.5.1 Población 58
3.5.2 Muestra 58
3.6 Procedimiento de la investigación 58
3.6.1 Primera etapa: Recopilación de información. 58
3.6.2 Segunda etapa: Secuencia de toma de datos 58
3.6.3 Tercera etapa: Pruebas de voladura 58
3.6.4 Cuarta etapa: Medición y evaluación 59
3.6.5 Procesamiento y análisis de datos 59
3.7 Material de investigación 59
3.7.1 Instrumentos de investigación 59
3.7.2 Plan de tratamiento de datos 59
3.7.2.1 Técnicas estadísticas 59
CAPÍTULO IV 60
RESULTADOS 60
4.1 Descripción de los resultados 60
4.1.1. Linea de base de los parámetros de voladura 60
4.1.1.1. Diseño de carga del proyecto 3900_17,18 (línea de base) 60

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.1.2. Amarre y secuencia de salida del proyecto 3900_17,18 62
4.1.1.3. Análisis de fragmentación del proyecto 3900_17,18 (línea de base) 63
4.1.2. Diseños de carga y amarre..... 65
4.1.2.1. Distancia escalada del burden (SD)..... 65
4.1.3. Remplazo de la emulsión Advantage por una emulsión Extra..... 66
4.1.3.1. Comparativo de la energía para una adecuada selección del agente explosivo..... 66
4.1.4. Determinación de la impedancia 68
4.1.5. Diseño de amarre e iniciación de taladros..... 69
4.1.6. Evaluación del rendimiento de la iniciación de la carga explosiva..... 72
4.1.7. Pruebas realizadas usando HA Extra gasificado 77
4.1.7.1. Configuración de carga del proyecto 3885 -015 77
4.1.7.2. Diseño de carga para taladros de producción del proyecto 3885 - 15..... 78
4.1.7.3. Diseño de carga en taladros de contorno del proyecto 3885 - 15..... 80
4.1.7.4. Diseño de carga en taladros de desmonte del proyecto 3885 - 15..... 81
4.1.7.5. Carguío de taladros del proyecto 3885 - 15 82
4.1.7.6. Diseño de amarre del proyecto 3885-15..... 87
4.1.7.7. Análisis de fragmentación del proyecto 3885 – 15 87
4.1.7.8. Configuración de carga del proyecto 3885 -27,28,29 89
4.1.7.9. Diseño de carga para taladros de producción del proyecto 3885 – 27,28 y 29 90
4.1.7.10. Diseño de amarre del proyecto 3885 – 27,28 y 29..... 92
4.1.7.11. Análisis de fragmentación del proyecto 3885 – 27,28 y 29 94
4.1.7.12. Evaluación de la retención de taco como parte del diseño de voladura 95
4.1.7.13. Análisis granulométrico del steming usado en el proyecto 3885_27-28-29 95
4.1.7.14. Medición de Fly Rock de proyecto 3885_27-28-29..... 97
4.1.8. valuación económica del diseño de carga y amarre de la voladura en el Tajo Ferrobamba 119
4.1.9. Influencia de la fragmentación en los procesos de chancado y molienda 124
4.1.10. Incremento del rendimiento en los procesos de chancado y molienda..... 126
4.2 Discusión de resultados..... 127
CAPÍTULO V..... 131
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 131

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

5.1. Conclusiones 131

5.2. Recomendaciones 132

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA 133

ANEXOS 136

ANEXO 01: Calculo de la longitud de taco utilizando el criterio de chiappetta 136

ANEXO 02: Calculo de la energía para emulsión fortis extra y fortis advantage 140

ANEXO 03: Parámetros de perforación y voladura las pruebas de VOD del nivel 3870 – 007 142

ANEXO 04: Iniciación del proyecto del 3885_15 144

ANEXO 05: Figura de desplazamiento del mineral y desmonte 3885-15 145

ANEXO 06: simulación y análisis de detonación del proyecto 3885 – 27, 28, 29 146

ANEXO 07: Simulación del proyecto 3870-09-011 148

ANEXO 08: Valores de velocidad pico partícula en diferentes tiempos 150

ANEXO 09: Reporte de sismografía Jahuapaylla Alta 3885_027-028-029 151

ANEXO 10: Tabla de densidades de carga en función al diámetro y densidad del explosivo 152

ANEXO 11: Ficha técnica del Fortis Extra 153

ANEXO 12: Ficha técnica del Fortis Advantage 154

ANEXO 13: Ficha técnica del Vistis 155

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Accesibilidad a la Unidad Minera Las Bambas 10
Tabla 2: Problemas potenciales relacionados con la relación de rigidez 18
Tabla 3: relación entre altura de banco, diámetro de barreno y equipo de carga recomendado..... 19
Tabla 4: Constantes según la clase de roca y tipo de explosivo 20
Tabla 5: valores típicos de factor de carga en diversas clases de rocas para voladuras en banco a cielo abierto..... 23
Tabla 6: constante de tiempo entre taladros 31
Tabla 7: constante de tiempo entre filas..... 32
Tabla 8: Clases de macizo rocosos según el RMR..... 34
Tabla 9: Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca 35
Tabla 10: Parámetros geomecánicos del Tajo Ferrobamba 36
Tabla 11: Mezclas explosivas de ANFO pesado..... 42
Tabla 12: Operacionalización de variables 56
Tabla 13: Parámetros de perforación y voladura (línea de base). 61
Tabla 14: Línea de base de los proyectos de voladura. 64
Tabla 15: Valores 65
Tabla 16: Longitud de taco en función a la teoría establecida por chiappetta. 65
Tabla 17: Diseños de carga propuestos. 66
Tabla 18: Parámetros de perforación para establecidos para cada tipo de agente explosivo. 67
Tabla 19: Comparativo entre las emulsiones usadas..... 67
Tabla 20: Comparación del Booster de 1 libra y 2 libras 75
Tabla 21: Beneficio con el cambio del Booster de 1 libra por el de 2 libras..... 76
Tabla 22: Toma de densidades a los camiones fábrica durante el proceso de carguío de taladros del proyecto 3885-15. 85
Tabla 23: Parámetros de perforación y voladura del proyecto 3885-15 mineral y desmonte. 86
Tabla 24: parámetros de perforación y voladura del proyecto nivel 3885 proyectos 27-28-29. 92
Tabla 25: Coordenadas de los fragmentos proyectados producto de la voladura 98
Tabla 26: valores posibles que resuelven la ecuación para hallar la carga en taladros de buffer..... 99
Tabla 27: Prueba realizada de sobre quiebre del proyecto 3870-005 (Línea base)..... 103
Tabla 28**:** Parámetros de perforación y voladura para taladros de contorno del proyecto 3870-09-011. 108
Tabla 29: Resultados de medición del sobre quiebre al Norte 110
Tabla 30: Resultados de medición del sobre quiebre al Oeste del proyecto 3870_09_11 111
Tabla 31: Tiempos de menor daño a taludes en las zonas del tajo Ferrobamba 118
Tabla 32: Costo de mezclas explosivas..... 119
Tabla 33: Comparativo de costos en diferentes tipos de diseño de carga. 120

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 34: longitud del taco de acuerdo al SD 128
Tabla 35: Parámetros de perforación y voladura para el booster de 1lb 142
Tabla 36: Parámetros de perforación para el booter de 2 lb..... 143

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 : Análisis de fragmentación del proyecto 3900_17,18. 63
Gráfico 2: Análisis granulométrico del nivel 3885 proyectos 27-28-29. 89
Gráfico 3: Análisis granulométrico del nivel 3885 proyectos 27-28-29. 95
Gráfico 4: Análisis de fragmentación del steming. 97
Gráfico 5: sobre quiebre del proyecto 3870 - 05. (Línea base). 103
Gráfico 6: Comparación entre diferentes mezclas. 104
Gráfico 7: Sobre quiebre real al norte del proyecto del proyecto 3705-005-009 111
Gráfico 8: Sobre quiebre real al Oeste del proyecto del proyecto 3705-005-009 112
Gráfico 9: Relación de Amplitud Vs. El tiempo de retardo entre taladros del proyecto3960 -014-015. 114
Gráfico 10: Reporte del sismógrafo del proyecto 3960 – 25..... 117
Gráfico 11: Comparación de costo entre HA 70/30 Advantage y HA 65/35 Extra. 121
Gráfico 12: Comparación de costo entre HA 65/35 Extra y Vistis 250. 122
Gráfico 13: Comparación de costo entre HA 65/35 Extra y Carga combinada HA 65/35 Y Vistis 250. 122
Gráfico 14: Comportamiento del costo y factor de carga frente a la fragmentación del HA 73 Advantage y HA 65/35 Extra. 123
Gráfico 15: Comportamiento del costo y factor de carga frente a la fragmentación del HA 65/35 Extra y HA Aluminizado. 124

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación geográfica de la Unidad Minera Las Bambas. 9
Figura 2: Geología regional y principales yacimientos de pórfidos y skarns de Cu – Mo relacionados con intrusivos del Eoceno – Oligoceno del Batolito de Andahuaylas – Yauri. 13
Figura 3: Columna estratigráfica del distrito minero "Las Bambas". 15
Figura 4: Relación entre velocidad de detonación y el diámetro del taladro. 17
Figura 5:Relación Altura de banco / Diámetro de perforación. 19
Figura 6: Malla de perforación. 22
Figura 7: Distribución del explosivo. 23
Figura 8: Efectos del SD en la determinación de la longitud del taco. 25
Figura 9: Detonación de la carga explosiva a una longitud dada. 26
Figura 10: esquema de iniciación en echelon. 32
Figura 11: esquema de iniciación en V. 33
Figura 12: esquema de iniciación en echelon. 33
Figura 13: Clasificación de los explosivos Industriales. 38
Figura 14: Esquema de una Emulsión. 39
Figura 15: Variación de la energía termo dinámica y velocidad de detonación del ANFO con el contenido gas-oil. 40
Figura 16: Estructura del ANFO Pesado. 41
Figura 17: Componentes del Anfo pesado gasificado. 43
Figura 18: Gases de nitrógeno producido por la reacción. 44
Figura 19: Diseño de carga de taladros con ANFO Pesado antes y después de ser gasificada. 44
Figura 20: costos relativos de perforación y voladura en rocas duras para distintas alternativas de carga. 45
Figura 21: relaciones entre las PRP y las PRV de distintas combinaciones de explosivos de ANFO , Emulsión y ANFO Pesado con diferentes adiciones de aluminio. 46
Figura 22: Detonador totalmente programable i-kon. 47
Figura 23: Logger. 47
Figura 24: Blaster. 48
Figura 25: Excel MS. 49
Figura 26: Ondas generadas por voladura. 49
Figura 27: Se muestra el espectro de ondas que se generan en el momento de la detonación de una mezcla explosiva comercial cargada dentro de un taladro. 50
Figura 28: Muestra las propiedades básicas de las ondas. 50
Figura 29: Diseño de la investigación. 57
Figura 30: Mallas de perforación del nivel 3900, proyecto 17,18. 60
Figura 31: Diseño de carga para taladros de producción (línea de base) 61
Figura 32: Diseño de amarre y líneas de isotiempo (línea de base) 62

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Figura 33: Cambio de dirección en una malla triangular. 70
Figura 34: Burden reliff..... 71
Figura 35: líneas de isotiempos. 72
Figura 36: Configuración de carga de los taladros con iniciación de media y una libra. 73
Figura 37: Taladros de prueba para detonación del Booster de media y una libra..... 74
Figura 38: cálculo de velocidades de detonación del Booster de 1 libra y de 2 libras con el microtrap. 75
Figura 39: Diseños de carga para la malla del proyecto 3885-015 mineral. 78
Figura 40: Diseño de carga y malla del proyecto 3885-15..... 79
Figura 41: Diseño de taco del proyecto 3885 - 15 79
Figura 42: Diseño de carga para la zona de mineral proyecto 3885 - 15. 80
Figura 43: Diseño de carga para taladros de contorno proyecto 3885 – 15. 81
Figura 44: Diseño de carga para la zona de desmonte. 82
Figura 45: Curva de Gasificación de la primera muestra correspondiente a la mezcla explosiva 73 en el proyecto 3885_15. 84
Figura 46: Gasificación de taladros de producción del 3885-15. 85
Figura 47: Diseño de amarre del proyecto 3885_015. 87
Figura 48: Diseños de carga para la malla del proyecto 3885-27-28-029 mineral. 90
Figura 49: Diseño de carga del proyecto 3885-27-28-029 mineral..... 91
Figura 50: Importación de los puntos en el SHOTPlus para el diseño de la malla. 92
Figura 51: Mediciones de alcance de fly rock..... 97
Figura 52: Diseño de carga para taladros en la buffer en la zona de mineral para el nivel 3780 - 17. 100
Figura 53: Línea de base de la configuración de carga. 102
Figura 54: Diseño de carga para taladros de mineral para el nivel 3870 – 09 -11. 104
Figura 55: levantamiento del proyecto 3870 – 09 -011..... 105
Figura 56: Diseño de amarre para el control de sobre quiebre del proyecto 3870-09-011. 106
figura 57: puntos de referencia colocados a 15 m del límite del proyecto de voladura. 107
Figura 58: Diseño de amarre del proyecto 3960 -014-015..... 113
Figura 59: Diseño de marre del proyecto 3960 – 25. 115
Figura 60: Mineral alimentado a chancado primario 126
Figura 61: Histograma Thoughput SAG 1/ SAG 2 127
Figura 62: Reducción de taco para mejorar la fragmentación..... 127
Figura 63: Diseño de carga para taladros en la buffer en la zona de mineral para el nivel 3945. 130
Figura 64 : Diseño de carga cuando el SD toma el valor de 0.92 m/kg1/3 137
Figura 65: Diseño de carga cuando el SD toma el valor de 1.4 m/kg1/3 138
Figura 66: Diseño de carga cuando el SD es de 1.16 m/kg$^{1/3}$..... 139
Figura 67: Configuración de carga con booster de 1 libra 142
Figura 68: Configuración de carga para el booster de 2 libras..... 143

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1: Carguío de taladros con el camión fábrica. 43
Fotografía 2: proyecto 3900_17,18. 62
Fotografía 3: Fragmentación del proyecto 3900_17,18 63
Fotografía 4: Malla de perforación del proyecto 3885_015. 77
Fotografía 5: Proceso de gasificación de la mezcla en el Proyecto 3885_15. 83
Fotografía 6: Carguío de taladros del proyecto 3885-15. 86
Fotografía 7: Resultados post-voladura proyecto 3885 – 15. 88
Fotografía 8: Foto de fragmentación del nivel 3885 proyectos 15. 88
Fotografía 9: Malla de voladura del proyecto 3885-27,28,29. 89
Fotografía 10: Voladura con ligera presencia de gases. 93
Fotografía 11: Resultado de la voladura. 94
Fotografía 12: Foto de fragmentación del nivel 3885 proyectos 27-28-29. 94
Fotografía 13: Material de steming usado en el proyecto 3885-27, 28,29. 96
Fotografía 14: tomas fotográficas para el análisis de fragmentación del steming. 96
Fotografía 15: sobre quiebre en el nivel 3870 – Proyectos 005. 101
Fotografía 16: Puntos de referencia colocados a 15 metros del límite de voladura del proyecto 3870-005. 102
Fotografía 17: Línea de referencia a lo largo de la plataforma para el estudio del sobrequiebre del proyecto 3870-09-011. 109
Fotografía 18: puntos de referencia al oeste y norte respectivamente del proyecto 3870-09-011. ... 109
Fotografía 19: Resultados medición de quiebre al norte del proyecto 3870-09-011. 110
Fotografía 20: Ubicación de falla en zona de fase II. 113
Fotografía 21: Proyecto 3960-25. 115
Fotografía 22: Detonación del proyecto del proyecto 3960 – 25. 116

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

“DISEÑO DE CARGA Y AMARRE PARA OPTIMIZAR LA VOLADURA Y SU IMPACTO ECONÓMICO EN EL TAJO FERROBAMBA – LAS BAMBAS 2018”

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

INTRODUCCIÓN

La voladura es una de las etapas de mayor relevancia en la operación del ciclo minero y sus resultados condicionan en gran medida los rendimientos y los costos de las operaciones subsiguientes. En los procesos de voladura se inician a partir de evaluaciones técnicas y económicas, donde se establecen diseños de carga en los que se propone distintos agentes de voladura a granel, como el ANFO y ANFO Pesado a base de emulsión matriz para el arranque de la roca dependiendo de las condiciones geomecánicas de la roca, así como tiempos de iniciación.

Actualmente se diseñan las cargas explosivas en los taladros con ANFO o diferentes mezclas de ANFO Pesado. Estudios realizados tanto en laboratorio como en otras operaciones mineras, han demostrado que la emulsión gasificable como componente del ANFO Pesado, tiene ventajas frente a la emulsión matriz no gasificable.

En el área de Perforación y Voladura, se busca hacer todas las mejoras posibles, logrando reducir costos o mejorar los procesos operativos, sin alterar la productividad de los equipos de minado.

Tanto los Proyectos Mineros como otras actividades industriales, no afines a minería, que demandan la realización de voladuras, deben lidiar con el impacto que generan sobre la comunidad el uso de explosivos, ya sea que se manifiestan como daño sobre infraestructuras circundantes. Ante ésta realidad, surge la necesidad de monitorear y controlar el impacto ambiental producido por vibraciones y ondas de presión aérea, y de ser necesario rediseñar la voladura para mitigar sus efectos.

La presente tesis muestra cómo se puede mejorar el proceso de voladura a través de la correcta elección del explosivo, diseños de carga e iniciación que permitan mejorar no solo la fragmentación sino reducir el sobre quiebre y reducir las vibraciones generadas a través del estudio de onda elemental.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

RESUMEN

El presente trabajo de investigación está enfocado al diseño de carga con mezclas explosivas y amarre para optimizar la voladura y su impacto económico en el tajo ferrobamba. Durante el desarrollo ha sido necesario tomar en consideración las variables como longitudes de taco, carga, malla de perforación, tipo de explosivo, tiempos de iniciación y diseños de amarre para luego realizar pruebas aplicando los diferentes diseños de carga con mezclas explosivas y diseños de amarre, para luego evaluar la fragmentación, velocidad de detonación (VOD), vibraciones y sobre quiebre, para lo cual se ha hecho uso de herramientas como el sismógrafo, los softwares como microtrap, wipfrag, SHOTPlus para realizar las simulaciones de los diferentes proyectos de voladura.

Para el desarrollo de la investigación se ha realizado pruebas en los niveles de 3885, 3870, 3705 y 3960 del tajo ferrobamba. El objetivo de esta investigación es definir nuevos diseños de carga con explosivos y amarre para mejorar la fragmentación reducir el sobre quiebre y las vibraciones generadas por voladura, así como el impacto económico que implica estos nuevos diseños.

Con los resultados de las pruebas realizadas se pudo establecer un taco de 5 metros, con una longitud de carga comprendida entre 10.5 metros y 11 metros en taladros de 16 m, con el uso de una mezcla explosiva conformada por HA 65/35 Extra como agente explosivo principal y un HA Aluminizado para zonas de alta ley. En la evaluación de las voladuras realizadas se observa una reducción del P80 de 6 pulgadas a 2.68 pulgadas, esto supone un incremento en el costo de 0.16 $/ TM a 0.70 $/TM. Sin embargo, con la mejora de la fragmentación, el rendimiento en los molinos se incrementó en un 5.1%. Con el cambio de mezcla explosiva del HA 65/35 Extra por una Emulsión 100 % Extra en las zonas de contorno se pudo reducir el sobre quiebre en 3.9 metros en promedio. Se estableció una carga de 300 Kg de Emulsión 100 % en los taladros de buffer y en la segunda de buffer se definió un taco intermedio de 2 metros, con una carga de fondo y columna de 600 kg conformada por un HA 65/35 Extra, esto para no comprometer la fragmentación requerida. A través del estudio de onda elemental se pudo determinar los tiempos en el que se produce una menor amplificación de la vibración, los nuevos tiempos en el diseño permitieron reducir la vibración.

Palabras clave: diseño, fragmentación, impacto económico, sobre quiebre, vibraciones.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ABSTRACT

The present research work is focused on the design of loading with explosive mixtures and mooring to optimize blasting and its economic impact on the ferrobamba pit. During the development it has been necessary to take into account the variables such as block lengths, load, drilling mesh, type of explosive, initiation times and mooring designs to then carry out tests applying the different load designs with explosive mixtures and mooring designs , then evaluate the fragmentation, detonation speed (VOD), vibrations and breakage, for which tools such as the seismograph, softwares such as microtrap, wipfrag, SHOTPlus have been used to perform the simulations of the different blasting projects .

For the development of the investigation, tests have been carried out at levels 3885, 3870, 3705 and 3960 of the ferrobamba pit. The objective of this investigation is to define new designs of explosive loading and mooring to improve fragmentation, reduce the breakage envelope and the vibrations generated by blasting, as well as the economic impact of these new designs.

With the results of the tests carried out it was possible to establish a block of 5 meters, with a load length between 10.5 meters and 11 meters in holes of 16 m, with the use of an explosive mixture formed by HA 65/35 Extra as agent main explosive and an aluminum foil HA for high grade areas. In the evaluation of the blasting made, a reduction of the P80 from 6 inches to 2.68 inches is observed, this implies an increase in the cost of $ 0.16 / MT to $ 0.70 / MT. However, with the improvement of fragmentation, the mill performance increased by 5.1%. By changing the explosive mixture of the HA 65/35 Extra with a 100% Extra Emulsion in the contour areas, the breakage envelope could be reduced by 3.9 meters on average. A load of 300 Kg of 100% Emulsion was established in the buffer holes and in the second buffer an intermediate block of 2 meters was defined, with a bottom and column load of 600 kg formed by an Extra 65/35 HA, this so as not to compromise the required fragmentation. Through the elementary wave study it was possible to determine the times in which a lower amplification of the vibration occurs, the new times in the design allowed to reduce the vibration by 28.7 mm / s on average.

Keywords: design, fragmentation, economic impact,back break, vibrations.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

CAPÍTULO I
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del problema

La voladura es una de las etapas de mayor relevancia en la operación del ciclo minero y sus resultados condicionan en gran medida los rendimientos y los costos de las operaciones subsiguientes.

La presente tesis se desarrolla con la finalidad de mejorar los resultados obtenidos por voladura en cuanto a granulometría, ya que esta muestra un P80 de 6 pulgadas en promedio, esta fragmentación gruesa va acompañado por la generación de bolones los cuales requieren de voladura secundaria, por otro lado el sobre quiebre generado por voladura en los distintos niveles es de aproximadamente 12 metros en la zona de mineral, afectando las plataformas de perforación subsiguientes. También se han generado deslizamientos en el talud de Jahuapaylla Alta por el alto nivel de vibraciones.

Las causas de estos resultados se dan por el diseño de carga ya que en los taladros de producción y taladros de contorno el taco es de 9 metros, para un taladro de 16,5 metros, esta longitud viene a ser excesiva considerando que la fragmentación gruesa proviene de esta zona. La mezcla explosiva utilizada tanto en taladros de producción como en taladros de contorno es el Heavy ANFO (HA) gasificado en las siguientes proporciones HA 46, HA 55 y HA 64, la malla en su totalidad se carga con un solo tipo de explosivo, preferentemente un HA 64 y HA 73, ya que estas mezclas explosivas son resistentes a la presencia de agua por su mayor contenido de emulsión.

El diseño de carga en taladros de buffer o amortiguamiento está conformado por un HA 73 Gasificado lo que ha generado sobre quiebres en los bancos, por otro lado el tiempo entre taladros y filas de todas las voladuras cercanas a los taludes son los mismos provocando el aumentando las vibraciones y comprometiendo la estabilidad de los mismos.

Tanto los diseños de carga, tipo de explosivo y diseños de amarre inadecuados aumentan los costos de perforación y voladura, generan un sobre quiebre que perturba el macizo rocoso imposibilitando que los taladros perforados de la siguiente plataforma armen, produzcan deslizamientos de roca por la perturbación de las fallas o inestabilidad de los taludes, disminuyen el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo, aumentan el costo de trituración y conminación en chancadora y planta por la fragmentación gruesa.

Para mejorar la fragmentación, mitigar el sobre quiebre y disminuir las vibraciones se modificó la composición del Heavy Anfo Gasificado y rediseño de las longitudes de carga y amarre en taladros de producción, contorno y buffer, tomando en cuenta el criterio establecido por Chiappetta, de la misma manera se estableció nuevos tiempos entre taladros para disminuir las vibraciones a través del estudio de onda elemental en las voladuras cercanas a las fallas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

1.2 Enunciado

a) General

¿De qué manera los diseños de carga y amarre pueden optimizar la voladura e impactar económicamente en el tajo Ferrobamba - Las Bambas 2018?

b) Específicos

- ¿Cómo influye el diseño de carga y amarre en la fragmentación por voladura en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018?
- ¿Cómo influye el diseño de carga y amarre en la generación del sobre quiebre y las vibraciones producto de la voladura en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas 2018?
- ¿Cómo influye el diseño de carga y amarre en el aspecto económico de la voladura en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018?

1.3 Objetivos

a) General

Definir diseños de carga y amarre para optimizar la voladura y evaluar su impacto económico en el tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018.

b) Específicos

- Definir diseños de carga y amarre para mejorar la fragmentación por voladura en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018.
- Definir diseños de carga y amarre para reducir el sobre quiebre y las vibraciones en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas 2018.
- Realizar la evaluación económica del diseño de carga y amarre de la voladura en el Tajo Ferrobamba- Las Bambas 2018.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

1.4 Justificación

La presente tesis tiene por finalidad mejorar la fragmentación dado que esta tiene gran incidencia en los procesos posteriores como en el rendimiento de los equipos de carguío y acarreo ya que estos aumentan o disminuyen las toneladas movidas por hora, de la misma manera impacta directamente en los procesos de planta como en el rendimiento, capacidad, recuperación del metal de interés, consumo de energía específico de la roca, etc.

Por otro lado, los diseños inadecuados de carga y amarre influyen en la generación de sobre quiebre, perturbando la masa rocosa en los contornos de los proyectos próximos dificultando la perforación y aumentando la posibilidad de generar presiones dinámicas.

Los altos niveles de vibración producen perturbación en los taludes y más aún en las fallas, por lo que es necesario establecer diseños de carga y amarre que permitan generar un perfil uniforme para así compensar los costes de saneo y mantenimiento de taludes ya que estos son necesarios para garantizar las condiciones de trabajo.

1.5 Delimitación

1.5.1 Delimitación espacial

El proyecto de tesis se lleva a cabo en el tajo Ferrobamba las bambas, ubicado en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas, departamento de Apurimac.

1.5.2 Delimitación social

El proyecto de investigación involucra a los colaboradores del área de perforación y voladura de rocas, geología, seguridad, planeamiento y costos.

1.5.3 Delimitación temporal

El trabajo de investigación inicia en el mes de abril del año 2018, con las primeras pruebas con la finalidad de optar por el mejor diseño de carga con diferentes mezclas explosivas y diseños de amarre para optimizar la voladura, dichas pruebas culminan en el mes de agosto del año 2018.

1.5.4 Delimitación conceptual

El proyecto de investigación se centra dentro del área de ingeniería de minas. Abarcando los siguientes conceptos: Diseños de amarre en voladura, Costos, Fragmentación, Sobre quiebre y Vibraciones.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Zapana (2018), en su tesis "Implementación de un agente de voladura altamente energético (vistis) en macisos rocosos competentes de mineral, aumentando la producción y disminuyendo la granulometría CIA Minera Las Bambas", en sus resultados se muestra una mejora en la fragmentación y un aumento en la generación del % finos (< 1"), mejorando la productividad de los equipos de carguío y planta de procesos, se usa como línea base los resultados de fragmentación obtenidos con la emulsión Fortis Extra. Usando la emulsión gasificada Vistis en la mezcla explosiva, se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, asimismo se disminuyó el costo en US$ 135,180 en promedio comparado con los resultados de los análisis realizados en proyectos disparado con Heavy ANFO.

García (2017), en su tesis "Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utilizando emulsión gasificada San-G en el tajo Chalarina de la mina Shahuindo – Cajabamba", concluyó que con el uso de un explosivo gasificado (San-G), se pudo ampliar la malla en un 4.1%, esto hizo de que la cantidad de taladros se redujera en 48 taladros cuando se utiliza San-G en reemplazo de HA 46. En ese mismo sentido, también se consiguió una reducción del costo unitario ($/TM) de perforación y voladura en un 23.2%. Con respecto a la granulometría se demostró que con el explosivo HA 46 se obtiene un P80 de 5.46 pulgadas y con el San – G un P80 de 2.84 pulgadas. Esta mejora en la granulometría disminuyó las horas de demora en las operaciones de carguío y acarreo.

Chiappetta (2016), en su articulo "Innovative Blasting Technologies to Improve Fragmentation, Plant Throughput and Productivity", menciona que la zona del taco es el responsable de la fragmentación gruesa, esto puede significar entre un 20 – 50% del volumen de la voladura asimismo recomienda el uso de piedra chancada angulosa entre 1 y 2 Pulgadas para cualquier diámetro de taladro. Por otro lado, recomienda que se debe considerar un SD igual a 1.2 para obtener un control de la energía y buena fragmentación en la zona del taco.

Gaona (2015), en su tesis " optimizacion de la voladura, mina la virgen - de la comprañia minera san simon S.A.", analizando los resultados del diseño actual (malla 3.5 m x 3.5 m x 6 m) y comparando con el diseño de aplicación (malla 4.5 m x 5.5 m x 12 m) se genera una optimización en los costos de perforación, voladura y en material explosivo lográndose una reducción considerable de los elevados

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

costos en voladuras secundarias. Con la nueva aplicación se disminuyó los costos a 0.26 $/ton, con el actual costo de 0.39 $/ton en perforación y voladura, con el aumento de la altura de los bancos se duplicará la producción y la disminución del costo por tonelada de material roto.

Carrasco (2015), en su articulo "Resoluciòn de vibraciones por voladura mediante inteligencia destructiva", menciona que en los últimos años, dos avances tecnológicos han revolucionado las posibilidades de utilización de la interferencia destructiva: los detonadores electrónicos y el software de procesado y simulación de vibraciones por voladura. Los estudios que combinan ambos como la herramienta más potente para la disminución y control de las vibraciones se conocen como estudios de Onda Elemental o de Onda Semilla. Se basan en el disparo de una sola carga explosiva, aislada, que permite caracterizar el terreno. O, lo que es lo mismo, permite saber cómo se transmite en amplitud y frecuencia la vibración en una localización específica. Una vez se obtiene esa huella digital del terreno, se procesa con un software avanzado de tratamiento de vibraciones.

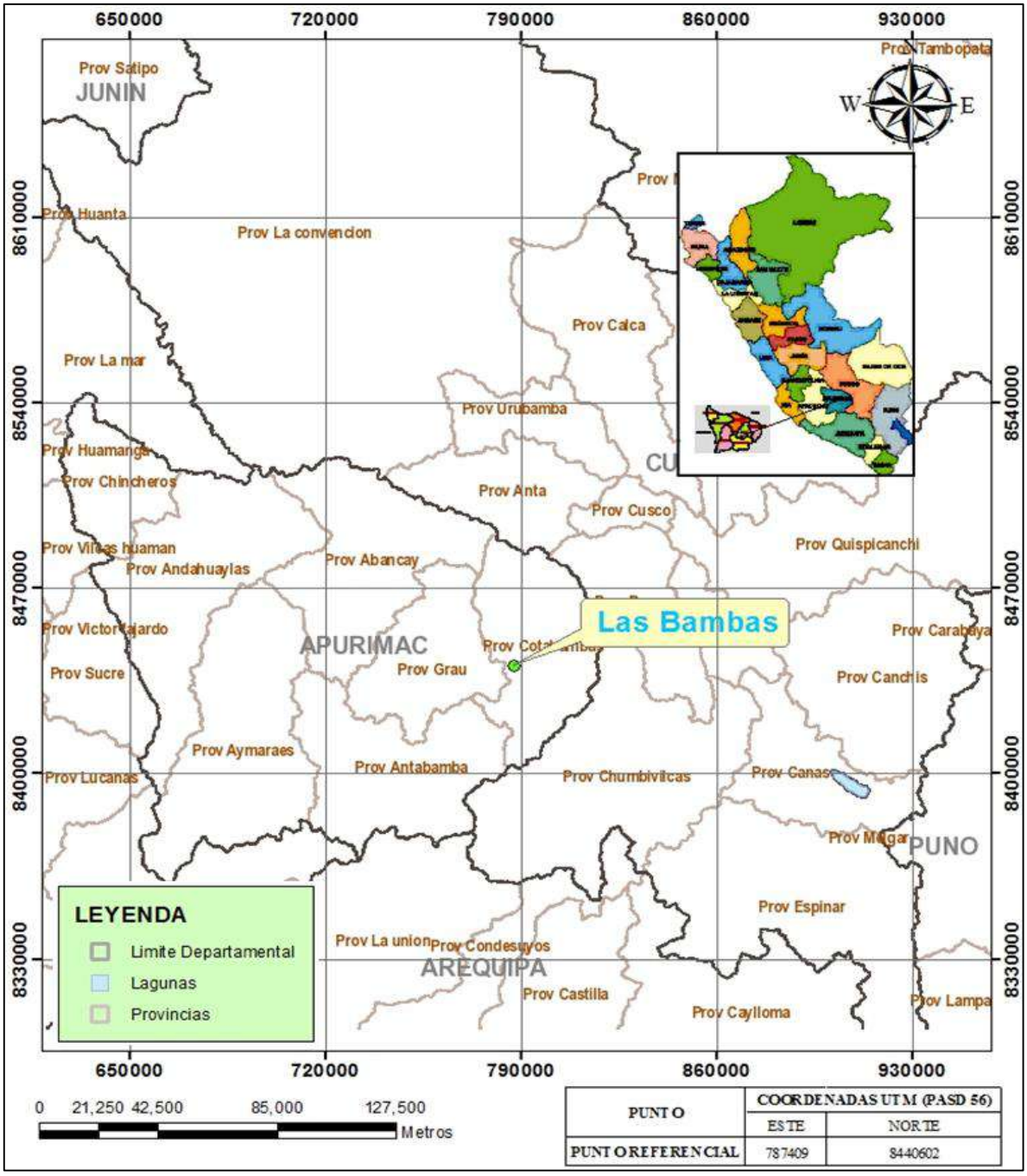
Peña (2014), en su tesis "Modelamiento, y control las vibraciones para evitar daños inducidos por la voladura de rocas de una operación minera superficial" cuyo objetivo es describir y analiza las vibraciones inducidas por la voladura de rocas. Se describió y analizó todo lo relacionado a las vibraciones inducidas por la voladura de rocas, luego se seleccionó el modelo matemático de Devine para campo lejano, para monitorear las vibraciones inducidas por la voladura de todos los disparos primarios que se realizaron dos estudios.

Hinostroza (2014), en su tesis "optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfiritico a cielo abierto", menciona como se redujo la longitud de taco de 7 m a 5.5 m, y la reducción de la malla de perforación de 7 m a 6.5 m de espaciamiento incrementándose el costo de perforación y voladura, así como el factor de carga. Por otro lado, el resultado de las diferentes pruebas realizadas de doble iniciación se demostró que el P80 se redujo, la velocidad de carguío de las palas ha disminuido y la producción diaria del mineral se ha incrementado.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2 Marco referencial

A continuación, se describe la ubicación geográfica, vías de acceso a mina y aspectos generales como Fisiografía, geología, clima, hidrografía y mineralización de la zona minera con la finalidad de brindar una mayor información para desarrollar la presente tesis.



PUNTO	COORDENADAS UTM (PASD 56)	
	ESTE	NORTE
PUNTO REFERENCIAL	787409	8440602

Figura 1. Ubicación geográfica de la Unidad Minera Las Bambas.

Fuente: GEOCAMIN.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.1 Ubicación

La Unidad Minera Las Bambas está ubicado en las provincias de Cotabambas y Grau del departamento de Apurímac a una altitud que varía entre 3700 y 4600 m.s.n.m., a 300 km al NE de la ciudad de Arequipa, abarca los yacimientos cupríferos de Ferrobamba, Chalcobamba - Charcas y Sulfobamba, con un área de concesión minera de 35,000 Ha.

2.2.2 Accesibilidad.

Desde Lima a Las Bambas usando una de las siguientes rutas:

Tabla 1: Accesibilidad a la Unidad Minera Las Bambas

Ruta		Distancia (Km)	Tiempo (hr)	Vía de acceso	Estado de acceso
Lima	Abancay	913	16 a 18	Terrestre	Asfaltada
Abancay	Cusco	186	4 a 5	Terrestre	Asfaltada
Cusco	Las Bambas	204	5 a 7	Terrestre	Trocha
Abancay	Las Bambas	213	6 a 7	Terrestre	Trocha

2.2.3 Fisiografía

El área de la operación de Las Bambas presenta una topografía bastante irregular, caracterizada por cumbres, quebradas poco profundas, llanuras y laderas de relieve suave. Las cumbres más altas son el cerro Chonta en Sulfobamba (4 682 msnm) y Pichacani en Chalcobamba (4 663 msnm); el relieve más bajo lo constituye las márgenes del Río Challhuahuacho (3 700 msnm).

Los relieves elevados y las superficies irregulares generalmente corresponden a afloramientos de calizas y rocas intrusivas y los relieves suaves corresponde a morrenas y rocas intrusivas de grano grueso; mientras que las llanuras están conformadas por sedimentos fluvio-glaciales (sectores Pamputa y Pumamarca).

El área presenta pendientes abruptas tanto al este como al oeste el cerro Pichacani, estas pendientes se vuelven más fuertes y pronunciadas desde la Quebrada Huascachaca hasta el poblado de Challhuahuacho, y se presentan paralelas al río Fuerabamba, encajonándolo y formando así un valle en la parte baja del proyecto.

2.2.4 Flora

Se identificaron 79 variedades de especies botánicas, agrupadas dentro de 37 familias diferentes. Las dicotiledóneas son la categoría taxonómica más representada, con el 59,5% (54 especies) del

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

total de familias. Por otro lado, las familias de las monocotiledóneas están presentes en un 10,8 % (12 especies).

Entre las dicotiledóneas, la familia más representativa son las asteraceas con el 42,6 % de especies (23 especies) y entre las monocotiledóneas lo son las poaceas con el 50 % de las especies (6 especies).

Para una mejor comprensión de la composición florística del entorno es necesaria una evaluación más completa que abarque la temporada húmeda.

2.2.5 Ecología

El área de influencia del Proyecto Minero Las Bambas se encuentra ubicado dentro de tres zonas de vida: Bosque Húmedo Montano Subtropical, Páramo Húmedo Subalpino Subtropical y la Tundra Húmeda Alpino Subtropical. Dentro del área de influencia existen las siguientes formaciones vegetales: pajonales, pajonales sobre pastoreados, 15 bofedales, vegetación ribereña y matorrales. Además de roquedales, lagunas, ríos y riachuelos.

Las formaciones vegetales más abundantes son en primer lugar los pajonales, los cuales en la zona de Ferrobamba suelen estar sobre pastoreados, y en segundo lugar de bofedales. La existencia de vegetación ribereña está presente básicamente en la zona de Alto Fuerabamba y Ferrobamba y la de matorrales se da tan solo en el cauce bajo del río Ferrobamba, y esporádicamente a lo largo de los caminos.

Es importante recalcar la destrucción de la vegetación en las partes altas de la zona de Ferrobamba debido a la existencia de pasivos ambientales producto de actividades de exploración realizadas con anterioridad.

2.2.6 Fauna

Se identificó un total de 32 especies diferentes de aves en el área de influencia del Proyecto Minero Las Bambas. Estas especies han sido 16 determinadas durante la estación seca, por lo que sería necesaria una posterior evaluación en la temporada húmeda.

En el área de estudio existen 5 lagunas, reportándose la presencia de avifauna acuática en tres de ellas, estas fueron las lagunas de Quelloacocha, Casanacocha y Totoracocha. En las dos lagunas restantes, Llancope y Jalancere, no se reportó su presencia.

De las cinco lagunas, es la Laguna Casanacocha la que presenta una mayor riqueza de especies, número de individuos y diversidad, con respecto a la avifauna estrechamente relacionada a ambientes acuáticos.

Sin embargo, en todas las lagunas, se pudo observar que estas presentan una escasa riqueza de especies, número de individuos y diversidad, debiendo influenciar en ello que el censo se realizó en

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

la estación seca, la escasa o nula vegetación circundante a las lagunas que pueda servir de refugio a las especies de aves, (a excepción de la Laguna Totoracocha) factores antrópicos, u otros más, que deberán ser analizados durante la realización del Estudio de Impacto Ambiental.

Estas cinco lagunas pueden ser usadas como indicadores, monitoreándose periódicamente la población de la avifauna presente en ellas, verificándose de esta manera posibles factores que puedan perturbarlas.

En el área de estudio se reportó la presencia de 12 especies de mamíferos.

Fue frecuente la presencia de caballos salvajes en la zona de Jancuchiri y Pamputa, por lo que es necesario llevar a cabo un estudio de esta población, determinándose su rango de distribución, confirmar su estatus de especie salvaje y darse las medidas de mitigación necesarias.

Con respecto a los reptiles y anfibios se identificó dos especies diferentes, por lo que es necesario realizar mayores estudios al respecto.

2.2.7 Clima y meteorología

El clima de la región es variado y se debe principalmente a la fisiografía del terreno y a la diferencia de cotas, así como a la presencia de la cordillera de los andes que obstaculiza el paso de las nubes haciendo que las precipitaciones se den mayormente en estas regiones. Entre los 4 000 y 4 600 msnm, se presentan nubes del tipo estratocúmulos que cubren toda el área dificultando la visibilidad.

En la Oficina General de Estadística e Informática del SENAMHI se puede obtener información de hasta cinco estaciones meteorológicas que existen en la zona del entorno del proyecto

2.2.7.1 Temperatura

Se reporta una Temperatura Media Anual de 13,6 C; el mes más caluroso resulta noviembre, con una temperatura media mensual de 16,1 C; y el mes más frío resulta Julio, con una temperatura media mensual de 11,9 C.

2.2.7.2 Humedad relativa y evaporación

La Humedad Relativa en base a los datos regionales de la estación del SENAMHI se estima en un promedio anual de 67,8%, siendo el mes de enero el de mayor Humedad Relativa con 83% y el mes de octubre el más bajo con 51% de Humedad Relativa. La evaporación de las aguas superficiales (evaporación de laguna) se estima para altitudes similares, en 700 mm/año como promedio anual.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.8 Geología regional

El origen y la evolución de los depósitos minerales en el Perú están relacionados a una serie de eventos magmáticos asociados a los procesos de subducción que tienen su origen en la fosa peruano chilena.

Un importante pulso de esta actividad magmática está representado por el batolito Andahuaylas – Yauri.

Más de una docena de distritos mineros se encuentran localizados hacia el oeste, sur y suroeste de la ciudad de Cusco, resaltando una alongada provincia que se extiende por aproximadamente 300 km, desde Andahuaylas por el NW hacia Yauri por el SE. Un número importante de ocurrencias ha sido nombrado en esta zona, pero para su mejor entendimiento ellas han sido nombradas en cluster, las cuales contienen más de un depósito mineral y más de un estilo de mineralización con características geológicas que indican que ellos se encuentran relacionados entre sí. Por ejemplo: El cluster de Tintaya, Las Bambas, Katanga, Cotabambas, Morosayhuas (Perelló et al., 2003).

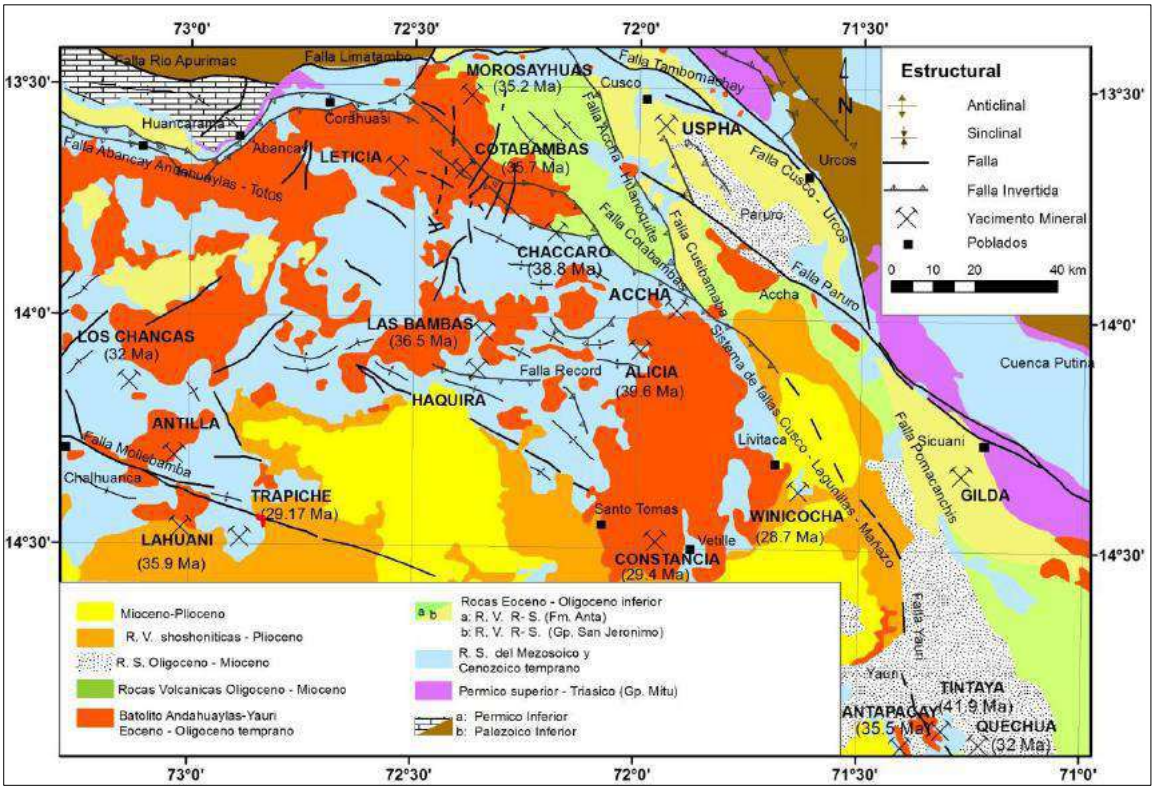


Figura 2: Geología regional y principales yacimientos de pórfidos y skarns de Cu – Mo relacionados con intrusivos del Eoceno – Oligoceno del Batolito de Andahuaylas – Yauri.
Fuente: (Llosa Tejada, y otros, 2003)

Las Bambas se compone de tres áreas principales Ferrobamba, Challcobamba y sulfobamba, asociadas a varias fases de intrusión de composición intermedia (Monzonitas) algunas de estas fases

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

con mineralización de tipo pórfido de Cu, Mo. La lito estratigrafía se caracteriza por presentar una gruesa secuencia sedimentaria con una unidad inferior constituida por areniscas (Fm. Soraya – Jurasico superior a cretáceo inferior), seguida por otra de limonitas y areniscas (Fm. Mara – cretacio inferior) con un cambio transicional hacia una unidad netamente calcárea (Fm. Ferrobamba – Cretacio medio), constituido por horizontes de calizas masivas. Existen formaciones cuaternarias tal como volcánico piro clástico que afloran en los flancos del rio Challhuahuacho y en otras quebradas en la parte sur; así como, morrenas y sedimentos fluvio-graciales ubicados en diferentes sectores del proyecto.

Existen diferentes pulsos magmáticos, habiéndose iniciado con una fase dioritica, seguido por una granodiorita, ambas de alcance regional, cortados en varios sectores por diferentes fases locales de monzonitas, así como diques tardíos de latita y otros, como son en ferrobamba chalcobamba y sulfobamba y otros.

2.2.9 Geología local

El área de Las Bambas está conformada por tres yacimientos que son Ferrobamba, challcobamba y sulfobamba, en estos se presentan rocas de naturaleza ácida a intermedia constituidas por granodioritas monzonitas respectivamente, y que intruyen a las rocas sedimentarias y entre ellas a la caliza del Cretáceo inferior-superior de la Formación Ferrobamba.

La formación de los cuerpos de skarn en las diferentes áreas, están relacionados a más de una fase de monzonita, cada una de estas faces a mineralizado ya sea, en menor o mayor grado los cuerpos de skarn. Por otro lado existen cuerpos grandes de skarn que han sido formados por la diorita en contacto con las calizas Ferrobamba, como son Challcobamba y Sulfobamba a excepción de las faces monzoníticas esta no tiene mineralización.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

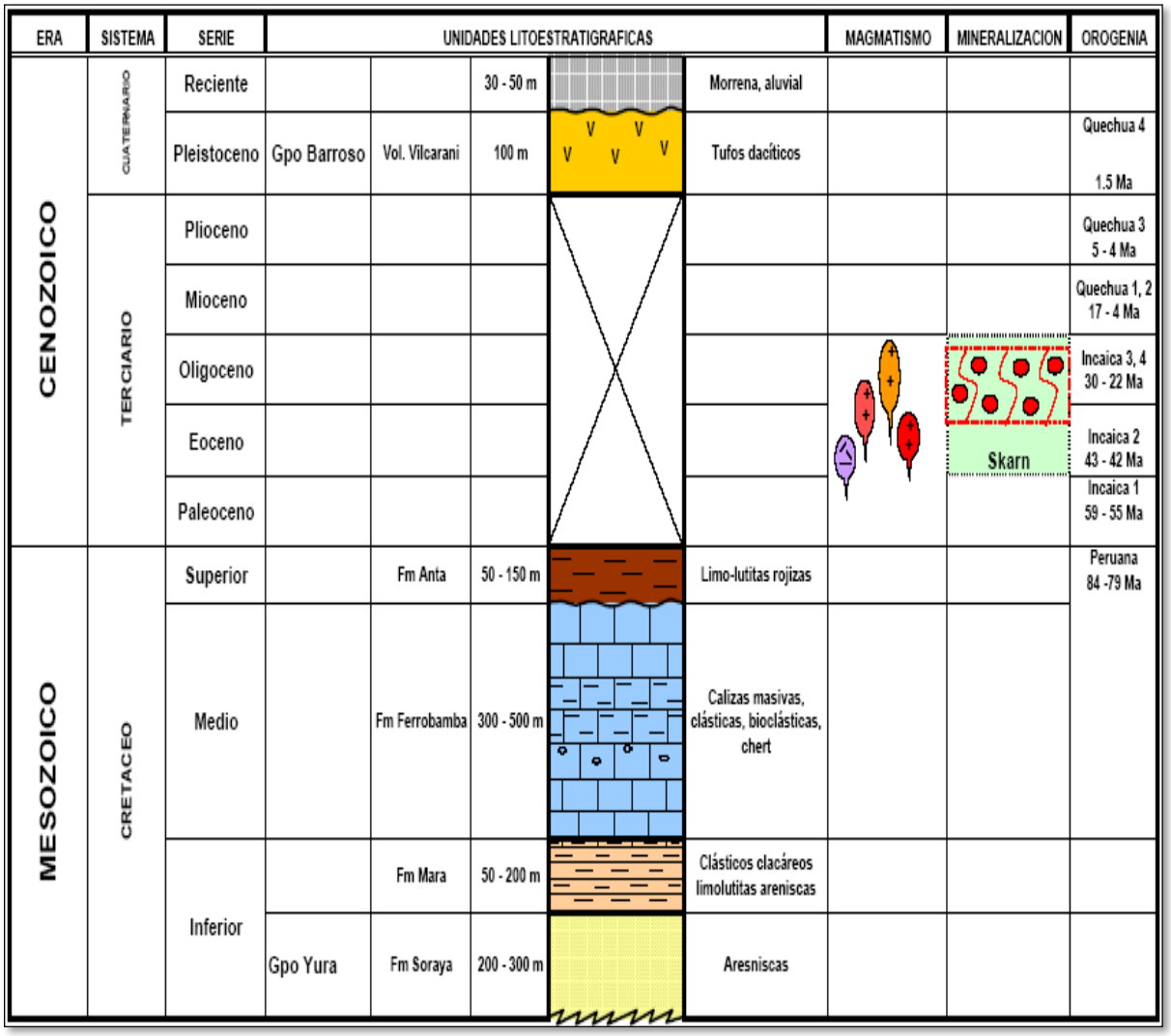


Figura 3: Columna estratigráfica del distrito minero “Las Bambas”.

Fuente: (Fernandez Bejarano, 2009)

2.2.10 Mineralización en el tajo Ferrobamba

La capa de óxidos en Ferrobamba puede alcanzar 20 m de espesor, localmente alcanza profundidades mayores en zonas fracturadas y falladas; con una mineralogía principalmente de crisocola y menores cantidades de malaquita, cuprita y Cu nativo.

La mineralización hipógena es la más importante. Los principales sulfuros encontrados son bornita, calcopirita, calcosita y molibdenita.

La mineralización dentro de los cuerpos de skarn es masiva, en coágulos y diseminada con concentraciones de leyes altas localmente. Vetillas de cuarzo contienen variables cantidades de bornita, calcopirita y calcosita.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

La mineralización en los pórfidos se presenta en relleno de fracturas, venillas y diseminaciones; las venillas comúnmente forman stockworks, con cuarzo, calcopirita, bornita, calcosita y molibdenita.

La mayoría de los skarns tienen leyes sobre 1% Cu y sectores entre 3 a 5% Cu. La ley dentro de los pórfidos es 0,5% Cu aproximadamente.

2.2.11 Geología estructural

El proyecto las bambas se encuentra dentro de un importante control estructural denominado Deflexión de Abancay, en este nivel, la Cordillera de los Andes tiene un cambio de dirección de aproximadamente de Este a Oeste. La zona se encuentra dentro de un gran marco estructural de apertura (dilatación zone), en la que se han identificado diferentes sistemas de fracturas de dirección NO-SE, NE-SO, N-S y ejes de plegamiento de dirección casi E-O, producto de varias fases tectónicas. Por lo tanto, el marco estructural que existe en la zona, favoreció el emplazamiento de las diferentes fases de intrusión que están asociadas a la mineralización.

2.2.12 Diseño geométrico de las voladuras

Dentro de las variables controlables de la voladura, el grupo que define un diseño geométrico son los siguientes.

2.2.12.1 Diámetro del taladro

Según Hidalgo Bayo y Abad Fernandez (1985), “Los diámetros de los pozos varían entre las 2" y las 17 ½" siendo el rango de aplicación más frecuente en minería a cielo abierto de 6" a 12 ¼".

Los diámetros de perforación utilizados en minería a cielo abierto han ido creciendo progresivamente, y en la actualidad es fácil ver minas con perforadoras rotativas capaces de abrir barrenos de 381 mm. Con esto se logra disminuir el costo global de la voladura, se consigue un aumento de los rendimientos de los equipos de carga pues los perfiles del escombro presentan menores zonas de baja productividad, así como mecanizar la carga y retacado de los taladros, mejorar las características de detonación de los explosivos y reducir los problemas de desviación de los taladros. En contraposición, y desde el punto de vista de las vibraciones el crecimiento del diámetro de perforación es negativo de aquí, que una de las técnicas que se intentan emplear de forma incipiente para solventar este problema sea el seccionado de los taladros” (p.31).

Los diámetros de los taladros son de 12 ¼" para voladura primaria y de 5” para los taladros de precorte y taladros para voladura secundaria. El diámetro de diseño de taladro también es un parámetro fundamental en la velocidad de detonación, lo cual se ve representado en el figura 4, teniendo una proporción directa.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

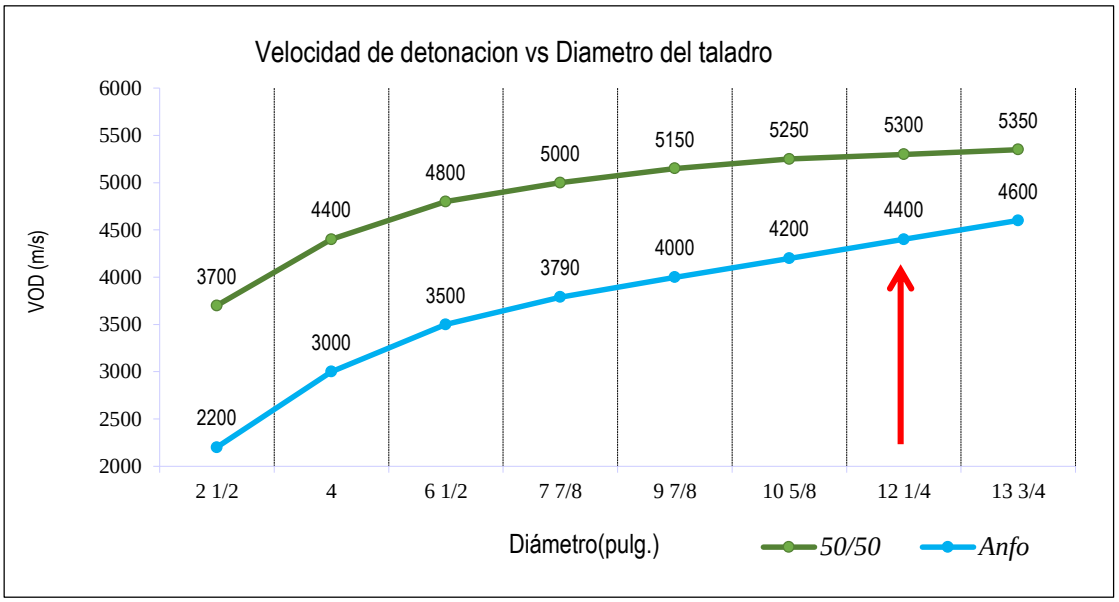


Figura 4: Relación entre velocidad de detonación y el diámetro del taladro.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

El diámetro de perforación idóneo para un trabajo dado depende de los siguientes factores:

- Características del macizo rocoso que se desea volar.
- Grado de fragmentación requerido.
- Altura de banco y configuración de las cargas.
- Economía del proceso de perforación y voladura.
- Dimensiones del equipo de carga.

2.2.12.2 Altura del Banco

La rigidez de roca situado delante de los barrenos tiene una gran influencia sobre los resultados de las voladuras.

"Se has llevado a cabo interesantes estudios por Ash y Konya que han puesto de relieve la importancia que tiene sobre la fragmentación la relación entre la altura de banco y el burden, en la tabla 2 se observa los beneficios y problemas potenciales relacionados con la relación de rigidez H/B" (Konya, y otros, 1998).

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 2: Problemas potenciales relacionados con la relación de rigidez

Relación de rigidez	**1**	**2**	**3**	**4**
Fragmentación	Pobre	Regular	Buena	Excelente
Sobrepresión de aire	Severa	Regular	Buena	Excelente
Roca en vuelo	Severa	Regular	Buena	Excelente
Vibración del terreno	Severa	Regular	Buena	Excelente
Comentarios	Rompimiento trasero severo y problemas de piso. No se dispara vuelva a diseñar.	Rediseñe si es posible.	Buen control y fragmentación.	No hay mayores beneficios con el incremento de la relación de rigidez arriba de 4.

Fuente. (Konya, y otros, 1998)

La altura de banco está relacionada con el alcance de las excavadoras de cables y el diámetro de perforación.

Según Lopez Jimeno (2003), la capacidad de los equipos de carga, la altura en metros puede estimarse con la siguiente expresión:

$$H = 10 + 0.57\,(Cc - 6) \qquad \text{Ec. n° 2.01.}$$

Dónde:

H: Altura de banco (m).

CC: Capacidad del cazo[1] de la excavadora (m^3).

La altura del banco normalmente yace en el rango 3-18 m, en el tajo ferrobamba la altura de los bancos son de 15 m.

En minas metálicas la altura de banco es función del equipo de carga y del diámetro de perforación. Las dimensiones recomendadas teniendo en cuenta los alcances y características de cada grupo de máquinas se recogen en la Tabla 3.

Por cuestiones de seguridad, la altura máxima aconsejada en minas y canteras es de 15 m y sólo para aplicaciones especiales, como en voladuras para escollera, se deben alcanzar alturas de 20 m.

[1] Refiere a la cuchara de la pala o cargador frontal.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 3: relación entre altura de banco, diámetro de barreno y equipo de carga recomendado

Altura de banco H (m)	Diámetro del barreno D (mm)	Equipo de carga recomendado
8-10	65 - 90	cegador de ruedas
10 – 15	100 - 150	excavadora hidráulica o de cables

Fuente: Lopez Jimeno, 2003

El diámetro óptimo de un pozo se incrementa con la altura del banco. La Figura 5 muestra que se puede establecer una relación entre la altura del banco y el diámetro de un pozo.

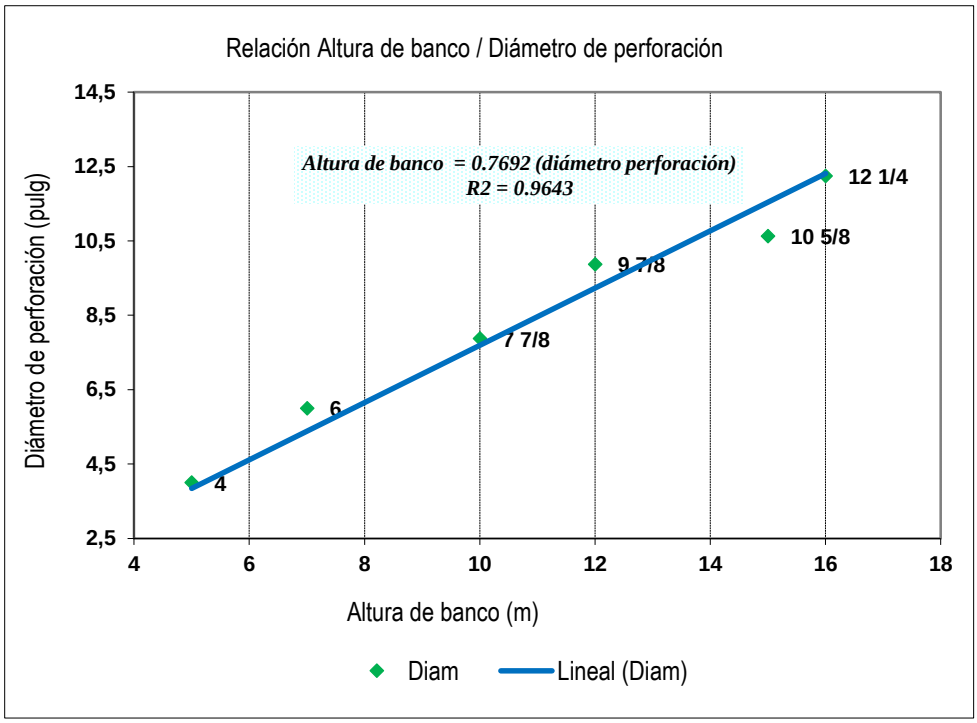


Figura 5:Relación Altura de banco / Diámetro de perforación.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

2.2.12.3 Burden

Según Konya (1998), "La dimensión del burden se define como la distancia más corta al punto de alivio al momento que el taladro detona. El alivio se considera normalmente como la cara original del banco o bien como una cara interna creada por una hilera de barrenos que han sido disparados previamente con un retardo anterior, la selección de burden apropiado es una de las decisiones más importantes que hay que hacer en cualquier diseño de voladuras. Si los burden son demasiado pequeños, la roca es lanzada a una distancia considerable de la cara. Los niveles de golpe de aire

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

son altos y la fragmentación puede resultar demasiado fina, por el otro lado si los burdenes son muy grandes, dará como resultado el rompimiento trasero de la cara final. Los burdenes excesivos causan un exceso de confinamiento en los taladros, lo que da como resultado niveles de vibración significativamente más altos por kilogramo que explosivo utilizado"

En la Minera Las Bambas la malla de perforación es de patrón triangular y se utiliza el modelo matemático de R. ASH.

$$B = KB \times \frac{D}{12}$$

Ec. nº 2.02

Dónde:

B: Burden (Pies).

D: Diámetro del taladro (Pulgadas).

KB: Depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado.

Tabla 4: Constantes según la clase de roca y tipo de explosivo

Tipo de explosivo	Clase de roca(KB)		
	Blanda	Media	Dura
Baja densidad (0.8 a 0.9 gr/cm3)	30	25	20
Densidad media (1.0 a 1.2) gr/cm3) y potencia media	35	30	25
Alta densidad (1.3 a 1.6) gr/cm3) y Alta potencia	40	35	30

Fuente: (Lopez Jimeno, 2003)

2.2.12.4 Espaciamiento

"Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila. Se calcula en relación con la longitud del burden, a la secuencia de encendido y el tiempo de retardo entre taladros. Al igual que con el burden, espaciamientos muy pequeños producen exceso de trituración y craterización en la boca del taladro, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del burden. Por otro lado, espaciamientos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie del banco y una nueva cara libre frontal muy irregular". (EXSA, 2005)

$$E = Ke \times B$$

Ec. nº 2.03

Dónde:

E: Espaciamiento (Pies).

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

B: Burden (pies).

Ke: Constante depende de la clase de roca. Ke: 1.35, Roca suave; Ke: 1.2, Roca media; Ke: 1.15, Roca dura

2.2.12.5 Longitud de perforación

Para una altura de banco (H) de 15.0 m que es, la longitud de los bancos en la mina Las Bambas y una sobre perforación de 1.5m debe cumplir que la longitud de perforación de 16.5m para obtener una voladura satisfactoria.

$$L = Kl \times B \qquad \text{Ec. nº 2.04}$$

Dónde:

L: Longitud de perforación (Pies).

B: Burden (Pulgadas).

Kl: constante de longitud.

Kl: 1.5, longitud Mínima; Kl: 2.75, Longitud Promedio; Kl: 4, Longitud máxima

2.2.12.6 Sobre perforación

Konya "et al" (1998), Lo define como: "El termino de sobre perforación se utiliza comúnmente para definir la profundidad a la cual se perforara el taladro por debajo del nivel de piso propuesto, para asegurar que el rompimiento ocurrirá a nivel. Los taladros normalmente no rompen la profundidad total. En la mayoría de las obras de construcción se utiliza la sobre perforación, a menos que, por coincidencia, exista un estrato suave o que una junta de dos estratos al nivel del piso. Si esto ocurre, no se utilizara la sobre perforación" pàg. 99.

$$SP = Ks \times B \qquad \text{Ec. nº 2.05}$$

Dónde:

SP: Sobreperforacion (Pies).

B: Burden (pies).

Ks: constante depende de la clase de roca. Ks: 0.2, Roca suave; Ks: 0.25, Roca media; Ks: 0.3, Roca dura.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.12.7 Malla de peroración

Las mallas de perforación son diseñadas por el área de perforación y voladura mina, este cálculo se realiza tomando en cuenta parámetros geológicos, geotécnicos, diámetro de perforación, longitudes de taladro, etc.

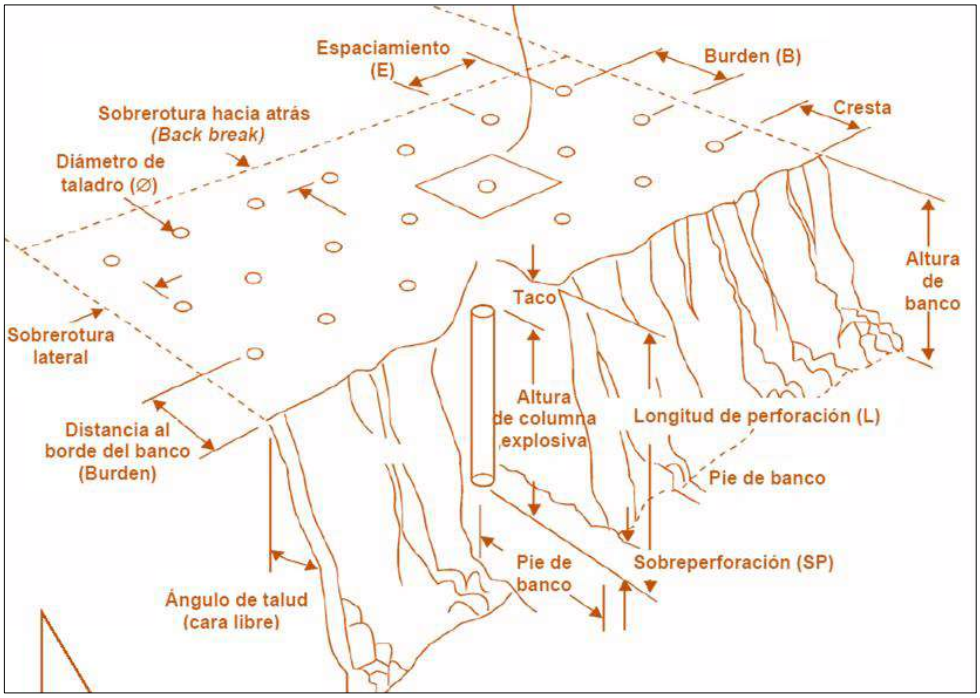


Figura 6: Malla de perforación.
Fuente. EXSA, 2005.

2.2.13 Cálculo y distribución de la carga explosiva

2.2.13.1Columna explosiva

EXA (2005), "menciona que es la parte activa del taladro de voladura, también denominada longitud de carga donde se produce la reacción explosiva y presión inicial de los gases contras las paredes del taladro. Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de ½ a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada**"**

2.2.13.2 Distribución de los explosivos en los taladros

Lopez Jimeno (2003), "En la voladura en banco que está representada en la Fig. 7, la energía necesaria para que se produzca la rotura de la roca no es constante en toda su altura. En efecto, la energía generada por el explosivo debe superar la resistencia a tracción de la roca en la sección CDD'C' y la resistencia a cizallamiento en la sección A'B'C'D'" tal como se presenta en figura 7.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

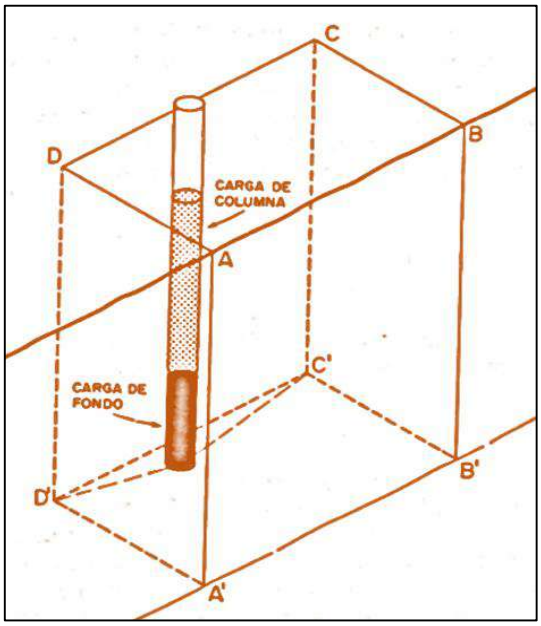


Figura 7: Distribución del explosivo.
Fuente. (Lopez Jimeno, 2003)

EXA (2005), "La columna continua normalmente empleada para rocas frágiles o poco competentes suele ser del mismo tipo de explosivo, mientras que para rocas duras, tenaces y competentes se divide en dos partes: carga de fondo y carga de columna".

Tabla 5: valores típicos de factor de carga en diversas clases de rocas para voladuras en banco a cielo abierto.

Tipo de roca	Consumo especifico (Kg/m3)
Rocas masivas y resistentes	0.6 - 1.15
Rocas resistencia media	0.30 - 0.6
Rocas muy fracturadas, alteradas o blandas	0.10 - 0.30

Fuente. (Lopez, 2003)

Lopez Jimeno (2003), mensiona como "la resistencia a cizallamiento es superior a la resistencia a tracción, es preciso emplear una distribución de carga selectiva, de forma que la energía específica en el fondo del barreno sea de 2 a 2,5 veces superior a la energía de la columna. Esto significa que deben emplearse explosivos de gran densidad y potencia en las cargas de fondo, tales como Heavy anfo aluminizado dinamitas, hidrogeles y emulsiones, y explosivos de baja densidad y potencia media en la carga de columna, como el ANFO pesado, ANFO, hidrogeles y emulsiones de baja densidad".

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.13.2.1 Carga de fondo

Exa(2005), "Es la carga explosiva de mayor densidad y potencia requerida al fondo del taladro para romper la parte más confinada y garantizar la rotura al piso".

Lopez Jimeno (2003) "La carga de fondo debe tener, al menos, una longitud de 0,6 B para que su centro de gravedad esté por encima o a la misma cota que el piso del banco. Según Langefors, prolongar la carga de fondo por encima de una longitud igual al valor de la piedra no contribuye apreciablemente al efecto de rotura en el plano del pie de banco, por lo que la carga inferior debe estar comprendida entre 0,6 y 1,3 B. Una muy buena opción es el uso del ANFO aluminizado, hidrogeles o emulsiones con longitudes de 8 a 16 D".

Lopez Jimeno (2003), "Los consumos específicos altos, además de proporcionar una buena fragmentación, desplazamiento y esponjamiento de la roca, dan lugar a menores problemas de repiés y ayudan a alcanzar el punto óptimo de los costes totales de operación, es decir de perforación, voladura, carga, transporte y trituración".

2.2.13.2.2 Carga de columna

Exa, (2005), "Se ubica sobre la carga de fondo y puede ser de menos densidad, potencia o concentración ya que el confinamiento de la roca en este sector del taladro es menor. La altura de la carga de columna se calcula por la diferencia entre la longitud del taladro y la suma la carga de fondo más el taco".

$$CC = 2.3 \times B \qquad \text{Ec. n° 2.06}$$

Dónde:

CC: Carga de columna (m)

B: Burden (m)

2.2.13.2.3 Selección del Taco

(Enaex, 2006) "El taco se añade a los pozos para proporcionar el confinamiento de la energía de la explosión. Mientras más tiempo el material del taco permanezca en su lugar mayor es la efectividad de la energía explosiva y mayor es el grado de fragmentación y desplazamiento logrado por la tronadura. Ambientalmente, el taco es esencial para minimizar el nivel de sobre presión de la tronadura de aire y para controlar la generación de proyección de rocas desde la región del collar del pozo. Generalmente el largo del taco se relaciona al diámetro de pozo y comúnmente es igual al burden. El material óptimo para el taco es un árido graduado con un tamaño medio aproximadamente igual a un décimo o un quinceavo del diámetro del pozo.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Luego, un pozo de 100 mm de diámetro debería utilizar un árido de 10 a 12 mm. La angulosidad es también el requerimiento principal del material para el taco. Partículas bien redondeadas tales como la grava aluvial es mucho menos efectiva que el árido chancado".

La relación común para la determinación del taco es:

$$T = Kt \times B \qquad \text{Ec. n° 2.07}$$

Dónde:

T: Taco (m)

B: Burden (m)

Kt: constante de taco

Kt > 1, para evitar un sobre rompimiento del banco.

Si las distancias de los tacos son excesivas, se obtendrá una fracturación muy pobre en la parte superior del banco y la cantidad de rompimiento trasero se incrementará.

2.2.13.2.4 Determinación teórica de taco (SD)

La teoría Scale Depth of Burial, enunciada por Frank Chiappetta, es una de las muchas reglas que existen para determinar la longitud del taco efectivo en un taladro, los factores que intervienen para este cálculo son: densidad del explosivo, diámetro de barreno, densidad de carga explosiva lineal expresada en Kg/m y la distancia de retacado o taco tal como se muestra en la figura 8.

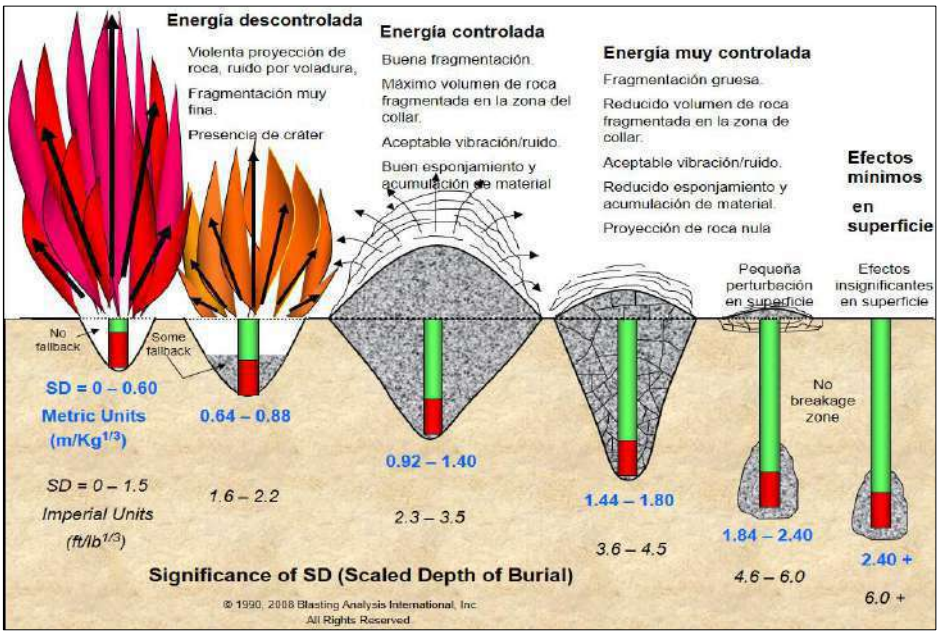


Figura 8: Efectos del SD en la determinación de la longitud del taco.
Fuente: (Chiappetta, 2016)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Un SD comprendido entre 1.44 y 1.80 genera una fragmentación gruesa, un volumen reducido de roca quebrada en la zona del collar y niveles reducidos de vibración y roca proyectada. Un SD comprendido entre 0.64 y 0.88 produce una fragmentación muy fina, cráter visible, una violenta proyección de roca y registros de vibración altos.

Finalmente, el valor óptimo del SD está comprendido entre 0.92 y 1.40 ya que genera una buena fragmentación, un volumen máximo de roca quebrada en la zona del collar y rangos aceptables de vibración y proyección de roca.

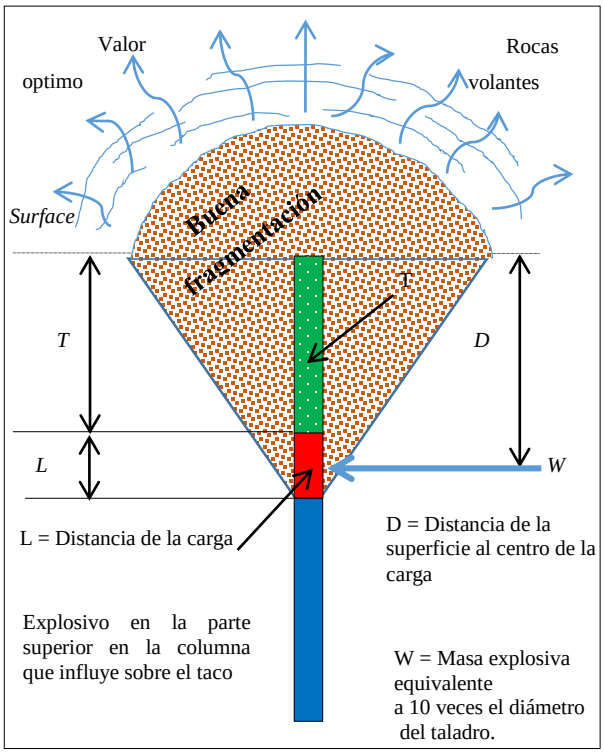


Figura 9: Detonación de la carga explosiva a una longitud dada.
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de Chiappetta, 2016

El cálculo del SD nos permite encontrar el taco óptimo que genere una buena fragmentación, un volumen máximo de roca quebrada en la zona del collar, rangos aceptables de vibración y proyección de roca. Este cálculo nos permite probar diferentes tacos y mesclas explosivas tomando en cuenta parámetros como el diámetro del taladro y densidad del explosivo.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

a. Profundidad escalada de enterramiento

El criterio de Chiappetta se basa en la siguiente expresión:

$$SD = \frac{D}{W^{1/3}}$$ Ec. nº 2.08

Dónde:

SD: Profundidad escalada de enterramiento ($m/kg^{1/3}$)

D: Distancia de la superficie al centro de la carga W (m).

W: Carga explosiva en la zona superior de la columna (kg).

b. Distancia de la superficie al centro de la carga

$$D = T + 0.5\,L$$ Ec. n° 2.09

Dónde:

D: Distancia de la superficie al centro de la carga W (m).

L: Longitud de Carga explosiva (m)

T: Distancia de Taco en metros (m).

c. Carga Explosiva en la zona superior de la columna

Es la cantidad de mezcla explosiva contenida en la parte superior de la columna explosiva encargada de la fragmentar de la zona del taco.

$$W = L \times \delta\ lineal$$ Ec. n° 2.10

Dónde:

$\delta lineal$: Densidad lineal (kg/m).

L: Longitud de Carga explosiva (m)

d. Densidad lineal

La densidad lineal es la cantidad de explosivo en un metro lineal y está en función de la densidad del explosivo y diámetro del taladro, cuando el explosivo es gasificado esta tiende a expandirse, para fines de cálculo se toma la densidad inicial del explosivo.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

$$\delta lineal = 0.507 \times (\phi\ tal)^2 \times \delta explosivo$$ Ec. n° 2.11

Dónde:

δlineal: Densidad lineal (kg/m).

ϕ tal: Diámetro del taladro (pulg.)

δexplosivo: Densidad del explosivo (gr/cm^3).

0.507: Factor de conversión.

e. Longitud de Carga Explosiva

Esta es igual a 10 veces el diámetro del explosivo y está dada por

$$L = 10\ Ø$$ Ec. n° 2.12

Dónde:

L: Longitud de Carga explosiva (m)

Ø: Diámetro de taladro (m)

2.2.14 Diseño de taladros amortiguados

"La tronadura amortiguada se define como el diseño que genera el mínimo daño posible detrás de la última fila, permitiendo que el equipo de carguío lo haga solo hasta la línea de programa definida por dicho diseño.

Para tal propósito se plantea como regla general diseñar tronadura controlada para las dos últimas filas, el cual variará principalmente con respecto a la tronadura de producción, en el diámetro a utilizar, y en la dimensión de la malla. Obviamente se tenderá a utilizar en estas dos últimas filas diámetros menores de perforación, y mallas más reducidas con respecto a la tronadura de producción, no obstante existen casos en la tronadura amortiguada que se definen con igual diámetro a la de producción pero con mallas más reducidas**"** (Enaex, 2006)

Para la realización del diseño de tronadura amortiguada se plantean dos alternativas, siendo éstas las siguientes:

- Definición de tronadura amortiguada por análisis de velocidad crítica de la roca.
- Definición de tronadura amortiguada por reducción de la presión en las paredes del pozo.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.14.1 Definición de tronadura amortiguada por análisis de velocidad critica de la roca

Enaex (2006)**,** "Para la definición de este diseño, es necesario simular las tronaduras, de manera de poder predecir los halos de vibraciones que se generen trás la última fila de ésta. Previamente, es necesario tener presente el valor máximo de velocidad de partícula que se permitirá tras la última fila y a que distancia de ésta**"**.

Para definir la malla se parte de dos fundamentos:

- Diámetro de perforación a utilizar en el diseño amortiguado.
- Mantener el factor de carga en los pozos de la tronadura amortiguada, respecto a la tronadura de producción.

-

2.2.14.2 Diámetro de perforación en taladros amortiguados

Si el diámetro de perforación para el diseño amortiguado[2] se mantiene con respecto al diámetro de producción, el burden y el espaciamiento de la tronadura amortiguada debiera reducirse de 0,6 a 0,8 veces.

2.2.14.3 Voladura amortiguada por el método de cráter

En realidad, Chiappetta utilizó este método sólo para calcular la cantidad de explosivo en taladros amortiguados. El supone que el burden y espaciamiento debería ser 0,5 a 0,75 veces el de producción. Pero, por formulismo también se puede determinar el diseño de perforación. Las cargas de los pozos amortiguados deben ser tal que:

$$dc(\text{diseño}) = 0.396 \times k \times w^{1/3} \qquad \text{Ec. n° 2.13}$$

Dónde:

dc(diseño)**:** distancia medida desde la superficie del banco hasta el centro de gravedad de los primeros 6 diámetros de longitud de la columna explosiva (m).

W: Carga explosiva (kg).

K: Está de acuerdo al tipo de roca. K: 3.5, Poco competente; K: 4, Competente; K: 4,5 Muy competente

$$dc\ (\text{real}) = T + 1/2 \times L \qquad \text{Ec. n° 2.14}$$

[2] El diseño obtenido es un valor nominal definido para un diseño teórico de producción con ese diámetro que tendrá que ajustarse de acuerdo a los resultados obtenidos.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Dónde:

dc(real) = distancia medida desde la superficie del banco hasta el centro de gravedad de los primeros 6 diámetros de longitud de la columna explosiva (m).

T= Taco (m)

L= Longitud de carga (m)

Este valor dc de diseño debe ser menor o igual al valor real, con esto la craterización será mínimo o inexistente. Lo deseable es que sean iguales, por tanto, igualando y resolviendo la ecuación 12 y 13 se obtiene.

$$0.396 \times k \times W^{1/3} + \frac{W}{\delta_{lineal}} = H + 0.0762 \times D$$

Ec. n° 2.15

Dónde:

H = Largo pozo (m)

W = Explosivo (kg)

δLineal = Densidad de carga (kg/m)

D = Diámetro de Perforación (pulgadas)

2.2.15 Diseños de amarre e iniciación

Enaex (2006), **"**Una de las etapas más importantes del diseño de voladuras, es la definición tanto de la secuencia, como de los tiempos de retardo. Para determinar estos dos aspectos, muchas veces el supervisor de voladura se basaba en su propia experiencia, y/o en los buenos resultados obtenidos en otras faenas mineras. Con el tiempo, esta forma de operar ha sido reemplazada por tecnologías modernas de avanzada, que permiten una mayor precisión. Una de las variables más difícil de determinar, es la secuencia de encendido y tiempo de retardo entre pozos de tronadura. Los esquemas iniciales de perforación, con burden y espaciamiento, se modifican tan radicalmente con la secuencia de iniciación que al término del proceso de voladura se obtienen resultados muy diferentes, que se denominan valores efectivos**".**

2.2.15.1 Determinación del tiempo entre taladros

Según Konya (1998), "La iniciación simultánea a lo largo de la hilera requiere de un espaciamiento mayor y por lo tanto, ya que los taladros se encuentran más alejados, el costo por metro cúbico o

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

por tonelada del material extraído se ve reducido. Las desventajas de tener iniciación simultánea a lo largo de la hilera, son los problemas que surgirán relacionadas con la vibración del terreno debido a que hay muchos barrenos detonando al mismo tiempo. Aunque se producen más metros cúbicos con la iniciación instantánea, la fragmentación será más gruesa que la obtenida con los retardos de tiempo adecuados y espaciamientos más cortos. La iniciación retardada a lo largo de la hilera reduce la vibración del terreno y produce una fragmentación más fina a un costo mayor".

La tabla 6 proporciona las constantes de tiempo para diferentes tipos de roca. La información en esta Tabla puede usarse con la ecuación Nº 2.16 para hallar el tiempo entre taladros.

Tabla 6: constante de tiempo entre taladros

Tipo de Roca	Constante Kt (ms/m)
Arenas. Margas, Carbón	6.5
Algunas Calizas, Esquistos	5.5
Calizas compactas y mármoles, algunos granitos y basaltos, Cuarcita, algunos gneis	4.5
Feldespatos Porfídicos, gneis compactos y mica, magnetitas	3.3

Fuente: (Konya, y otros, 1998).

$$Tt = k_t \times S \qquad \text{Ec. n° 2.16}$$

Dónde:

Tt: Retardo barreno a barreno (ms)

kt: Constante de retardo taladros (ms/m)

S: Espaciamiento (m)

2.2.15.2 Determinación del tiempo entre filas de taladros

"El tiempo de retardo no debe ser menor a 8.5 milisegundos por metro de burden entre filas. Los tiempos de retardo normalmente no deben ser mayores a 16.5 milisegundos por metro de burden entre filas. Cuando el control de la pared final es crítico en voladuras de varias filas (6 ó más filas), los retardos pueden ampliarse tanto cómo 40 ms por metro de burden para obtener pilas de material bajas" (Konya, y otros, 1998).

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

La ecuación para el retardo entre filas es la siguiente:

$$Tf = kf \times B \qquad \text{Ec. n° 2.17}$$

Dónde:

Tf: Retardo entre filas (ms)

Kf: Factor de tiempo entre filas (ms/m)

B: Burden (m)

Tabla 7: constante de tiempo entre filas

Resultado	Constante kf (ms/m)
Violencia sobrepresión de aire excesiva, rompimiento trasero. etc.	6.5
Pila de material alta cercana a la cara, sobrepresión y rompimiento moderados	8.0
Altura de pila promedio, sobrepresión y rompimiento promedio	11.5
Pila de material disperso con rompimiento trasero mínimo	16.5

Fuente: (Konya, y otros, 1998)

2.2.16 Diseños de voladura

2.2.16.1 Diseño en echelon

Cuando el área de voladura está abierta en dos lados adyacentes, en una esquina externa, se debe de diseñar la voladura para que se saque ventaja de este alivio.

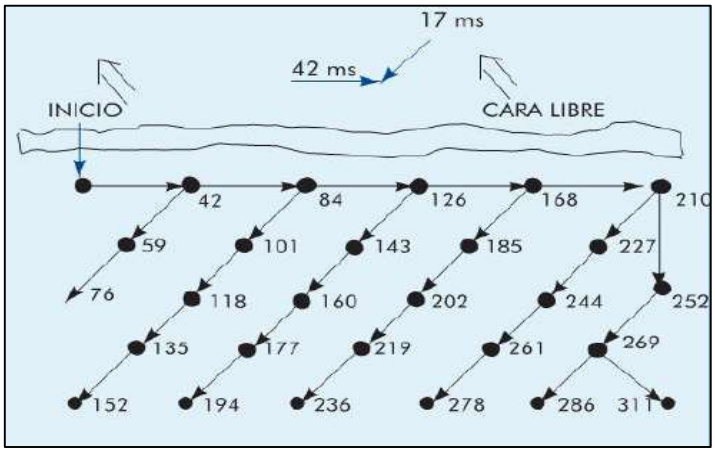


Figura 10: esquema de iniciación en echelon.
Fuente: EXSA (2005)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.16.2 Diseño en "V"

Puede ser utilizado cuando existe solo una cara libre o en algunos casos en que la geometría de la malla no permite definir una línea paralela apropiada para disparar.

Es utilizada para apilar el material hacia el centro, con condiciones estructurales adversas cuando la fragmentación del material es importante.

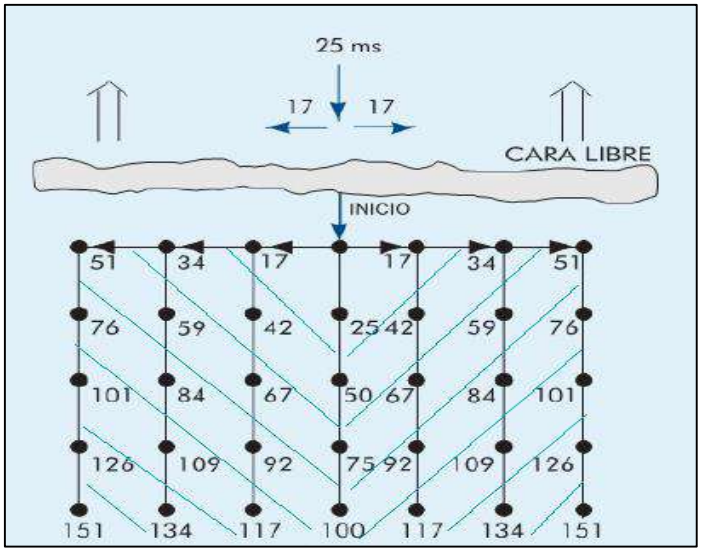


Figura 11: esquema de iniciación en V.
Fuente: EXSA (2005)

2.2.16.3 Diseño en rombo

Se utiliza solo en casos muy particulares en donde no existe ninguna cara libre y es necesario proteger al máximo las periferias de la voladura debido a la presencia de equipos, caminos, zonas de perforación, pared, sectores de cresta, etc.

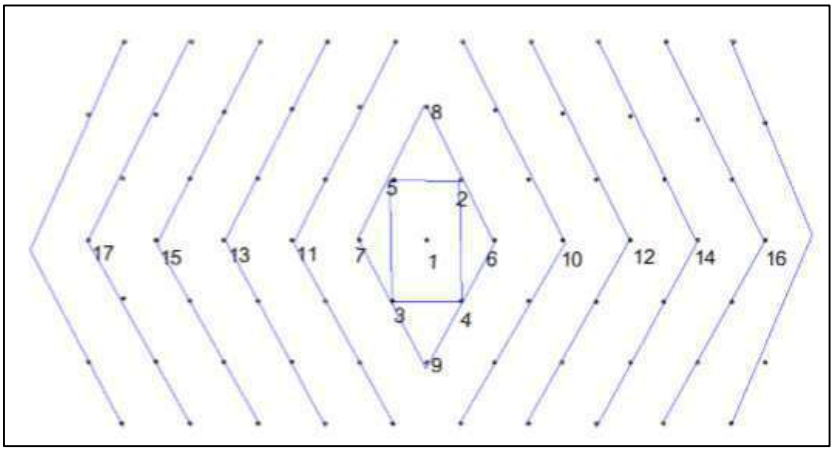


Figura 12: esquema de iniciación en echelon.
Fuente: Inacap (2015)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.16.4 Diseño de tronaduras de contorno

Se está haciendo muy frecuente, para las especificaciones de tronadura, incluir un control estricto sobre la calidad en términos de estabilidad de las caras finales expuestas. Para lograr las especificaciones requeridas, se han desarrollados diseños especializados de tronadura y han adoptado el nombre general de diseños de tronaduras de contorno, o diseños de tronaduras suaves. En general, la tronadura de contorno es más costosa que la convencional, pero puede haber muchos beneficios aguas abajo que pueden contrarrestar el tiempo adicional y el costo asociado con tronaduras de contorno, incluyendo:

- Una reducción en la cantidad de roca a ser removida (ciclos de carguío y costos de transporte reducidos durante la excavación).
- Una reducción en el tiempo requerido en preparar las caras expuestas para el soporte de la roca.
- Una dilución reducida causada por el sobre quiebre.
- Seguridad mejorada.

2.2.17 Aplicación de la geomecánica en la voladura

Gaona Gonzales (2015), En su tesis mensiona "Con los datos que proporciona Geomecánica se puede modelar de acuerdo con los objetivos deseados para cada faena de la voladura. Así, se puede analizar cuán sensible es el macizo rocoso al someterle los diversos parámetros que se van ingresando en el modelo, y se pueden evaluar los efectos en vibraciones, fragmentación, daño al macizo rocoso adyacente y desplazamiento del material fragmentado".

2.2.17.1 Clasificación geomecánica RMR

El sistema de clasificación Rock Mass Rating o sistema RMR fue desarrollado por Z.T. Bieniawski durante los años 1972- 73, y ha sido modificado en 1976 y 1979, en base a más de 300 casos reales de túneles, cavernas, taludes y cimentaciones. Actualmente se usa la edición de 1989, que coincide sustancialmente con la de 1979.

Tabla 8: Clases de macizo rocosos según el RMR

Clase de macizo rocoso	I	II	III	IV	V
calidad del macizo rocoso	Muy buena	Buena	Mediana	Mala	Muy mala
RMR	81-100	61-80	41-60	21-40	0-20
Cohesion	> 0.4	0.3-0.4	0.2 - 0.3	0.1 - 0.2	< 0.1
Rozamiento	>45°	35° - 45°	25° - 35°	15° - 25°	<15°

Fuente: (Guìa de criterios geomecànicos para diseño, construcciòn, supervisiòn y cierre de labores subterràneas, 2017)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.17.2 Designación de la calidad de rocas (RQD)

La Designación de la calidad de Rocas (Rock Quality Designation) fue desarrollado por Deere et al en 1967, para estimar cuantitativamente la calidad del macizo rocoso, basándose en la recuperación de un testigo. Depende indirectamente del número de fracturas y del grado de alteración del macizo.

Tabla 9: Relación entre el valor del RQD y la calidad de la roca

RQD %	CALIDAD DE LA ROCA
< 25	Muy mala
25 – 50	Mala
50 – 75	Regular
75 – 90	Buena
90 – 100	Excelente

Fuente: (Guìa de criterios geomecànicos para diseño, construcciòn, supervisiòn y cierre de labores subterràneas, 2017)

Una alternativa para el cálculo del RQD es a partir de las ecuaciones:

$$RQD = 115 - 3.3\ Jv \rightarrow Jv > 4.5 \qquad \text{Ec. n° 2.18}$$

$$RQD = 100 \rightarrow Jv \leq 4.5 \qquad \text{Ec. n° 2.19}$$

Donde

RQD: Designación de la calidad de rocas

Jv: Es el número de juntas identificadas en el macizo rocoso por m^3.

Otra forma de hallar el RQD, es seleccionar una línea con cinta métrica en una estación geo mecánica para luego medir todas las juntas que interceptan nuestra línea. Para la determinación del RQD del macizo aplicaremos la formulación de Priest y Hudson.

$$\boxed{RQD = 100\ e^{-0.1\lambda\ (0.1\lambda+1)}} \qquad \text{Ec. n° 2.20}$$

Donde

RQD: Designación de la calidad de rocas

λ: Es el número de juntas por metro lineal.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 10: Parámetros geomecánicos del Tajo Ferrobamba .

Litología	Código Litológico	RMR (%)	RQD (%)	UCS (MPa)	GSI	FF Fracturas por metro	Módulo de Young (GPA)	Módulo Poisson	Resistencia Tracción Indirecta (MPa)
Skarn	40	43.07	75.14	49.5	60.19	5 a 7	6.71	0.12	8.534
Mármol	47	42.55	74.7	40.77	60.41	5 a 7	6.51	0.21	5.83
Mármol con calcosilicato	48	45.58	79.3	54.17	61.3	5 a 7	7.75	-	5.17
Endo Skarn	50	43.31	74.45	106.36	61.08	5 a 7	6.80	0.24	11.4
Contacto Brecha	62	22.94	35.62	25.39	29.93	10 a 12	2.11	-	-
Monzonita Biotita	76	39.59	61.74	144.85	55.63	6 a 8	5.49	-	12.334
Monzonita Horblendica	77	37.82	63.58	112.09	59.93	6 a 8	4.96	-	9.617
Monzonita Mafica	78	36.27	62.94	117.62	56.96	6 a 8	4.54	-	11.844
Monzonita Quarcifera	79	41.27	64.56	119.36	58.76	6 a 8	6.05	0.13	10.657
Monzonita Biotitica Fina	86	40.42	63.22	140.28	58.18	6 a 8	5.76	0.16	11.422

Fuente: Área de Geotecnia – Hidrogeología Las Bambas.

2.2.17.3 Impedancia

Para seleccionar la mezcla adecuada se establece una relación de los parámetros geomecánicos con el explosivo a través de la impedancia. (Inacap, 2015)

$$\delta_{exp} \, x \, VOD_{exp} = \delta_{Roca} \, x \, V_P \qquad \text{Ec. nº 2.21}$$

Dónde:

δ_{exp}: Densidad del explosivo confinado(gr/cm^3)

VOD $_{exp}$: Velocidad de detonación del explosivo (m/s)

δ_{Roca}: Densidad de roca (gr/cm$^{3)}$

V_P: Velocidad de la onda de onda p (m/s)

2.2.17.4 Velocidad de onda p (vp)

Calculamos la velocidad de onda p de la roca con la siguiente expresión.

$$Vp = \sqrt{\frac{Ed \, x \, (1 - u)}{\delta_{Roca} \, x \, (1+u) \, x \, (1 - 2u)}} \qquad \text{Ec. nº 2.22}$$

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Dónde:

V_P: Velocidad de la onda de onda p (m/s)

Ed: Módulo de Young dinámico (GPa)

u: coeficiente de poisson

δ_{Roca}: Densidad de roca (gr/cm$^{3)}$

2.2.18 Explosivo

En el manual EXSA (2005), se define como "Los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, liquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido - reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de un fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosas que llega alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones".

2.2.18.1 Velocidad de detonación de un explosivo

Hopler (2008), menciona que "Es la velocidad a la que la onda de detonación viaja a través de una columna de explosivos por definición, esta velocidad supera la velocidad del sonido a través del material explosivo"

La velocidad de detonación es una variable importante que se emplea para calcular la presión de detonación de un explosivo. La velocidad de detonación de los explosivos está afectada por una serie de factores: Diámetro de la carga explosiva, grado de confinamiento de un producto, densidad del explosivo, efecto de la temperatura, densidad del explosivo.

2.2.18.2 Presión de detonación

"Es la presión que existe en el plano "cj" detrás del frente de detonación, en el recorrido de la onda de detonación. Es función de la densidad y la velocidad de detonación y su valor se expresa en Kilobares o en megapascales. Así, en los explosivos comerciales varía entre 500 y 1500 MPa" (EXSA, 2005).

Existen varias formas para estimarla una de ellas es:

$$PD = \delta_{explosivo}\, x \frac{(VOD)^2}{4} \; x\, 10^{-5} \qquad \text{Ec. nº 2.23}$$

Dónde:

PD: Presión de detonación (Kbar)

$\delta_{Explosivo}$: Densidad del explosivo (gr/cm^3)

VOD: Velocidad de detonación (m/s)

10^{-5} : Factor de conversión

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.18.3 Clasificación de los explosivos

Existe una variedad de clasificaciones para los explosivos en base a sus distintas características o aplicaciones. Para esta investigación se presenta en la figura 13 una clasificación de los explosivos de uso industrial, los cuales son aplicados en minería.

Explosivos industriales rompedores	Explosivos industriales rompedores	TNT
		Gelatinas NG - NC
		Dinamitas
		Hidrogeles sensibilizadas
		Emulsiones sensibilizadas
	Agentes de voladura	ANFO
		Emulsiones
		ANFOs Pesados
		Eslurries
	Explosivos especiales	Sísmicos
		Voladura controlada
		Permicibles (carbón)
		Cargas dirigidas
		Binarios, lox y otros

Figura 13: Clasificación de los explosivos Industriales.
Fuente. (EXSA, 2005).

2.2.18.4 Agentes de voladura

Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N^0 8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer-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.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.18.4.1 Emulsión

En la misma línea de buscar un explosivo de la máxima seguridad y potencia que pueda ser utilizado en barrenos con agua, el último desarrollo en explosivos industriales lo constituyen las conocidas como emulsiones.

En la publicación de Bernaola Alonso (2013), esta conceptualizada como "Consisten en una fase dispersa formada por pequeñas gotas de disolución de NH_4NO_3 en agua, que están rodeadas de una fina película de 10^{-4} mm de aceite mineral (fase continua). Se trata, por tanto, de explosivos compuestos básicamente por nitrato amónico con un contenido en agua entre el 14 y el 20 %, un 4 % aproximadamente de gasoil. Algunos fabricantes incorporan también en la composición burbujas de aire o esferas huecas de vidrio (llamadas microesferas) que incrementan la onda de detonación, aumentando la sensibilidad, y partículas de aluminio que aumentan igualmente su potencia y sensibilidad. El área de contacto entre oxidante y combustible que proporciona la emulsión, favorece una amplia y completa reacción. Por otra parte, la película de aceite constituye una protección del nitrato frente al agua. De todo aquello se deriva un explosivo en forma de pasta, capaz de ser bombeado o de ser encartuchado".

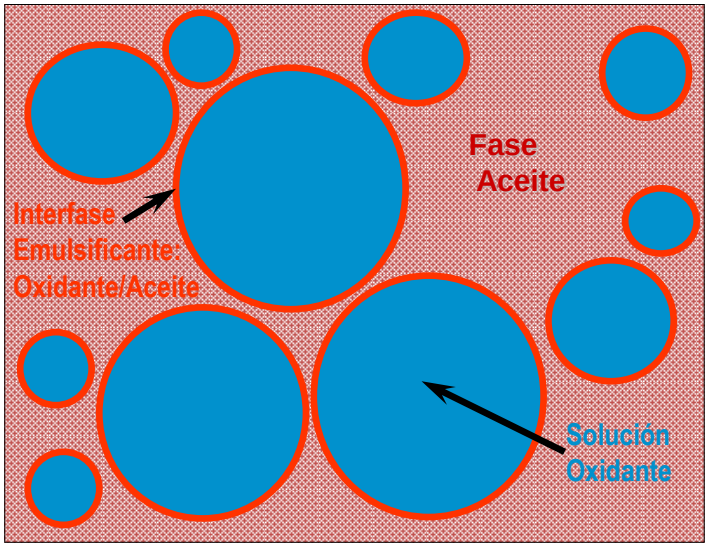


Figura 14: Esquema de una Emulsión.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Tiene las siguientes características:

- Alta velocidad de detonación (4500-5500 m/s)
- Excelente resistencia al agua.
- Mucha menor sensibilidad al choque o a la fricción.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.18.4.2 ANFOs

En la tesis de Artigas Z (2011), el ANFO se define como "Son mezclas de pequeñas esferas o gránulos de nitrato de amonio poroso con gasoil. Debido a la estructura microcristalina y micro porosa del prill, este puede absorber hasta 11% de gasoil, pero solamente 5,7% es necesario para un óptimo desempeño del explosivo, la relación de masa entre prills de nitrato de amonio con respecto al diesel debería ser 94,3% de NA y 5,7% diesel. Para efectos prácticos, 100 kilogramos de nitrato de amonio poroso deberá mezclarse con 6 kilogramos de diesel que equivale a 7,5 litros para producir 106 kilogramos de ANFO".

$$NH_4NO_3 \quad + \quad CH_2$$

Lopez Jimeno (2003), Las características explosivas del ANFO varían también con la densidad. Conforme ésta aumenta la velocidad de detonación se eleva, pero también es más difícil conseguir la iniciación. Por encima de una densidad de 1,2 g/cm3 el ANFO se vuelve inerte no pudiendo ser detonado.

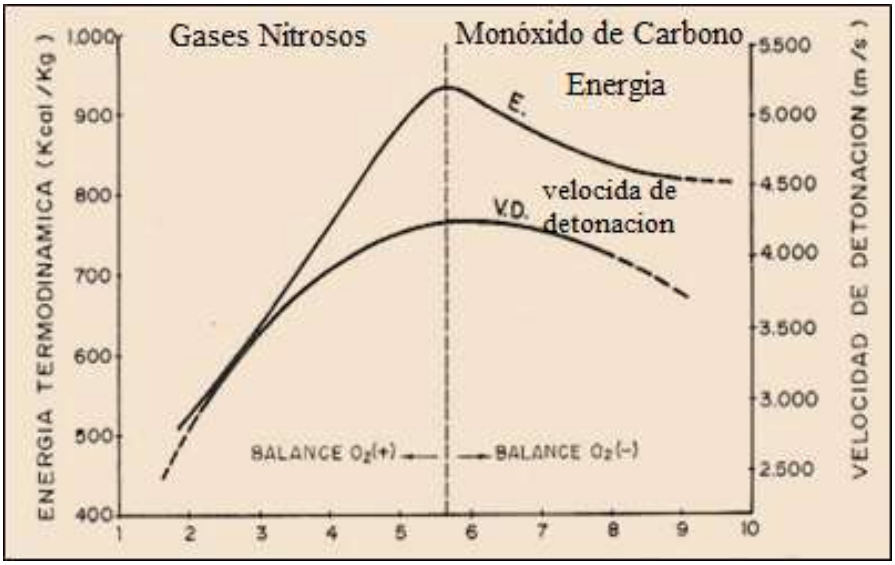


Figura 15: Variación de la energía termo dinámica y velocidad de detonación del ANFO con el contenido gas-oil.
Fuente: (Artigas Z, 2011).

Las características de este explosivo son las siguientes:

- Baja / media potencia.
- Muy baja densidad (0,8).
- Nula resistencia al agua, ya que el nitrato amónico es soluble en agua y pierde su capacidad de detonar.
- Baja velocidad de detonación (2.000 - 3.000 m/s).

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

- No son sensibles al detonador, por lo que necesitan de otro explosivo para iniciarse correctamente, lo que puede conseguirse con cordones detonantes, cebos de dinamita gelatinosa, cartuchos de hidrogel.

2.2.18.4.3 ANFO Pesado

El ANFO pesado es un nuevo explosivo conseguido por la mezcla adecuada entre una emulsión explosiva y ANFO.

Gaona Gonzales (2015), en su tesis define de la siguiente manera "El ANFO pesado es un explosivo con características intermedias entre sus dos componentes, teniendo una mejor resistencia al ANFO, mayor densidad y potencia, aumentando su rendimiento y ampliando su uso en la voladura de cualquier tipo de material, con un costo menor de voladura. Este tipo de explosivo es altamente seguro frente a estímulos subsónicos, roces, impactos, etc. Permitiendo su carga a granel o mecanizada por medio de bombeo desde camión. Su sensibilidad es la apropiada para iniciarse con una carga multiplicadora o un cartucho de explosivo sensible al detonador".

El ANFO Pesado es la mezcla de dos agentes explosivos, el ANFO y la emulsión en diferentes proporciones, donde la emulsión envuelve los prills de ANFO, formando una matriz energética con propiedades específicas, como se muestra en la figura 16.

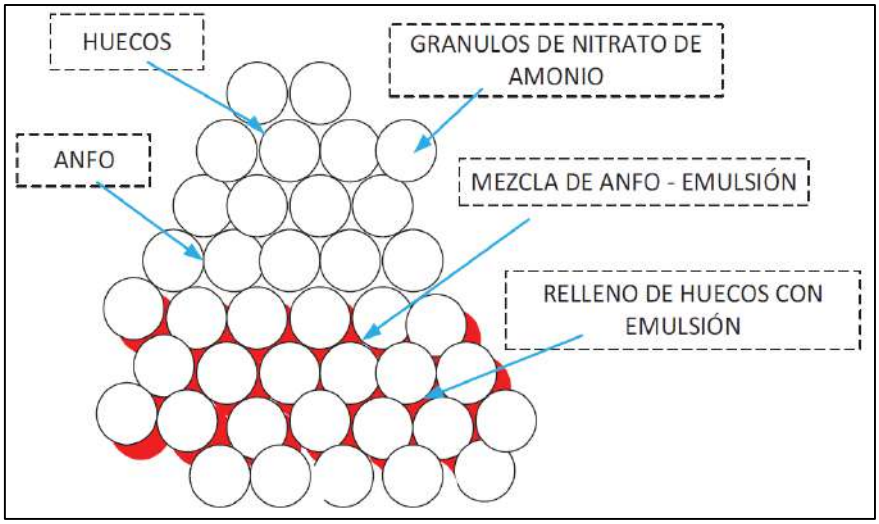


Figura 16: Estructura del ANFO Pesado.
Fuente: Lopez Jimeno (2003)

Aunque las propiedades de este explosivo dependen de los porcentajes de mezcla, las ventajas principales que presenta son:

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

- Mayor energía
- Mejores características de sensibilidad
- Gran resistencia al agua
- Posibilidad de efectuar cargas.

Existen diversas mezclas de ANFO Pesado, teniendo las principales en la siguiente tabla, incluyendo densidad, VOD y Carga lineal.

Tabla 11: Mezclas explosivas de ANFO pesado.

Producto	Densidad (gr/cc)	VOD[3] (m/s)	Carga Lineal (kg/m)
ANFO	0.795	3600 - 4400	60.9
HA 28	0.971	4000 - 4600	73.8
HA 37	0.988	4200 - 5000	75.1
HA46	1.201	4300 - 5100	91.4
HA55	1.287	5200 - 5400	97.9
HA64	1.307	4300 - 4800	99.5
HA73	1.32	4300 - 5100	101.2
Emulsión	1.34	4200 - 5500	101.9
Nitrato de amonio	0.75	---- ----	-----
Petróleo	0.85	---- ----	-----

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Hopler (2008), "Es relativamente fácil combinar la emulsión con NA o ANFO para formar una mezcla y se han desarrollado varias técnicas para este propósito. Uno de los equipos más comunes es el camión de carguío, el cual se construye con un recipiente para contener el NA o ANFO, un tanque para la emulsión y un tanque más pequeño para el combustible diesel. Algunas veces el camión tendrá también un recipiente para aluminio, de modo que se puedan elaborar mezclas con niveles de energía más altos. El camión de mezclado que se muestra en la fotografía 1 es capaz de cargar: ANFO, ANFO Pesado con una mezcla de emulsión y NA en cualquier proporción deseada siendo bombeables o vaciables de acuerdo al tipo de mezcla a cargar".

[3] Los rangos de VOD son referenciales y aplican para diámetros de 9 7/8 o mayores

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Fotografía 1: Carguío de taladros con el camión fábrica.
Fuente: Propia.

2.2.18.4.4 ANFO Pesado gasificado

Proceso mediante el cual se sensibiliza la mezcla por medio de una reacción química que forman burbujas de gas (nitrógeno), Dicha reacción se produce por una dosificación de solución de nitrito de sodio al 10 % a la mezcla y que es controlada durante la operación. El control de la densidad en los Heavy Anfo Gasificado determina que el explosivo detone con la eficiencia y sus propiedades técnicas esperada, VOD, Energía de explosivo.

Determinamos la densidad final del producto teniendo en cuenta el tiempo de reacción y el incremento de volumen en el producto. La mezcla cargada en el taladro tiene una densidad inicial esta debe ser controlada hasta llegar a una densidad constante para asegurar que las proporciones son las correctas.

Figura 17: Componentes del Anfo pesado gasificado.
Fuente: Elaboración Propia.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

La reacción que se produce es la siguiente:

$$NH_4 + NO_2 \longrightarrow N_2 + 2H_2O$$

En este caso el nitrito de sodio (NaNO2) reacciona con el nitrato de amonio (NH4NO3), generando pequeñas burbujas de gas nitrógeno como se muestra en la figura 18.

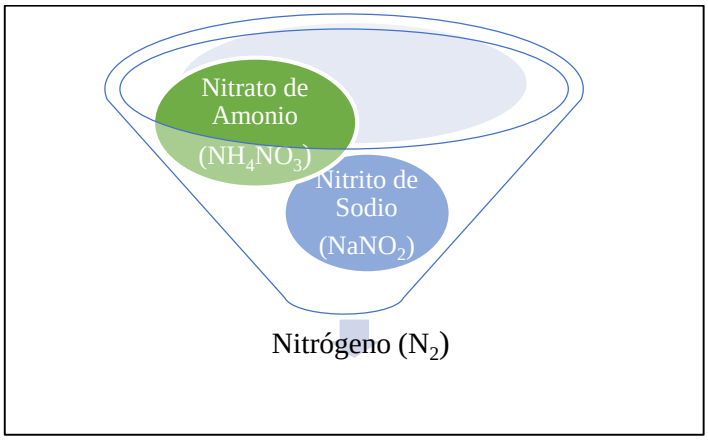


Figura 18: Gases de nitrógeno producido por la reacción.
Fuente: Elaboración propia.

- Mejores propiedades de voladura, debido a mayores VOD y sensibilidad del explosivo.
- Regulación de la densidad del producto explosivo.
- Control de generación de gases nitrosos en terrenos saturados de aguas (en especial si son dinámicas y de bajas temperaturas).

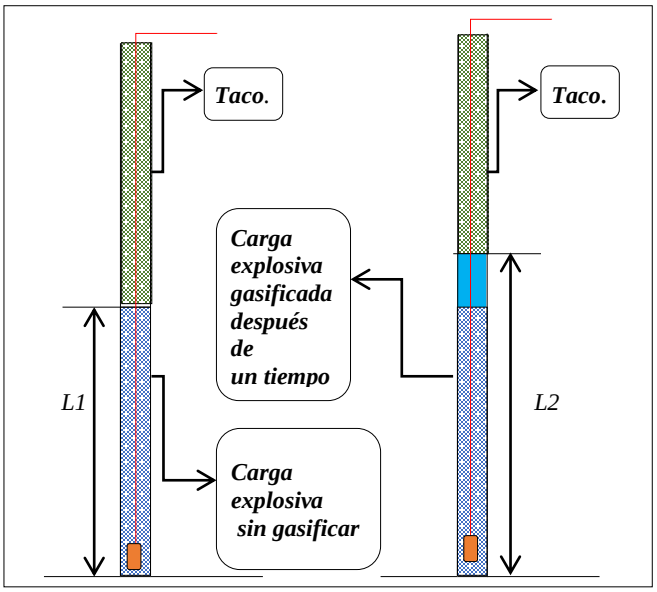


Figura 19: Diseño de carga de taladros con ANFO Pesado antes y después de ser gasificada.
Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.18.5 Determinación de costos de los explosivos

El coste del explosivo es evidentemente un criterio de selección muy importante. En principio, hay que elegir el explosivo más barato con el que se es capaz de realizar un trabajo determinado.

Se observa que el explosivo más barato es el ANFO, que llega a suponer un consumo total entre el 50 y el 80%, según los países. Otros atractivos de este agente explosivo son la seguridad, la facilidad de almacenamiento transporte y manipulación, así como la posibilidad de la carga a granel.

Pero, a pesar del bajo precio, el ANFO presenta algunos inconvenientes como son su mala resistencia al agua y su baja densidad (Lopez Jimeno, 2003).

Al hablar del precio de los explosivos sería más correcto hacerla expresando éste por unidad de energía disponible ($/kcal) que por unidad de peso ($/kg), pues en definitiva los resultados de las voladuras dependen de la energía destinada a la fragmentación y esponjamiento de la roca.

Por otro lado, no hay que olvidar que el objetivo de las voladuras es realizar el arranque con un costo mínimo, y que en rocas duras la perforación es una operación muy onerosa que puede llegar a compensar ampliamente la utilización de explosivos caros, pero más potentes, o cargas selectivas formadas por un explosivo denso y de alta energía en el fondo y otro menos denso y de energía media en la columna (Lopez Jimeno, 2003).

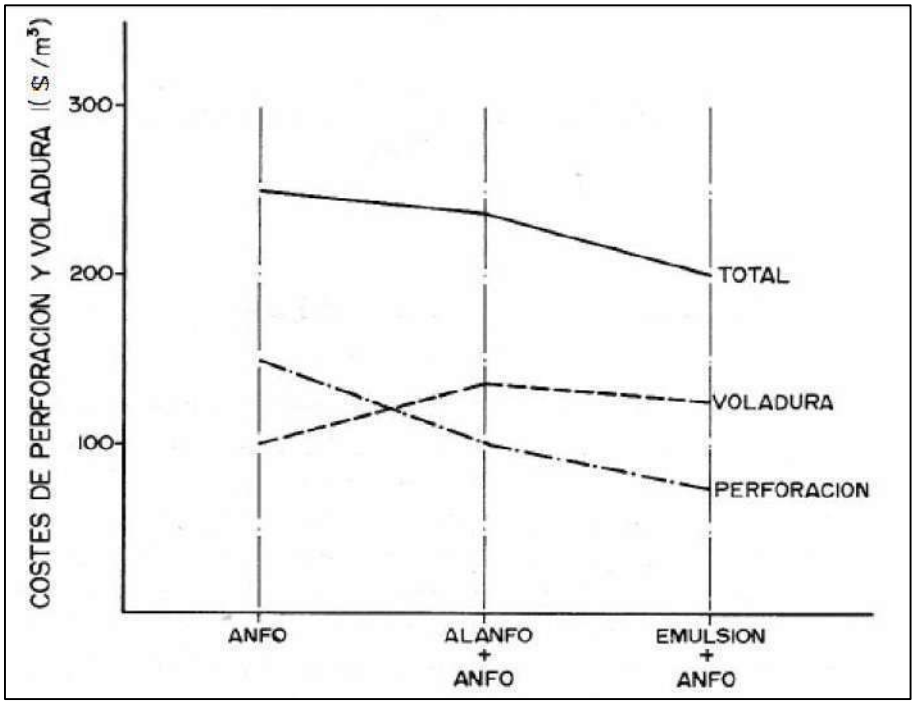


Figura 20: costos relativos de perforación y voladura en rocas duras para distintas alternativas de carga.
Fuente: (Lopez Jimeno, 2003)

Para un diseño geométrico de voladura fijado, utilizando un diámetro de barreno dado, el menor coste se obtendrá empleando un explosivo que proporcione la potencia requerida al menor costo por

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

unidad de longitud de barreno cargada. La posible elección del producto explosivo se muestra en la Figura 20. que presenta la relación entre Potencia Relativa en Peso y Potencia Relativa en Volumen de diferentes tipos de ANFO, emulsiones y ANFO Pesado aluminizados y no aluminizados. Esta figura también muestra cuando pueden usarse los distintos explosivos en barrenos con agua, secos o desaguados. Para una Potencia Relativa en Volumen dada, la Figura 21. refleja que hay una amplia gama de explosivos que pueden elegirse para un esquema de voladura dado. Así pues, desde un punto de vista económico, el mejor explosivo no es el más barato sino aquel con el que se consigue el menor costo de voladura (Lopez Jimeno, 2003).

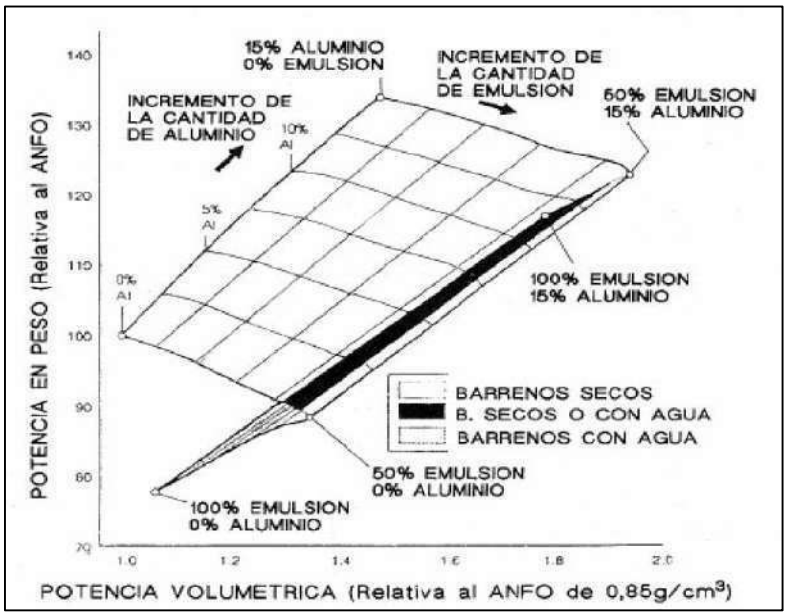


Figura 21: relaciones entre las PRP y las PRV de distintas combinaciones de explosivos de ANFO , Emulsión y ANFO Pesado con diferentes adiciones de aluminio.
Fuente: (Lopez Jimeno, 2003)

2.2.18.6 Sistema de iniciación electrónica

El sistema de iniciación electrónica I-KOn es uno de los sistemas de iniciación más novedoso de los últimos años debido a que la precisión de retardos que es programable y de fácil uso con una holgura de tiempos de programación de 0 a 30000ms con una dispersión de tiempos de retardo de ± 0.02ms es un sistema sofisticado de programación de iniciación de voladura.

Este sistema de iniciación I-Kon está compuesto de 3 componentes principales o hardware y un software que es el SHOTPlus programa de diseño de voladura:

- Detomador digital I-Kon II
- Logger A3
- Blaster (SURBB)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.18.6.1 Detonador totalmente programable i-kon

"El detonador I-Kon, está compuesta de dos cables de conexión, un dispositivo de enganche y un detonador electrónico que compone una serie de sistemas y circuitos electrónicos, en la siguiente imagen se aprecian algunos de estos componentes importantes del detonador" (ORICA, 2013)

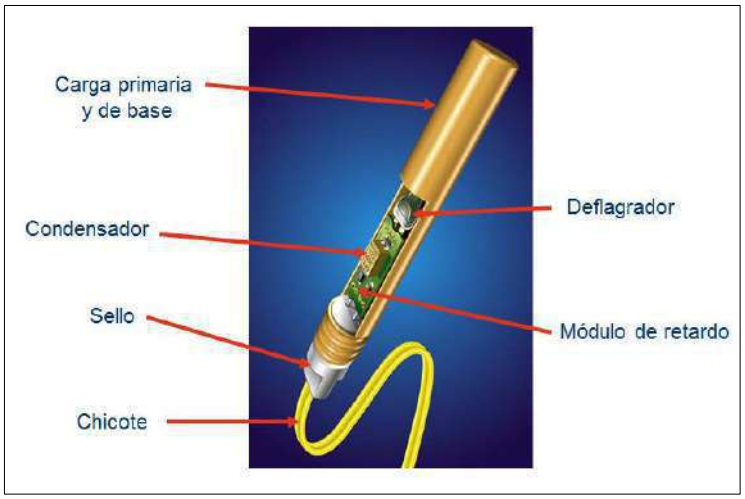


Figura 22: Detonador totalmente programable i-kon.
Fuente: *(Curso bàsico de voladura, 2016)*

2.2.18.6.2 Logger

"El logger es un sistema de programación y administración de los detonadores electrónicos, es de fácil uso, este dispositivo tiene la característica de identificar cada detonador y programar el tiempo de iniciación y detonación, el dispositivo utilizado tiene la característica de almacenar una cantidad de 200 detonadores" (ORICA, 2013)

Figura 23: Logger.
Fuente: (ORICA, 2013)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

2.2.18.6.3 Blaster

"Sistema de iniciación SURBB (sistema de detonación de superficie por control remoto) es un sistema iniciación remota este sistema tiene una capacidad de detonar un aproximado de 2400 detonadores en una sola iniciación o a lo equivalente de 12 Logger en un dispositivo" (ORICA, 2013)

Figura 24: Blaster.
Fuente: Orica, 2013

2.2.18.7 Sistema de iniciación no electrónica.

2.2.18.7.1 Excel MS

Corresponde un detonador no eléctrico de alta potencia con intervalos de retardo en milisegundos entre tiempos de iniciaciones sucesivas.

Los detonadores no eléctricos Exel MS están compuestos principalmente por 4 elementos:

- Detonador con retardo, compuesta por una carga primaria de explosivos, una carga secundaria y un tren de retardo.
- Tubo de señal, componente que transmite la señal a la cápsula de retardo. En el momento que el tubo es iniciado, transmite interiormente una onda de choque de baja energía la cual inicia los mixtos de retardo. Esta señal es capaz de desplazarse a través del interior del tubo, sin afectar a ningún agente explosivo u otro accesorio con el cual esté en contacto directo.
- Etiqueta de retardo, elemento que indica el número de serie MS y el rango de tiempo nominal correspondiente a cada detonador.
- Gancho J, dispositivo que une el tubo de señal a la línea troncal de cordón detonante.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

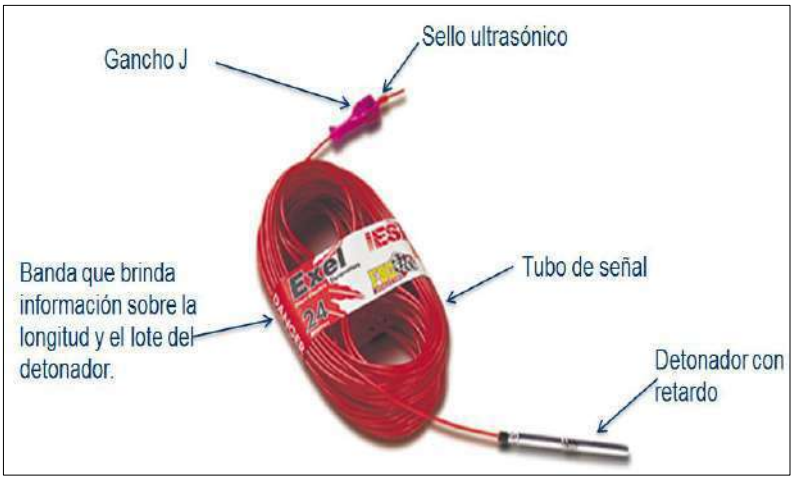


Figura 25: Excel MS.
Fuente: (Curso bàsico de voladura, 2016)

2.2.19 Vibraciones

Peña Vizarreta (2014), "Se conoce por vibraciones un fenómeno de transmisión de energía mediante la propagación de un movimiento ondulatorio a través de un medio. El fenómeno vibracional queda caracterizado por una fuente o emisor o sea un generador de vibraciones; y por un receptor de las mismas"

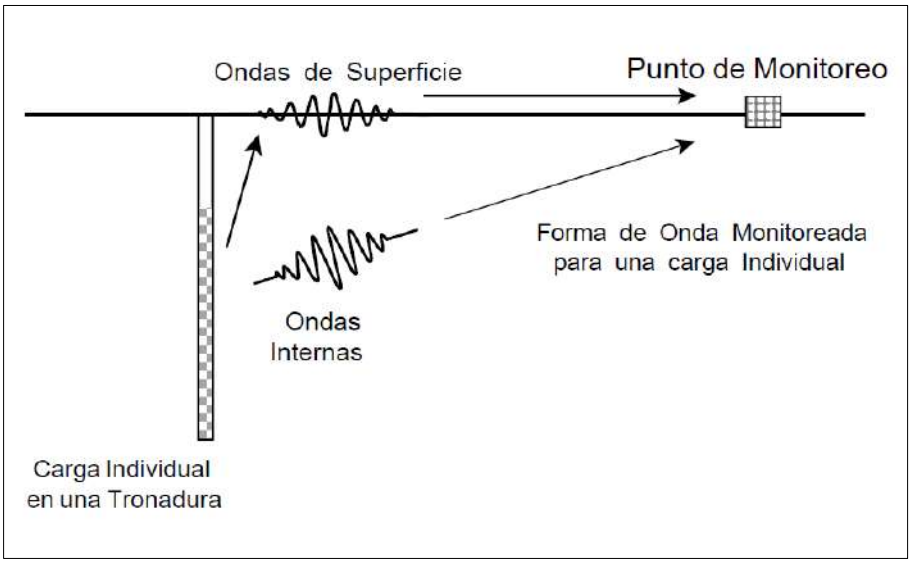


Figura 26: Ondas generadas por voladura.
Fuente: (Scherpenisse, 2006)

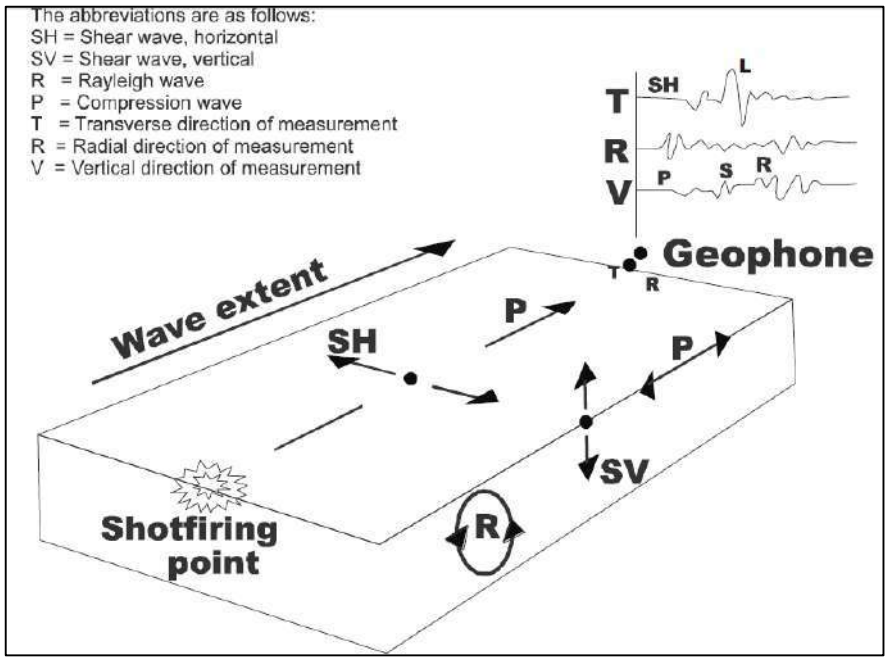


Figura 27: Se muestra el espectro de ondas que se generan en el momento de la detonación de una mezcla explosiva comercial cargada dentro de un taladro.
Fuente: (Peña Vizarreta, 2014)

2.2.19.1 Amplitud de la Vibración

Zapata Porras (2012), "La amplitud de las vibraciones es una medida de su "Fuerza" y la energía de una onda de vibraciones es proporcional al cuadrado de su amplitud. En el caso de una vibración continua, en la cual cada ciclo de propagación tiene la misma forma, un valor único es suficiente para describir la "fuerza" de la vibración o la amplitud"

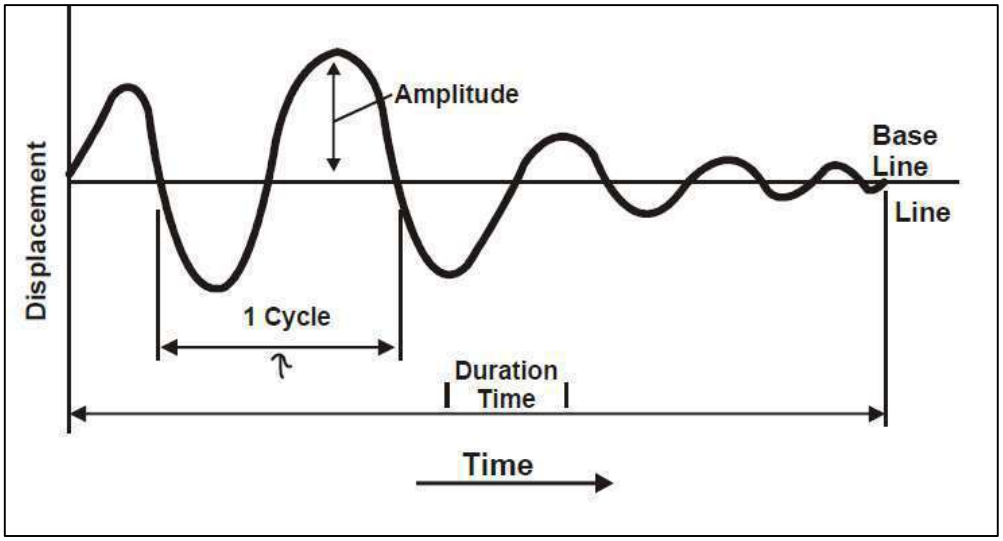


Figura 28: Muestra las propiedades básicas de las ondas.
Fuente: (Peña Vizarreta, 2014).

2.2.19.2 Frecuencia

Peña Vizarreta (2014), "Es el número de ciclos ejecutados por la unidad de tiempo. En cualquier estudio de vibraciones, la unidad de tiempo es el segundo; entonces, las unidades de frecuencia son ciclos por segundo o Hertz"

2.2.19.3 Velocidad

Peña Vizarreta (2014), "La velocidad de propagación describe la velocidad con la cual la onda se desplaza a través de la roca. Esta velocidad puede ser medida utilizando dos geófonos ubicados a diferentes distancias de la voladura, y mediante la medición de la diferencia de tiempo de arribo de cada señal"

2.3 Definición de términos

Agente explosivo: Mezcla de sustancias combustibles y oxidantes que no son intrínsecamente explosivas por separado (Lopez Jimeno, 2003).

ANFO: Agente de voladura que no contiene más ingredientes esenciales que nitrito de amonio en prills y aceite combustible. (Hepler, y otros, 2008)

ANFO Pesado: Agente explosivo constituido por una mezcla de emulsión y ANFO. (Lopez Jimeno, 2003)

Burden o Piedra "B": También denominada piedra, bordo o distancia de menor resistencia a la cara libre. Es la distancia desde el pie o eje del taladro a la cara libre perpendicular más cercana. También la distancia entre filas de taladros en una voladura. (Konya , y otros, 1998)

Carguío: Colocación de un material explosivo en un taladro o contra el material que se va a romper. (Hepler, y otros, 2008)

Carga conformada: Explosivo preparado con una configuración geométrica especial, empleado fundamentalmente en la fragmentación secundaria y en demoliciones (Lopez Jimeno, 2003)

Carga espaciada: Carga constituida por explosivo a granel, cartuchos o fracciones de éstos, separados con un material inerte o aire, e iniciados de forma instantánea o retardada. (Lopez Jimeno, 2003)

Carga de columna: Carga de explosivos de un taladro en forma de una columna continúa y larga. (Hepler, y otros, 2008)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Carga de fondo: Explosivo, generalmente de alta potencia, situado en la parte inferior de un barreno. (Lopez Jimeno, 2003)

Concentración de carga: Cantidad de explosivo utilizada por metro lineal de barreno para un diámetro (Lopez Jimeno, 2003)

Consumo específico: Cantidad de explosivo empleada por t o m3 de roca volada. (Lopez Jimeno, 2003)

Densidad: Peso por unidad de volumen, determina la sensibilidad, velocidad de detonación y

diámetro crítico; para los explosivos comerciales la densidad varía entre 0,8g/cm3 y 1,6 g/cm3 (International Society of Explosives Engineers, 2008, pág. 36).

Densidad de Carga en (kg/m): Define la medida de llenado de un barreno con explosivo, en proporción a la longitud total. Es la medida que permite identificar la cantidad de kilogramos de explosivo por cada metro de perforación. (Exa, 2005)

Desacoplamiento: Separación entre la superficie de una carga de explosivo y la pared del barreno donde se encuentra. (Lopez Jimeno, 2003)

Detonación: Reacción explosiva que se traslada a través de un material explosivo a una velocidad mayor que la velocidad del sonido en dicho material. (Hepler, y otros, 2008)

Detritus: Partículas o esquirlas de roca procedentes de la perforación de un barreno. (Lopez Jimeno, 2003)

Diámetro crítico: Diámetro por debajo del cual no tiene lugar la detonación estable de una carga de explosivo. (Lopez Jimeno, 2003)

Diámetro de carga: La velocidad de detonación del explosivo se incrementa con el diámetro de la carga hasta un valor óptimo. También afecta, al grado de acoplamiento y a la carga lineal. (Dr.Muñoz García)

Elemento de retardo: Accesorio de iniciación que sirve para desfasar en el tiempo el instante de detonación de una carga con respecto a otra. (Lopez Jimeno, 2003)

Emulsión: Agente explosivo en el que el nitrato amónico está disuelto en agua y en forma de pequeñas gotas rodeadas de un combustible. (Lopez Jimeno, 2003)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Espaciamiento S (m.): Es la distancia entre taladros de una misma fila que se disparan con un mismo tiempo de retardo o con retardos diferentes y mayores en la misma fila. (Manual práctico de voladuras. (Exa, 2005). Al igual que el burden, los espaciamientos muy pequeños producen exceso de trituración, lomos al pie de la cara libre y bloques de gran tamaño en el tramo del burden. Por otro lado, espaciamientos excesivos producen fracturación inadecuada, lomos al pie del banco y una nueva cara libre frontal irregular. (Konya , y otros, 1998)

Longitud de Barreno L (m.): La longitud de perforación o taladro tiene marcada influencia en el diseño total de la voladura, principalmente para el cálculo de diámetro, burden y espaciado. (Exa, 2005)

Longitud del Explosivo L (m.): Es la parte activa del taladro de voladura, también denominada longitud de carga" donde se produce la reacción explosiva y la presión inicial de los gases contra las paredes del taladro. Es importante la distribución de explosivo a lo largo del taladro, según las circunstancias o condiciones de la roca. Usualmente comprende de 1/2 a 2/3 de la longitud total y puede ser continua o segmentada. (Exa, 2005)

Piedra: Distancia desde un barreno al frente libre de la roca, medida perpendicular al eje del taladro. (Lopez Jimeno, 2003)

Precorte: Voladura de contorno constituida por barrenos que se disparan antes que las voladuras de destroza y que crean un corte o plano de figuración " en las rocas. (Lopez Jimeno, 2003)

Presión de detonación: Presión medida en el plano C-J, por detrás del frente de detonación, cuando éste se propaga por una columna de explosivo. (Lopez Jimeno, 2003)

Recorte: Voladura de contorno formada por barrenos próximos y cargas suaves disparadas después de las de destroza para conseguir una mejor terminación del perfil final. (Lopez Jimeno, 2003)

Velocidad de detonación: Velocidad a la que la onda de detonación se propaga en una carga de explosivo (Lopez Jimeno, 2003).

Voladura: Fragmentación de la roca y otros materiales sólidos mediante explosivos confinados en barrenos o adosados a su superficie. (Lopez Jimeno, 2003)

Voladura amortiguada: Técnica de voladura utilizada para crear pendientes competentes o paredes lisas. Los taladros de amortiguación, disparados después de la carga principal, tienen un esponjamiento reducido y emplean cargas desacopladas. (Hepler, y otros, 2008)

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Voladura controlada: Técnica de voladura usada para controlar la sobre excavación y producir un talud final competente. Puede ser de precorte, recorte, perforación en línea, voladura amortiguada, etc. (Lopez Jimeno, 2003)

Voladura secundaria: Técnica de voladura empleada para trocear los bolos producidos en las voladuras principales. (Lopez Jimeno, 2003)

Sensibilidad: Medida de la susceptibilidad de un explosivo para detonar cuando recibe un impulso externo subsónico. También medida de la disponibilidad de un explosivo para propagar la detonación. (Lopez Jimeno, 2003)

Sismógrafo: Instrumento que mide y proporciona un registro permanente de las vibraciones del terreno inducidas por terremotos y voladuras (Lopez Jimeno, 2003)

Talud: Relación entre la proyección horizontal y la altura del frente de un banco. (Lopez Jimeno, 2003).

Retacado T (m.): Normalmente el taladro no se llena hasta la parte superior con explosivo; un porcentaje aproximado del 30% se rellena con material inerte el cual tiene la función de retener los gases generados durante la detonación a lo cual se denomina retacado. La principal función de este parámetro es evitar la fuga de gases por la boca del taladro, de esta forma los gases concentrados trabajan en función de la fragmentación. (Exsa, 2001).

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

CAPÍTULO III
DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Definición de Variables

3.1.1 Variables independientes

Diseño de carga y amarre en el Tajo Ferrobamba

3.1.1.1 Definición conceptual

Lopez Jimeno (2003), "Las propiedades de la roca pueden ser difíciles de correlacionar con las actividades de la voladura. Los materiales que constituyen los macizos rocosos poseen ciertas características físicas que son función de su origen y de los procesos geológicos posteriores que sobre ellos han actuado. El conjunto de estos y fenómenos conduce en un determinado entorno, a una litología particular con unas heterogeneidades debidas a los agregados minerales policristalinos y a las discontinuidades de la matriz rocosa (poros y fisuras); y a una estructura geológica en un estado tensional característico, con un gran número de discontinuidades estructurales como fracturas, diaclasas, juntas".

3.1.1.2 Definición operacional

La variable será analizada a través de ensayos geo mecánicos realizados por el área de geo mecánica en las áreas de perforación y voladura.

3.1.2 Variables dependientes

Optimización de la voladura y su impacto económico en el Tajo Ferrobamba.

3.1.2.1 Definición Conceptual

Hopler (2008), "En un diseño de voladura muchos factores influyen en el rompimiento de la roca. La habilidad para reconocer estos factores es importante al predecir los resultados de un diseño de voladura. Los factores que influyen el rompimiento de la roca en un diseño de voladura pueden dividirse en tres clasificaciones diferentes: perforación, explosivos y geología. Estos factores pueden, a su vez, como variables o fijos. Los factores variables son aquellos sobre los cuales el operador tiene el control, tales como el tamaño del taladro y el tipo de explosivos. La geología de un área de voladura, en cambio, por lo general se describe como un factor fijo".

3.1.2.2 Definición operacional

La variable será analizada mediante la simulación a través de programas como el SHOTPlus.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

3.2 Operacionalización de variables

Tabla 12: Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Indices
Variable independiente (Diseño de carga y amarre en el tajo Ferrobamba)	1.1 Características geo mecánicas de la roca.	RMR, GSI,
	1.2 Diseño del banco y berma - Altura de banco - Ancho de banco	 m. m.
	1.3 Diseño de malla de perforación - Burden - Espaciamiento	 m. m.
Variable dependiente (optimización de la voladura y su impacto económico en el tajo Ferrobamba)	2.1 Configuración carga explosiva - Carga de fondo - Carga de columna	 m. m.
	2.2 Configuración de longitud de carga - Longitud de carga de fondo - Longitud de carga de columna - Longitud de taco	 m. m. m.
	Accesorios de voladura - Cordon detonante - Booster o prima - Ikon - exel	 VOD VOD ms ms
	Diseño de amarre y asignación de tiempos - Detonadores electrónico Ikon - Exel.	 ms ms
	Factor de potencia	Kg/ton
	Fragmentación	Pulgadas
	Sobrerotura de contorno	m.
	Costos unitarios	USS/TM.

Fuente: Elaboración propia

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

3.3 Hipótesis de la Investigación

3.3.1 Hipótesis general

El diseño de carga y amarre optimizará la voladura e impactará económicamente en el Tajo Ferrobamba - Las Bambas 2018.

3.3.2 Hipótesis específicas

- El diseño de carga y amarre mejorará la fragmentación por voladura del macizo rocoso en el Tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018.
- El diseño de carga y amarre reducirá el sobre quiebre y controlará el nivel de vibraciones producto de las voladuras en el tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018.
- El diseño de carga y amarre influirá en el aspecto económico de la voladura en el tajo Ferrobamba – Las Bambas 2018.

3.4 Tipo y diseño de la investigación

3.4.1 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación es de tipo descriptivo – correlacional realizado en el Tajo Ferrobamba de la Unidad Minera Las Bambas.

3.4.2 Diseño de investigación

El diseño de investigación es cuasi experimental

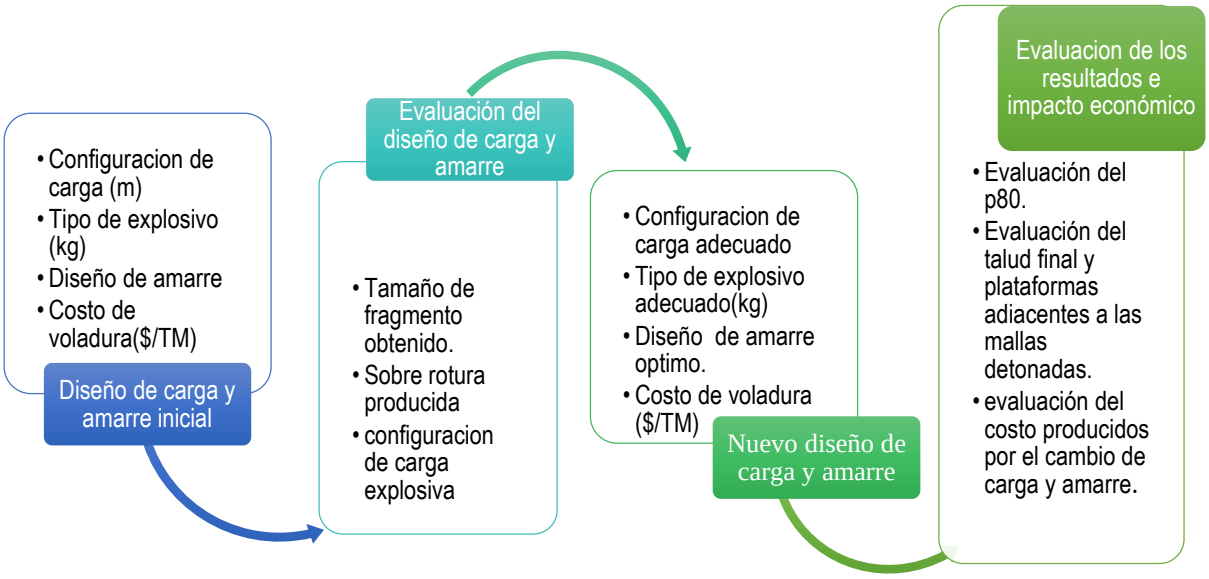


Figura 29: Diseño de la investigación.
Fuente: Elaboración Propia.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

3.5 Población y muestra

3.5.1 Población

La población está conformada por las siguientes zonas del Tajo Ferrobamba:

- Jahuapaylla alta
- Jahuapaylla intermedia
- Jahuapaylla baja
- Fase II

3.5.2 Muestra

Para la elaboración de la tesis la muestra representativa está conformada por las voladuras realizadas en el Tajo Ferrobamba, en los proyectos: 3885 – 15; 3885 – 27,28 y 29; 3870 – 05; 3870 – 09 y 11; 3780 – 05 y 09; 3960 – 14 y 15 y 3960 – 25.

3.6 Procedimiento de la investigación

Las etapas que se siguen:

3.6.1 **Primera etapa**: Recopilación de información.

La de recolección de datos que se utilizará en el análisis documental, será atreves de reportes e informes generados por las distintas áreas operativas, así como los explosivos a utilizar y sus características, en los diferentes niveles en el tajo Ferrobamba.

El análisis documental se desarrollará en:

- Recoger la data de cada voladura realizada y las características de la zona disparada.
- Se extraerá elementos de análisis y parámetros que se registren de importancia a nuestra investigación.
- Todos los datos serán ubicados en una base de datos para realizar el procesamiento.

Para la presente investigación se obtendrá datos de aquellas voladuras que demuestren que la implementación de nuevos diseños de carga y amarre optimizaran no solo la fragmentación, sino que permitan mantener la estabilidad de los taludes y reducir el back break.

3.6.2 **Segunda etapa:** Secuencia de toma de datos

- Se realizará la evaluación del macizo rocoso en los diferentes niveles
- Se establece las características del tipo de explosivo y diseños de carga

3.6.3 **Tercera etapa:** Pruebas de voladura

Se realizará pruebas de voladura de acuerdo a los diseños de carga establecidos

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

3.6.4 **Cuarta etapa:** Medición y evaluación

Medición y evaluación de resultados de voladura.

3.6.5 Procesamiento y análisis de datos

Para el procesamiento y análisis de los datos obtenidos se usará el software wig frac, SHOTPlus y para datos estadísticos el software Microsoft Excel 2010.

3.7 Material de investigación

3.7.1 Instrumentos de investigación

Los instrumentos que se establecen para realizar la investigación son:

a. Instrumentos como:
   - El sismógrafo que nos permite obtener información acerca del nivel de vibraciones que se tienen como producto de la detonación
   - medidor de humo nos dará información del nivel de gases producidos por la emanación de los diferentes gases productos de la voladura.

b. Software como:
   - El wipfrag programa para obtener datos como la fragmentación.
   - SHOTPlush este programa nos permite realizar simulaciones de voladura

c. Mediciones como:
   - la velocidad de detonación
   - sobre quiebre.

3.7.2 Plan de tratamiento de datos

3.7.2.1 Técnicas estadísticas

Las técnicas estadísticas a usar para la elaboración de la tesis serán las siguientes:

- Identificamos donde, como y cuando y con qué frecuencia se presentan los problemas
- Analizar los datos para identificar fuentes de variabilidad, analizar estabilidad y pronosticar desempeño
- Identificar con rapidez anormalidades en el proceso
- Ser objetivo en la planeación y toma de decisiones
- Expresar los hechos en forma de datos y evaluar el impacto de las acciones de mejora

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

CAPÍTULO IV
RESULTADOS

4.1 Descripción de los resultados

4.1.1. Linea de base de los parámetros de voladura

Para optimizar el diseño de carga y amarre en taladros de producción se realizaron pruebas con la finalidad de mejorar la fragmentación y una reducción en la emisión de gases nitrosos. Las voladuras realizadas en el nivel 3900 proyectos 17 y 18, dan mención de parámetros perforación y voladura.

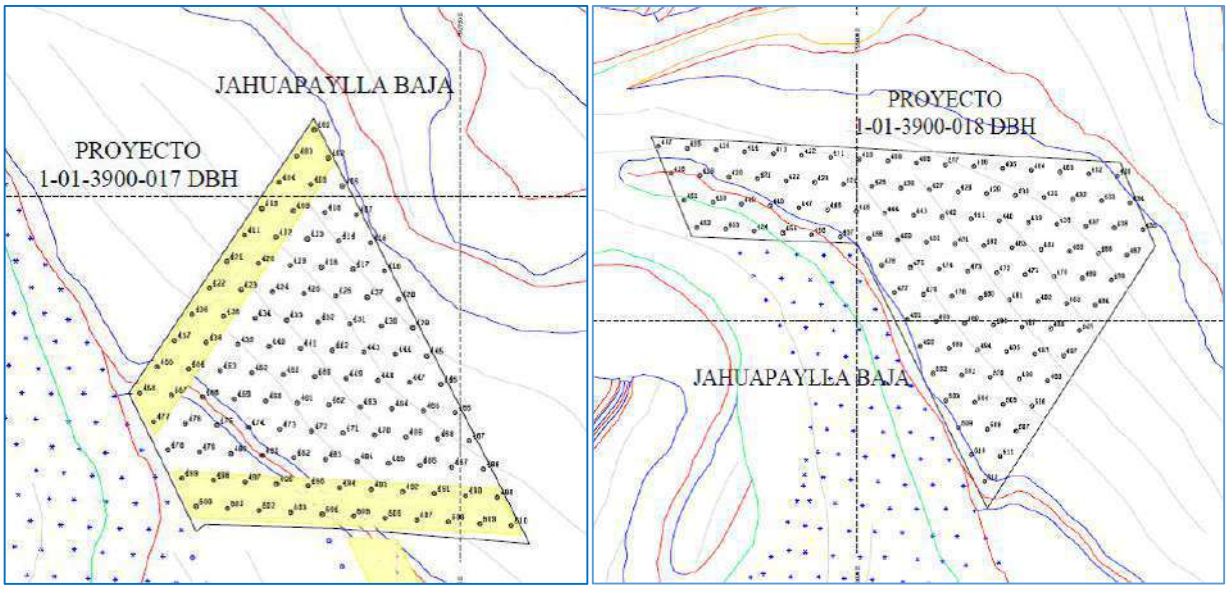


Figura 30: Mallas de perforación del nivel 3900, proyecto 17,18.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

4.1.1.1. Diseño de carga del proyecto 3900_17,18 (línea de base)

Los diseños de carga para los taladros correspondientes a la línea de base tienen una longitud de carga de 7.5 metros, conformada por una mezcla de HA 73 (Fortis Advantage), cuya densidad inicial es de 1.33 gr/cc; luego de la sensibilización en el camión fabrica, a través de la inyección de solución de nitrito de sodio al 10%, se obtuvo una densidad promedio de 1.08 a 1.10 gr/cm^3. Por otro lado, la longitud de taco es de 9 metros. La fragmentación gruesa se generaba en esta zona ya que es excesiva, como se muestra en la figura 31.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

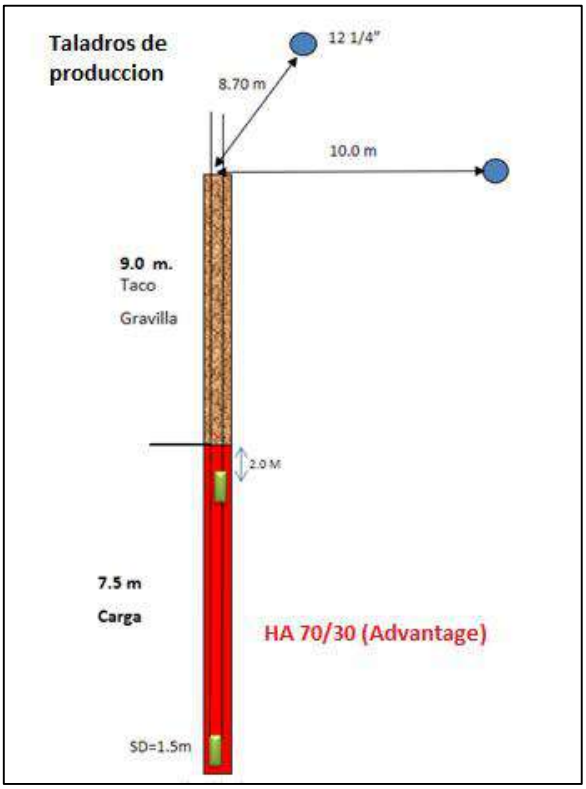


Figura 31: Diseño de carga para taladros de producción (línea de base)

Fuente Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Tabla 13: Parámetros de perforación y voladura (línea de base).

parámetros de perforación	Unidad	Mineral	Parámetros de voladura	Unidad	Mineral
Diámetro taladro	Pulg	12,25	factor de la roca	gr/m^3	2,6
Espaciamiento	m	10	cantidad de explosivo por metro	kg/m	101,19
Burden	m	8,7	Cantidad total de explosivo	kg	708.33
Altura promedio de banco	m	15	Volumen roto	m^3	1305
Sobre perforación	m	1,5	Tonelaje	ton	3393
Profundidad de taladro	m	16,5	Factor de potencia	kg/tn	0,21
Parámetros de voladura	**Unidad**	**Mineral**	**Explosivos y accesorios**	**Unidad**	**Mineral**
Carga de fondo	m	7,5	Explosivo por taladro	Kg	708,32
Taco final	m	9	Booster de 1 libras	lb	1
Tipo de explosivo por taladro	Advantage	HA 73	Ikon de 20 m	m	1
Densidad del explosivo	gr/cc	1,33	Excel MS de 18.2 m	m	1

Fuente Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.1.2. Amarre y secuencia de salida del proyecto 3900_17,18

En la primera imagen se presenta de manera general una vista de la totalidad del proyecto conformado por 210 taladros.

Fotografía 2: proyecto 3900_17,18.
Fuente: Informe técnico de voladura con emulsión sensibilizada a granel fortis advantage® - Las Bambas

Para el diseño de amarre y por ende la secuencia de salida se usó Fanel Dual de retardos, de 800 de fondo y 17 de superficie. El retardo entre taladros es de 17 ms; para los retardos entre filas se empleó Excel Conectadet de 42, 65, 100 y 200 ms. como se muestra en la figura 32.

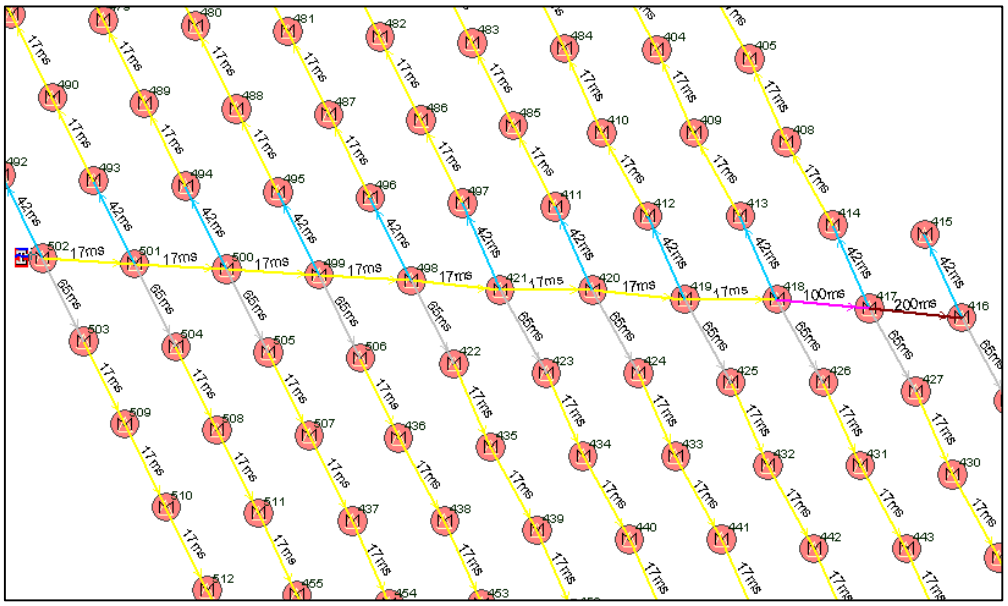


Figura 32: Diseño de amarre y líneas de isotiempo (línea de base)
Fuente: Informe técnico de voladura con emulsión sensibilizada a granel fortis advantage - Las Bambas

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.1.3. Análisis de fragmentación del proyecto 3900_17,18 (línea de base)

Para el análisis de fragmentación se realizan toma fotográfica de los proyectos volados para ser analizadas en el software wipfrag.

Fotografía 3: Fragmentación del proyecto 3900_17,18
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Después del análisis de la fragmentación con el software wigfrag, se tiene un p80 igual a 5.9 pulgadas, para una longitud de carga igual a 7.5 metros y un taco igual a 9 metros.

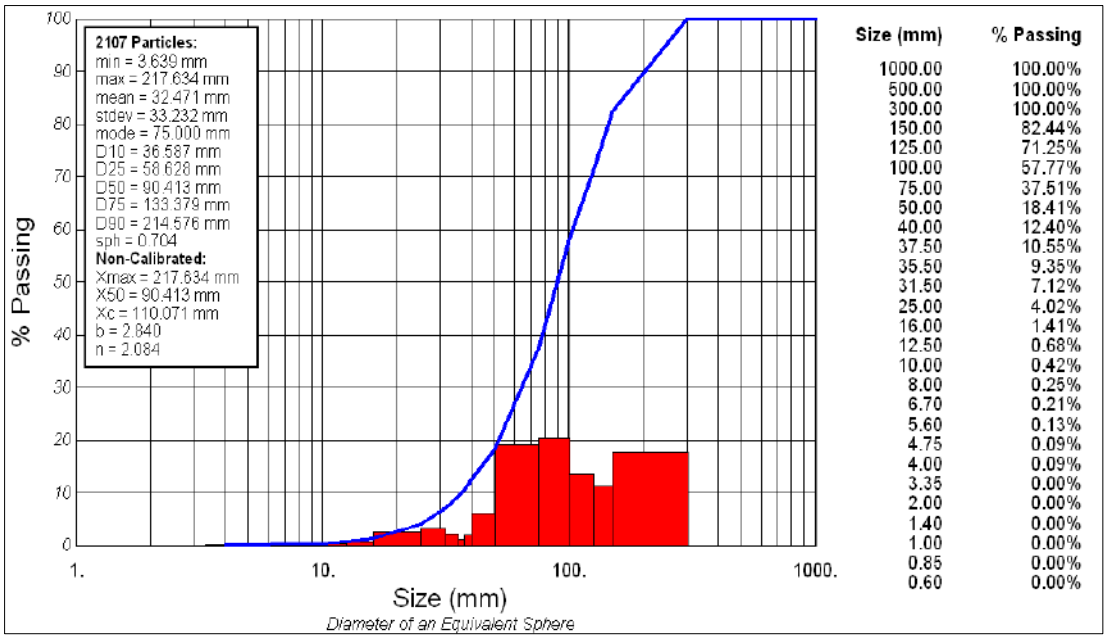


Gráfico 1 : Análisis de fragmentación del proyecto 3900_17,18.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Las mezclas usadas son HA 46, HA 55, HA 64, HA 73. Según la tabla 14, la fragmentación varia de 6 pulgadas a 12 pulgadas para una malla cuyo burden varía entre 8.20 a 8.70 m y un espaciamiento que varía de 9.5 a 10 m.

Tabla 14: Línea de base de los proyectos de voladura.

Zona	Nivel	Proyecto	Tipo de roca	Malla	Explosivo	Factor Kg/TM	P80 (Pulg.)
Bajo Jahuapaylla	3870	29	Mz/ Skarn	9.50 x 8.20	HA/46	0.216	9.58
Bajo Jahuapaylla	3870	29	Mz/ Skarn	9.50 x 8.20	HA/46	0.216	7.31
Alto Jahuapaylla	4170	14	Marmol	9.50 x 8.20	HA/64	0.246	8.85"
Alto Jahuapaylla	4170	14	Marmol	9.50 x 8.20	HA/64	0.246	7.35"
Alto Jahuapaylla	4155	16	Marmol	9.50 x 8.20	HA/55	0.240	12.49"
Alto Jahuapaylla	4155	15	Marmol	9.50 x 8.20	HA/55	0.237	8.86
MiniTajo	3960	13	13-06 MA-OX	8.70 x 10.00	HA 60/40	0.213	10.03
MiniTajo	3960	14	13-06 MA-OX	8.20 x 9.5	HA 70	0.236	9.53

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Chiappetta (2016), La fragmentación está influenciada principalmente por el tipo de explosivo y la longitud de taco ya que esta es el responsable de la fragmentación gruesa. Esto puede significar entre un 20 – 50% del volumen de la voladura.

Para solucionar el problema, lo que normalmente realizan las minas es reducir el taco para mejorar la fragmentación en esta zona, pero esto ha ocasionado problemas de eyecciones violentas y flyrock.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.2. Diseños de carga y amarre

4.1.2.1. Distancia escalada del burden (SD)

Determina la cantidad de explosivo en la columna de carga que influye directamente sobre el taco. Para el análisis de los resultados del SD se toma en cuenta figura Nº 08, a partir del valor del SD se estima la longitud del taco.

En la tabla 15, se muestra los resultados cuando el SD toma distintos valores, es necesario una interpretación adecuada dado que los buenos resultados dependen de esta.

Tabla 15: Valores

SD		Producto
0	0.6	Proyección de roca excesiva, perdida de energía
0.64	0.88	Produce una fragmentación muy fina, cráter visible, una violenta proyección de roca y registros de vibración altos.
0.92	1.4	Entregaran fly rock reducido, buena fragmentación y moderada airblast y vibraciones
1.44	1.8	Genera una fragmentación gruesa, un volumen reducido de roca quebrada en la zona del collar y niveles reducidos de vibración y roca proyectada
1.84	2.4	Pequeños disturbios Superficiales
2.4	mas	Insignificantes efectos en superficie

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

En la tabla 15, se muestran los resultados cuando el SD toma distintos valores, a través de esta teoría se calculó el taco que soporta la carga explosiva encargada de fragmentar la parte superior del taladro, dichos cálculos se muestran en el Anexo 01, los resultados de estos cálculos desarrollados se muestran en la tabla 16, el cálculo del taco optimo se calcula cuando el SD toma valores comprendidos entre 0.92 y 1.4 ya que los resultados en cuanto a fragmentación, proyección de roca y nivel de vibración son óptimos.

Tabla 16: Longitud de taco en función a la teoría establecida por chiappetta.

Tipo de taladro	Diámetro (pulg)	Explosivo	D explosivo (gr/cm3)	Q lineal (Kg/m)	L (m)	W (kg)	SD	D (m)	Taco (m)	Taco Ajustado (m)
Producción	12.25	HA 65/35	1.32	100.43	3.11	312.34	0.92	6.24	4.68	5
Producción	12.25	HA 65/35	1.32	100.43	3.11	312.34	1.16	7.87	6.32	6.5
Producción	12.25	HA 65/35	1.32	100.43	3.11	312.34	1.4	9.50	7.95	8

Fuente: Elaboración propia en funsion a la teoría de chiappetta.

De acuerdo a los cálculos y pruebas realizadas se establece los diseños de carga para los diferentes tipos de taladro, de esta forma se optimizará la fragmentación y reducirá el sobre quiebre en los distintos proyectos de voladura.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 17: Diseños de carga propuestos.

tipo	dureza	burden	espac.	prof.	Carga Fondo	taco intermedio	Carga Columna	taco	Tipo de mezcla	carga	FC
línea	roca	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	kg	Kg/TM
1 Fila Buffer	muy dura	5,5	5,0	16,5	3,0	0,0	0,0	6,0	Emulsion 100	300	0,27
	dura	5,5	5,0	16,5	3,0	0,0	0,0	6,0	Emulsion 100	300	0,27
	media	5,5	5,0	16,5	3,0	0,0	0,0	6,0	Emulsion 100	300	0,27
	blanda	5,5	5,0	16,5	3,0	0,0	0,0	6,0	Emulsion 100	300	0,27
2da Fila Buffer	muy dura	5,5	5,0	15,0	3,0	2,0	3,0	7,0	HA65/35	600	0,54
	dura	5,5	5,0	15,0	3,0	2,0	3,0	7,0	HA65/35	600	0,54
	media	5,5	5,0	15,0	3,0	2,0	3,0	7,0	HA65/35	600	0,54
	blanda	5,5	5,0	15,0	3,0	2,0	3,0	7,0	HA65/35	600	0,54
produccion	muy dura	5,2	6,0	16,0	5,0	0,0	6,0	5,0	HA65/35, Vistis	1014,55	0,80
	dura	5,2	6,0	16,0	10,5	0,0	0,0	5,5	HA65/35	1004,28	0,79
	media	6,0	7,0	16,0	9.5	0,0	0,0	6.5	HA65/35	954,06	0,56
	blanda	6,5	7,5	16,0	9,5	0,0	0,0	6.5	HA65/35	954,06	0,48
Contorno	muy dura	5,2	6,0	16,0	8,0	0,0	0,0	8,0	Emulsion 100	815,6	0,65
	dura	5,2	6,0	16,0	8,0	0,0	0,0	8,0	Emulsion 100	815,6	0,65
	media	6,0	7,0	16,0	8,0	0,0	0,0	8,0	Emulsion 100	815,6	0,48
	blanda	6,5	7,5	16,0	8,0	0,0	0,0	8,0	Emulsion 100	815,6	0,41
Desmonte	muy dura	7,5	8,5	16,5	7,5	0,0	0,0	9,0	HA65/35	753,21	0,27
	dura	7,5	8,5	16,5	7,5	0,0	0,0	9,0	HA65/35	753,21	0,27
	media	8,7	10,0	16,5	7,5	0,0	0,0	9,0	HA65/35	753,21	0,19
	blanda	8,7	10,0	16,5	7,5	0,0	0,0	9,0	HA65/35	753,21	0,19

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

4.1.3. Remplazo de la emulsión Advantage por una emulsión Extra

La emulsión Fortis Extra ha sido específicamente desarrollada para ser usado en minería a tajo abierto ofreciendo el mejor desempeño en las condiciones más difíciles de voladura. La mayor potencia y sensibilidad del sistema Fortis Extra brindará un desempeño superior a cualquier producto estándar y puede ser aplicado en taladros secos o con agua.

La característica diferenciadora de la emulsión Fortis Extra es su alto poder energético, que es un 30% mayor respecto a las emulsiones convencionales existente en el mercado nacional.

Fortis Extra genera mayores valores de velocidad de detonación (VOD). Fortis Extra permite ser gasificado.

4.1.3.1. Comparativo de la energía para una adecuada selección del agente explosivo

Para la selección del agente explosivo con mayor energía, se realizó un comparativo entre las diferentes emulsiones con las que se cuenta.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 18: Parámetros de perforación para establecidos para cada tipo de agente explosivo.

Parámetros	Unidad	Fortis Mex	Fortis Advantage	Fortis Extra
Altura de Banco	M	15.0	15.0	15.0
Densidad de Roca	g/cc	2.5	2.5	2.5
Diámetro	In	12 1/4	12 1/4	12 1/4
Burden	**M**	**6.93**	**7.80**	**7.80**
Espaciamiento	**M**	**8.00**	**9.00**	**9.00**
Relación (E/B)		1.15	1.15	1.15
Sobreperforación	M	1.5	1.5	1.5
Área	m^2	55	70	70
Volumen por Taladro	m^3	831	1053	1053
Toneladas por Taladro	ton/taladro	2078	2633	2633
Taco	M	8.0	8.0	8.0

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Como se puede observar la mayor cantidad de tonelaje movido se da con el Fortis Advantage y Fortis extra si se usa como componente principal en la elaboración del HA 73. Esto no solo por la energía bridada, sino por las características de cada tipo de agente, los cálculos de energía para el agente explosivo se muestran en el Anexo 02.

Tabla 19: Comparativo entre las emulsiones usadas.

Explosivo	Tipo	Fortis Mex 70	Fortis Adva.70	Fortis Extra 70
Densidad de Explosivo	g/cc	1.31	1.33	1.34
Densidad Lineal	Kg/m	99.7	101.2	101.9
Longitud de Carga	m	8.5	8.5	8.5
Carga por Taladro	Kg	847.2	860.1	866.6
Energía Efectiva del Explosivo	MJ/kg	2.52	2.58	2.86
Energía Efectiva por taladro	MJ/taladro	2135	2219	2478
Energía Efectiva por tonelada	MJ/ton	1.027	0.843	0.941
Energía Relativa Efectiva Anfo Eq.	%	110%	112%	124%
Factor de Carga	kg/ton	0.408	0.327	0.329
Factor de Carga Anfo Eq.	kg/ton	0.447	0.367	0.409
Energía Total del Explosivo	MJ/kg	2.96	3.02	3.42
Energía Total	MJ/taladro	2508	2598	2964
Energía Total por tonelada	MJ/ton	1.21	0.99	1.13

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

El comparativo entre las diferentes mesclas explosivas, nos muestra que él HA 70/30 (Extra) desarrolla un 24% mayor de energía relativa con respecto al Anfo, así mismo él HA 70/30 (Extra) desarrolla un 14% de mayor energía por tonelada respecto al HA 70/30 (Advantage).

4.1.4. Determinación de la impedancia

a. Hallamos la VP

Los parámetros geomecánicos que se toman en cuenta para el cálculo son el de una roca skarn ya que es el más representativo en zona donde se realizan las voladuras, estos valores se especifican en la tabla 11.

- Módulo de Young E: 6710 MPa
- Módulo de poison: 0.12
- Densidad de la roca δ_{roca}: 2.6 gr/cm^3

Se debe determinar la Vp, en función de E dinámico, para luego aplicar la impedancia y seleccionar el tipo de explosivo a usar. El Dr Michael King en 1978 postulo que el Modulo de Young Dinámico está comprendido entre 5 y 13 del Módulo del Young estático, por lo que el Modulo de Young Dinámico será igual a:

- *E dinámico = 9 x E estático*
- *E dinámico =9 x 6710 MPa*
- *E dinámico = 60390 MPa*

Ya que la voladura es un proceso dinámico, por lo que se usara las constantes elásticas.

Remplazando los parámetros geo mecánicos en la ecuación 2.22 se tiene:

$$Vp = \sqrt{\frac{60390000000 \times (1 - 0.12)}{2600 \times (1+0.12) \times (1 - 2 \times 0.12)}}$$

$$Vp = 4900.29 \ m/s$$

b. Calculo de la densidad de la mezcla explosiva

La impedancia del explosivo debe serlo más cercanamente posible a la impedancia de la roca, para obtener una buena fragmentación.

Despejando la densidad del explosivo en la ecuación 2.21 se tiene:

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

$$\delta_{explosivo\ confinado} = \frac{\delta_{Roca}\ x\ V_P}{VOD_{\ explosivo}} \qquad \text{E c nº 4.02}$$

El explosivo que cumple con esta condición es la emulsión ya que tiene una VOD promedio de 5000 m/s, remplazando valores en la ecuación 4.02 se tiene:

- $\delta_{Explosivo\ confinado} = \dfrac{2.6\ gr/cm^3\ x\ 4900.29\ m/s}{5000\ m/s}$

- $\delta_{Explosivo\ confinado} = 2.55\ gr/\ cm^3$
- $\delta_{Explosivo\ no\ confinado} = 2.55/1.4$
- $\delta_{Explosivo\ no\ confinado} = 1.82\ gr/\ cm^3$

La impedancia de los explosivos nunca alcanza la impedancia máxima de la roca, debido a la baja densidad de los explosivos comerciales, sin embargo, es un indicativo de los resultados que se tendrá en cuanto a la fragmentación de la roca.

De acuerdo a los resultados obtenidos se necesitará una mezcla explosiva con un alto poder rompedor como él Heavy Anfo, esta mezcla debe desarrollar un alto poder rompedor, pero a la vez debe ser resistente al agua.

4.1.5. Diseño de amarre e iniciación de taladros

Una de las mejores formas de reducir el burden de alivio y por ende mejorar la granulometría, es el uso de diagonales largas al diseñar la secuencia de disparo. Estas diagonales disminuyen el burden efectivo, provocando que la cantidad a remover de material por fila hacia la cara libre generada sea menor, y por ende una mayor efectividad de la fuerzas mecánicas e interacción de las ondas.

Con el cambio de dirección del desplazamiento tenemos que evaluar el comportamiento del espaciamiento ya que esta, así como el burden tiene influencia sobre la fragmentación y el desplazamiento.

En una malla de 5.2 x 6, lo ideal sería que el espaciamiento se siga manteniendo con este cambio de dirección para no afectar los resultados inicialmente obtenidos con los softwares, por tanto, hallaremos el espaciamiento manteniendo el burden y comprobaremos si este tipo de diseño es ideal.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

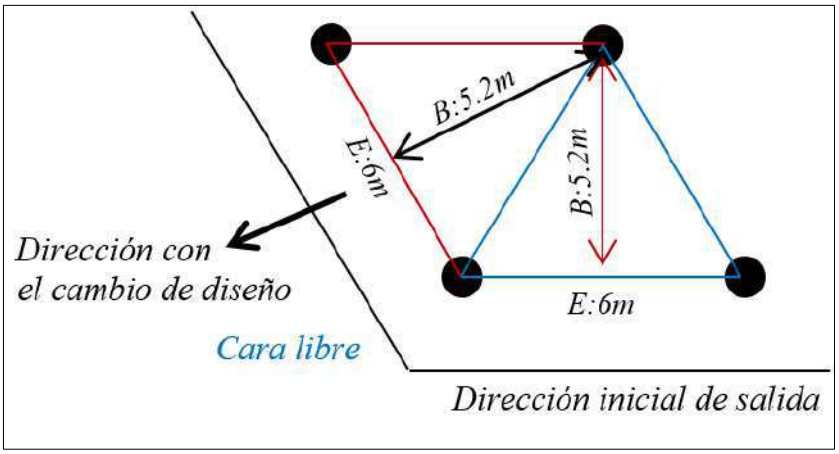


Figura 33: Cambio de dirección en una malla triangular.
Fuente: Elaboración propia.

- Por trigonometría se sabe que:

$$B = \frac{1}{2} x \sqrt{3} x E$$

$$E = \frac{2 x B}{\sqrt{3}}$$

$$E = \frac{2 x 5.2}{\sqrt{3}}$$

$$E = 6.004 \ m.$$

Por lo que el burden se mantendrá en cualquier dirección si el espaciamiento es de 6 m., por lo que el diseño de malla es el ideal.

El tiempo de retardo para mejorar la fragmentación en una malla de 5.2 metros por 6 metros sugieren el uso de constantes de tiempo entre taladros de 3.3 ms/m, ya que esta contante es usada para generar una fragmentación adecuada en rocas duras como Feldespatos Porfídicos, gneis compactos y mica, magnetitas, por lo que el tiempo se obtendrá reemplazando los valores en la ecuación 2.16.

- $Tt = 3.3ms/m \ x \ 6 \ m$
- $Tt = 19.8 \ ms$

De acuerdo a los cálculos, los tiempos entre taladros debe estar comprendidos entre 19.8 ms y 39 ms.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

El tiempo utilizado entre taladros en las voladuras es de 17 ms, ya que los tiempos de retardo en los productos comerciales inician en 17 ms, se ha demostrado que la fragmentación no muestra una mejora cuando los tiempos son inferiores a este. Por otro lado, en zonas de desmonte los tiempos entre taladros son superiores ya que no se requiere una fragmentación reducida sin embargo estos tiempos deben ser inferiores a 39 ms de acuerdo a nuestros cálculos.

El tiempo de retardo entre filas determinan principalmente el apilamiento del mineral, sobre rotura y vibraciones. Konya (1998), indica que los retardos no deben de ser menores a 8.5 ms/m por otro lado para un control en voladuras cercanas a la pared final y zonas de contorno, los tiempos de retardo deben bordear los 40 ms/m.

Para una constante de tiempos entre filas de 8.5 ms/ m y un burden de 5.2 m se tiene:

Reemplazando en la ecuación 2.17.

- $T_f = 8.5\ ms/m \times 5.2\ m$
- $T_f = 44.2\ ms$

Para una constante de tiempos entre filas de 40 ms/m se tiene.

- $T_f = 40\ ms/m \times 5.2\ m$
- $T_f = 208\ ms$

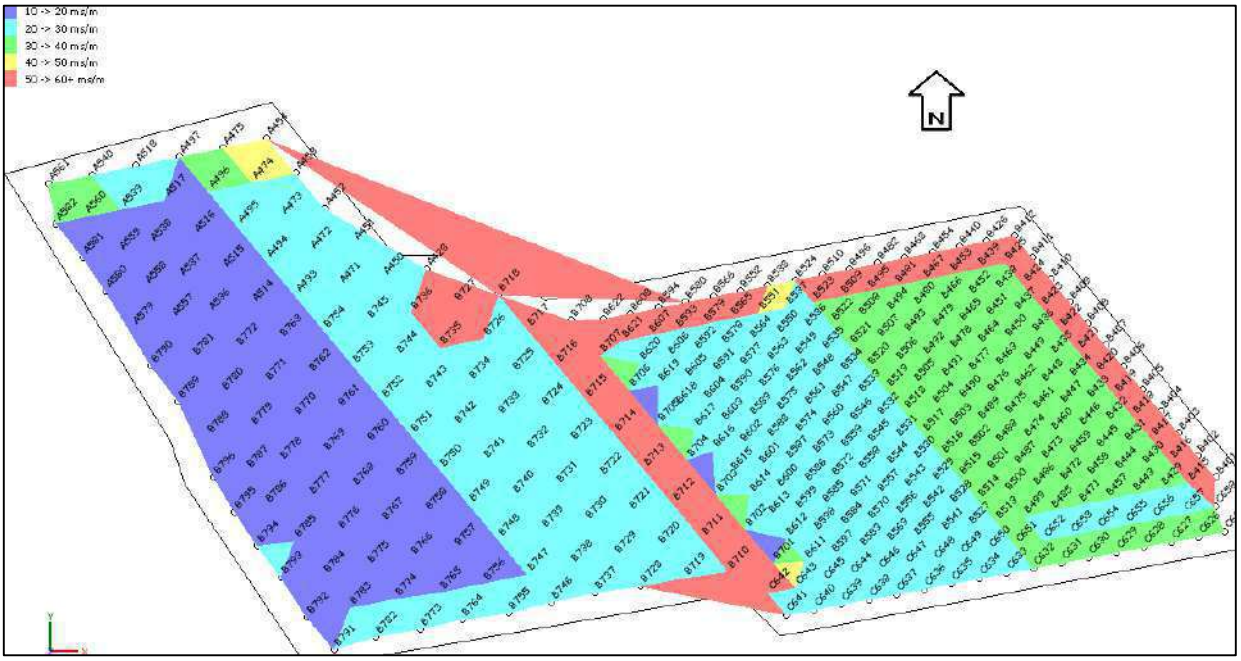


Figura 34: Burden reliff.
Fuente: Elaboración en base a los datos proporcionados por Asistencia Técnica.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Según Inacap (2015), Los burden de alivio deben ser bajos para pozos de producción, no superior a 30 ms/m para lograr una interacción entre los gases y las ondas, pero tampoco deben existir burdenes menores a 12 ms/m para evitar eyecciones de taco. Se recomienda que el alivio no sea mayor a 300 ms entre filas, por un tema de fragmentación tal como se muestra en la figura 34. Los tiempos establecidos entre filas estarán comprendidos entre 100 ms y 150 ms en taladros de producción con la finalidad de mantener la fragmentación. En taladros de contorno los tiempos estarán comprendidos entre 200 ms a 300 ms con el fin de reducir el sobre quiebre.

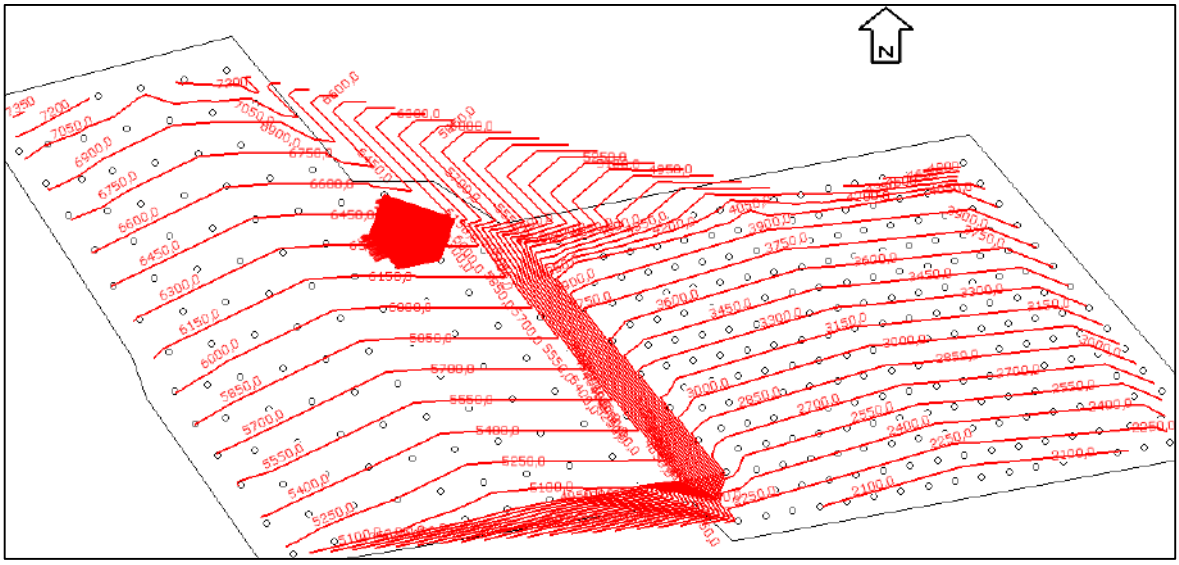


Figura 35: líneas de isotiempos.
Fuente: Elaboración en base a los datos proporcionados por Asistencia Técnica.

Por otro lado, otro concepto que se maneja son las líneas de isotiempos que al igual que los Burdenes relieff nos da una idea de cómo se comportara la fragmentación, sobre quiebre y la generación de vibraciones.

Cuando las líneas de isotiempos están alejadas entre sí, se tendrá un menor alivio es decir un tiempo de detonación reducido entre taladros por lo que se tendrá una buena fragmentación con altos niveles de vibración por otro lado, si las líneas de isotiempo son cercanas entre si se tendrá un mayor alivio ya que los tiempos entre taladros serán más holgados, siendo recomendado en diseños de taladros en contornos ya que reducirá el sobre quiebre que podría generarse.

4.1.6. Evaluación del rendimiento de la iniciación de la carga explosiva

La prueba para la evaluación de la capacidad de iniciación se realizó mediante la medición del VOD de la columna explosiva, esta prueba se realiza con un Booster de 450 gr. (1 Lb) y un Booster de 900 gr. (2 Lb). Con la finalidad de estandarizar el Booster de 2 lb como iniciador en mineral y desmonte.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

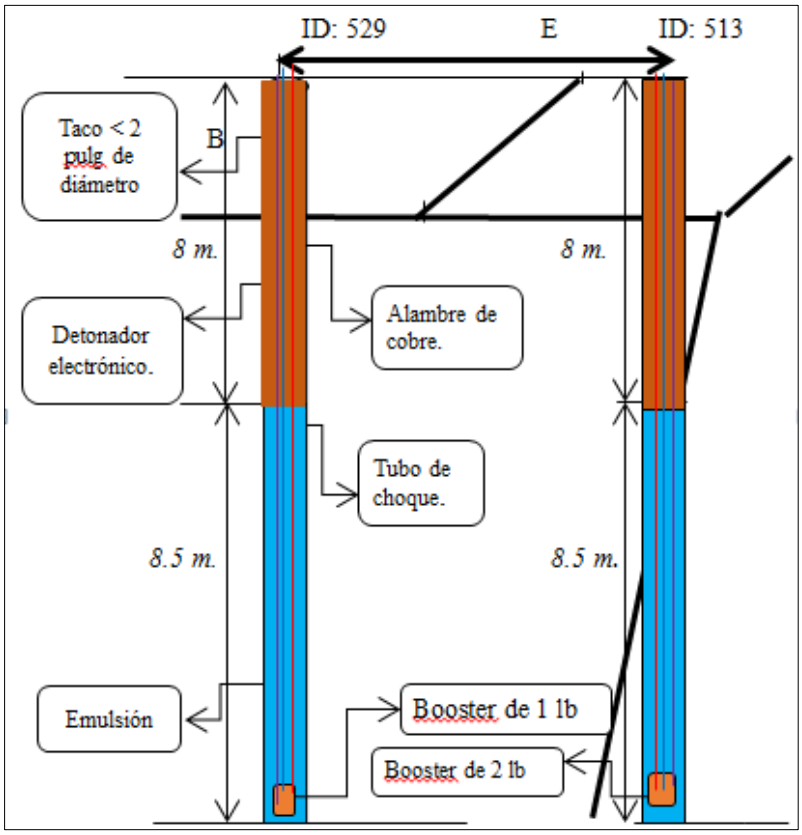


Figura 36: Configuración de carga de los taladros con iniciación de media y una libra.
Fuente: Elaboración propia en base a las pruebas realizadas del VOD – Las Bambas.

Para realizar la prueba se programa la voladura del proyecto Jahuapaylla Alta del nivel: 3870 – 007, Se coordina la secuencia de salida y se sectoriza dos taladros de inicio para la realización de la prueba, el cual nos determinara la velocidad de detonación (VOD), que desarrolla cada columna explosiva para la selección del Booster adecuado.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

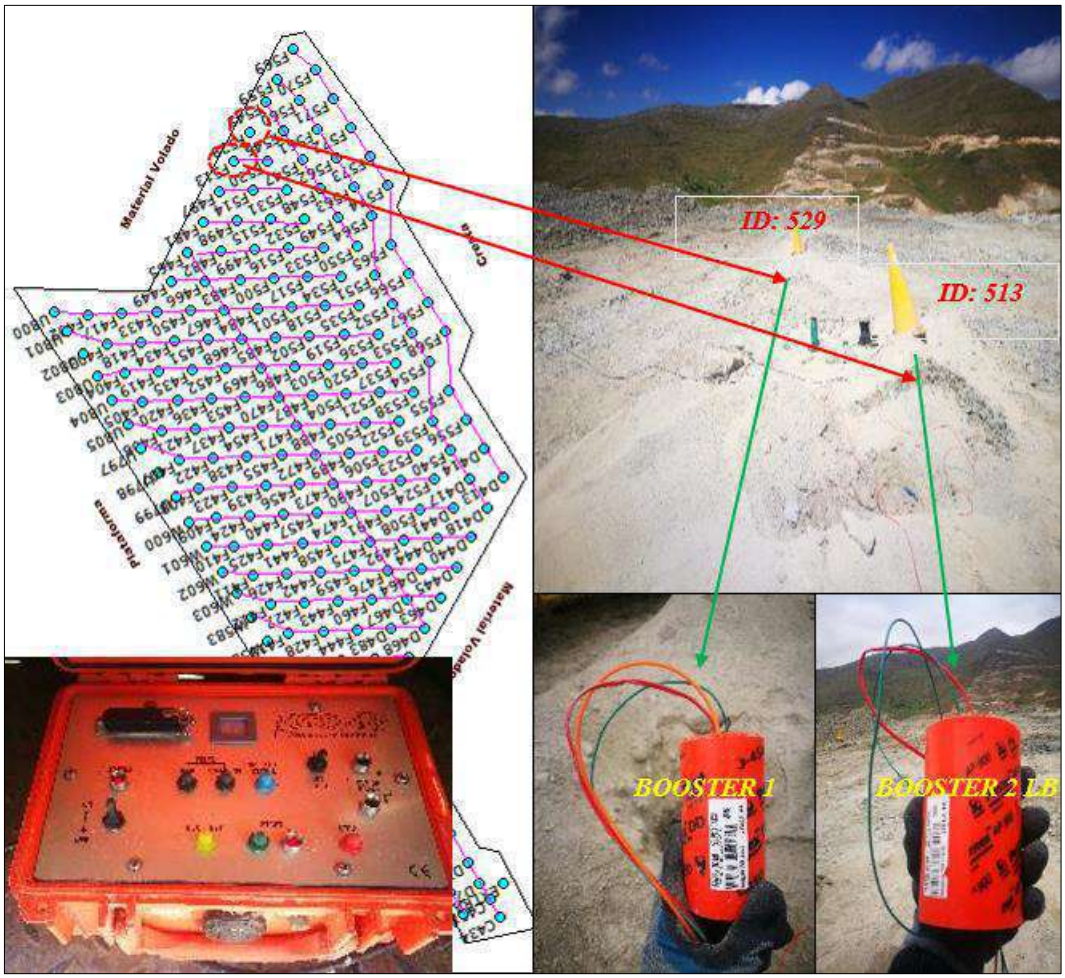


Figura 37: Taladros de prueba para detonación del Booster de media y una libra.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Los parámetros de perforación y voladura del taladro 529 y 513 del proyecto 3870 – 007, se muestran en el Anexo 03.

Como se observa en la figura 38, se realizó el cálculo de las velocidades de detonación con el microtrap obteniéndose una diferencia de 406.2 m/s con el cambio del Booster 1 libra por el Booster de 2 libras

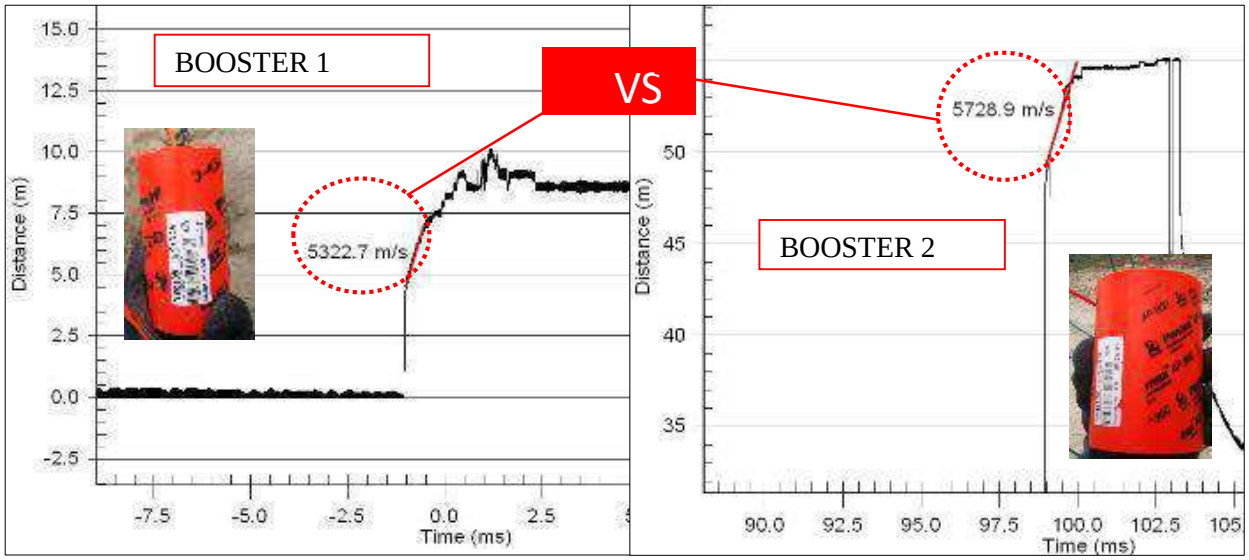


Figura 38: cálculo de velocidades de detonación del Booster de 1 libra y de 2 libras con el microtrap.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Los resultados de la evaluación se muestran en la tabla 20.

Tabla 20: Comparación del Booster de 1 libra y 2 libras

Mezcla	Densidad del explosivo (gr/cc)	Booster (Libras)	Costo del Booster ($)	VOD Resultante (m/s)	Presión de Detonación (Kbar)
Emulsión	1.15	1	4.76	5322.7	81.45
		2	6.55	5728.9	94.35

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Como se puede observar el incremento de la VOD del Booster de 2 libras respecto al Booster de una libra es de 406.2 m/s, esto representa un incremento del VOD en un 7.6 %

Calculo de la presión de detonación:

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Reemplazando los valores en la ecuación 2.23 se tiene:

$$PD = \delta_{explosivo} \; x \; \frac{(VOD)^2}{4} \; x \; 10^{-5}$$

- Calculo de la presión de detonación para un Booster de 1 libras

$$PD = 1.15 \; x \; \frac{(5322.7)^2}{4} \; x \; 10^{-5}$$

$$PD = 81.45 \; Kbar$$

- Calculo de la presión de detonación para un Booster 2 libras

$$PD = 1.15 \; x \; \frac{(5728.9)^2}{4} \; x \; 10^{-5}$$

$$PD = 94.35 \; Kbar$$

Hallando la presión de detonación con cada VOD resultante se obtiene para el Booster de 1 Lb., una PD de 81.45 Kbar; en tanto con el Booster de 2 Lb se obtiene una PD de 94.35 Kbar; alcanzando de esta manera un incremento de presión de detonación del 16%.

Por otra parte, el incremento de malla de perforación es proporcional al incremento de presión de detonación (+/- 5%), por tanto, el rango de ampliación de malla estará comprendida entre 11% a 16%. (Orica Mining Services Perú, 2008)

Tabla 21: Beneficio con el cambio del Booster de 1 libra por el de 2 libras

Incremento de malla	Burden (m)	Espaciamiento (m)	Altura de banco (m)	Densidad de la roca	Toneladas rotas por taladro (TM)	Incremento toneladas rotas por taladro (TM)	Incremento toneladas rotas por taladro (%)
Malla actual	8.3	9.5	15	2.5	2957	693	23
Malla propuesta	9.2	10.6	15	2.5	3650		

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Con este cambio el incremento de material roto por taladro en malla de desmonte estaría comprendido entre un 23% a 34%, es decir con la misma cantidad de explosivo tendríamos un adicional de 693 a 1018 TM, optimizándose significativamente los costos de perforación.

4.1.7. Pruebas realizadas usando HA Extra gasificado

Para realizar la evaluación técnico y análisis de sensibilidad se realizaron disparos primarios, que a continuación se describen, considerando diferentes parámetros de diseño se evaluaran resultados de fragmentación y tiempos de detonación con el empleo de la emulsión gasificada.

4.1.7.1. Configuración de carga del proyecto 3885 -015

Para establecer un diseño adecuado es necesario prestar atención a las prioridades y necesidades que establecen mina, puesto que se puede tener en cuenta un sinnúmero de consideraciones técnicas y operacionales, lo importante son definirlas ya que serán los que determinen nuestro diseño de carga y amarre.

En el nivel 3885 proyecto 015 se cargó 108 taladros, este proyecto está ubicado en mineral y desmonte, como se puede observar en la fotografía 4, se debe de tener en cuenta una serie de consideraciones al momento de establecer una un diseño de carga y amarre.

Fotografía 4: Malla de perforación del proyecto 3885_015.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

En la figura 39, se tiene una zona de mineral y desmonte por lo que se debe evitar la dilución que podría generarse por otra parte se tiene una sola cara libre al norte, plataformas al Este como al Oeste y un talud al sur, por lo que la única dirección de salida será hacia el norte

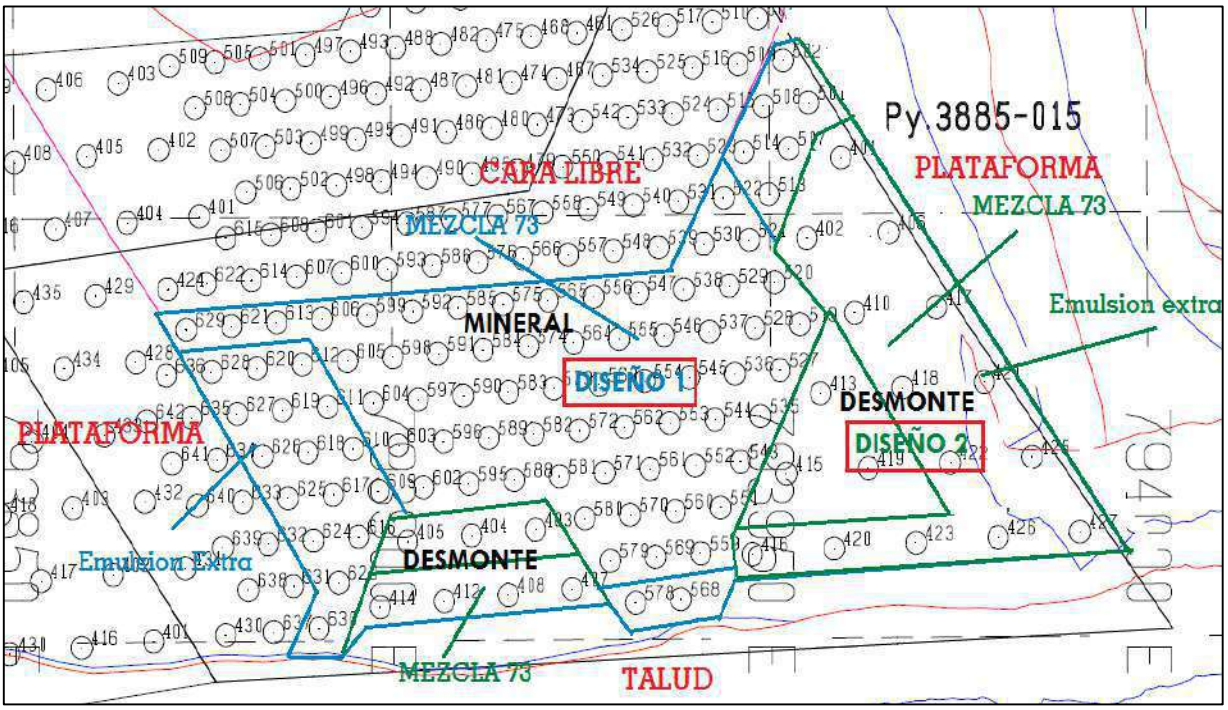


Figura 39: Diseños de carga para la malla del proyecto 3885-015 mineral.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

4.1.7.2. Diseño de carga para taladros de producción del proyecto 3885 - 15

Como se describió anteriormente la longitud óptima del taco se da cuando el SD se aproxima al límite inferior de esta manera la fragmentación proveniente de la zona del taco es mejorada considerablemente como se observa en la figura 40.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

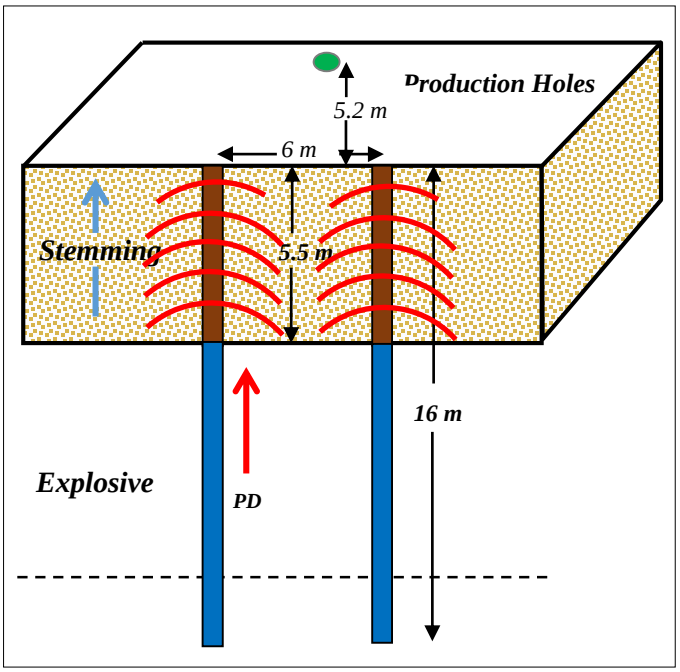


Figura 40: Diseño de carga y malla del proyecto 3885-15.
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de chiappetta.

.

Para reducir el P80 sin tener riesgos por proyección de rocas y vibraciones se estableció un taco de 5.5 m, de esta manera el explosivo encargado de fragmentar el volumen en esta zona encontrara menor resistencia como se observa en la figura 41.

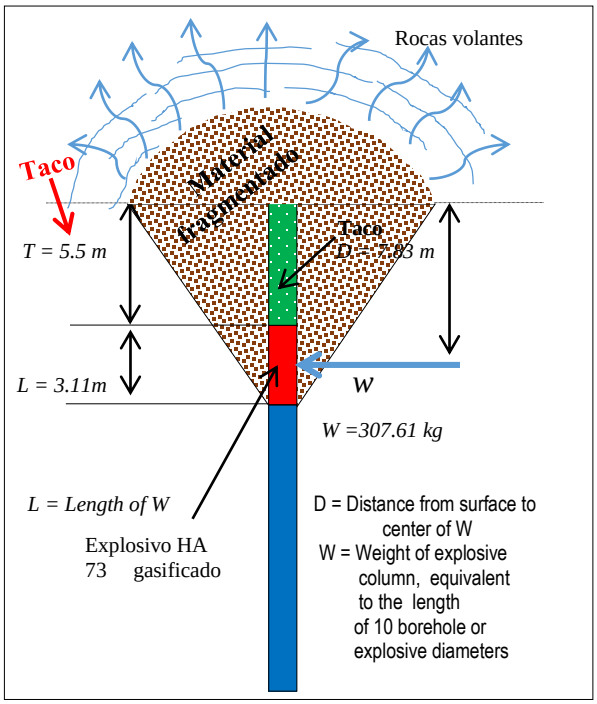


Figura 41: Diseño de taco del proyecto 3885 - 15
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de chiappetta 2014.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Se establecieron 2 diseños de carga, el explosivo a usar serán 2 tipos de mezclas según las condiciones de la roca un HA 73 y HA 55 esto principalmente por la presencia de agua en los taladros, la emulsión usada en los diseños de carga es HA extra ya que tiene mayor velocidad de detonación y menor probabilidad de producir humos naranjas comparadas con el HA Advantage.

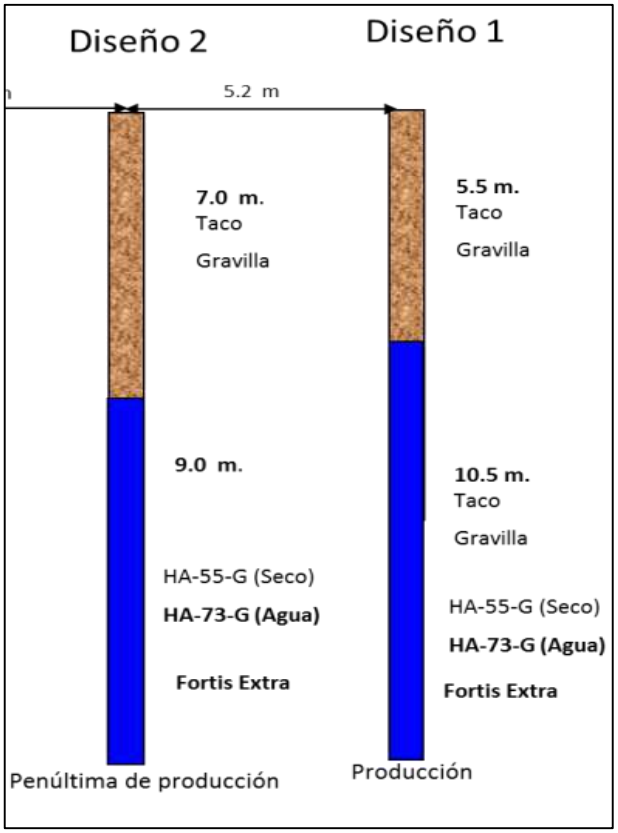


Figura 42: Diseño de carga para la zona de mineral proyecto 3885 - 15.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

4.1.7.3. Diseño de carga en taladros de contorno del proyecto 3885 - 15

Para amortiguar el daño inducido por la detonación de los taladros de producción se usará una carga desacoplada en taladros de contorno con el mismo taco usado en los taladros de producción esto para mantener la fragmentación uniforme, según los cálculos realizados anteriormente la cantidad necesaria para fragmentar 5.5 metros de taco solo es necesario 300 kilogramos de carga intermedia siguiendo el mismo criterio se realizó la misma distribución para la carga de fondo.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

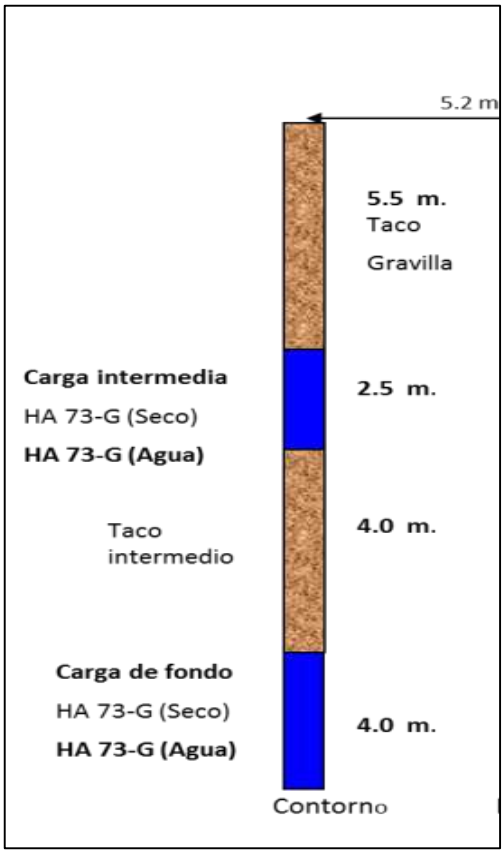


Figura 43: Diseño de carga para taladros de contorno proyecto 3885 – 15.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

4.1.7.4. Diseño de carga en taladros de desmonte del proyecto 3885 - 15

La longitud de carga en taladros de desmonte es de 7.5 m por lo que la longitud de taco esta fuera del intervalo que establece chiappetta para obtener una fragmentación optima, sin embargo, esta debe estar comprendida dentro de las exigencias del KPI

Se establece un taco de 9 metros en la zona de producción y 10 metros en la zona de desmonte para controlar el sobre quiebre. La carga estará comprendida por un HA 73 gasificado por la presencia de agua en los taladros.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

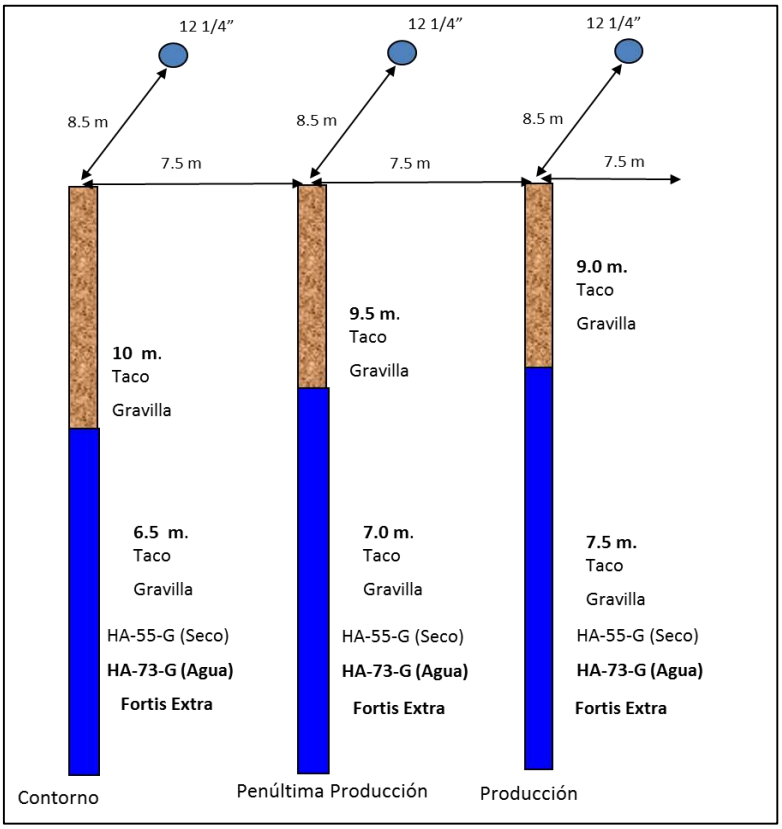


Figura 44: Diseño de carga para la zona de desmonte.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

4.1.7.5. Carguío de taladros del proyecto 3885 - 15

El objetivo de este proceso es aumentar el VOD y sensibilidad a la emulsión mediante la inyección de nitrito de sodio lo que provoca una reacción en la mezcla generando burbujas de gas de nitrógeno La altura en taladros de producción es de 16 metros, la longitud a cargar es de 10.5 metros según el diseño de carga para calcular la cantidad de explosivo necesitamos calcular la cantidad de carga por metro lineal.

Reemplazando los valores en la ecuación 2.11 se tiene.

$$\delta lineal = 0.507 \times (\phi\ tal)\ 2 \times \delta explosivo$$

ϕ *tal:12.25 pulgadas*

Una mezcla de HA 73 tiene una densidad inicial de 1.34 antes de que se dé el inicio al proceso de gasificación.

$\delta explosivo$: *1.32 gr/cc*

Remplazando valores en la ecuación 10 se tiene:

- $\delta lineal = 0.507 \times (12.25)^2 pulg^2 \times 1.32\ gr/cc$
- $\delta lineal = 1004.3\ kg/m.$

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

De la ecuación 9 se tiene:

$$W = L \times \delta \ lineal$$

- $w = 100.435\ Kg/m \times 10\ m$
- $w = 1004.3\ Kg$ en taladros de producción

Según el diseño de carga en taladros de producción la longitud de carga es de 10.5 metros como él HA tiene la propiedad de gasificar solo se cargará 10 metros para que luego del proceso de gasificación este esponje 0.5 metros teniendo una longitud de carga final de 10.5 metros y un taco de 5.5 metros

El cálculo de la carga lineal es importante ya que no solo nos permite el hallar cantidad de explosivo que ingresa en un taladro sino nos da a conocer si el camión fabrica esta calibrado.

El proceso químico mediante el cual se sensibiliza la Emulsión es por la inyección de nitrito de sodio en la preparación del producto y que es controlada durante la operación del carguío de taladros mediante la toma de densidades.

El control de la densidad del HA 65/35 en el proyecto 3885-15 se realizó de la siguiente manera.

Fotografía 5: Proceso de gasificación de la mezcla en el Proyecto 3885_15.
Fuente: Propia.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Peso neto de la mezcla 1250 gramos

Volumen de la taza especificada en la taza 930 cc

$$Densidad = \frac{Peso\ total\ (gr) - Peso\ de\ la\ taza\ (gr)}{Volumen\ de\ la\ taza\ (cm^3)} \qquad Ecuación\ Nº\ 4.03$$

Dónde:

Peso total (gr) = 1612 gr

- Peso de la taza (gr) = 362 gr
- Volumen de la taza (cm^3) = 930 gr

Reemplazando los values en la ecuación 4.3 se tiene:

- $\delta mezcla = \frac{1612\ gr - 362\ gr}{930\ cm^3}$
- $\delta mezcla = 1.344\ gr/cm^3$

La densidad inicial para un HA 65/35 es de 1.32 gr/cc

Esta es la densidad con la que empieza la gasificación y es un indicativo de que la inyección de nitrito de sodio es la adecuada. A partir de la primera toma de densidad se debe controlar cada 5 minutos y debe ser comparada con la densidad nominal del producto, en caso de no coincidir se debe regular la inyección de nitrito de sodio.

En la figura 45, se muestra como la densidad de copa llega a descender hasta 1.16 en un tiempo de 25 minutos, se tomaron 2 muestras durante el carguío de taladros con el camión fabrica Q40.

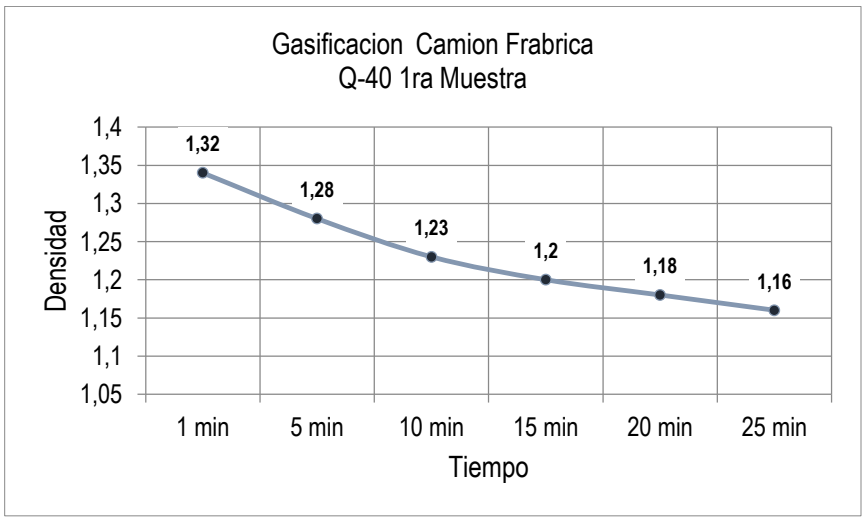


Figura 45: Curva de Gasificación de la primera muestra correspondiente a la mezcla explosiva 73 en el proyecto 3885_15.
Fuente: Elaboración propia.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Una vez que la densidad llega en promedio a 1.15 gr/cc esta se mantiene constante y la mezcla explosiva llega a esponjar en promedio 0.5 metros en 25 minutos. Los taladros no se tapan durante el proceso de esponjamiento

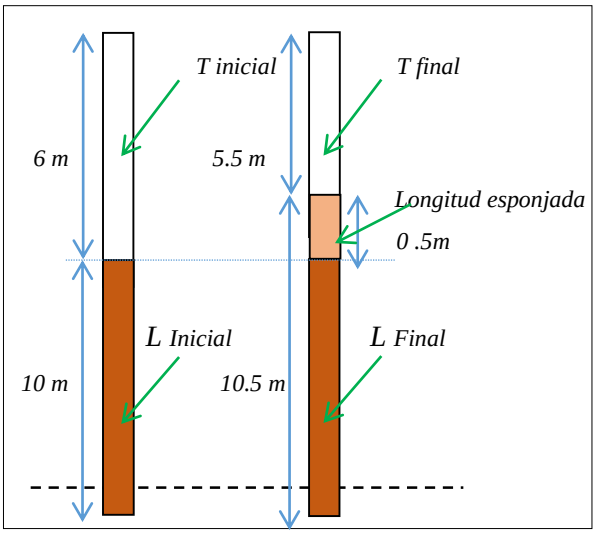


Figura 46: Gasificación de taladros de producción del 3885-15.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22: Toma de densidades a los camiones fábrica durante el proceso de carguío de taladros del proyecto 3885-15.

Camión Fabrica	t-1	t-05	t-10	t-15	t-20	t-25	Caudal Kls/min	Inyección Nitrito
Q-25	1.31	1.28	1.25	1.22	1.19	1.14	300	0.9
Q-30	1.33	1.29	1.24	1.21	1.18	1.15	320	0.85
Q-34	1.34	1.29	1.25	1.22	1.19	1.16	320	0.85
Q-40	1.33	1.29	1.26	1.23	1.2	1.15	330	0.75
Q-42	1.32	1.28	1.25	1.22	1.2	1.16	310	0.88
Q-44	1.32	1.29	1.26	1.22	1.19	1.17	305	0.9

Fuente: Asistencia técnica

Se realizó el carguío de taladros con 5 camiones fábrica llevándose el control de densidad para cada camión durante el carguío de taladros del proyecto 3885-5, como se muestra en la tabla 25.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Fotografía 6: Carguío de taladros del proyecto 3885-15.
Fuente: Propia.

En la tabla 23 se da a conocer los parámetros de perforación y voladura del proyecto 3885-15 como se observa el factor de carga es de 0.87 kg/ton. Superior a los factores carga con los que comúnmente se trabaja en tajo abierto 0.20 kg/ton a 0.50 kg/ton.

Tabla 23: Parámetros de perforación y voladura del proyecto 3885-15 mineral y desmonte.

parámetros de perforación	Unidad	Mineral	Desmonte	Parámetros de voladura	Unidad	Mineral	Desmonte
Diámetro taladro	Pulg	12,25	12,25	factor de la roca	gr/cm^3	2,6	2,6
Espaciamiento	m	6	9	cantidad de explosivo por metro	kg/m	100,43	100,43
Burden	m	5,2	10,5	Cantidad total de explosivo	kg	1054,49	753,21
Altura promedio de banco	m	15	15	Volumen roto	m^3	468	1417,5
Sobre perforación	m	1,5	1,5	Tonelaje	ton	1216,8	3685,5
Profundidad promedio de taladro	m	16	16	Factor de potencia	kg/tn	0,87	0,20
Parámetros de voladura	**Unidad**	**Mineral**	**Desmonte**	**Explosivos y accesorios**	**Unidad**	**Mineral**	**desmonte**
Carga de fondo	m	10,5	7,5	Cantidad de explosivo/tal	Kg	1054,49	753,21
Taco final	m	5,5	9	Booster de 2 libras	lb	2	1
Tipo de explosivo por taladro		HA 73	HA 73	Ikon de 20 m	m	2	1
Densidad del explosivo	gr/cc	1,32	1,32	Excel MS de 18.2 m	m	1	1

Fuente: Asistencia técnica Orica – las Bambas.

En la zona de desmonte el factor de carga es de 0.21 kg/ton esto por la ampliación de la malla y aumento del taco, la distribución granulométrica especificada en los KPI tanto para mineral y desmonte se distribuyen de la siguiente manera:

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Fragmentación adecuada de material especificada en los KPI con periodicidad mensual de material debe estar comprendida de la siguiente manera:

4.1.7.6. Diseño de amarre del proyecto 3885-15

Estos tiempos se establecen en base ciertos criterios y prioridades en cada malla

Para el diseño de amarre del proyecto 3885-15 se establece los siguientes tiempos:

En mineral el tiempo entre taladros será de 18 ms y tiempos entre filas de 100 ms, en desmonte el tiempo entre taladros será de 33 ms y entre filas de 100 ms. Como se especifica en la figura 47.

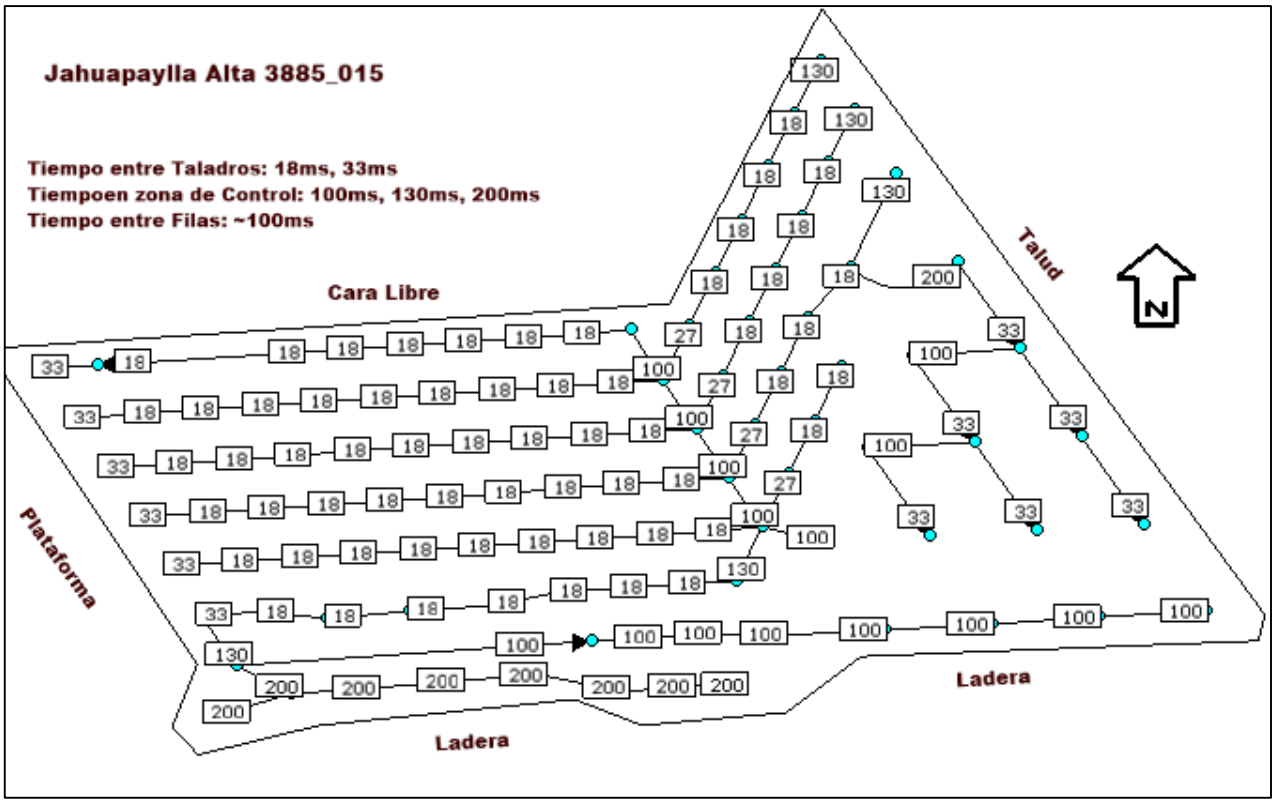


Figura 47: Diseño de amarre del proyecto 3885_015.
Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por asistencia técnica.

En el ANEXO 04 y 05 se muestra la asignación de tiempos y secuencia de detonación en mineral y desmoste del proyecto 3885-15.

4.1.7.7. Análisis de fragmentación del proyecto 3885 – 15

En la fotografía 7 se observa una buena fragmentación y esponjamiento en la zona del taco y un desplazamiento hacia la cara libre.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Fotografía 7: Resultados post-voladura proyecto 3885 – 15.
Fuente: Propia.

La fragmentación debe estar distribuido de la siguiente manera, 35% menor o igual a 1”; 45% mayor a 1” y menor o igual a 7”; 20% mayor a 7” y menor o igual a 12”

Se realizó un análisis de fragmentación mediante tomas fotográficas, estas tomas fotográficas se realizaron a la mitad del proceso de excavación, esto para reducir el margen de error.

Fotografía 8: Foto de fragmentación del nivel 3885 proyectos 15.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

El análisis granulométrico indica un P80 igual a 4.19 pulgadas como se muestra en el grafico 2.

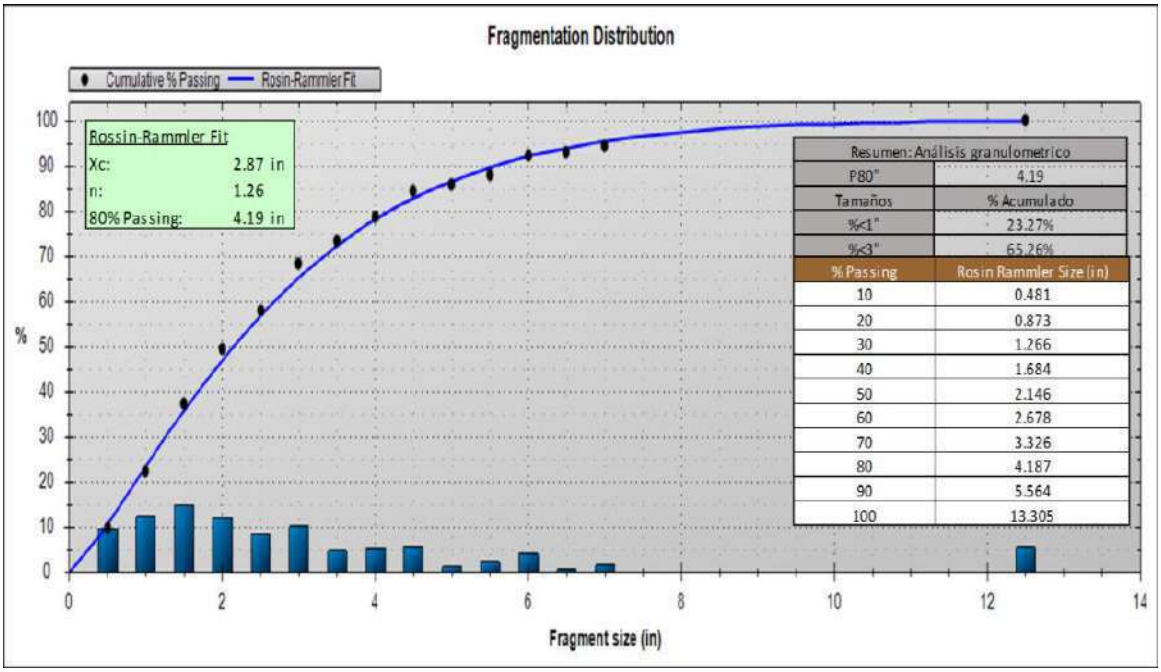


Gráfico 2: Análisis granulométrico del nivel 3885 proyectos 27-28-29.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

El KPI exige que el 45 % del mineral volado la fragmentación debe estar comprendido entre 1 pulgada y 7 pulgadas, en el análisis granulométrico del proyecto 3885-15 se indica que el 80% del material fragmentado es de 4.187 pulgadas.

4.1.7.8. Configuración de carga del proyecto 3885 -27,28,29

En el nivel 3885 proyectos 27-28-29, se cargó 196 taladros, este proyecto de voladura está ubicado en mineral, para establecer un diseño de carga y amarre adecuado se realizó el levantamiento para identificar anomalías y prioridades para dicha voladura.

Fotografía 9: Malla de voladura del proyecto 3885-27,28,29.
Fuente: Propia.

4.1.7.9. Diseño de carga para taladros de producción del proyecto 3885 – 27,28 y 29

Se establecerá tres diseños de carga, con la finalidad de generar caras libres para un desplazamiento adecuado, disminuir el sobre quiebre y mejorar el P80.

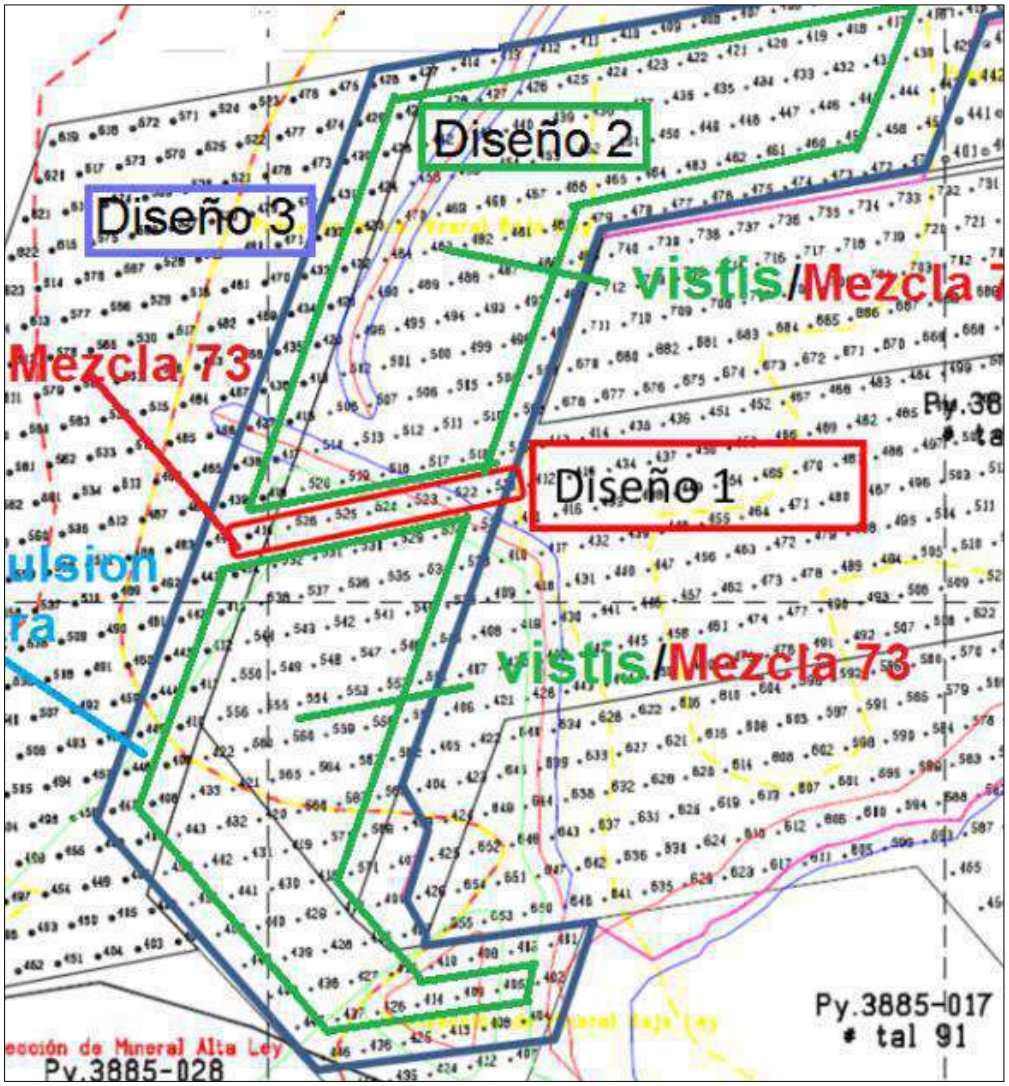


Figura 48: Diseños de carga para la malla del proyecto 3885-27-28-029 mineral.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Como se muestra en la figura 49, se establecen tres diseños. Con el diseño 1 se pretende generar una cara libre adicional mediante la detonación de la troncal desde el primer taladro de la cara libre hasta el penúltimo taladro antes de que detonen los taladros de producción por lo que el taco será de 6 metros esto para reducir el riesgo de proyección de rocas.

Para reducir el sobre quiebre manteniendo la fragmentación dentro de rangos aceptables como establece chiappetta el taco para taladros de contorno será de 8 metros y el tipo de explosivo usado

estará conformado por Emulsión Fortis Extra para no perturbar la estructura de las plataformas subsiguientes de esta forma evitaremos eventos de presión dinámica.

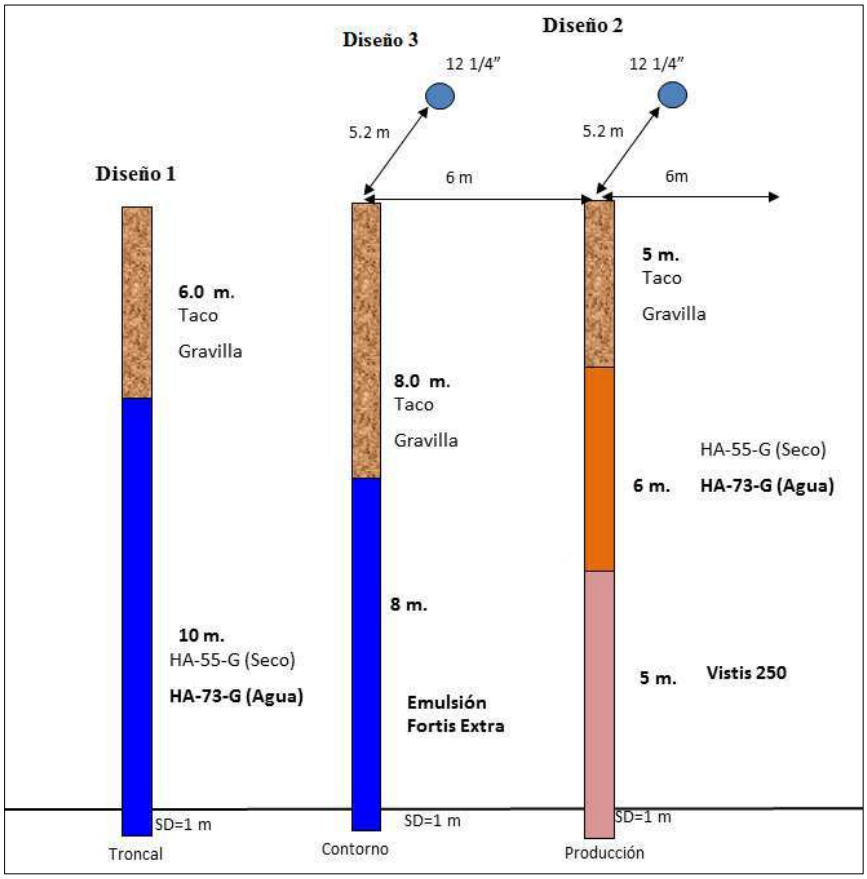


Figura 49: Diseño de carga del proyecto 3885-27-28-029 mineral.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Para taladros de producción como se muestra en el diseño 2 se estableció una carga de fondo y columna, la carga de fondo estará conformada por una mezcla con alto poder rompedor como es el vistis 250, y la carga de columna por una mezcla como es el HA 65/35. Con respecto al taco en taladros de producción la experiencia nos indica que el taco ideal es de 5 metros según los cálculos realizados tendríamos un margen de seguridad de 0.5 metros con lo se estaría optimizando fragmentación proveniente de la zona del taco.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 24: parámetros de perforación y voladura del proyecto nivel 3885 proyectos 27-28-29.

Parámetros de perforación	Unid.	Troncal	Producción	contorno	Parámetros de voladura	Unid.	Troncal	producción	contorno
Diámetro del taladro	Pulg	12.25	12.25	12.25	Carga fondo	m	10	5	8
Tipo de malla triangular		triangular	triangular	triangular	Taco intermedio	m	0	0	0
Burden	m	5.2	5.2	5.2	Carga intermedia	m	0	6	0
Espaciamiento	m	6	6	6	Cámara de aire	m	0	0	0
Altura promedio de banco	m	15	15	15	Taco final	m	6	5	8
Profundidad de taladro	m	16	16	16	Tipo de explosivo		HA73	Vistis	Emulsión
Tipo de taladro		prod.	Prod.	periferie	Densidad de explosivo	gr/cc	1.33	1.35	1.34
Sobre perforación	m	1	1	1	Factor de roca	gr/tn	2.7	2.7	2.7
Inclinación de perforación	°	90	90	90	Densidad lineal	kg/m	101.19	102.71	101.95
accesorios	**Unid.**	**Troncal**	**Producción**	**contorno**	Total explosivo	kg	1011.89	1129.81	815.6
Explosivo	kg	1011.89	1129.81	815.6	Volumen roto	m3	468	468	468
Booster de 2 libras	lb	2	2	1	Tonelaje	ton	1263.6	1263.6	1263.6
Ikon de 20 m	m	2	2	1	Factor de potencia	kg/tn	0.8	0.89	0.65
Excel MS de 18.2 m	m	2	2	1	Factor de carga	kg/m^3	2.16	2.41	1.74

Fuente: Elaboración propia.

4.1.7.10. Diseño de amarre del proyecto 3885 – 27,28 y 29

Una vez realizado el diseño comenzamos con la simulación del nivel 3885 proyectos 27-28-29, como muestra la figura 50, como se observa la iniciación se realiza en dos secuencias desde el punto medio de cada paquete.

La voladura saldrá con dirección Este ya que se tiene una sola cara libre, por otro lado, se debe tener en cuenta la presencia de plataformas tanto al Norte como al Este y una vía al Sur, por lo que se tendrá que generar mayor alivio para mitigar los posibles daños a dichas zonas.

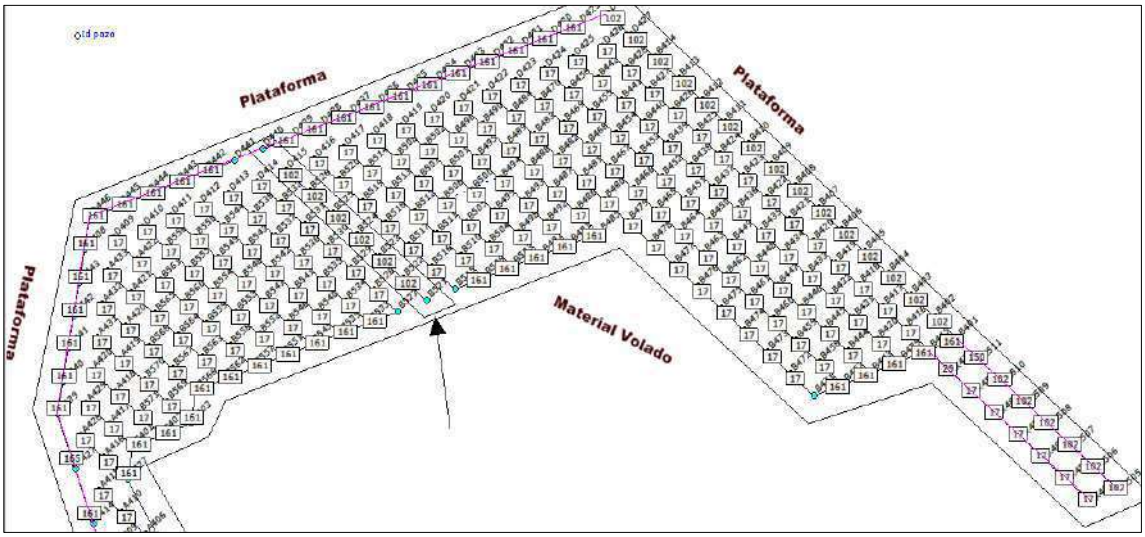


Figura 50: Importación de los puntos en el SHOTPlus para el diseño de la malla.

Fuente: Elaboración Propia.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Se cargaron 196 taladros de producción y disparados con detonadores electrónicos i-kon en zona de Mineral. Secuencia de salida "En Filas". Tiempo entre taladros: 17 ms, tiempo entre filas: 100, 160 ms.

Se tuvo 08 taladros tapados reperforados ID: (410,409,407,460,459,525,550,445), no armados.

Zona critica de taladros fracturados.

Una vez realizado el diseño comenzamos con la simulación del nivel proyecto 3885 – 27,28 y 29 como muestra en el ANEXO 06 (a), la iniciación se realiza en dos secuencias desde el punto medio de cada paquete.

En el ANEXO 06 (b), se observa como las líneas de isotiempo son cercanas entre sí esto nos indica que cada taladro tendrá el suficiente espacio para desplazarse al momento de la detonación. Por otro lado hacia las plataformas las líneas de isotiempo se quiebran ligeramente y son muy cercanas entre sí, este quiebre es necesario generarla ya que el material se desplazara de manera perpendicular a las líneas de isotiempo es decir última fila se desplazara hacia el material volado con el suficiente alivio.

En el ANEXO 06 (c), Se observa a través de diferentes colores los diferentes alivios que existen entre filas, nótese que en la zona de mineral el burden de alivio está comprendido entre 25 a 30 ms/m, esto nos genera una buena fragmentación, por otro lado en la zona del contorno se observa un burden de alivio comprendido entre 40 ms/m a 45 ms/m, es decir un burden de alivio mayor para poder reducir las vibraciones y el back break. A través de las simulaciones verificamos que los diseños propuestos anteriormente nos darán los resultados esperados.

Fotografía 10: Voladura con ligera presencia de gases.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.7.11. Análisis de fragmentación del proyecto 3885 – 27,28 y 29

Se realizó la simulación con el SHOTPlus, con la finalidad de evaluar los posibles resultados y poder analizar diferentes escenarios.

Fotografía 11: Resultado de la voladura.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas

Fotografía 12: Foto de fragmentación del nivel 3885 proyectos 27-28-29.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

El análisis granulométrico indica un P80 igual a 2.68 pulgadas como se muestra en la grafico 3.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

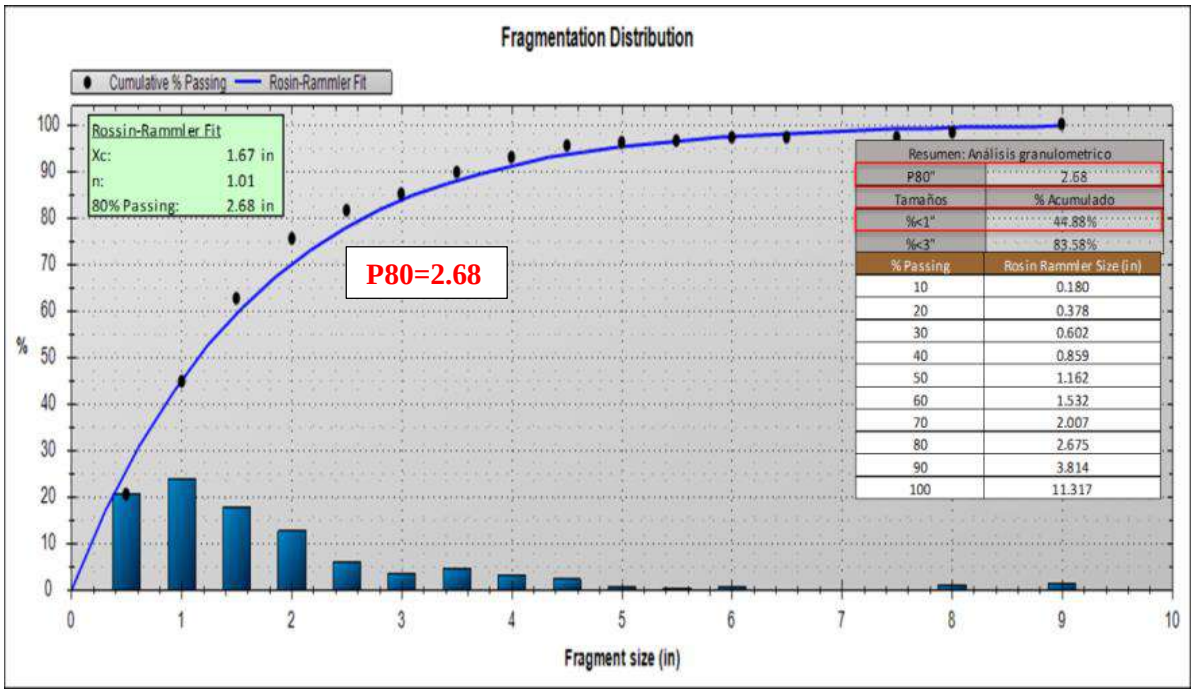


Gráfico 3: Análisis granulométrico del nivel 3885 proyectos 27-28-29.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se instaló el sismógrafo a 412.4 metros de la malla de perforación, en la zona Noroeste del talud Jahuapaylla alta. Se registró una VPP de 11.30 mm/s, en la pared Noroeste del talud en Fase – 02, tal como se muestra en el ANEXO 09 (Reporte de sismografía Jahuapaylla Alta 3885_027-028-029).

4.1.7.12. Evaluación de la retención de taco como parte del diseño de voladura

El Taco es la longitud en la parte superior del taladro, rellena con material inerte y tiene por misión confinar y retener la energía en el medio rocoso, para permitir que se desarrolle por completo el proceso de fragmentación de la roca

4.1.7.13. Análisis granulométrico del steming usado en el proyecto 3885_27-28-29

Se realizó el análisis de retención del taco mediante el análisis granulométrico. chiappetta indica que el tamaño de la gravilla para una buena retención debe estar entre 1 a 2 pulgadas diámetro. Por otro lado McKenzie indica que el diámetro la gravilla debe ser de Ø/10 ó Ø/15, esta gravilla debe ser un material anguloso, no redondeado y sin finos.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Fotografía 13: Material de steming usado en el proyecto 3885-27, 28,29.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se realizó 4 tomas fotográficas del material steming usado en el proyecto de voladura 3885 -27, 28,29

Fotografía 14: tomas fotográficas para el análisis de fragmentación del steming.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

De acuerdo al análisis granulométrico realizado al stemming nos da un P80 es de 1.25 in.

El rango de P80 que se recomienda para no dañar las líneas descendentes de I-Kon es entre 1.00 pulgadas a 2.00 pulgadas, siendo el óptimo 1.50 Pulgadas, como se muestra en el grafico 4.

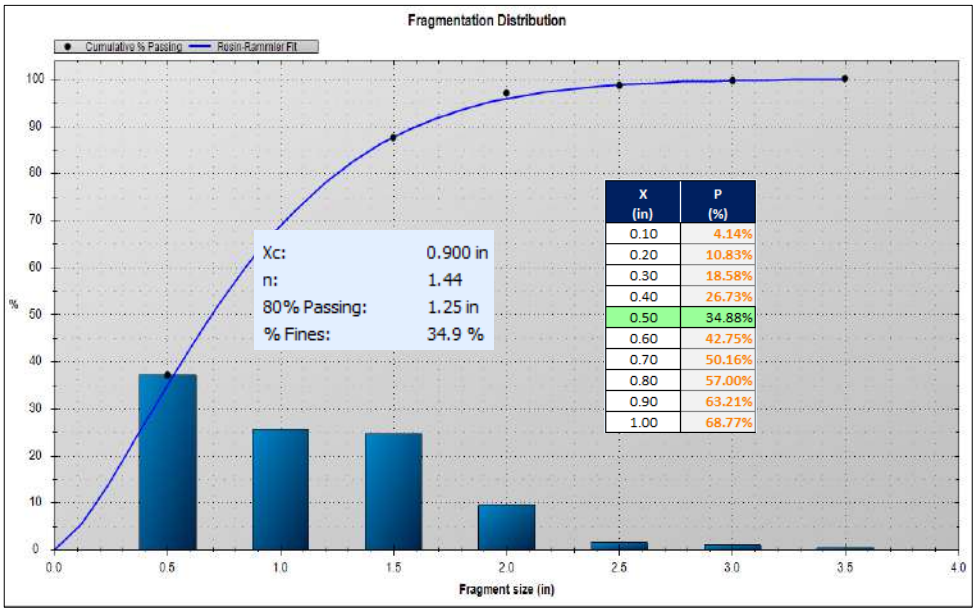


Gráfico 4: Análisis de fragmentación del steming.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Asimismo, se aprecia presencia de fino 34.9 % por debajo de 0.5 in. El rango optimo es de 10% de finos.

Es importante tener un material uniforme y dentro de los rangos establecidos para generar un buen confinamiento en el taco.

4.1.7.14. Medición de Fly Rock de proyecto 3885_27-28-29

Dado que el taco se pudo reducir hasta 5 metros, para mejorar la fragmentación es necesario evaluar la proyección de rocas producto de la voladura, figura 51.

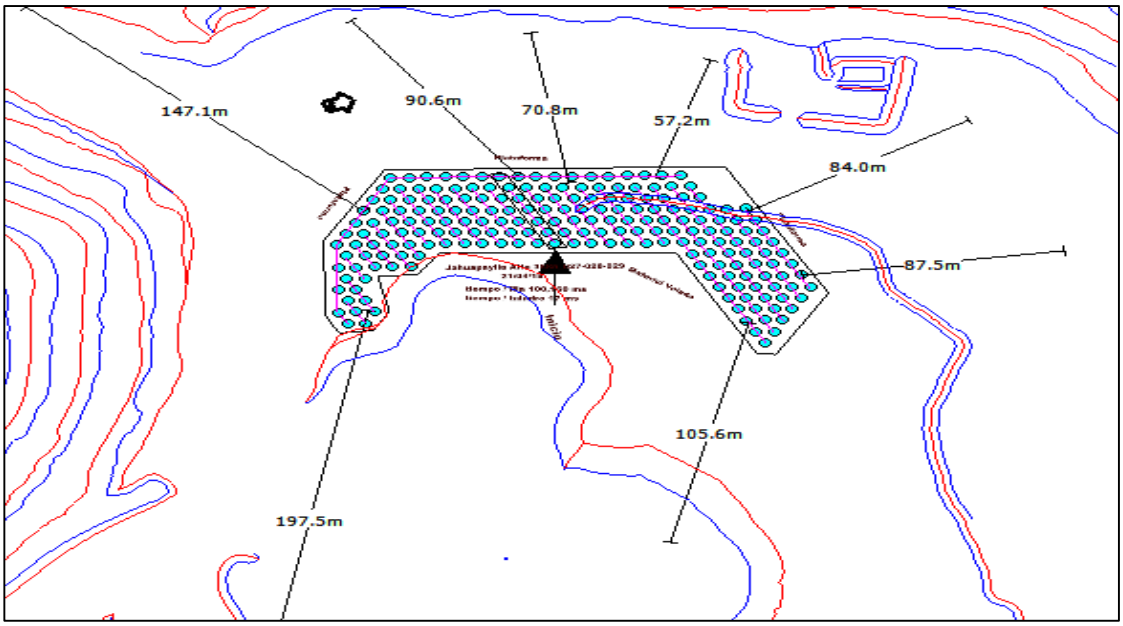


Figura 51: Mediciones de alcance de fly rock.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Teniendo en cuenta que el taco en mineral es de 5.0 metros y la columna de carga explosiva está compuesta de Vistis 250 y Extra 65/35, se tiene una distancia máxima de alcance de fragmentos, de 197.5 metros, con respecto al contorno de la voladura. Así mismo se tiene una distancia mínima de 57.2 metros.

Estos resultados, están asociados principalmente a:

Longitud de taco, cargas explosivas (Vistis 250 - HA 100 Extra - HA 65/35 Extra), material de tapado (grava), secuencia de voladura "filas largas hacia material volado" y tiempos en la secuencia de voladura.

En la tabla 25, muestra las mediciones de alcance de "fly rock":

Tabla 25: Coordenadas de los fragmentos proyectados producto de la voladura

ZONA MINERAL - TACO 5.0 M			
Punto	Coordenadas de los puntos medidos		Distancia (m)
	X	Y	
1	793469.07	8440887.26	87.5
2	793435.03	8440880.85	84
3	793409.09	8440857.62	57.2
4	793401.62	8440829.51	70.8
5	793392.87	8440814.6	90.6
6	793390.99	8440761.34	147.1
7	793434.78	8440746.85	197.5
8	793483.43	8440862.99	105.6
Distancia Minima(m)			57.2
Distancia Máxima(m)			197.5

Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

4.1.8. Diseños de carga y amarre para reducir el sobre quiebre y reducir las vibraciones

El tipo de mezcla usado inicialmente en la fila de buffer era un HA 73 por lo que trajo una serie de inconvenientes por el contenido de ANFO en la mezcla, esto conlleva a que la mezcla se contamine ya que la altura de caída es de 13 metros.

4.1.8.1. Calculo de la cantidad de carga en taladros amortiguados por el método de cráter

En realidad, Chiappetta utilizó este método sólo para calcular la cantidad de explosivo en pozos amortiguados.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

La distancia de diseño medida desde la superficie del banco hasta el centro de gravedad debe ser menor o igual al valor real, con esto la caracterización será mínimo o inexistente. Lo deseable es que sean iguales, por tanto, igualando y resolviendo la ecuación 2.13 y 2.14, se obtiene la ecuación 4.04.

$$0.396 \times k \times W^{1/3} + \frac{W}{\delta_{lineal}} = H + 0.0762 \times D \qquad \textit{Ecuación Nº 4.04}$$

La nueva propuesta es el uso de emulsión 100 % para taladros de buffer esto porque tiene mayor resistencia al agua, menor presión de detonación por tanto menor probabilidad de generar gases nitrosos.

De la ecuación 2.11 se tiene:

- $\delta lineal = 0.507 \times (12.25)2 \text{ pul } 2 \times 1.34 \text{ gr/cm3}$
- $\delta lineal = 101.95 \text{ kg/m}$

La roca es competente, por tanto el valor de la constante es k igual a 4, la longitud del taladro es igual a 15 metros.

Remplazando los valores en la ecuación 4.04 se tiene:

- $$0.396 \times k \times W^{1/3} + \frac{W}{\delta_{lineal}} = H + 0.0762 \times D$$
- $$0.396 \times 4 \times W^{1/3} + \frac{W}{101.95} = 15m + 0.0762 \times 12.25 \text{ pulg}$$
- $$1.58 \times W^{1/3} + \frac{W}{101.95} = 15.93$$

Tabla 26: valores posibles que resuelven la ecuación para hallar la carga en taladros de buffer

W	Posibles valores que resuelven la ecuación 15
314	-0.06816783
315	-0.04720607
316	-0.02626717
317	-0.005351
318	**0.01554255**
319	0.03641358
320	0.05726223
321	0.07808859

Fuente: Elaboración propia

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Por lo tanto, la cantidad de explosivo que se usa es de 300 a 350 para taladros de buffer, el reemplazo de la mezcla 73 por emulsión matriz trajo una serie de beneficios como la eliminación de gases nitrosos en la zona de buffer, menor afección por su bajo poder rompedor, etc.

4.1.8.2. Configuración de carga en taladros de buffer

En los taladros de buffer se requiere que la energía almacenada en los 350 kilogramos de Fortis Extra (Emulsion) se distribuya a lo largo de toda la longitud del taladro, esto para amortiguar el golpe producido por la voladura, por lo que no se tapa el taladro en toda su longitud.

Anteriormente se estableció un taco de 6.5 metros para taladros de producción, como se puede observar en la figura 52, se aplicó el mismo criterio, por lo tanto se estableció un taco de 7 metros para contener 300 kilogramos que tendrá influencia directa zona la zona del taco, la función de los taladros de la segunda buffer es la amortiguar impacto que tendrá la voladura pero sin dejar de lado la fragmentación requerida por lo que se establece un taco intermedio de 2 metros teniendo como base la teoría establecida por chiappetta.

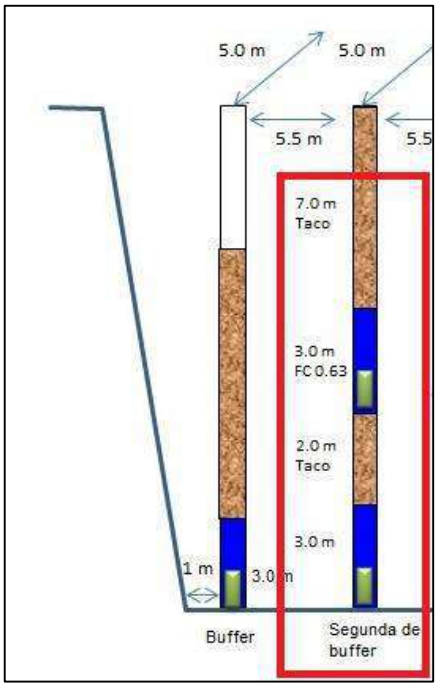
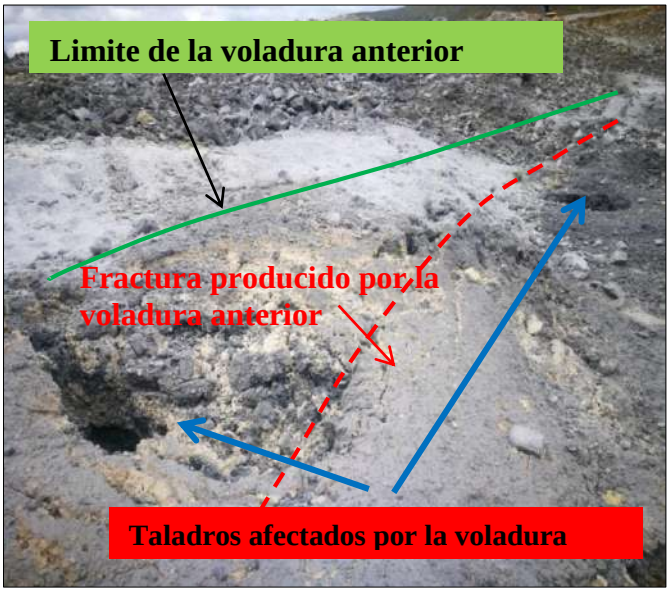


Figura 52: Diseño de carga para taladros en la buffer en la zona de mineral para el nivel 3780 - 17.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.9. Diseños de carga y amarre para reducir el sobre quiebre

El sobre quiebre generado no solo afecta las plataformas de perforación, también incide en la fragmentación, generación presión dinámica y un aumento en los costos de perforación, ya que se perturba la estructura de la masa rocosa de los contornos en las plataformas de perforación contiguas. Por lo que nos conllevo a cambiar el diseño de carga y ajustar los tiempos de salida.



Fotografía 15: sobre quiebre en el nivel 3870 – Proyectos 005.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

4.1.9.1. Diseños de carga para taladros de contorno del proyecto 3870-005 (Línea de base)

El tipo de explosivo con el que se carga los taladros de producción y contorno es un HA 73 gasificado como se muestra en la figura 53. Un pésimo control para mitigar el sobrequiebre en los taladros de contorno es solo aumentar la longitud de taco a 9 metros y trabajar con la misma mezcla explosiva en los taladros de contorno con el supuesto de mantener la fragmentación, esto evidentemente trajo una serie de inconvenientes en el costo beneficio. Por lo que se reformulo la configuración de carga para mejorar los resultados obtenidos hasta el momento.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

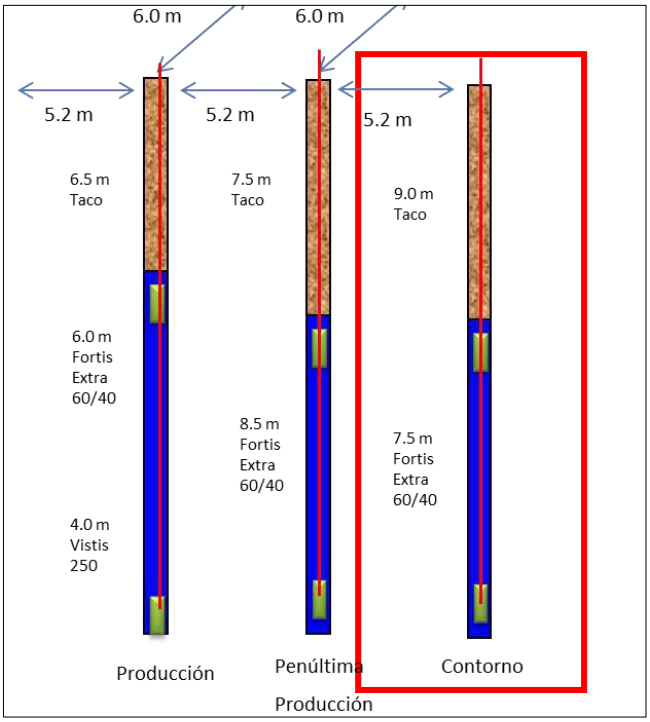
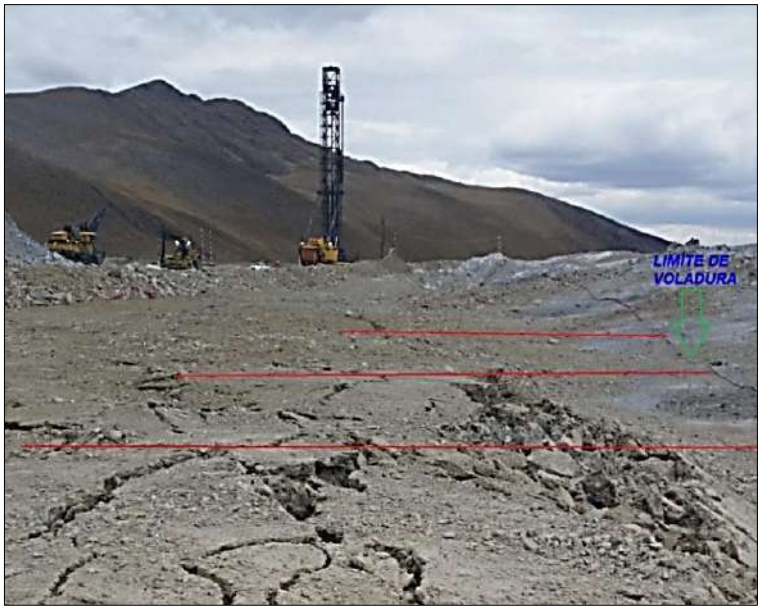


Figura 53: Línea de base de la configuración de carga.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se realizó una prueba con la finalidad de saber la distancia de quiebre colocando 3 puntos de referencia a 15 m del límite del proyecto de voladura como se muestra en la fotografía 16.



Fotografía 16: Puntos de referencia colocados a 15 metros del límite de voladura del proyecto 3870-005.
Fuente Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Los resultados muestran un quiebre que varía entre 10.4 y 12.4 m de sobre quiebre como se muestra en la tabla 27.

Tabla 27: Prueba realizada de sobre quiebre del proyecto 3870-005 (Línea base)

Punto de medición	Referencia (m)	Distancia al quiebre (m)	Burden de Diseño (m)	Quiere Diseño 1/2 Burden (m)	Quiebre General (m)	Sobre Quiebre >1/2 Burden (m)
1	15	2	5.2	2.6	13	10.4
2	15	0.5	5.2	2.6	14.5	11.9
3	15	0	5.2	2.6	15	12.4
Rango de quiebre (m)					13 - 15	10.4 - 12.4

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

En el grafico 5, se tiene un sobre quiebre que varía entre 10.4 – 12.4 metros, el objetivo es reducir este daño hasta 2.5 metros o próximo a este, para poder reducir los riesgos al cambiar el diseño de carga y ajustar los tiempos de salida.

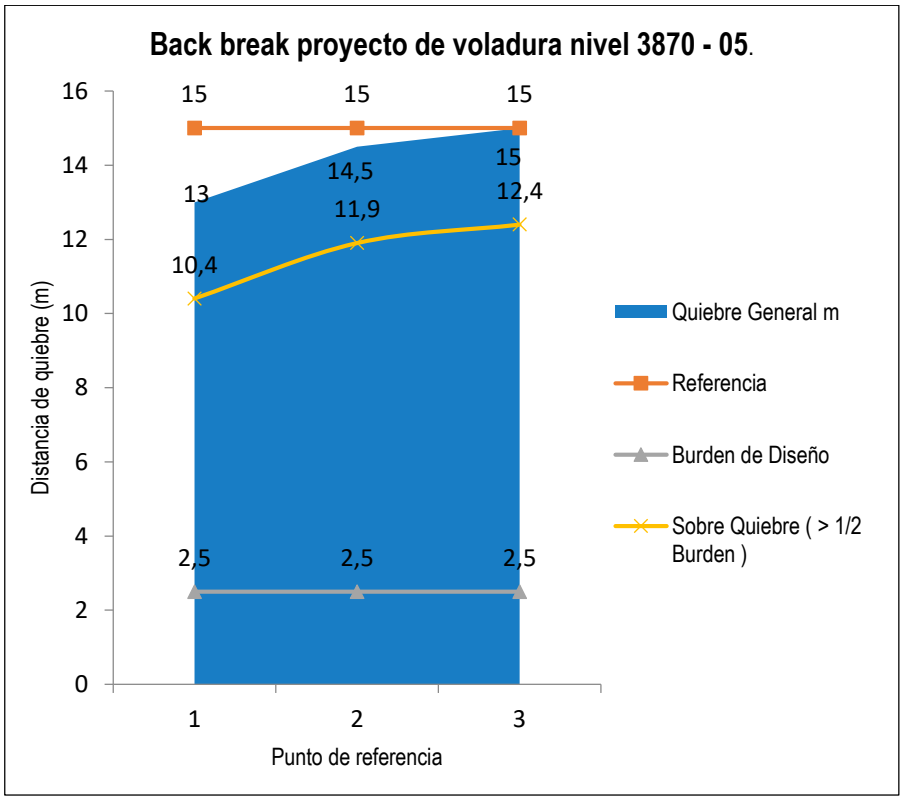


Gráfico 5: sobre quiebre del proyecto 3870 - 05. (Línea base).
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas

4.1.9.2. Nuevo diseño de carga para taladros de contorno

Si tomamos el valor extremo superior de 1.4 m/kg^3, tendremos un taco de 7.90 m

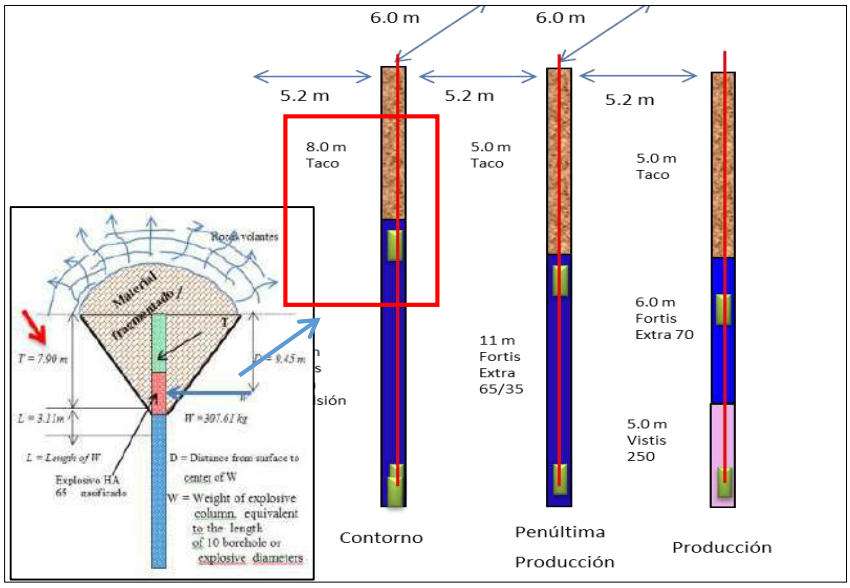


Figura 54: Diseño de carga para taladros de mineral para el nivel 3870 – 09 -11.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

La mezcla a usar es una emulsión gasificada ya que tiene una menor velocidad de detonación, con esto lo que se quiere en parte amortiguar el impacto que genera la detonación de los taladros de producción sin dejar de lado la fragmentación del material.

En el grafico 6. Se puede observar las mezclas explosivas en función a las velocidades de detonación.

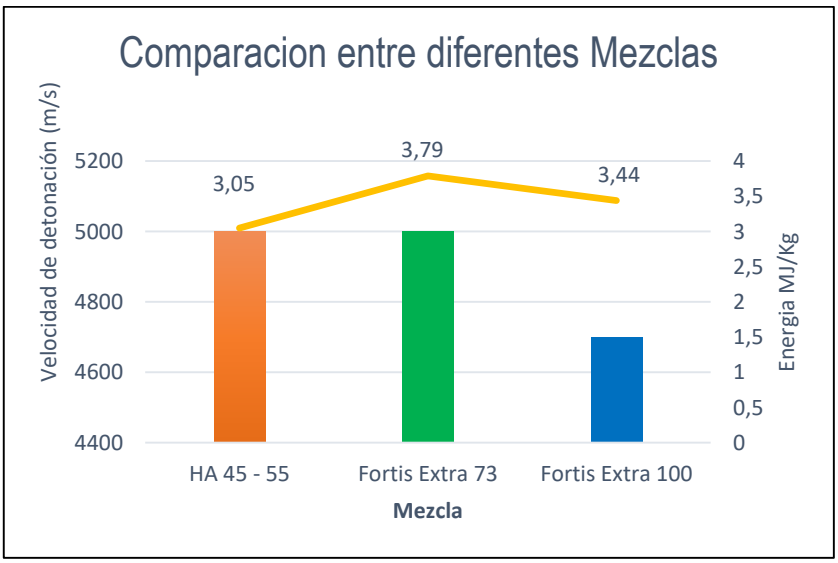


Gráfico 6: Comparación entre diferentes mezclas.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

En la figura 54, se muestra que la longitud de taco que se propone para taladros de contorno es de 8 metros, esta longitud se obtiene cuando el SD es de 0.92 m/kg1/3., es decir cundo toma un valor inferior donde aún se obtiene una fragmentación aceptable y vibraciones moderadas.

4.1.9.3. Pruebas realizadas de sobre quiebre en el en el proyecto 3870 - 009 - 011

Con la línea de base establecida, se procedió a realizar las pruebas con el diseño de carga propuesto y los tiempos ajustados. En el proyecto 3870 - 009 - 011 (figura 55), donde se realizó la medición de quiebre y sobrequiebre se debe tener en cuenta la presencia de plataformas al Norte, Oeste y una sola cara libre al sur.

Figura 55: levantamiento del proyecto 3870 – 09 -011.
Fuente: Asistencia técnica Orica – Las Bambas.

Lo ideal es un diseño en v con un tiempo entre taladros de 17 ms y 100 ms entre filas a lo largo de toda la línea media y un tiempo final de 160 ms para darle mejor alivio en la última fila y al Oeste para cada uno de los taladros, de esta manera se controlará el sobre quiebre.

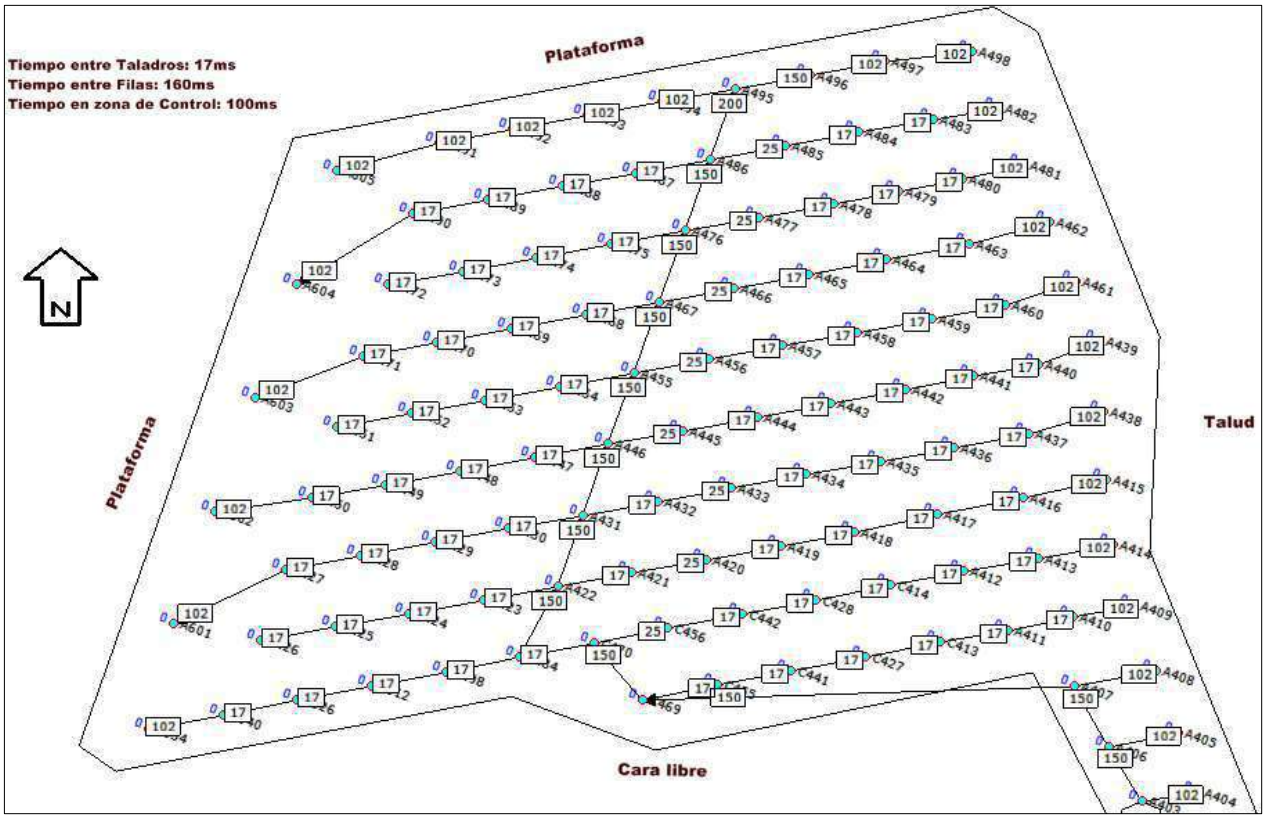


Figura 56: Diseño de amarre para el control de sobre quiebre del proyecto 3870-09-011.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se corroboro a través de la simulación en el SHOTPlus la secuencia de detonación de los taladros como se observa en el ANEXO 07 (a).

Es necesario indicar que toda voladura produce un sobre quiebre y es igual a la mitad del burden de diseño, en nuestro caso será de 2.6 metros, por lo tanto el sobre quiebre producido por voladura que es en promedio de 12.4 metros se tratara de reducir a 2.6 metros.

Los resultados mostrados en las líneas de isotiempo indican un ligero aumento del sobre quiebre en los círculos con respecto a otras zonas del contorno tal como se muestran en el ANEXO 07 (b).

A través del análisis de burden relief podemos observar de mejor manera el tiempo de retardo por metro desplazado, en el ANEXO 07 (c), se observa como la asignación de los tiempos que se realizó nos permitió controlar el sobre quiebre ya que el burden relief es superior a 40 ms/m

Para realizar el análisis se sobre quiebre se colocó puntos de referencia a 15 metros del límite de la voladura, esto con la finalidad de medir la perturbación del terreno a partir de estos puntos como se observa en la figura 57.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

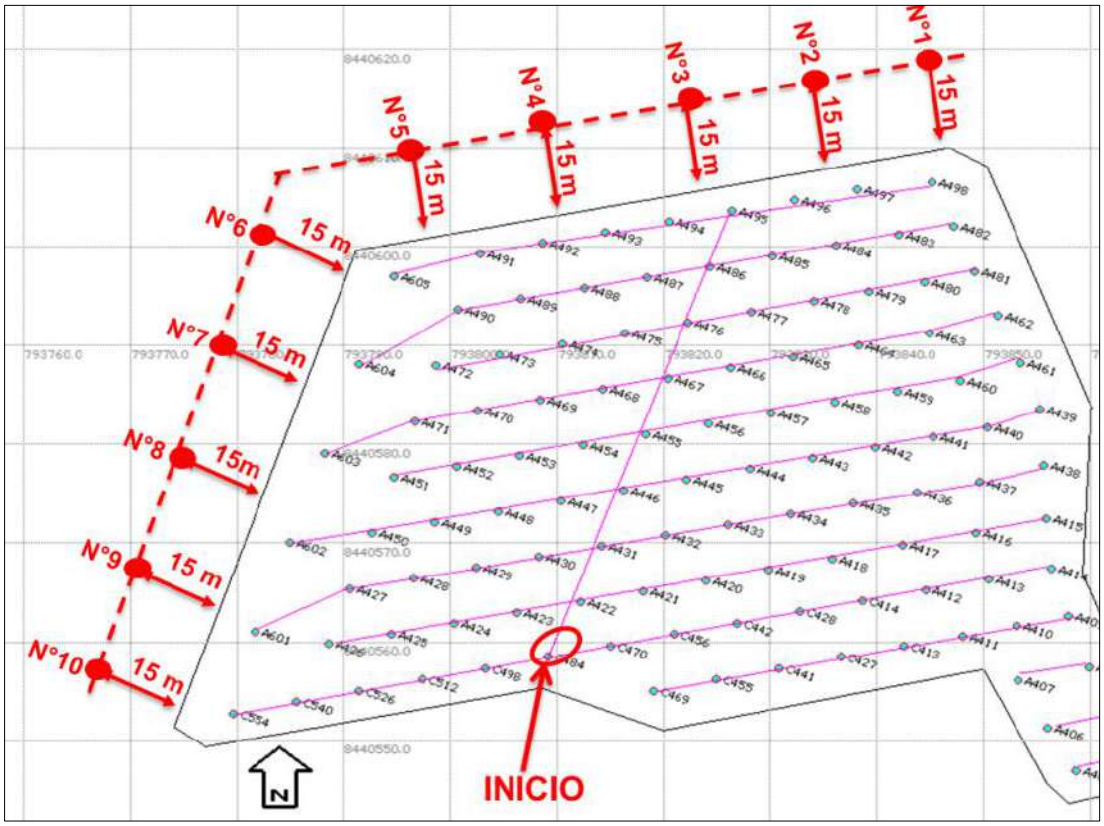


figura 57: puntos de referencia colocados a 15 m del límite del proyecto de voladura.
Fuente: asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

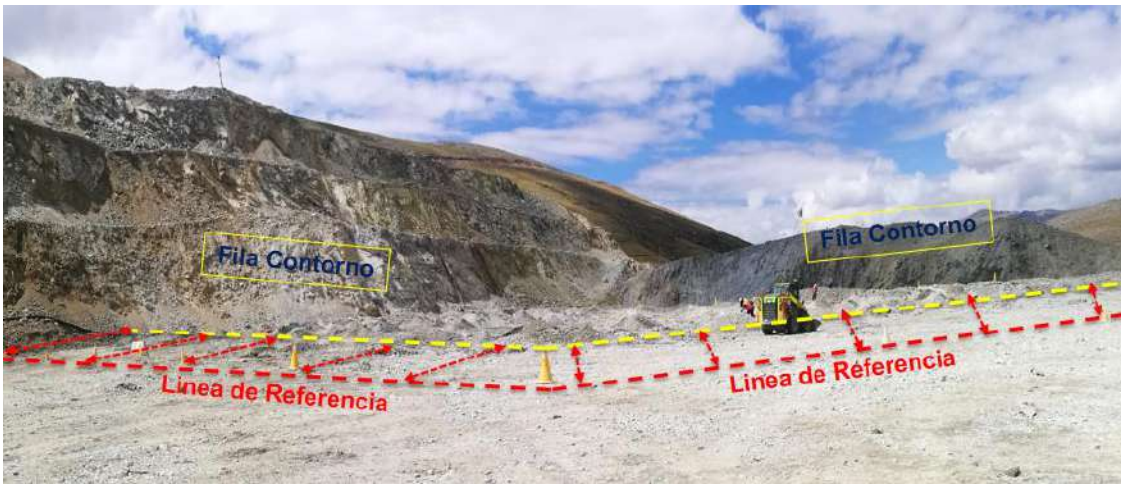
Tabla 28**:** Parámetros de perforación y voladura para taladros de contorno del proyecto 3870-09-011.

Parámetros de perforación	**Unidad**	**Producción**	**Penúltima Contorno**	**Contorno**	**Línea de base contorno**
Diámetro del taladro	Pulg	12.25	12.25	12.25	12.25
Burden	m	5.2	5.2	5.2	5.2
Espaciamiento	m	6	6	6	6
Altura promedio de banco	m	15	15	15	15
Sobre perforación	m	1	1	1	1
Profundidad promedio de taladro	m	16	16	16	16
Inclinación de perforación	°	90	90	90	90
Parámetros de voladura	**Unidad**	**Producción**	**Penúltima Contorno**	**Contorno**	**Línea de base contorno**
Explosivo 01 (carga de fondo)		Vistis 250	Fortis extra	Emulsión	Fortis extra
Carga de fondo	m	5	11	8	7
Carga intermedia	m	6	0	0	0
Taco final	m	5	5	8	9
Densidad de explosivo 01	gr/ cm^3	1.35	1.32	1.34	1.32
Factor de roca	gr/cm^3	2.7	2.7	2.7	2.7
Cantidad de explosivo por metro 01	kg/m	102.71	100.43	101.95	100.43
Cantidad total de explosivo 01	kg	513.55	1104.71	815.60	702.99
Explosivo 02 (carga intermedia)		Fortis Extra	ninguno	ninguno	ninguno
Densidad del explosivo 02	gr/ cm^3	1.32	-	-	-
Cantidad de explosivo por metro 02	kg/m	101.18	-	-	-
Cantidad total de explosivo 02		607.08	-	-	-
Volumen roto	m3	468	468	468	468
Tonelaje	ton	1263.6	1263.6	1263.6	1263.6
Factor de potencia	kg/ton	0.89	0.87	0.65	0.56
Factor de carga	kg/m^3	S/. 2.39	2.36	1.74	1.50
Explosivos y accesorios	**Unidad**	**Producción**	**Penúltima Contorno**	**Contorno**	**Línea de base contorno**
Explosivo	kg	1120	1104.71	815..6	702.99
Booster de 2 libras	lb	2	2	2	2
Ikon de 20 m	m	2	2	2	2
Excel MS de 18.2 m	m	1	1	1	1

Fuente: Elaboración propia

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Como se muestra en la fotografía 17, se colocó puntos de referencia a lo largo de todo el proyecto de voladura para realizar el estudio de sobre quiebre con la nueva propuesta.



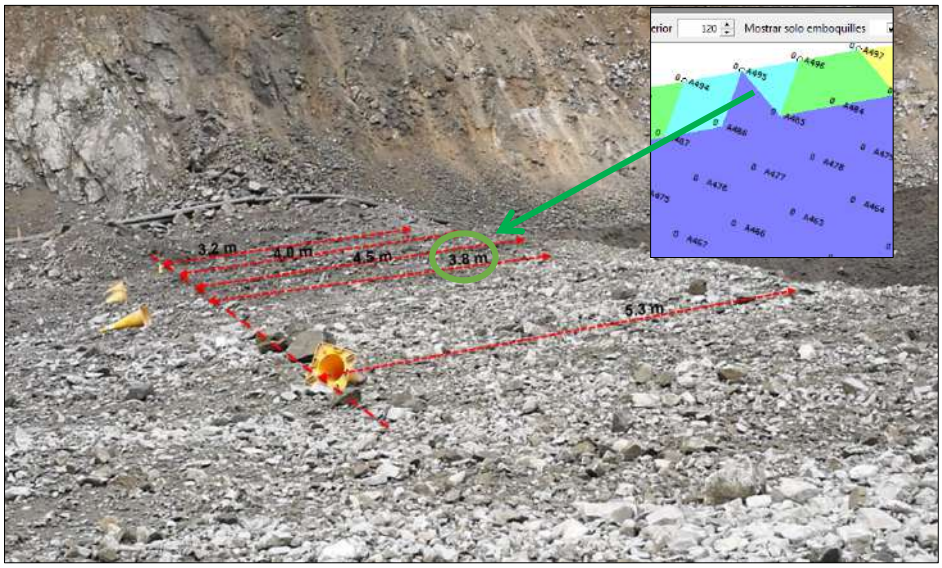
Fotografía 17: Línea de referencia a lo largo de la plataforma para el estudio del sobrequiebre del proyecto 3870-09-011.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se colocaron 5 puntos de referencia al Norte y Oeste respectivamente a una distancia de 15 metros, esto para medir la distancia que existe entre el sobre quiebre producto de la voladura y cada punto para luego poder evaluarlos.

Fotografía 18: puntos de referencia al oeste y norte respectivamente del proyecto 3870-09-011.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

4.1.9.4. Resultados de prueba de sobre quiebre

Como se observa en la Fotografía 19 se tiene una afección considerable ya que los puntos de referencia se encontraban a 15 metros del límite de la voladura



Fotografía 19: Resultados medición de quiebre al norte del proyecto 3870-09-011.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

4.1.9.5. Análisis de los resultados de la prueba de sobre quiebre del proyecto 3870-09-011

Como producto de la voladura se genera un quiebre que trae consigo perturbación del macizo rocoso, parte de este quiebre se dará siempre por el diseño y será igual a la mitad del burden. Por lo que al quiebre general se le debe restar este quiebre de diseño para hallar el sobre quiebre real generado como se muestra en la tabla 29.

Tabla 29: Resultados de medición del sobre quiebre al Norte

Punto de medición	Referencia	Distancia al quiebre (m)	Burden de Diseño (m)	Quiere Diseño (1/2 Burden) (m)	Quiebre General (m)	Sobre Quiebre (> 1/2 Burden) (m)
1	15	3.2	5.2	2.6	11.8	9.2
2	15	4	5.2	2.6	11	8.4
3	15	4.5	5.2	2.6	10.5	7.9
4	15	3.8	5.2	2.6	11.2	8.6
5	15	5.3	5.2	2.6	9.7	7.1
Rango de quiebre (m)					[9.7 - 11.8]	[7.1-9.2]

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

En el grafico 07 se observa que el quiebre real varía entre 7.1 m y 9.2 m, es decir con el nuevo diseño de carga se pudo reducir el sobre quiebre en un 40%, ya que el sobre quiebre de proyecto 3705-005-009 (línea base) varía entre 10.4 – 12.4 metros.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

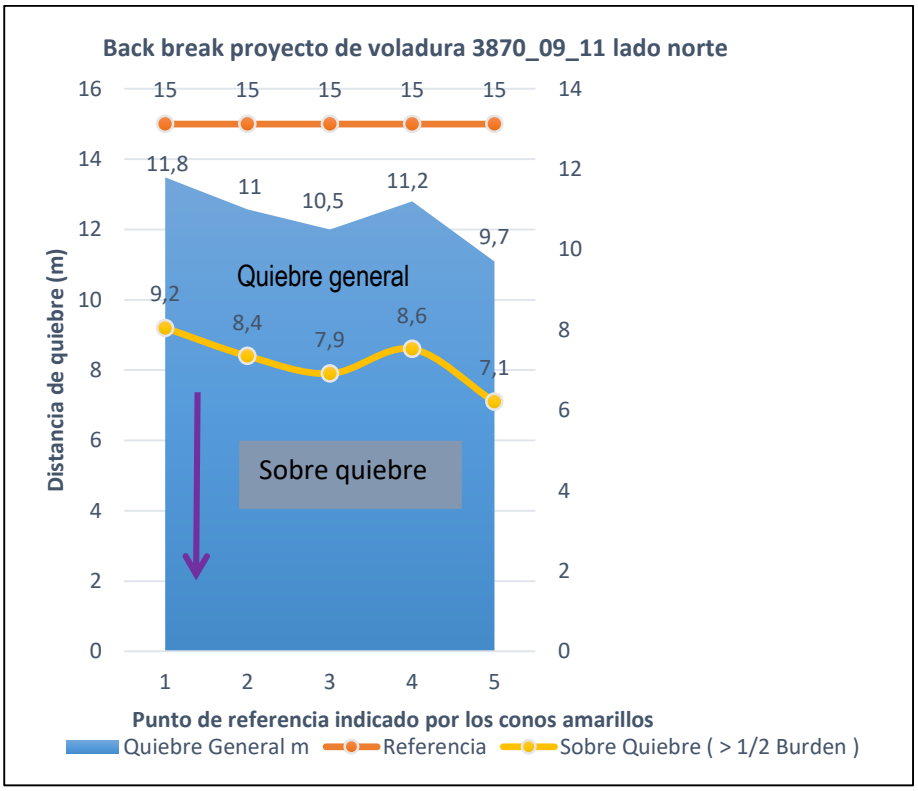


Gráfico 7: Sobre quiebre real al norte del proyecto del proyecto 3705-005-009
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Tabla 30: Resultados de medición del sobre quiebre al Oeste del proyecto 3870_09_11

Punto de medición	Referencia	Distancia al quiebre (m)	Burden de Diseño (m)	Quiere Diseño (1/2 Burden) (m)	Quiebre General (m)	Sobre Quiebre (> 1/2 Burden) (m)
1	15	5.2	5.2	2.6	9.8	7.2
2	15	6.5	5.2	2.6	8.5	5.9
3	15	6.2	5.2	2.6	8.8	6.2
4	15	4.5	5.2	2.6	10.5	7.9
5	15	4.8	5.2	2.6	10.2	7.6
Rango de quiebre (m)					[8.5 - 10.5]	[5.9 - 7.9]

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

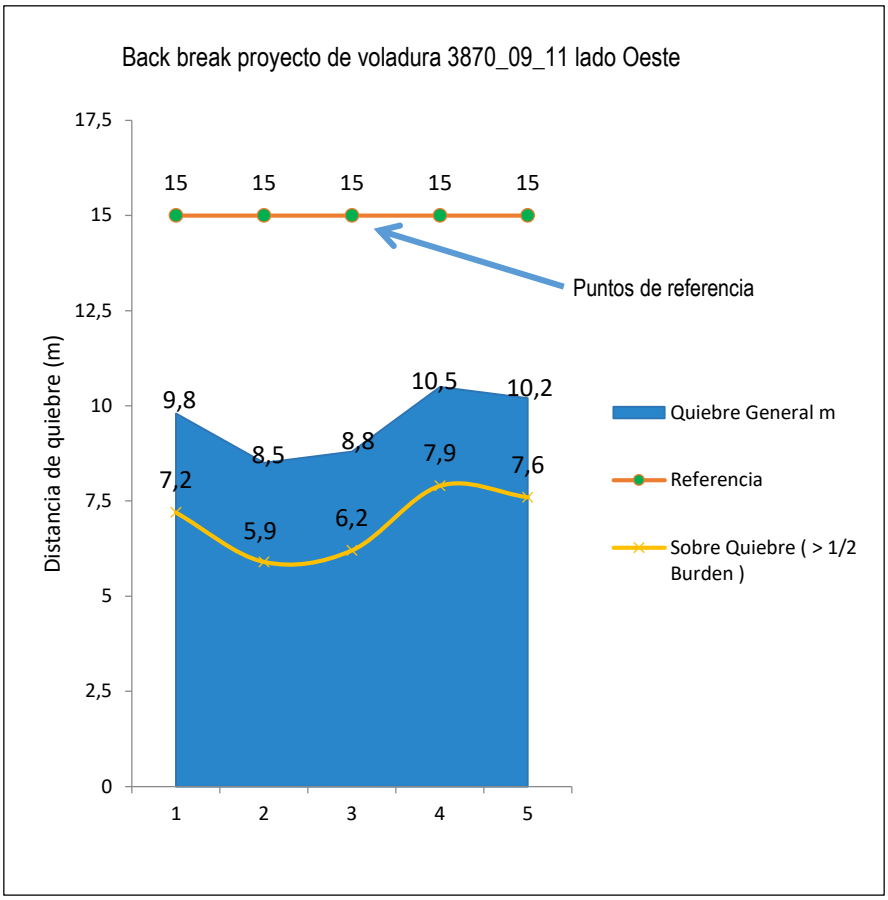


Gráfico 8: Sobre quiebre real al Oeste del proyecto del proyecto 3705-005-009
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Al remplazar él HA 73 gasificado por la emulsión pura involucra una serie de afecciones en cuanto a los parámetros de voladura en la zona de contorno como la cantidad de mezcla explosiva ya que será mayor con la nueva propuesta para fragmentar el mismo volumen de roca esto por las características de la mezcla explosiva.

4.1.9.6. Diseños de amarre para mantener la estabilidad de los taludes

4.1.9.6.1. Calculo de tiempos de menor daño a taludes mediante estudio de onda elemental

Es de interés del área de perforación y voladura de compañía MMG – Las Bambas y ORICA es el de minimizar las vibraciones generadas por las voladuras y sus efectos en los taludes del tajo, y así evitar posibles daños como deslizamientos, sobre roturas. Mediante el análisis de onda elemental se quiere conocer rangos de tiempos entre taladros, a diferentes distancias de la falla Este de Jahuapaylla Alta.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Se realizó el análisis de onda elemental en la zona Fase II – del proyecto 3960-014-015. Con la finalidad de encontrar los tiempos adecuados que nos permitan reducir la vibración en las próximas voladuras que se ejecutaran en la Fase II.

Fotografía 20: Ubicación de falla en zona de fase II.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se estableció un tiempo entre taladros de 33 ms tiempo de control de 100 ms y 200 ms, Tiempo entre filas es de 250 ms. Se colocó un sismógrafo a 155.8 metros del proyecto de voladura para registral la onda elemental.

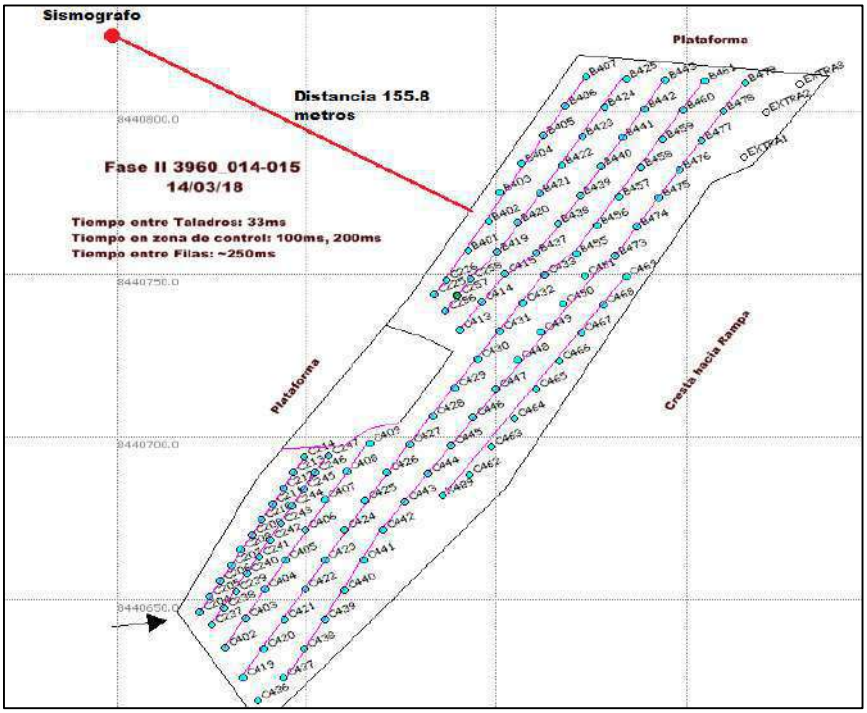


Figura 58: Diseño de amarre del proyecto 3960 -014-015.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

El reporte de sismógrafo muestra una VPP de 40.88 mm/s registrado a una longitud de 155.8 dela voladura.

En el ANEXO 08, se muestra los resultados de la amplitud de las vibraciones en los tres ejes longitudinal, vertical y transversal, estos nos servirán para calcular la resultante de la amplitud en diferentes tiempos por lo que se puede determinar el tiempo adecuado en el que la resultante de los tres ejes es mínima.

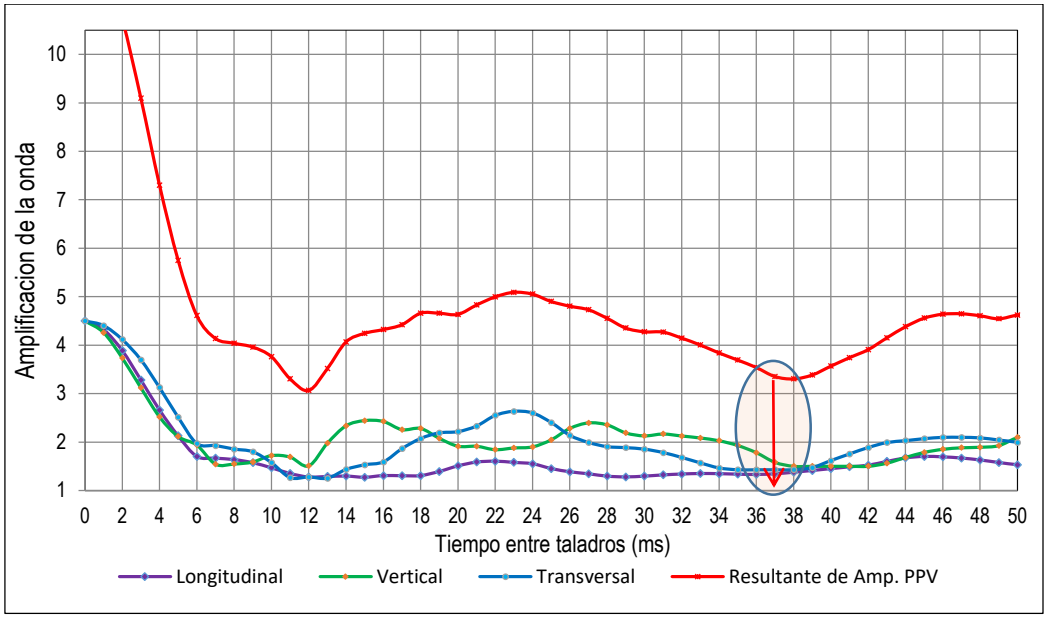


Gráfico 9: Relación de Amplitud Vs. El tiempo de retardo entre taladros del proyecto3960 - 014-015.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

A través del tratamiento de datos se pudo establecer una relación de la amplitud generada y el tiempo, con el cual se determinó que el tiempo en el que se genera menor amplitud de onda se en 37 ms.

4.1.9.6.2. Diseño de amarre para disminuir la VPP en el proyecto 3960-25 Fase -02

En el proyecto 3960 -25 Fase – 02, se cargaron 49 taladros este proyecto se encuentra cerca a la falla de face II, por lo que se usara los tiempos sugeridos anteriormente para reducir el nivel de vibraciones.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Fotografía 21: Proyecto 3960-25.
Fuente: Propia.

Se realizó la simulación con la con la configuración de tiempos sugeridos para disminuir la vibración en la falla de la Fase II. La secuencia de salida será en filas largas en dirección a la cara libre. Se coordinó con el personal de MMG-Las Bambas que el tiempo entre taladros será de 37 ms y el tiempo entre filas será de 100 y 150 ms esto para el control de sobre quiebre.

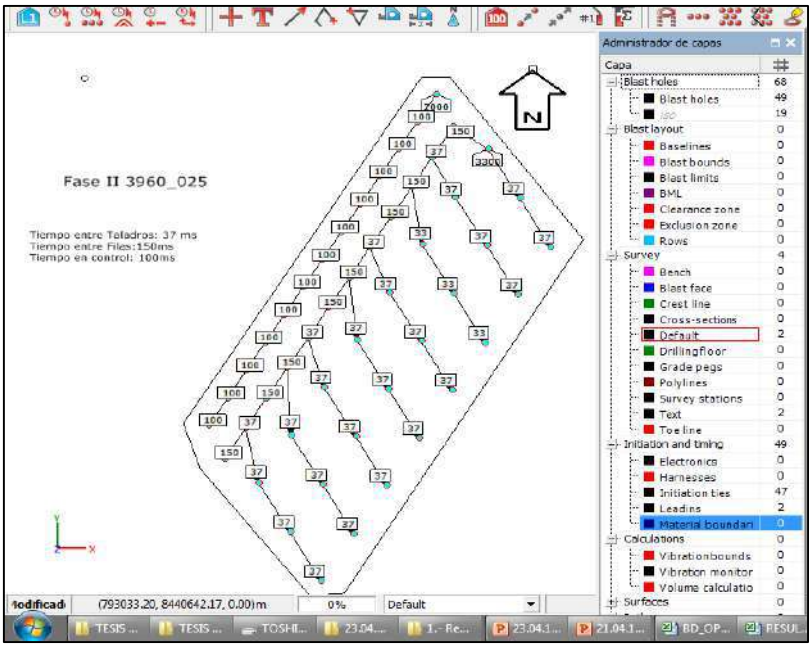


Figura 59: Diseño de marre del proyecto 3960 – 25.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se instaló el sismógrafo a 213.4 metros de la malla de perforación, en la zona Norte del talud Fase-02

Fotografía 22: Detonación del proyecto del proyecto 3960 – 25.
Fuente Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Se registró una VPP de 11.30 mm/s en el punto de monitoreo, ubicado a 213.4 metros del disparo, en la pared norte del talud en Fase - 02.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

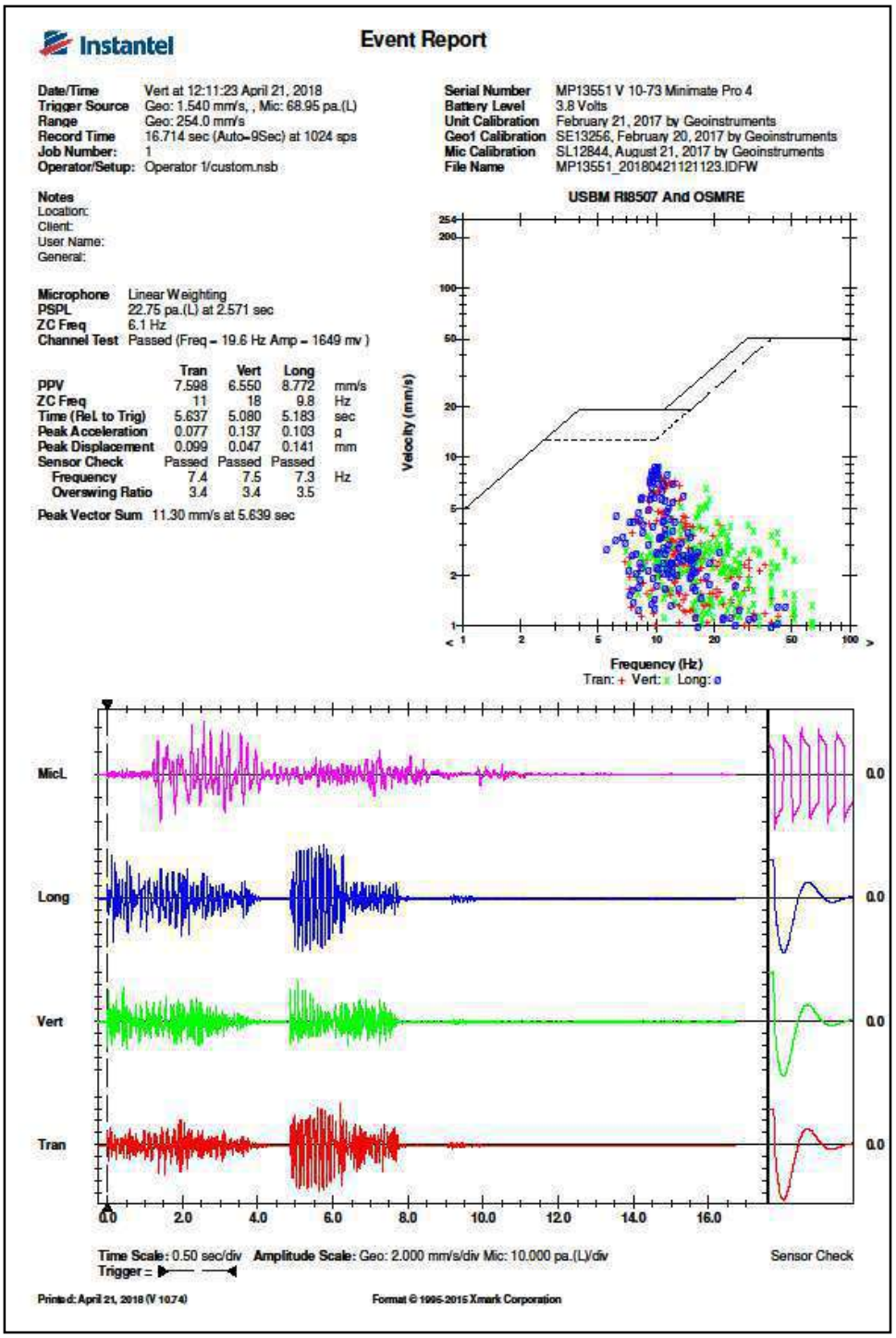


Gráfico 10: Reporte del sismógrafo del proyecto 3960 – 25.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Mediante estudio y análisis de onda elemental en las distintas zonas del Tajo Ferro bamba, se obtuvo los siguientes rangos de tiempo como óptimos como se muestra en la tabla 31.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 31: Tiempos de menor daño a taludes en las zonas del tajo Ferrobamba

Zona	Rango de tiempo de menor daño (ms)
Jahuapaylla alta (lado este)	24 – 27
Jahuapaylla alta (lado norte)	17 – 21
Jahuapaylla intermedia	29 – 36
Jahuapaylla baja	26 – 29
Fase II	37 – 40
Fase II	13 – 18

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

En las voladuras cercanas a las fallas y taludes, se sacrifica la productividad a cambio de minimizar los daños potenciales, reduciendo el nivel energético y mejorando la distribución de energía en cada uno de los taladros.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.8. valuación económica del diseño de carga y amarre de la voladura en el Tajo Ferrobamba

El análisis económico está en función de las características y la cantidad de explosivo alojado dentro del taladro, al realizar un comparativo ente diferentes explosivos las pruebas se deben de realizar con la misma malla y taco para que el P80 no este influenciada por estas variables.

En este capítulo se ha determinado el costo por metro lineal, costo por taladro, costo por tonelada volada y factor de carga para cada explosivo.

Tabla 32: Costo de mezclas explosivas

Producto	Densidad gr/cc	VOD [m/s]	US$/TM.
HA 73 (Advantage Gasificable)	1.33	5150	668.504
HA 73 (Extra gasificado)	1.32	5200	717.581
HA 73 (Vistis)	1.35	5800	831.05
Diámetros			US$/m.
12.25			11
Accesorios			US$/Unid.
Pirotécnico (unid.)			3.79
Ikon (unid.)			26.39
Pentex 900 (gr.)			6.55

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Las variaciones en los costos de cada mezcla se dan por el tipo de emulsión y densidad, los componentes del Anfo y la solución de nitrito de sodio se mantienen constantes, solo en el Vistis 250, el diesel es remplazado por el aluminio logrando un ANFO Aluminizado.

Se analizaron 6 escenarios detallados en la tabla 38, se comparan las diferentes mezclas de ANFO pesado 65/35 gasificado llevado a diferentes densidades.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Tabla 33: Comparativo de costos en diferentes tipos de diseño de carga.

Tipo de emulsión en la mezcla		Comparaciòn		Comparaciòn		Comparaciòn		
		HA 65/35 G. Fortis Advantage	HA 65/35 G Fortis Extra	HA 65/35 G Fortis Extra	HA Aluminizado Vistis 250	HA 65/35 G Fortis Extra	HA 65/35 G Fortis Extra	HA Aluminizado Vistis 250
							C.Columna	C.Fondo
Malla (m2)		8,7 X 10	8,7 X 10	5.2 X 6	5.2 X 6	5.2 X 6	5.2 x 6	
Densidad real	Inicial (gr/cm3)	1,33	1,32	1,32	1,35	1,32	1,32	1,35
	Final (gr/cm3)	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
Altura de carga (m)		7,5	7,5	10,5	10,5	11	6	5
Altura de carga sin esp (m)		7	7	10	10	10,5	5,5	4,5
Esponjamiento (m)		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Factor de carga Kg/m3		0,21	0,22	0,83	0,84	0,87	0,83	
Cantidad lineal expl (kg/m)		101,19	100,43	100,43	102,71	100,43	100,43	102,71
Cantidad explosivo (kg)		708,32	702,99	1004,28	1027,10	1054,49	552,35	462,20
Diseño de taladro								
Diametro (Pulg)		12 1/4	12 1/4	12 1/4	12 1/4	12 1/4	12 1/4	
Altura de taladro (m)		16,5	16,5	16	16	16	16	
Taco (m)		9	9	5,5	5,5	5	5	
Soreperforacion (m)		1,5	1,5	1	1	1	1	
Burden (m)		8,7	8,7	5,2	5,2	5,2	5,2	
Espaciamiento (m)		10	10	6	6	6	6	
Densidad de roca (gr/cm3)		2,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	
Altura de banco (m)		15	15	15	15	15	15	
Volumen a romper (m3)		1305	1305	468	468	468	468	
Tonelaje a romper Ton/taladro		3393	3262,5	1216,8	1216,8	1216,8	1216,8	
Costos de explosivos y accesorios								
Costo de mezcla explosiva ($/ton)		668,504	717,581	717,581	831,05	717,581	717,581	831,05
Pirotécnico (2unid.)		7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	7,58	
Ikon (2unid.)		52,78	52,78	52,78	52,78	52,78	52,78	
Pentex 900 (gr.) 2unid.		13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	
Evaluacion economica								
Costo/metro lineal ($/m)		67,65	72,07	72,07	85,36	72,07	78,05	
Diferencia de costos ($/m)		4,42		13,29		5,99		
Costo/taladro ($/tal)		546,98	577,92	794,11	927,03	830,14	433,09	420,84
							853,93	
Diferencia de costo ($/tal)		30,94		132,92		23,78		
Costo por tonelada ($/Ton)		0,16	0,18	0,65	0,76	0,68	0,70	
Diferencia de costo/ton ($/Ton)		0,016		0,109		0,020		

Fuente: Elaboración Propia

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

El cambio de la mezcla explosiva en un primer momento se realizó con la finalidad eliminar la generación de gases nitrosos ya que estos llegaron hasta un nivel 5, pasando a ser una necesidad urgente. Las pruebas de calidad de los agentes explosivos, sugirieron la necesidad de cambiar el Fortis Advantage por el Fortis Extra. La diferencia de costos de las mezclas explosivas se da por el cambio de Emulsión ya que la evaluación por Asistencia técnica determino que el Nitrato de Amonio cumple con las características técnicas requeridas para desarrollar su máxima energía por kilogramo de Anfo.

En el grafico 11, se observa que al remplazar él Heavy Anfo 73 Advantage por el Heavy Anfo 65/35 Extra, el costo por metro lineal se incrementa en 4.42 $/m lo que representa un incremento de 0.016 $/Ton.

El remplazo del Fortis 70/30 por el Fortis 65/35 Extra, no solo redujo la generación de gases nitrosos si no la reducción de la fragmentación, por lo que su uso es estandarizado.

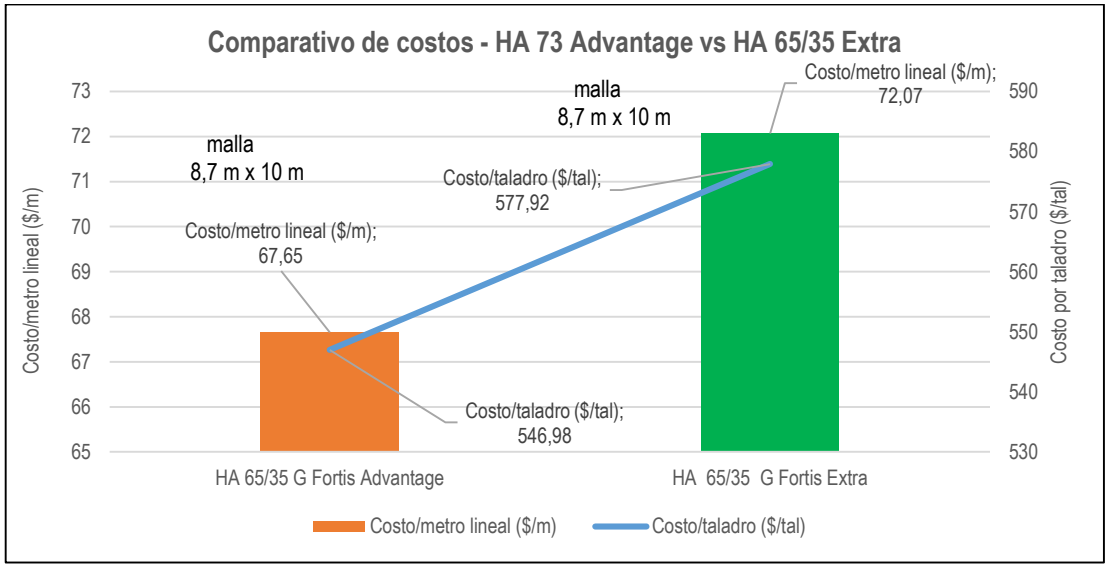


Gráfico 11: Comparación de costo entre HA 70/30 Advantage y HA 65/35 Extra.
Fuente: Elaboración propia.

Consecutivamente en ese proceso de optimización, se sugiere el uso del Heavy Anfo Aluminizado, esto con la finalidad de reducir aún más la fragmentación sin dejar de lado el uso del HA 65/35 Extra.

Es necesario precisar que los costos por metro lineal no son afectados por las dimensiones malla ya están en función a la densidad del explosivo y al diámetro del taladro. Por otro lado, al remplazar el Heavy Anfo 65/35 Extra por el Heavy Anfo Aluminizado (Vitis) el costo por metro lineal se incrementa en 13.29 $/m. Lo que representa un incremento de 0.109 $/Ton. Sin embargo, este costo es excesivo por el uso del aluminio en la mezcla.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

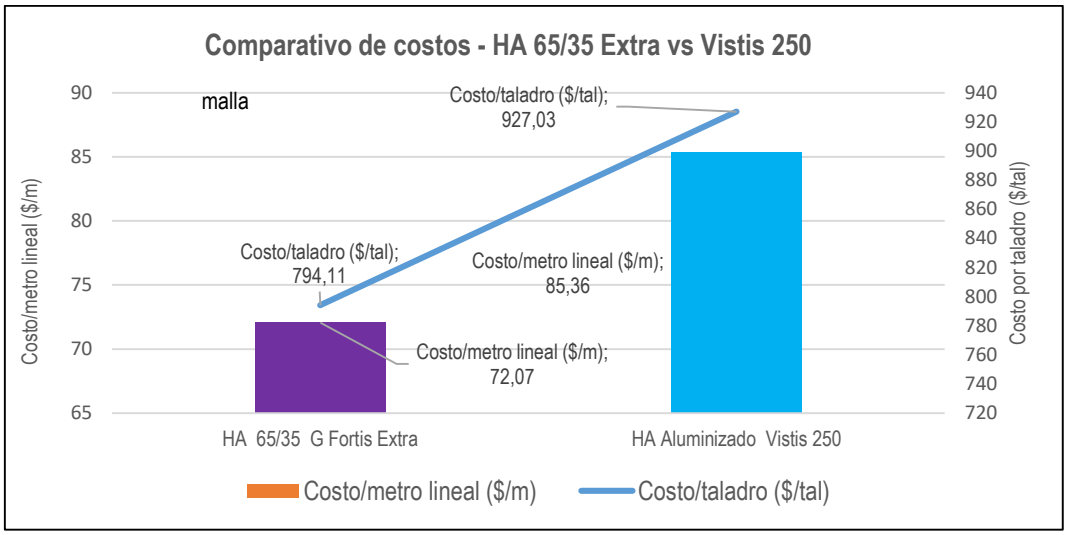


Gráfico 12: Comparación de costo entre HA 65/35 Extra y Vistis 250.
Fuente: Elaboración propia.

Para reducir este cosco excesivo, una propuesta es el uso de dos mezclas en un mismo taladro, la carga de fondo estaría conformado por el Vistis 250, en los primeros 5 metros y en los últimos 6 m la carga de columna estaría conformado por un Heavy Anfo 65/35 Extra, de esta forma el costo por metro lineal se incrementa en 5.99 $/m con respecto al HA 65/35 Extra, sin embargo el costo se reduce en 7.3 $/m con respecto al uso del HA Aluminizado en toda la columna de carga.

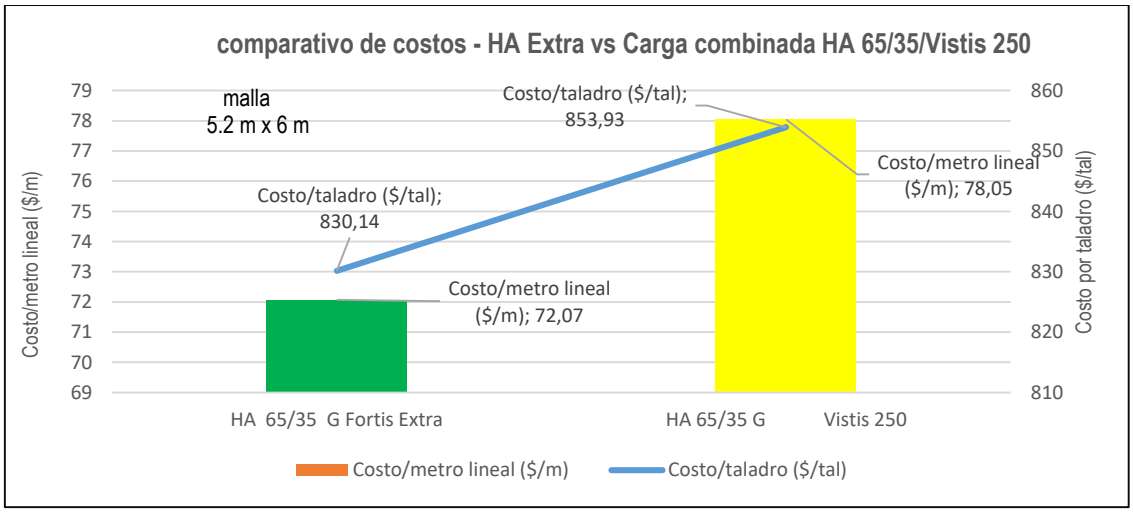


Gráfico 13: Comparación de costo entre HA 65/35 Extra y Carga combinada HA 65/35 Y Vistis 250.

Fuente: Elaboración propia.

La variación de los factores de carga y costos están sujetos al dimensionamiento de la malla, Como se observa en el grafico 14, con el reemplazo del HA 73 Advantage por el HA 65/35 Extra, se pudo reducir la fragmentación del P80 de 6 pulgadas a 4.88 pulgadas, consecuentemente la disminución de gases nitrosos. Esta reducción conlleva al aumento del costo de 0.16 $/TM a 0.18 $/TM.

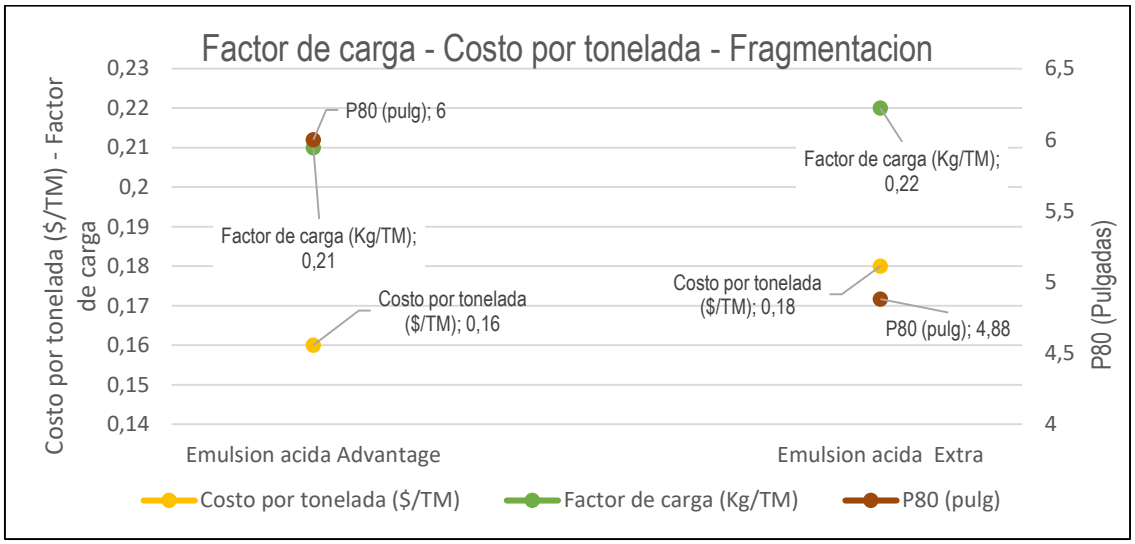


Gráfico 14: Comportamiento del costo y factor de carga frente a la fragmentación del HA 73 Advantage y HA 65/35 Extra.
Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en el grafico 15, el uso del vistis reduce la fragmentación de 4.19 pulgadas a 2,18 pulgadas, esto supone un incremento excesivo del costo de 0.65 $/TM a 0.76 $/TM. El uso de una carga combinada de vistis 250 y HA 65/35 Extra, permite reducir este costo sin incrementar considerablemente el P80.

Los factores de carga con el uso del HA65/35 Extra y Vistis 250 son elevados ya que el taco es reducido en su longitud, aumentando la cantidad de explosivo por taladro.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

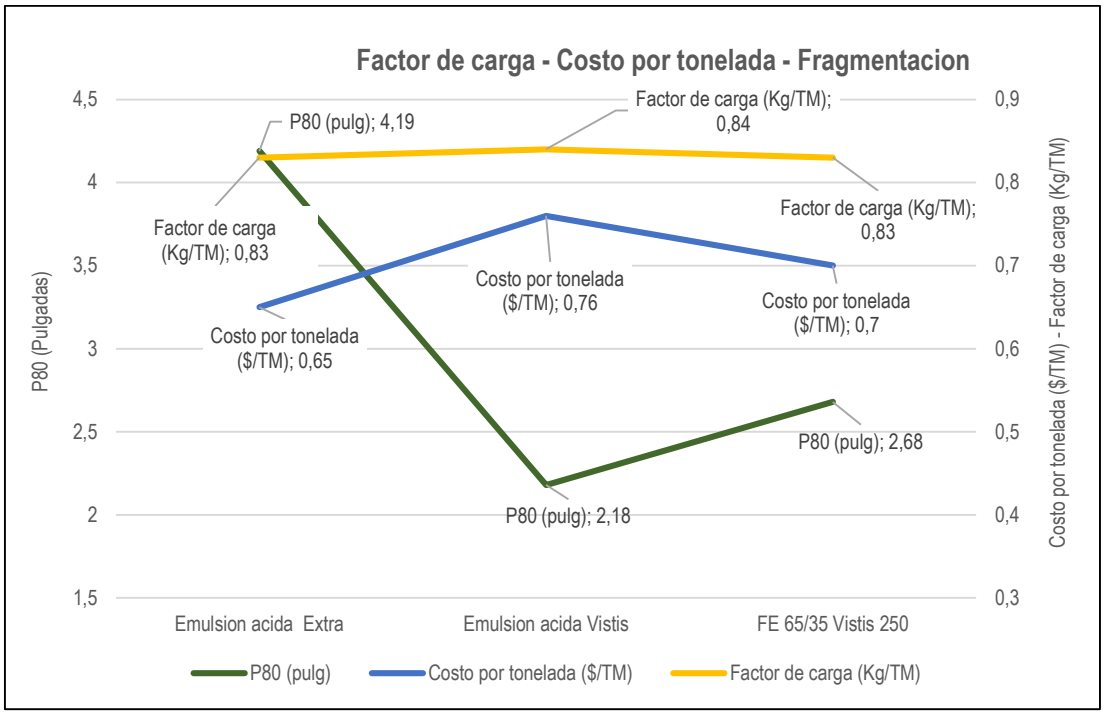


Gráfico 15: Comportamiento del costo y factor de carga frente a la fragmentación del HA 65/35 Extra y HA Aluminizado.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.9. Influencia de la fragmentación en los procesos de chancado y molienda

Según Alarcòn (2010), en los últimos años una gran cantidad de esfuerzos se han focalizado en optimizar el chancado y molienda a través de una mejor fragmentación en la voladura. Estudios han demostrado que una gran cantidad de energía puede ser ahorrada y que es posible aumentar la producción con los mismos equipos y potencia instalada mediante la optimización de la distribución de fragmentos de roca de tamaño crítico. En consecuencia, se puede aumentar la disponibilidad de equipos por su uso adecuado, tales como los chancadores, molinos.

Alarcòn (2010), describe como se optimiza la alimentación fragmentando más fino la distribución completa, con esto se logra aumentar la producción y disminuir el consumo específico de energía, esto se puede demostrar a través de lo siguiente:

$$E = \frac{P \times T}{M}$$

Ec. nº 4.05

Donde:
E= Energía específica consumida (kWh/tc)
P = Potencia instalada (kW)
T= tiempo (h)
M = Masa (tc)

Si la potencia actual es igual a la futura, entonces:

$$\frac{E_1 \times M_1}{T_1} = \frac{E_2 \times M_2}{T_2} \Rightarrow \frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{M_2}{T_2}}{\frac{M_1}{T_1}}$$

Según el postulado de Bond para la conminución se tiene:

$$E = 10 \times W_i \times F \times \left(\frac{1}{\sqrt{P80}} - \frac{1}{\sqrt{F80}} \right) \qquad \textit{Ec. nº 4.06}$$

Donde:

Wi = Work Index ó índice de Bond de laboratorio (kWh/tc)

F = Factores de corrección del Wi para escalar a nivel industrial

P80 = Tamaño del 80% pasante en el producto (µm)

F80 = Tamaño del 80% pasante en la alimentación (µm)

Luego, si son exactamente los mismos equipos de conminución para situación actual y futura, entonces F1 = F2. Además, es el mismo mineral a procesar, entonces Wi1 =Wi2.

Por lo tanto:

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\frac{1}{\sqrt{P80_1}} - \frac{1}{\sqrt{F80_1}}}{\frac{1}{\sqrt{P80_2}} - \frac{1}{\sqrt{F80_2}}} = \frac{tph_2}{tph_1} \qquad \textit{Ec. nº 4.07}$$

De acuerdo a esto, si se disminuye el F80, pero se mantiene el mismo P80 aumenta la capacidad de producción, tph.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

4.1.10. Incremento del rendimiento en los procesos de chancado y molienda

Con la implantación del HA extra y HA Aluminizado (vistis 250) se aumentar progresivamente el rendimiento de los procesos de chancado y molienda, incrementándose el porcentaje de alimentado a un 85% aproximadamente, tal como se muestra en la figura 60.

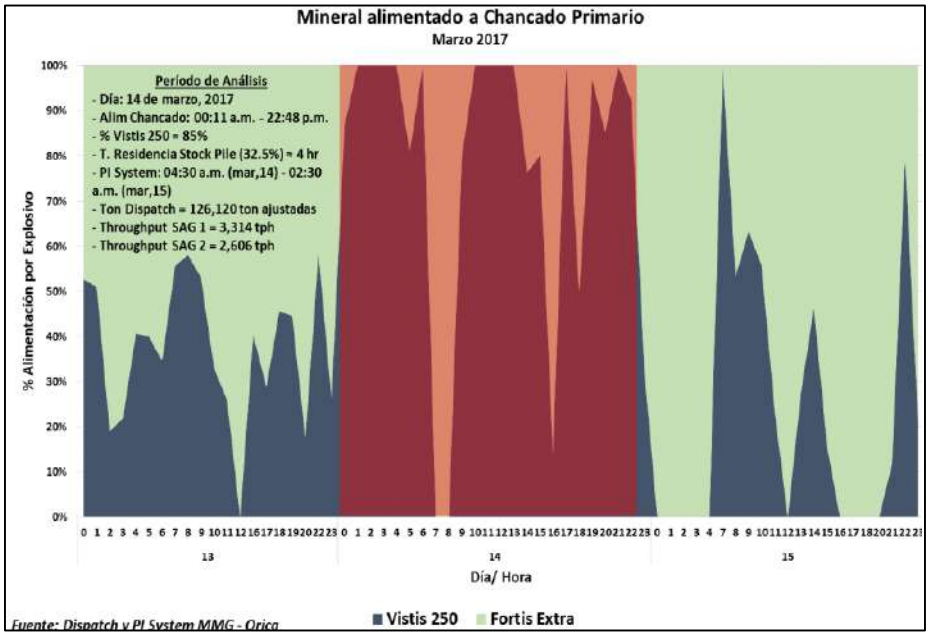


Figura 60: Mineral alimentado a chancado primario

Fuente: Dispatch y PLSistem MMG - ORICA

la línea base promedio hasta el mes de diciembre del 2017, indican que el rendimiento promedio del molino fue de 3,152 ton/hr, luego de las pruebas se registró un rendimiento de 3,314 ton/hr. Por lo que, con la mejora de la fragmentación, el rendimiento en los molinos se incrementó en un 5.1%, como se indica en la figura 61.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

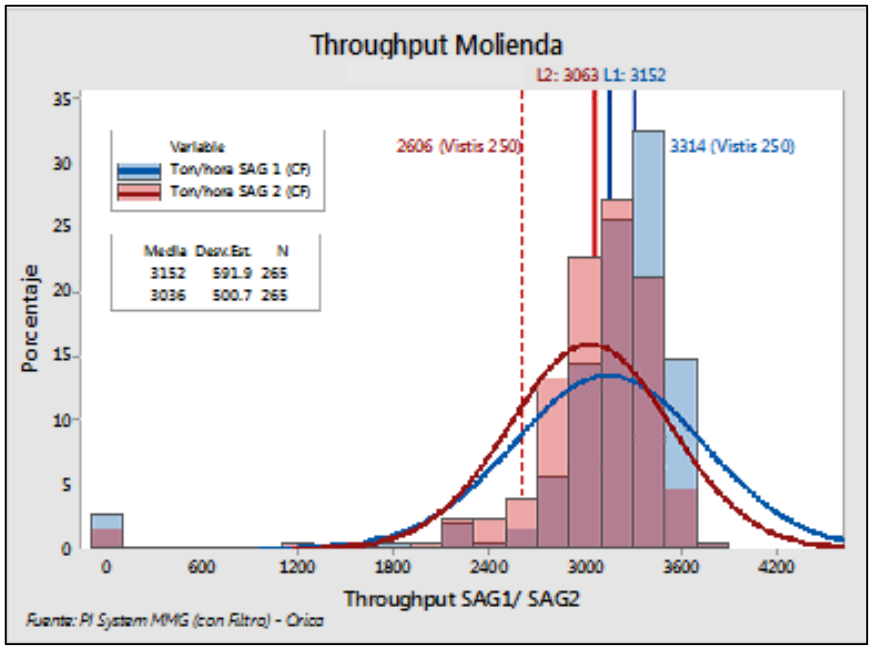


Figura 61: Histograma Thoughput SAG 1/ SAG 2

Fuente: Dispatch y PLSistem MMG - ORICA

4.2 Discusión de resultados

- A partir del análisis realizado tomando el criterio establecido por chiappetta se pudo definir que la longitud adecuada del taco para obtener una fragmentación adecuada, flyrock reducido, esta debe estar comprendido entre 4.66 metros a 7.9 metros, estos valores se obtienen cuando el SD fluctúa entre 0.92 $m/kg^{1/3}$ y 1.4 $m/kg^{1/3.}$.

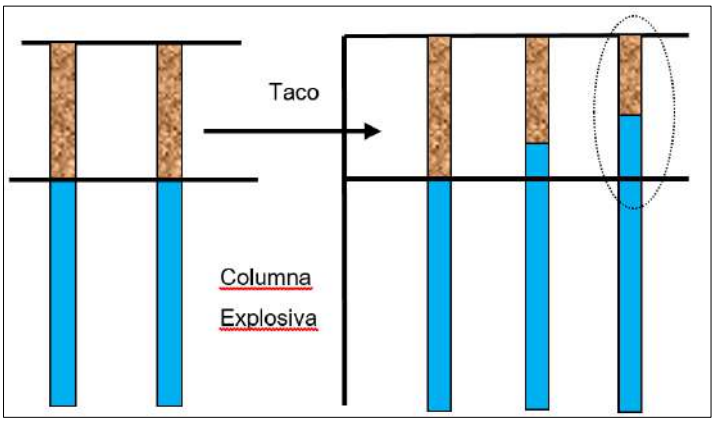


Figura 62: Reducción de taco para mejorar la fragmentación.
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de chiappetta.

- El resultado en la fragmentación de la zona del taco depende del explosivo contenido en la parte superior de la columna explosiva (w), los tacos determinados según chiapetta establecen un rango teórico que no definen diseños reales, sino una referencia para la selección del taco optimo por lo que son ajustados de acuerdo a la experiencia.

Tabla 34: longitud del taco de acuerdo al SD .

Explosivo	Q lineal (Kg/m)	L (m)	W (kg)	SD	Taco teorico (m)	Taco Ajustado (m)
HA 65/35	100.43	3.11	312.34	0.92	4.68	5
HA 65/35	100.43	3.11	312.34	1.16	6.32	6,5
HA 65/35	100.43	3.11	312.34	1.4	7.95	8

Fuente: Elaboración propia.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la voladura con una longitud de carga de 11 metros conformada por un Heavy Anfo 65/35 Extra a diferencia de un HA Advantage, se pudo reducir el P80 de 6 pulgadas a 4.88 pulgadas. Otra alternativa planteada es el uso de una configuración de carga conformada de dos mezclas explosivas, una carga de fondo de HA Aluminizado y una carga de columna de HA 65/35 Extra con una longitud de carga de 11 y un taco de 5 metros, como resultado el P80 se redujo a 2.68 pulgadas. La norma operativa en las Bambas establece una distancia de seguridad de 300 metros para equipos y 500 metros para personas desde el punto de la voladura. A través de las pruebas realizadas se determina que con un taco de 5 metros se tiene una distancia máxima de alcance de fragmentos proyectados de 197.5 metros, de acuerdo a estos resultados se demuestra que con un taco de 5 metros la proyección de rocas no excede el margen de seguridad establecido en las normas operativas.

- Los tiempos de iniciación entre filas y taladros son relevantes, estos están en función del dimensionamiento de la malla, los tiempos calculados anteriormente demuestran que un tiempo de 17 ms entre taladros mejora la fragmentación, por debajo de este tiempo el P80 no muestra una mejora en cuanto a granulometría. La iniciación retardada a lo largo de la fila reduce la vibración del terreno y produce una fragmentación más fina, los tiempos obtenidos entre filas determinan la forma del apilamiento del material y están condicionados al equipo de carguío que se tiene. Los tiempos asignados entre filas están comprendidos entre 100 ms y 150ms en zonas de producción ya que el apilamiento de mineral es adecuado sin que la fragmentación se vea

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

afectada, los tiempos de retardo en zonas de contorno fluctúan entre 200 ms y 300 ms estos tiempos nos permitieron reducir el sobrequiebre.

- La propuesta de aumentar la longitud del taco en la zona del contorno para reducir el sobrequiebre usando la misma mezcla explosiva en taladros de producción no es una opción viable ya que energía generada en la parte inferior de la columna explosiva actúa con la misma intensidad en esa sección generándose el mismo sobre quiebre, este criterio conlleva por otro lado a que la fragmentación en la parte superior se vea afectada ya que la longitud del taco no se encuentra dentro del intervalo que establece chiappetta para obtener una fragmentación aceptable. Una opción para la reducción del sobre quiebre sin comprometer la fragmentación requerida en la parte superior fue reducir la longitud del taco de 9 metros a 8 metros y cambiar la mezcla explosiva de un HA 65/35 gasificado cuya energía es de 3.79 MJ/kg por una Emulsión gasificada cuya energía es de 3.44 MJ/kg en la zona de contorno, los resultados en las pruebas muestran una reducción del sobre quiebre tanto al Norte como al Este del proyecto 3870-09-011 en 3.3 metros y 4.5 metros respectivamente.

- las vibraciones y el sobrequiebre generados producto de las voladuras contiguas al talud son causantes de inestabilidad, es por esto que se rediseña la configuración de carga en taladros de buffer y las secuencias de iniciación a través del estudio de onda elemental. De acuerdo a lo establecido por chiappetta se determinó una carga de 300 kilogramos de mezcla explosiva, sin embargo, el uso de una mezcla HA 65/35 generaba gases nitrosos e inestabilidad a largo plazo en los taludes ya que su energía es superior a la de la Emulsión, con esta reducción en la cantidad y cambio de mezcla explosiva en taladros de la primera de buffer se redujo el sobrequiebre y la generación de gases nitrosos.
- La función de los taladros del segundo buffer es la amortiguar impacto que tendrá la voladura, pero sin dejar de lado la fragmentación requerida por lo que se establece un taco intermedio de 2 metros teniendo como base la teoría establecida por chiappetta.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

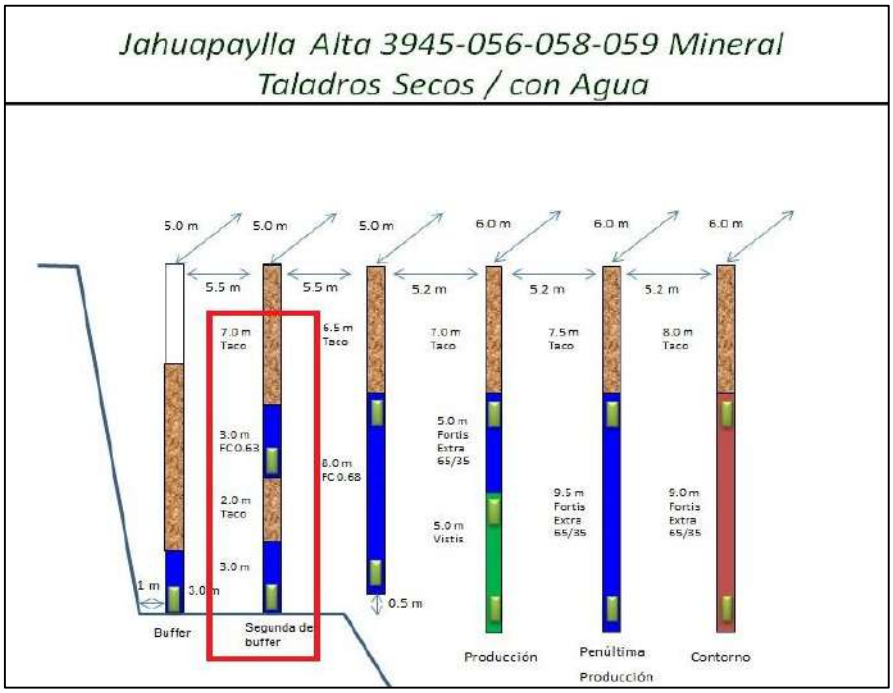


Figura 63: Diseño de carga para taladros en la buffer en la zona de mineral para el nivel 3945.
Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

- En las voladuras cercanas a las fallas y taludes, se sacrifica la productividad a cambio de minimizar los daños potenciales, reduciendo el nivel energético y mejorando la distribución de energía en cada uno de los taladros.
- En el proyecto 3960- 14,15 se realizó un estudio de onda elemental a través del cual se pudo determinar que el tiempo en el que se produce menor amplificación de la vibración es en 37 ms. La VPP registrada por el sismógrafo colocado a 155.8 metros de la voladura es de 40 mm/s. este tiempo fue utilizado en el proyecto 3960-25 la VPP registrada por el sismógrafo es de 11.30 mm/s por lo que se corrobora que hay una reducción de la vpp considerando que la distancia del sismógrafo al punto de voladura es de 213.4 metros. Finalmente, estas medidas son buenas para prevenir los daños en campo cercano, pero no siempre son suficientes para hacer lo mismo en campo lejano. Las ondas de baja frecuencia y gran amplitud son las de mayor potencial de daño.

- Por las pruebas realizadas se estableció el uso del Heavy Anfo 65/35 Extra y HA Aluminizado ambos productos lograron una reducción en la generación de gases nitrosos y mejoramiento de la fragmentación, pero a la vez un aumento del costo por tonelada, sin embargo, estos costos se ven compensados al unificar los procesos de voladura, chancado y planta ya que la reducción del P80 aumenta el rendimiento, capacidad, recuperación del metal de interés y consumo de energía específico de la roca.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

1. Se estableció un diseño de carga a partir del cálculo de longitudes de taco y el uso del HA 65/35 y HA Aluminizado, de la misma forma se estableció nuevos diseños de salida con la finalidad mejorar la fragmentación y reducir el riesgo de proyección de rocas. Se realizó un comparativo de costos entre diferentes mezclas explosivas estandarizándose el uso del HA 65/35 extra y una carga combinada entre él HA 65/35 Extra y él HA Aluminizado (vistis 250). Ç

2. Se determinó que las longitudes de carga deben estar comprendidos entre 10.5 metros y 11 metros en zona de mineral con el uso de mezclas conformadas por un HA 65/35 Extra y una carga combinada de un HA Aluminizado y HA 65/35 Extra, por otro lado en los diseños de amarre se debe establecer preferentemente un diseño de filas largas con la finalidad de disminuir la cantidad de material a mover por taladro con tiempos de 17 ms entre taladros y de 100 ms, 150 ms y 200 ms entre filas. Estos cambios permitieron la reducción del P80 de 6 pulgadas a 2.68 pulgadas e incrementó el rendimiento en un 5.1% en los molinos.

3. En los taladros de contorno se estableció una longitud de carga de 8 metros y el uso de Emulsión 100 por su menor energía frente a un HA 65/35 Extra gasificado, así mismo se determinó una carga aproximada de 300 kilogramos de Emulsión gasificada en los taladros de buffer por otro lado con el estudio de onda elemental en las voladuras se determinó los tiempos donde se genera una menor amplitud de las velocidades, de esta manera se pudo reducir las vibraciones generadas por voladura y sus efectos en los taludes del tajo ferrobamba.

4. Mediante un evaluación económica y tecnica se demostro que es necesario remplazar él HA 70/30 Advantage por él HA 65/35 Extra esto supone incremento de 4.42 $/m. Por otro lado, el uso del HA Aluminizado con respecto a resto de mezclas explosivas representa un incremento de 13.29 $/m con respecto a un HA 65/35 Extra este costo es excesivo, Siendo una mejor opción el uso de una doble carga, un HA Aluminizado en la carga de fondo y un HA 65/35 Extra en la carga de columna reduciéndose de esta manera el costo de 13.29 $/m a 5.99 $/m.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

5.2. Recomendaciones

1. Realizar el control de calidad de la emulsión almacenada en los silos a través de evaluaciones cualitativas y cuantitativas, se debe calibrar los camiones fabrica MMUs cada 20 días en todos sus componentes para obtener un buen producto de Anfo Pesado gasificado. Se debe realizar el control de calidad de la mezcla explosiva a través de la toma de densidades durante el carguío de taladros para cada camión fábrica.

2. Realizar las evaluaciones del material de grava para asegurar la retención del taco, y evitar cortes de línea, estos deben cumplir con las características antes mencionadas.

3. En la simulación a través del SHOTPlus se debe evaluar de mejor manera las líneas de isotiempo y burden relief en los diseños de amarre con la finalidad de evitar acoples de tiempo.

4. Se debe continuar con las pruebas de sobre quiebre para establecer nuevos diseños de carga y tiempos de salida que permitan la reducción de la misma, asimismo se debe de continuar con las pruebas de onda elemental en las voladuras cercanas a las fallas o taludes a medida que se profundice.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

Enaex. 2006. *Manual de Voladura de Enaex.* Chile : s.n., 2006.

Alarcòn, Jair. 2010. *¿Como la fragmentaciòn de voladura impacta los procesos de planta?* Lima : s.n., 2010.

Ames Lara, Victor Alejandro. 2008. *Diseño de las Mallas de Perforación y Voladura Utilizando la Energia Producida por las Mesclas Explosivas.* LIMA : s.n., 2008.

Artigas Z, Maria T. 2011. Diseño de patrones de perforacòn y voladura, para normalizar la fragmentaciòn del material resultante de la mina Choco Empresa PMG S.A. El Callao, Estado Bolivar Caracas Venezuela Tesis 2011. Caracas, Venezuela : Tesis, 2011.

Bernaola Alonso, José, Castilla Gómez, Jorge y Herrera Herbert, Juan. 2013. *Perforación y voladura de rocas en minería.* Madrid : s.n., 2013.

Camacho Gomez, Orlando Santiago. 2017. *Aplicación de la clasificación geomecánica para mejorar el rendimiento de la voladura en La Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C.* Tacna : s.n., 2017.

Chiappetta, Frank. 2016. *Innovative Blasting Technologies to Improve Fragmentation, Plant Throughput and Productivity.* Santiago de Chile : s.n., 2016.

Chura Lope, Wilberth. 2016. *Caracterizaciòn geomecanica del macizo rocoso y su aplicaciòn en el diseño de sostenimiento en labores de desarrollo de la unidad econòmica administrativa Ana Maria Rinconada.* Puno : s.n., 2016.

Curso bàsico de voladura. **Valenzuela, Wenceslao. 2016.** Lima : Orica Mining Services Perù, 2016.

Dr.Muñoz García, Jabier. *Guia de Buenas Practicas en el Diseño y Ejecución de Voladuras en el Banco.* Madrid : s.n.

Enaex, Gerencia Tecnica. *Manual de Tronadura Enaex.*

EXSA. 2005. *Manual Practico de Voladura.* Lima : s.n., 2005.

Fernandez Bejarano, Juan Carlos. 2009. *Geologìa Las Bambas.* Challhuahuacho : s.n., 2009.

Gaona Gonzales, Aderling Jesus. 2015. *Optimización de la Voladura, Mina la Virgen - de la Compañía Minera San Simon S.A. - Huamachuco Trujillo.* Piura : Tesis, 2015.

García Reyes, Wilmer Eri. 2017. *Mejoramiento del proceso de voladura mediante la aplicación de técnicas en distribución de carga utlizando emulsión gasificada San-G en el tajo chalarina de la mina Shahuino-Cajabamba.* Trujillo : s.n., 2017. Pre-grado.

Guìa de criterios geomecànicos para diseño, construcciòn, supervisiòn y cierre de labores subterràneas. **Osinergmin. 2017.** Lima : INVERSIONES IAKOB S.A.C., 2017, Vol. Primera edición.

Hernández Sampieri, Roberto. 2010. *Metodología de la investigación.* Mexico : Interamericana Editores. S.A. DE C.V., 2010. 1234567890.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Hidalgo Bayo, Emilio y Abad Fernandez, Miguel. 1985. *Estudio de la influencia del seccionado de cargas en un mismo barreno para disminuir el nivel de vibraciones* . Madrid : Dirección de Aguas Subterraneas y Geotecnia del Instituto Geologico y Minero de España, 1985.

Hidalgo, Tomás, y otros. *Mineria a cielo abierto.* Santiago : Departamento Ingenieria Civil de Minas.

Hinostroza Sierra, Jaime Roosevelt. 2014. *Optimización de la fragmentación en las rocas con la aplicación de doble iniciación electrónica en la explotación de cobre porfirítico a cielo abierto.* Lima : s.n., 2014. Tesis.

Hopler y Robert B. 2008. *Manual del Especialista en Voladura.* Cleveland : Society of Explosives Engineers, Inc, 2008.

Inacap. 2015. *Manual de Tronadura.* Chile : s.n., 2015.

Konya , Calvin J y Albarrán N, Enrique. 1998. *Diseño de Voladuras.* México : Ediciones Cuicatl, 1998.

Llosa Tejada, Fernando, Verliz Mamani, Javier y Ito Espinoza, Braulio. 2003. DOCPLAYER. *Descubrimiento y Geológia del Pórfido Cu - Mo Trapiche Apurímac - Perú.* [En línea] 2003. http://docplayer.es/10211872-Descubrimiento-y-geologia-del-porfido-cu-mo-trapiche-apurimac-peru.html.

Lopez Jimeno. 2003. *Manual de Perforación y Voladura de Rocas.* Madrid : Istituto Tecnologico Geomecanico de España, 2003.

Makenzie. 1994. *Estado del Arte de la Tronadura.* Satiago : s.n., 1994.

Modelamiento poronda elemental y su aplicacion en estabilidad de taludes. **Scherpenisse , Carlos R. 2006.** 2006.

Mucho, Romulo. 2011. *Tecnicas de Voladura Controlada y Rocas Volantes.* Lima : s.n., 2011.

—. 2013. *Voladura de Rocas Aplicada a la Nueva Minería.* Lima : s.n., 2013.

ORICA. 2013. *Dispositivo de registro y testeo para detonadores LOGGER A3.* LIMA : s.n., 2013.

—. 2013. *Manual de uso Blaster 2400S A3.* LIMA : s.n., 2013.

Orica Mining Services Perú, OMS. 2008. *Voladura Segura y Eficiente en Minas a Rajo Abierto.* Chile : s.n., 2008.

Pampacata Holgado, Lucio Raymundo. 2015. *Analisis de vibraciones inducidos por voladuta de rocas en cantera Atocongo en zonas cernacas a poblaciones.* Lima : s.n., 2015. Pregrado.

Peña Vizarreta, Yeison Jehú. 2014. *Modelamiento, monitoreo y control de las vibraciones para evitar daños inducidos por la voladura de rocas de una operación minera superficial.* Lima : s.n., 2014.

—. 2014. *Modelamiento, monitoreo y control de las vibraciones para evitar daños inducidos por la voladura de rocas de una operación minera superficial.* Universidad Nacional de Ingenieria. Lima : s.n., 2014. Pregrado.

Quinto Solano, Stefany Maribel. 2011. *Concepto de indice de volabilidad.* 2011.

Servicios tecnicos Orica. 2008. *Voladura Segura y Eficiente en Minas a Rajo Abierto.* 2008.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

Torres Yupanqui, Luis. 2014. *Determinación de las propiedades fisico - mecánicas de las rocas y minitoreo de la masa rocosa.* Huaraz : s.n., 2014.

Zapana Gamarra, Elmer Dino. 2018. *Implementaciòn de un agente de voladura altamente energetico (vistis) en macisos rocosos competentes de mineral, aumentando la producciòn y disminuyendo la granulometria CIA Minera Las Bambas.* Arequipa : s.n., 2018.

Zapata Porras, Jonathan Marcial. 2012. *Anàlisis de las vibraciones generadas por voladuras para la adecuada selecciòn de explosivos en explotaciones minèras subterràneas en la compañìa de Minas Caudalosa S.A.* Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perù, 2012.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXOS

ANEXO 01: Calculo de la longitud de taco utilizando el criterio de chiappetta

a. Longitud de carga explosiva en la parte superior de la columna (L)

El diámetro de perforación es de 12.25 pulgadas, reemplazando los valores en la ecuación 2.12 se tiene:

- $L = 10\ Ø$
- $L = 10 \ x\ 12.25\ pulg.\ x \left(\frac{0.0254\ m}{1\ pulg.} \right)$
- $L = 3.11\ m.$

Lo que indica que para un diámetro de 12.25 pulgadas, la longitud de carga que influirá directamente en los resultados de la parte superior del taladro es de 3.11 metros.

b. Calculo de la densidad lineal Kg/m

Como se remplazó la mezcla explosiva fortis Advantage por un Fortis Extra cuya velocidad de detonación es superior a la del Fortis Advantage por lo que la nueva densidad será de 1.32 gr/cm^3, reemplazando en la ecuación 2.11 se tiene:

$$\delta lineal = 0.507 \ x\ (\phi\ tal)^2\ x\ \delta explosivo$$

- $\delta lineal = 0.507\ x\ (12.25)^2\ pulg^2\ x\ 1.32 gr/cm^3$
- $\delta lineal = 100.43\ kg/m$

La carga explosiva contenida en los 3.11 m. calculada anteriormente se puede hallar con la ecuación 2.10 se tiene:

$$W = L\ x\ \delta\ lineal$$

- $W = 3.11m\ x\ 100.43\ kg/m$
- $W = 312.34\ kg$

La cantidad de mezcla explosiva que se encarga de fragmentar la zona del taco es de 312.34 kilogramos, este valor es constante por lo que el taco que retiene esta de mezcla explosiva está dentro del rango del SD con el que trabajaremos, en la figura 28 se muestra que el SD que entrega

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

una buena fragmentación, flyrock reducido, moderada airblast y vibraciones está comprendido entre los valores 0.92 m/kg1/3 y 1.4 m/kg1/3

La distancia comprendida entre la superficie y el centro de la carga D, se obtiene despejando la ecuación 2.8.

$$D = SD \times W^{1/3} \qquad \text{Ec. nº 4.01}$$

Si tomamos el valor inferior que podría tomar el SD, es decir un SD igual a 0.92 m/kg1/3 y la carga explosiva W = 312.34 kg.

Remplazando los valores en la ecuación 4.01 se tiene:

- $D = SD \times W^{1/3}$
- $D = 0.92\ m/kg^{1/3} \times (312.34)^{1/3} \times kg^{1/3}$
- $D = 6.24\ m.$

c. Calculo de la longitud de taco cuando el SD toma el valor inferior

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 2.09 se tiene:

$$T = D - 0.5\ L$$

- $T = 6.24\ m - 0.5 \times 3.11\ m$
- $T = 4.68\ m$

Si tomamos el valor extremo inferior de 0.92 m/kg3, tendremos un taco de 4.66 m

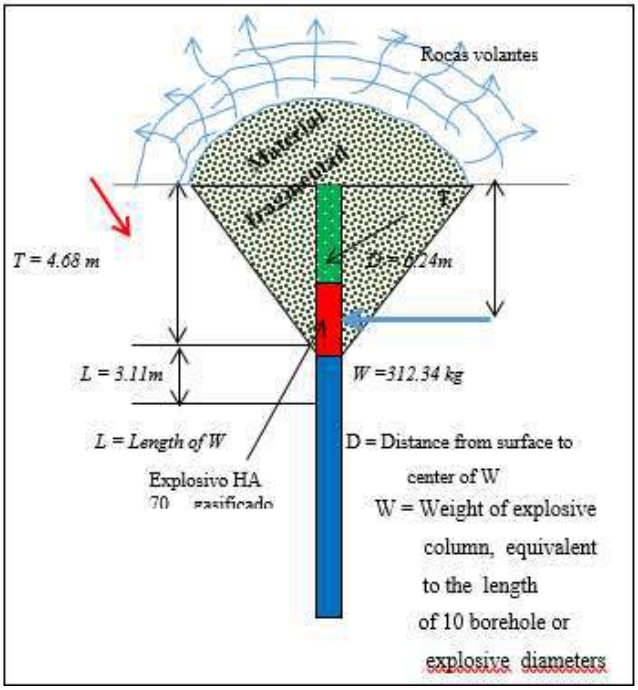


Figura 64 : Diseño de carga cuando el SD toma el valor de 0.92 m/kg1/3
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de chiappetta, 2014

Por el contrario, si el SD toma el valor del extremo superior, indicado en la figura 28, es decir SD igual a 1.4 m/kg1/3, se tiene:

Remplazando los valores en la ecuación 4.01 se tiene:

- $D = SD \times W^{1/3}$
- $D = 1.4\ m/kg^{1/3} \times (312.34)^{1/3} \times kg^{1/3}$
- $D = 9.50m$

d. Calculo de la longitud de taco cuando el SD toma el valor superior

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 2.09, se tiene:

$$T = D - 0.5\ L$$

- $T = D - 0.5\ L$
- $T = 9.50\ m - 0.5 \times 3.11\ m$
- $T = 7.95\ m$

Esta longitud hallada es el máximo valor que puede tomar, si se quiere obtener los resultados óptimos mencionados en la figura 28.

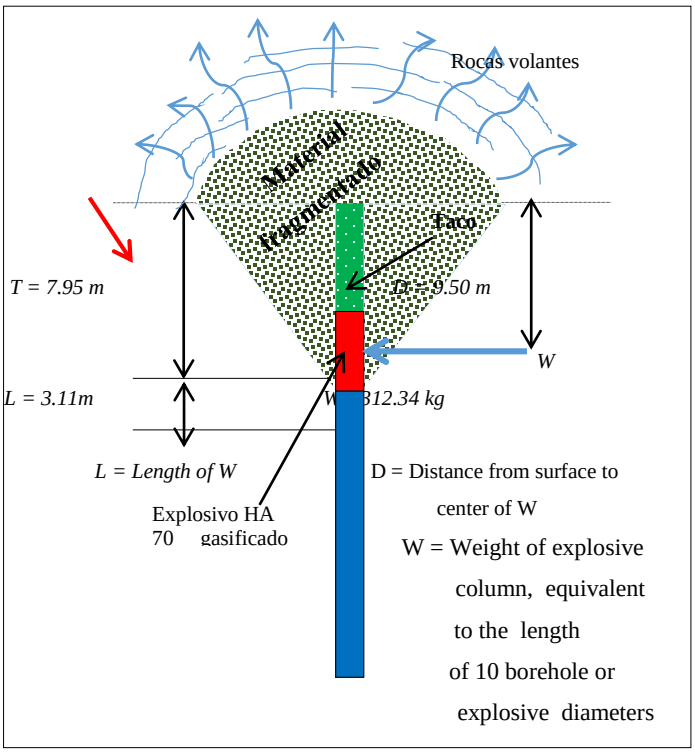


Figura 65: Diseño de carga cuando el SD toma el valor de 1.4 m/kg1/3
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de chiappetta, 2014

Por lo que valor optimo del taco se da cuando el SD toma un valor medio entre (0.92 m/kg1/3 y 1.4 m/kg1/3), es decir un SD igual a 1.16 m/kg1/3.

Remplazando los valores en la ecuación 4.01 se tiene:

$$D = SD \times W^{1/3}$$

$$D = 1.16\ m/kg^{1/3} \times (312.61)^{1/3} \times kg^{1/3}$$

$$D = 7.87\ m$$

e. Calculo de la longitud de taco cuando el SD toma el valor medio

Remplazando los valores obtenidos en la ecuación 2.09, se tiene:

$$T = D - 0.5\ L$$

- $T = D - 0.5\ L$
- $T = 7.87\ m - 0.5 \times 3.11\ m$
- $T = 6.32\ m$

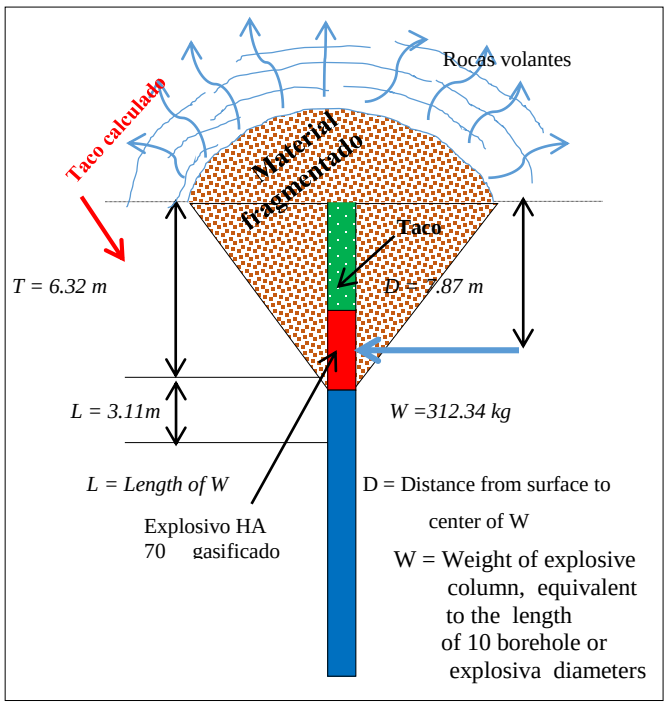


Figura 66: Diseño de carga cuando el SD es de 1.16 m/kg$^{1/3}$
Fuente: Elaboración propia en base a la teoría de chiappetta, 2014

Como se muestra en la tabla 17, la longitud del taco para un HA 65/35 con una densidad de 1.32 gr/cm3 estaría comprendido entre 4.66 m y 7.90 m.

ANEXO 02: Calculo de la energía para emulsión fortis extra y fortis advantage

a. Densidad lineal

Reemplazando en la ecuación 2.11, se tiene.

Densidad lineal $= 0.507 \times D^2 \times \delta explosivo$

$= 0.507 \times (12.25\ pulg)\ 2 \times 1.34\ gr/cm3$

$= 101.9\ Kg/m$

b. Longitud de carga

- Longitud de carga = altura de banco + sobreperforación – longitud del taco
- Longitud de carga $= 15\ m + 1.5\ m - 8\ m$

  $= 8.5\ m$

c. Carga por taladro

- Kilogramos por taladro $= 8.5\ m \times 101.9\ kg/m$
- Kilogramos por taladro $= 866.6\ kg$

Teniendo en cuenta que la energía efectiva entregada por cada kilogramo del fortis extra 70 es de 2.86 MJ

d. Energía efectiva por taladro

- Energía por taladro $= 866.6\ kg \times 2.86\ MJ/kg$

  $= 2478\ MJ$

e. Energía por tonelada

- Energía por tonelada $= \dfrac{2478\ MJ}{2633\ tn}$

- Energía por tonelada $= 0.941\ MJ/tn$

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

f. Energía Relativa Efectiva Anfo Eq.

- El Anfo tiene una energía efectiva de 2.30MJ/kg.
- RWS (Fortis extra) = $\frac{2.86\ MJ}{2.30MJ}\ x\ 100$
- RWS (Fortis extra) = *124 %*

Lo que equivale a decir que la el Fortis Extra tiene una potencia en peso superior al anfo en un un 24%.

Factor de carga

- *Factor de carga* = $\frac{866.6\ Kg}{2633\ ton}$
- *Factor de carga = 0.329 kg/ton.*

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 03: Parámetros de perforación y voladura las pruebas de VOD del nivel 3870 – 007

a. Diseño y configuración de carga con el booster de 1 libra

Tabla 35: Parámetros de perforación y voladura para el booster de 1lb

parámetros de perforación	**Unidad**	**Cantidad**
Diámetro taladro	Pulg	12.25
Espaciamiento	m	9.5
Burden	m	8.3
Altura promedio de banco	m	15
Sobre perforación	m	1.5
Profundidad promedio de taladro	m	16.5
Inclinación de perforación	º	90°
Parámetros de voladura	**Unidad**	**Cantidad**
Carga de fondo	m	8.5
Taco intermedio	m	0
Carga intermedia	m	0
Cámara de aire	m	0
Taco final	m	8
Tipo de explosivo por taladro		Emulsión
Densidad del explosivo	gr/cc	1.15
factor de la roca	gr/tn	2.6
cantidad de explosivo por metro	kg/m	87.49
Cantidad total de explosivo	kg	699.95
Volumen roto	m^3	1182.75
Tonelaje	ton	3075.15
Factor de potencia	kg/tn	0.23
Factor de carga	kg/m^3	0.59
Explosivos y accesorios	**Unidad**	**Cantidad**
Explosivo	kg	699.95
Booster de 1 libra	**lb**	**1**
Ikon de 20 m	m	1
Excel MS de 18.2 m	m	1
Cable de cobre	m	18

Nota. Fuente: Elaboración propia

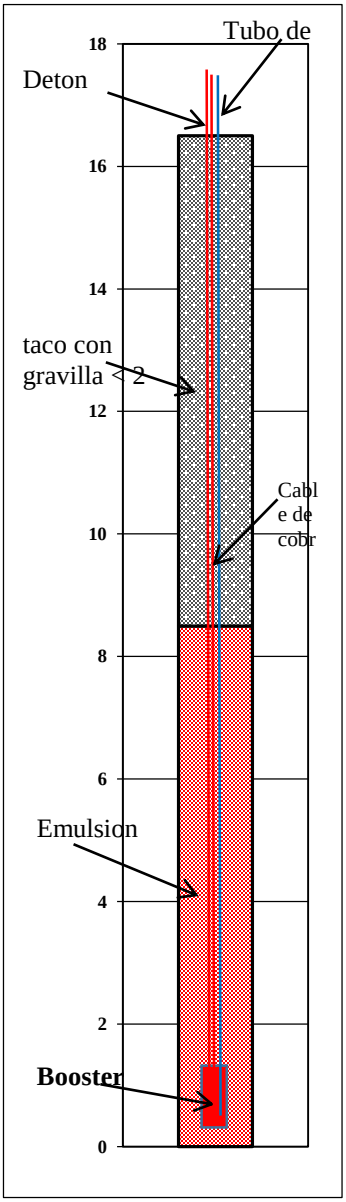


Figura 67: Configuración de carga con booster de 1 libra

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

b. Diseño y configuración de carga para la prueba con el booster de 2 libras

Tabla 36: Parámetros de perforación para el booter de 2 lb

parámetros de perforación	Unidad	Cantidad
Diámetro taladro	Pulg	12.25
Espaciamiento	m	9.5
Burden	m	8.3
Altura promedio de banco	m	15
Sobre perforación	m	1.5
Profundidad promedio de taladro	m	16.5
Inclinación de perforación	º	90°
Parámetros de voladura	Unidad	Cantidad
Carga de fondo	m	8.5
Taco intermedio	m	0
Carga intermedia	m	0
Cámara de aire	m	0
Taco final	m	8
Tipo de explosivo por taladro		Emulsión
Densidad del explosivo	gr/cc	1.15
factor de la roca	gr/tn	2.6
cantidad de explosivo por metro	kg/m	87.49
Cantidad total de explosivo	kg	699.95
Volumen roto	m^3	1182.75
Tonelaje	ton	3075.15
Factor de potencia	kg/tn	0.23
Factor de carga	kg/m^3	0.59
Explosivos y accesorios	Unidad	Cantidad
Explosivo	kg	699.95
Booster de 2 libras	lb	1
Ikon de 20 m	m	1
Excel MS de 18.2 m	m	1
Cable de cobre	m	18

Fuente: Elaboración propia

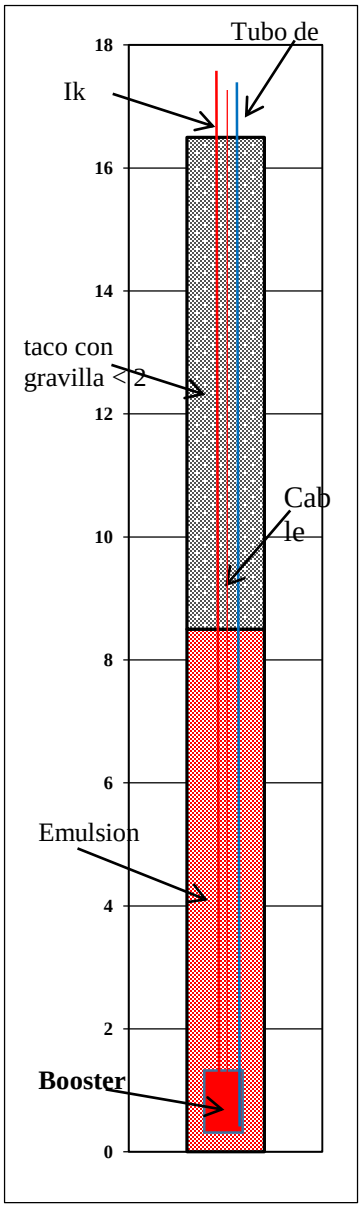
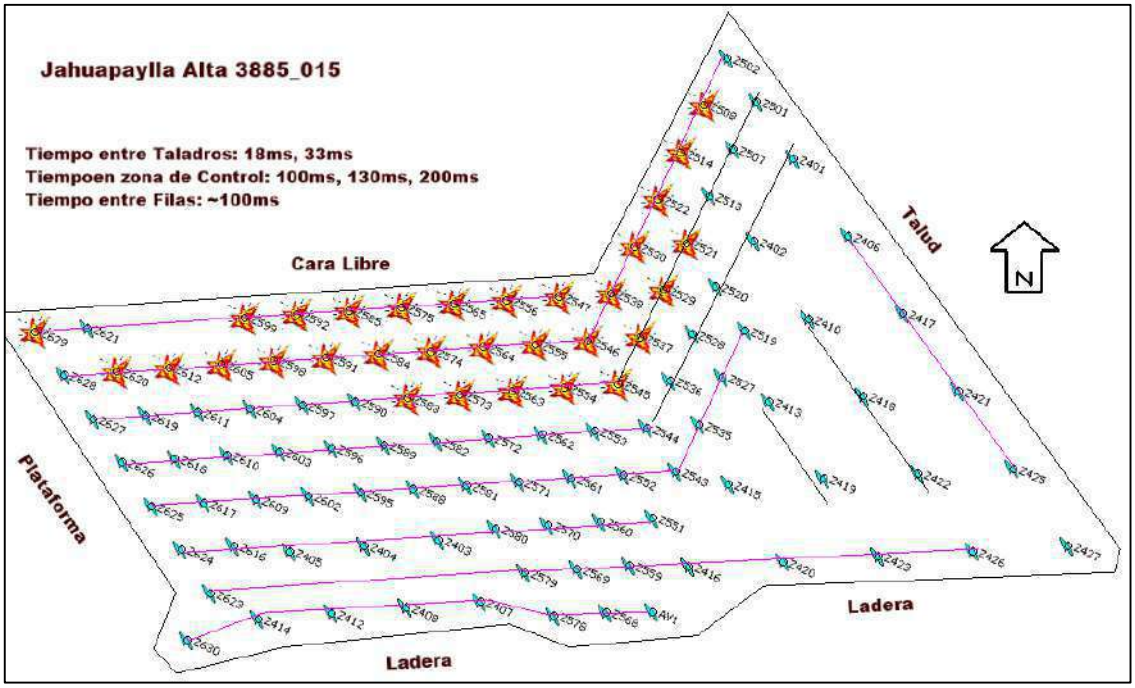
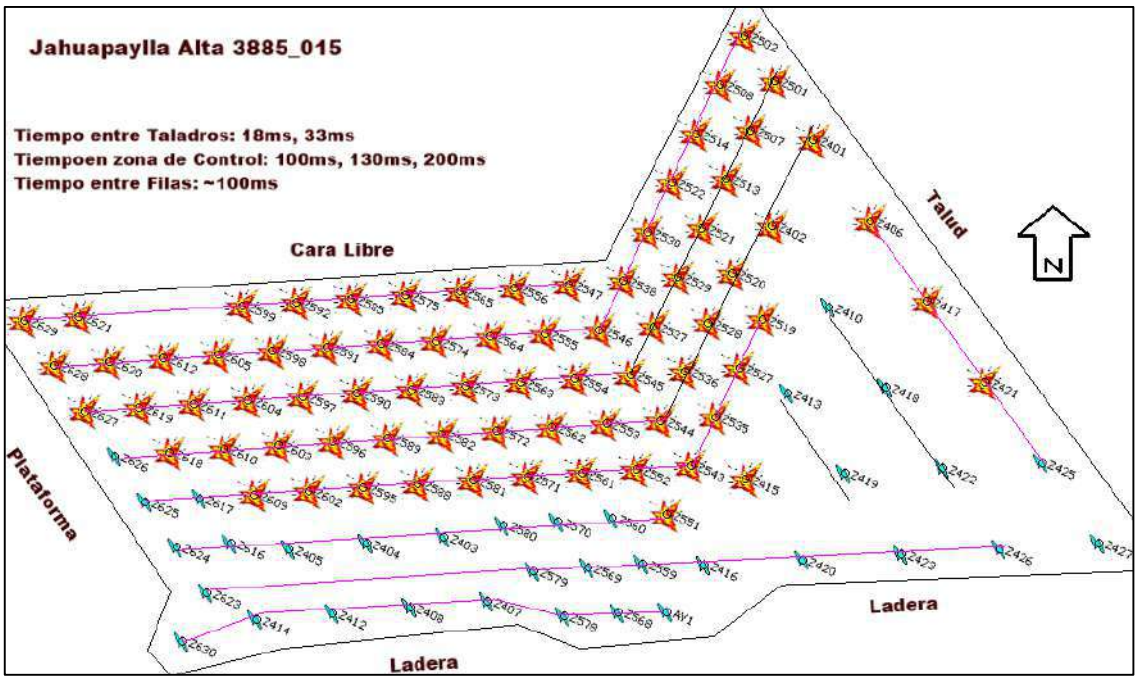


Figura 68: Configuración de carga para el booster de 2 libras

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 04: Iniciación del proyecto del 3885_15

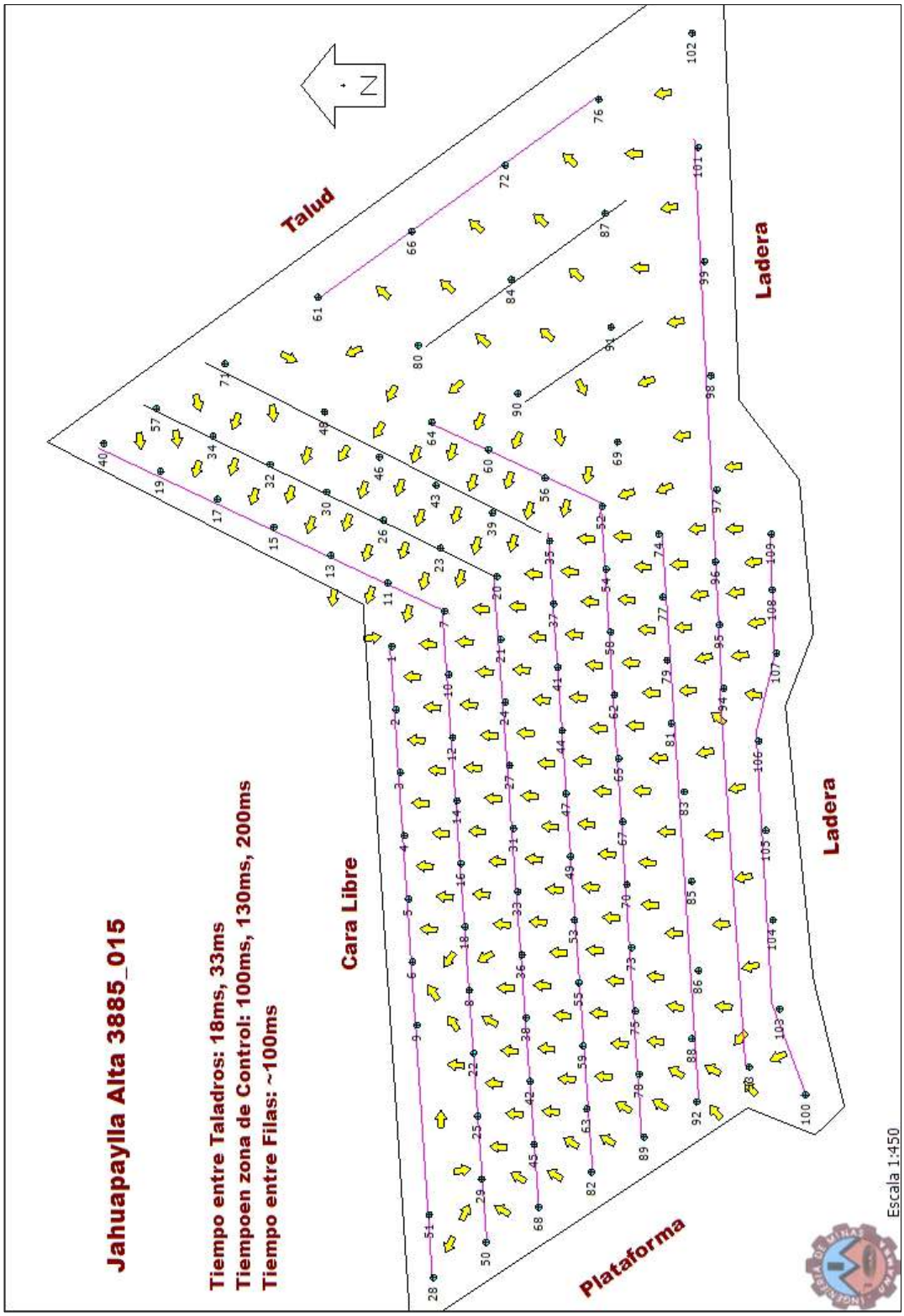




Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por asistencia técnica.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 05: Figura de desplazamiento del mineral y desmonte 3885-15

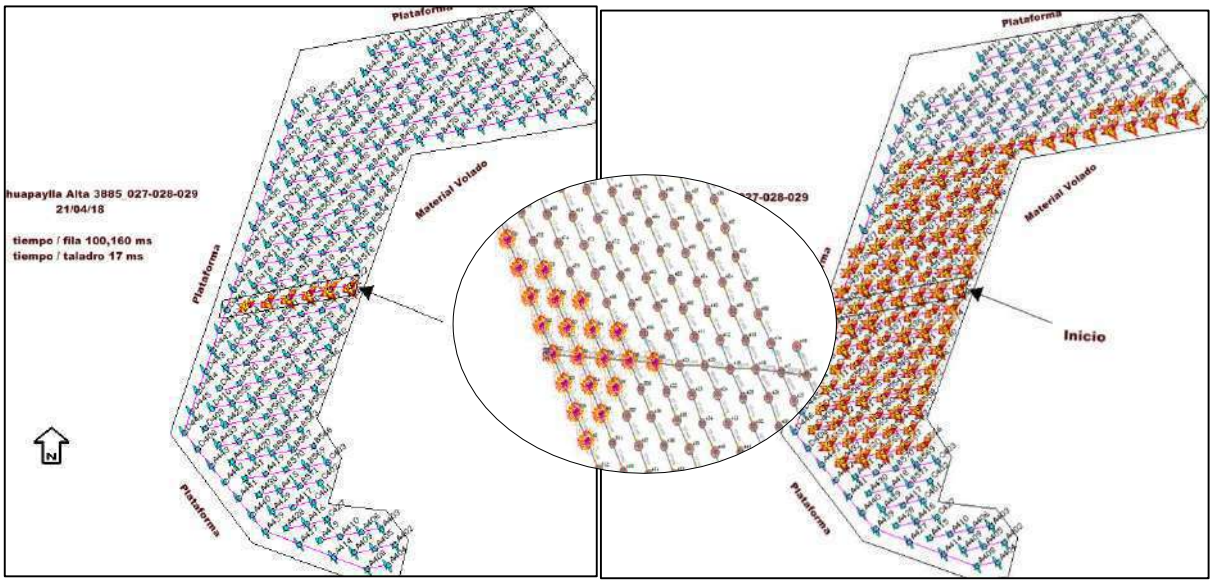


Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por Asistencia Técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

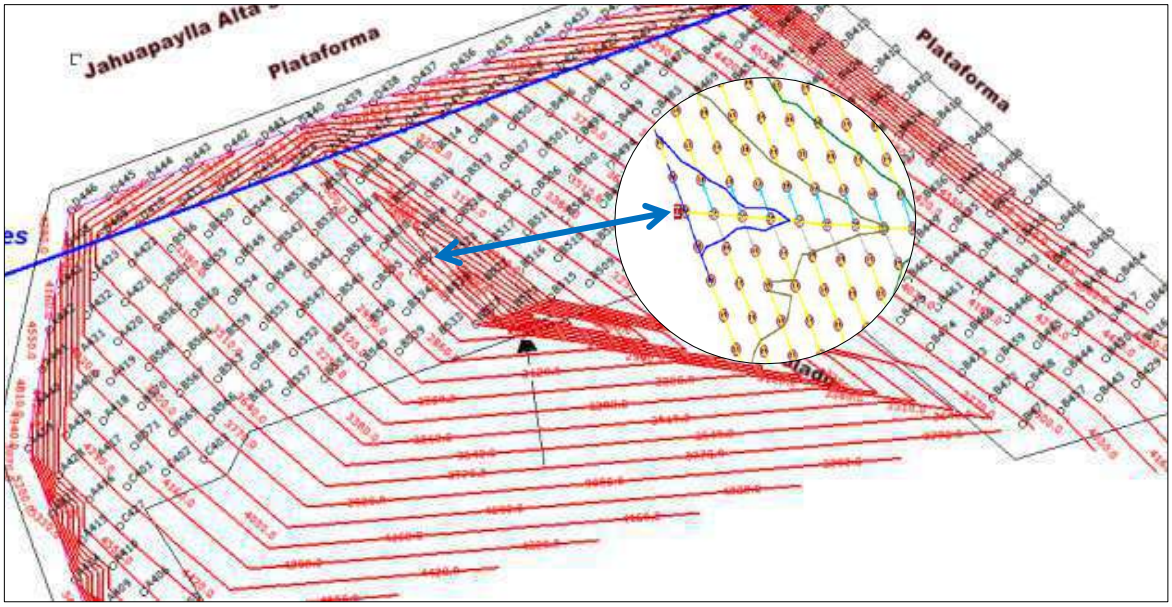
ANEXO 06: simulación y análisis de detonación del proyecto 3885 – 27, 28, 29

a. Simulación del proyecto 3885-27, 28, 29 en el shotplus



Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por Asistencia Técnica Orica – Las Bambas.

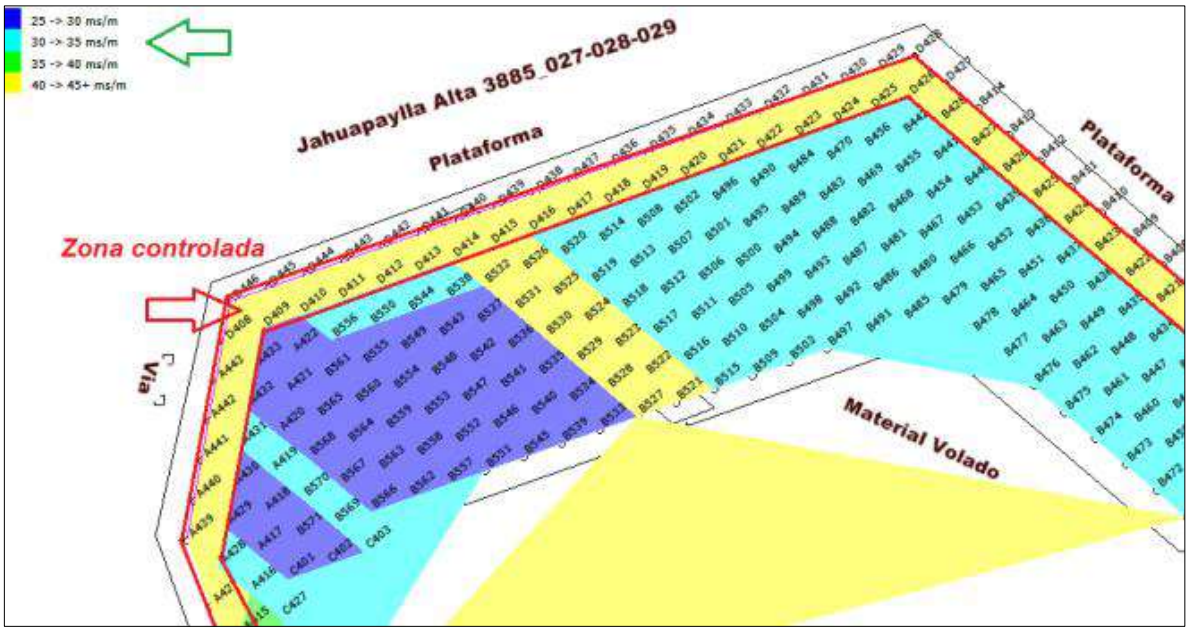
b. Línea de Isotiempos nivel 3885 proyectos 27-28-29



Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por Asistencia Técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

c. Burdenes de alivio del proyecto 3885 – 027 - 028 – 029

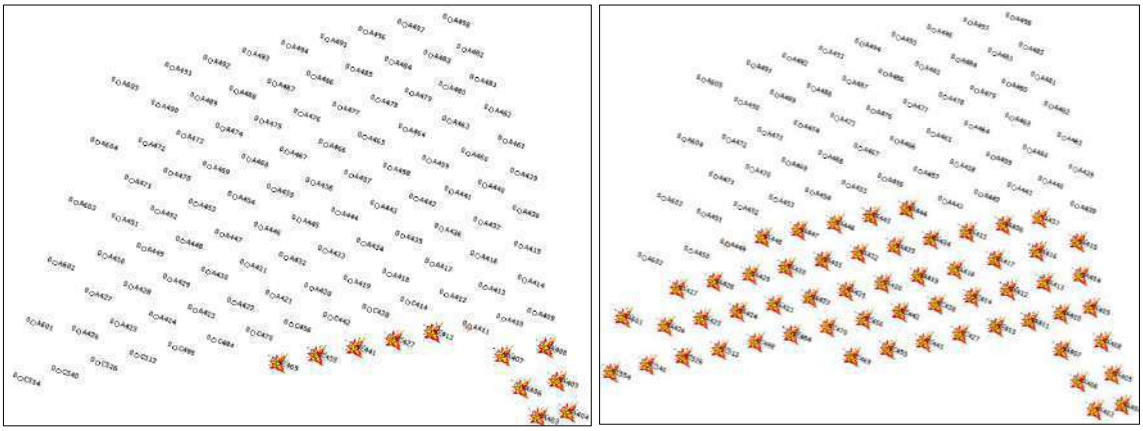


Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por Asistencia Técnica Orica – Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

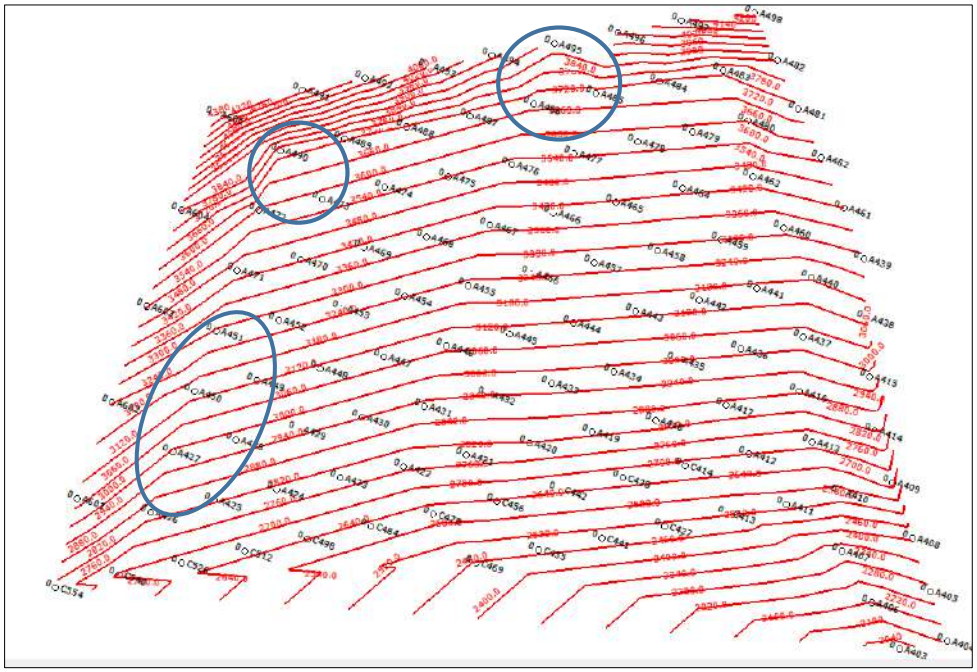
ANEXO 07: Simulación del proyecto 3870-09-011

a. Secuencia de iniciación del proyecto 3870-09-011 en el SHOTPlus



Fuente: Elaboración en el software SHOTPlus en base a los datos proporcionados por asistencia técnica.

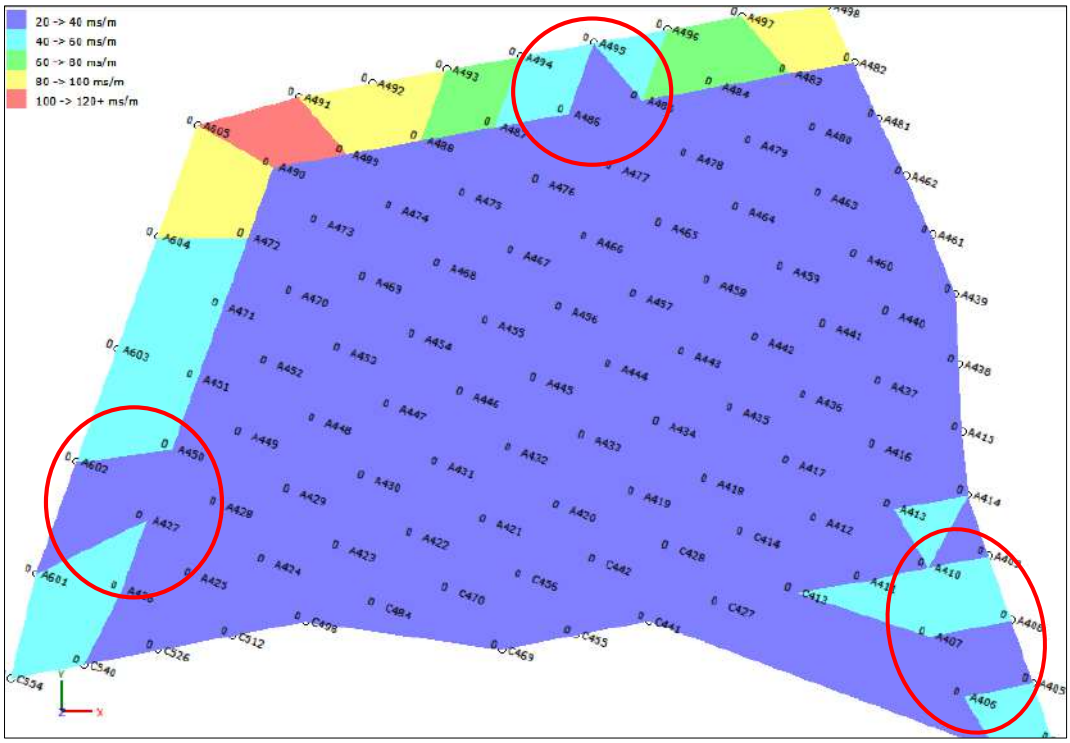
b. Análisis de líneas de isotiempo del proyecto 3870-09-011



Fuente Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

c. Burden relief del proyecto 3870-09-011



Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas

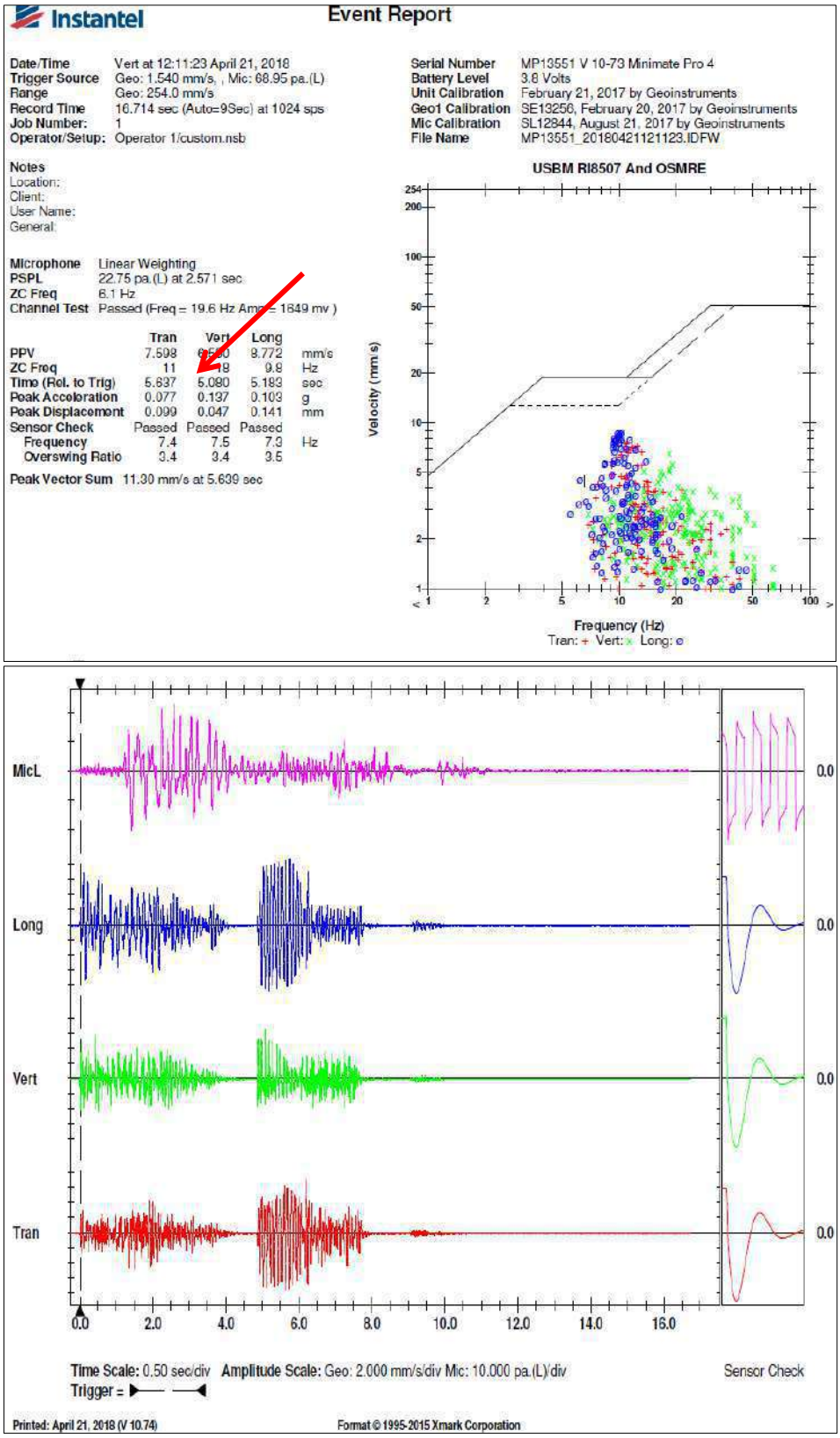
ANEXO 08: Valores de velocidad pico partícula en diferentes tiempos

Time	Longitudinal		Vertical		Transversal		Resultante de Amp. PPV
	679.3	Amp. PPV	441.2	Amp. PPV	750.0	Amp. PPV	
(ms)	PPV		PPV		PPV		
17	136.4	0.80	193.7	1.76	255.5	1.36	3.92
18	137.1	0.81	196.4	1.78	294.7	1.57	4.16
19	151.5	0.89	174.0	1.58	316.7	1.69	4.16
20	171.0	1.01	156.0	1.41	321.2	1.71	4.13
21	184.3	1.09	155.9	1.41	343.1	1.83	4.33
22	187.5	1.10	148.1	1.34	384.1	2.05	4.50
23	183.2	1.08	152.0	1.38	400.0	2.13	4.59
24	178.4	1.05	154.5	1.40	393.8	2.10	4.55
25	161.7	0.95	170.5	1.55	356.7	1.90	4.40
26	150.3	0.89	196.4	1.78	307.1	1.64	4.30
27	143.3	0.84	209.1	1.90	279.5	1.49	4.23
28	135.0	0.79	204.6	1.85	263.3	1.40	4.05
29	132.4	0.78	186.3	1.69	259.4	1.38	3.85
30	135.0	0.80	179.6	1.63	253.6	1.35	3.78
31	139.4	0.82	183.7	1.67	240.5	1.28	3.77
32	142.5	0.84	179.3	1.63	221.4	1.18	3.65
33	144.3	0.85	174.7	1.58	200.3	1.07	3.50
34	143.7	0.85	168.5	1.53	180.9	0.96	3.34
35	141.9	0.84	157.7	1.43	173.8	0.93	3.19
36	140.9	0.83	141.4	1.28	173.8	0.93	3.04
37	143.2	0.84	119.3	1.08	173.8	0.93	2.85
38	148.8	0.88	110.3	1.00	173.8	0.93	2.80
39	154.9	0.91	110.3	1.00	182.3	0.97	2.88
40	161.3	0.95	110.3	1.00	209.4	1.12	3.07
41	167.7	0.99	110.3	1.00	235.1	1.25	3.24
42	173.5	1.02	110.3	1.00	259.8	1.39	3.41

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 09: Reporte de sismografía Jahuapaylla Alta 3885_027-028-029



Instantel

Event Report

Date/Time	Vert at 12:11:23 April 21, 2018
Trigger Source	Geo: 1.540 mm/s, , Mic: 68.95 pa.(L)
Range	Geo: 254.0 mm/s
Record Time	16.714 sec (Auto=9Sec) at 1024 sps
Job Number:	1
Operator/Setup:	Operator 1/custom.nsb

Serial Number	MP13551 V 10-73 Minimate Pro 4
Battery Level	3.8 Volts
Unit Calibration	February 21, 2017 by Geoinstruments
Geo1 Calibration	SE13256, February 20, 2017 by Geoinstruments
Mic Calibration	SL12844, August 21, 2017 by Geoinstruments
File Name	MP13551_20180421121123.IDFW

Notes
Location:
Client:
User Name:
General:

Microphone	Linear Weighting
PSPL	22.75 pa.(L) at 2.571 sec
ZC Freq	6.1 Hz
Channel Test	Passed (Freq = 19.6 Hz Amp = 1649 mv)

	Tran	Vert	Long	
PPV	7.598	[illegible]	8.772	mm/s
ZC Freq	11	[illegible]	9.8	Hz
Time (Rel. to Trig)	5.637	5.080	5.183	sec
Peak Acceleration	0.077	0.137	0.109	g
Peak Displacement	0.099	0.047	0.141	mm
Sensor Check	Passed	Passed	Passed	
Frequency	7.4	7.5	7.3	Hz
Overswing Ratio	3.4	3.4	3.5	

Peak Vector Sum 11.30 mm/s at 5.639 sec

USBM RI8507 And OSMRE

Velocity (mm/s)

Frequency (Hz)

Tran: + Vert: × Long: ⊙

MicL

Long

Vert

Tran

Time Scale: 0.50 sec/div Amplitude Scale: Geo: 2.000 mm/s/div Mic: 10.000 pa.(L)/div

Trigger =

Sensor Check

Printed: April 21, 2018 (V 10.74)

Format © 1995-2015 Xmark Corporation

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

ANEXO 10: Tabla de densidades de carga en función al diámetro y densidad del explosivo

Diametro	Diametro	Densidad de carga													
pulgada	cm	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00	1.05	1.15	1.20	1.25	1.30	1.35	1.40	1.45	1.50
1	2.54	0.41	0.43	0.46	0.48	0.51	0.53	0.58	0.61	0.63	0.66	0.68	0.71	0.73	0.76
1 1/8	2.86	0.51	0.55	0.58	0.61	0.64	0.67	0.74	0.77	0.80	0.83	0.87	0.90	0.93	0.96
1 1/4	3.18	0.63	0.67	0.71	0.75	0.79	0.83	0.91	0.95	0.99	1.03	1.07	1.11	1.15	1.19
1 1/2	3.81	0.91	0.97	1.03	1.08	1.14	1.20	1.31	1.37	1.43	1.48	1.54	1.60	1.65	1.71
1 3/4	4.45	1.24	1.32	1.40	1.47	1.55	1.63	1.78	1.86	1.94	2.02	2.09	2.17	2.25	2.33
2	5.08	1.62	1.72	1.82	1.93	2.03	2.13	2.33	2.43	2.53	2.63	2.74	2.84	2.94	3.04
2 1/4	5.72	2.05	2.18	2.31	2.44	2.57	2.69	2.95	3.08	3.21	3.33	3.46	3.59	3.72	3.85
2 1/2	6.35	2.53	2.69	2.85	3.01	3.17	3.33	3.64	3.80	3.96	4.12	4.28	4.43	4.59	4.75
2 3/4	6.99	3.07	3.26	3.45	3.64	3.83	4.02	4.41	4.60	4.79	4.98	5.17	5.36	5.56	5.75
3	7.62	3.65	3.88	4.10	4.33	4.56	4.79	5.24	5.47	5.70	5.93	6.16	6.38	6.61	6.84
3 1/4	8.26	4.28	4.55	4.82	5.08	5.35	5.62	6.15	6.42	6.69	6.96	7.23	7.49	7.76	8.03
3 1/2	8.89	4.97	5.28	5.59	5.90	6.21	6.52	7.14	7.45	7.76	8.07	8.38	8.69	9.00	9.31
3 3/4	9.53	5.70	6.06	6.41	6.77	7.13	7.48	8.19	8.55	8.91	9.26	9.62	9.98	10.33	10.69
4	10.16	6.49	6.89	7.30	7.70	8.11	8.51	9.32	9.73	10.13	10.54	10.94	11.35	11.76	12.16
4 1/4	10.80	7.32	7.78	8.24	8.69	9.15	9.61	10.53	10.98	11.44	11.90	12.36	12.81	13.27	13.73
4 1/2	11.43	8.21	8.72	9.23	9.75	10.26	10.77	11.80	12.31	12.83	13.34	13.85	14.37	14.88	15.39
4 3/4	12.07	9.15	9.72	10.29	10.86	11.43	12.00	13.15	13.72	14.29	14.86	15.43	16.01	16.58	17.15
5	12.70	10.13	10.77	11.40	12.03	12.67	13.30	14.57	15.20	15.83	16.47	17.10	17.73	18.37	19.00
5 1/4	13.34	11.17	11.87	12.57	13.27	13.97	14.66	16.06	16.76	17.46	18.16	18.85	19.55	20.25	20.95
5 1/2	13.97	12.26	13.03	13.80	14.56	15.33	16.09	17.63	18.39	19.16	19.93	20.69	21.46	22.23	22.99
5 3/4	14.61	13.40	14.24	15.08	15.92	16.75	17.59	19.27	20.10	20.94	21.78	22.62	23.45	24.29	25.13
6	15.24	14.59	15.51	16.42	17.33	18.24	19.15	20.98	21.89	22.80	23.71	24.63	25.54	26.45	27.36
6 1/4	15.88	15.83	16.82	17.81	18.80	19.79	20.78	22.76	23.75	24.74	25.73	26.72	27.71	28.70	29.69
6 1/2	16.51	17.13	18.20	19.27	20.34	21.41	22.48	24.62	25.69	26.76	27.83	28.90	29.97	31.04	32.11
6 3/4	17.15	18.47	19.62	20.78	21.93	23.09	24.24	26.55	27.70	28.86	30.01	31.17	32.32	33.48	34.63
7	17.78	19.86	21.10	22.35	23.59	24.83	26.07	28.55	29.79	31.04	32.28	33.52	34.76	36.00	37.24
7 1/4	18.42	21.31	22.64	23.97	25.30	26.63	27.97	30.63	31.96	33.29	34.62	35.96	37.29	38.62	39.95
7 1/2	19.05	22.80	24.23	25.65	27.08	28.50	29.93	32.78	34.20	35.63	37.05	38.48	39.90	41.33	42.75
7 3/4	19.69	24.35	25.87	27.39	28.91	30.43	31.96	35.00	36.52	38.04	39.56	41.09	42.61	44.13	45.65
8	20.32	25.94	27.56	29.19	30.81	32.43	34.05	37.29	38.92	40.54	42.16	43.78	45.40	47.02	48.64
8 1/2	21.59	29.29	31.12	32.95	34.78	36.61	38.44	42.10	43.93	45.76	47.59	49.42	51.25	53.08	54.91
8 3/4	22.23	31.04	32.98	34.92	36.86	38.79	40.73	44.61	46.55	48.49	50.43	52.37	54.31	56.25	58.19
9	22.86	32.83	34.89	36.94	38.99	41.04	43.10	47.20	49.25	51.30	53.36	55.41	57.46	59.51	61.56
9 1/4	23.50	34.68	36.85	39.02	41.19	43.36	45.52	49.86	52.03	54.19	56.36	58.53	60.70	62.86	65.03
9 1/2	24.13	36.58	38.87	41.16	43.44	45.73	48.02	52.59	54.88	57.16	59.45	61.74	64.02	66.31	68.60
9 3/4	24.77	38.54	40.94	43.35	45.76	48.17	50.58	55.39	57.80	60.21	62.62	65.03	67.44	69.84	72.25
9 7/8	25.08	39.53	42.00	44.47	46.94	49.41	51.88	56.82	59.29	61.76	64.24	66.71	69.18	71.65	74.12
10	25.40	40.54	43.07	45.60	48.14	50.67	53.20	58.27	60.80	63.34	65.87	68.41	70.94	73.47	76.01
10 1/4	26.04	42.59	45.25	47.91	50.57	53.24	55.90	61.22	63.88	66.54	69.21	71.87	74.53	77.19	79.85
10 1/2	26.67	44.69	47.48	50.28	53.07	55.86	58.66	64.24	67.04	69.83	72.62	75.42	78.21	81.00	83.80
10 5/8	26.99	45.76	48.62	51.48	54.34	57.20	60.06	65.78	68.64	71.50	74.36	77.22	80.08	82.94	85.80
10 3/4	27.31	46.85	49.77	52.70	55.63	58.56	61.48	67.34	70.27	73.20	76.12	79.05	81.98	84.91	87.83
11	27.94	49.05	52.11	55.18	58.25	61.31	64.38	70.51	73.57	76.64	79.71	82.77	85.84	88.90	91.97
11 1/4	28.58	51.30	54.51	57.72	60.92	64.13	67.34	73.75	76.96	80.16	83.37	86.58	89.78	92.99	96.20
11 1/2	29.21	53.61	56.96	60.31	63.66	67.01	70.36	77.06	80.41	83.77	87.12	90.47	93.82	97.17	100.52
11 3/4	29.85	55.97	59.46	62.96	66.46	69.96	73.46	80.45	83.95	87.45	90.94	94.44	97.94	101.44	104.94
12	30.48	58.37	62.02	65.67	69.32	72.97	76.61	83.91	87.56	91.21	94.86	98.50	102.15	105.80	109.45
12 1/4	31.12	60.83	64.63	68.43	72.24	76.04	79.84	87.44	91.25	95.05	98.85	102.65	106.45	110.25	114.06

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 11: Ficha técnica del Fortis Extra

Hoja de Datos Técnicos

Sistema Fortis™ Extra

The Power of Partnership

Descripción

El Sistema de emulsión bombeable sensibilizada *Fortis™ Extra* está específicamente diseñado para aplicaciones de voladuras con agua. El rango de productos *Fortis™ Extra* son las emulsiones explosivas a granel más energéticas disponibles hoy en día.

El sistema *Fortis™ Extra* complementa el rango de productos para barrenos secos *Fortis™ Extra* de Orica Mining Services.

Aplicación

Fortis™ Extra ha sido específicamente diseñado para ser usado en minería a cielo abierto, y es apropiado para las situaciones más difíciles de voladuras. *Fortis™ Extra* puede ser usado dondequiera que se encuentren barrenos con agua. No se aconseja para terrenos contaminados con sulfuros reactivos.

La potencia y sensibilidad del sistema *Fortis™ Extra* ayudará a superar el rendimiento de todos los demás productos de emulsión a granel.

Beneficios claves

- *Fortis™ Extra* esta diseñado para aumentar el tiempo de espera en los barrenos y aumentar la confianza en barrenos secos y con aguas.
- *Fortis™ Extra* es elaborado y entregado con un preciso control de las tasas para mejorar su productividad.
- El producto integrado y los sistemas de entrega de los sistemas a granel *Fortis™ Extra* aseguran exactitud, productividad y confiabilidad en el suministro.
- *Fortis™ Extra* puede ser cargado para variar la energía y densidad, para maximizar la fragmentación y desplazamiento mejorando la productividad mina a molino.
- *Fortis™ Extra* proporciona una carga explosiva completamente acoplada para maximizar los resultados de las voladuras.

Recomendaciones para su uso

Longitud de carga de barreno

Fortis™ Extra es apropiado para uso en barrenos de hasta 30 metros en longitud, dependiendo del diámetro del barreno, inclinación y presencia de agua. Por favor póngase en contacto con un representante del servicio técnico de Orica para mayor información.

Tiempo de Gasificación

Se debe dejar al menos 30 minutos entre el cargulo y taconeo del barreno.

Primado e Iniciación

Fortis™ Extra debe ser iniciado usando un iniciador *Pentex™* de 450 g junto con un detonador *Exel™*. No se recomienda el uso de cordón detonante con *Fortis™ Extra*.

Propiedades Técnicas

	Fortis™ Extra
Propiedades	100
Densidad (g/cm³) (1)	1.20 - 1.30
Diámetro mínimo barrenos (mm)	76
Profundidad máxima barrenos (m)	30
Máxima longitud de carga (m)	25
Tipo de barrenos	Secos, con Agua o desaguados
Sistema de cargado	Bombeado
Tipo de iniciador *Pentex™* recomendado para el mínimo diámetro	*Pentex™* 450 g
VOD típico (km/s) (2)	3.0 - 5.8
Energía Relativa Efectiva(REE) (3)	
Fuerza relativa en peso	92
Fuerza relativa en volumen	136
Emisión CO_2 (kg/t) (4)	152
Tiempo de espera (5)	21 días

Cargulo

El Sistema a granel *Fortis™ Extra* es parte de un rango de productos a granel entregado por las unidades fabricas de Orica (*MMU™*). *Fortis™ Extra* es producido en los *MMU™* y vaciado dentro de los barrenos a pedido.

Tiempo de espera en el barreno de voladura

El tiempo máximo de espera recomendado es de 21 días. El tiempo de espera depende de factores tales como diámetro del barreno, densidad, condiciones de agua del terreno y sistema de iniciación. El personal técnico de Orica Mining Services debe ser consultado si se presentan condiciones especiales en el terreno.

Temperatura del terreno

Este producto está disponible para uso en terrenos de temperatura entre 0° a un máximo de 55°C. Si usted requiere aplicaciones en terrenos fuera de este rango, por favor contacte a representante local Orica.

Almacenamiento y Manipulación

Clasificación de explosivo

Nombre autorizado : Series *Fortis™ Extra*
Nombre para transporte : Explosivo, Voladura, Tipo E
N° NU : 0332
Clasificación : 1.5D

Fortis Extra

ORICA

www.oricaminingservices.com

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 12: Ficha técnica del Fortis Advantage

Technical Data Sheet

The Power of Partnership

Sistema Fortis™ Advantage

Descripción

El sistema de mezcla de emulsión sensibilizada a granel bombeable *Fortis™ Advantage* ha sido diseñado para ser usado en aplicaciones de voladura con agua. El sistema *Fortis™ Advantage* complementa al rango de productos *Fortan™ Advantage* para taladros secos de Orica Mining Services.

Aplicación

Fortis™ Advantage ha sido específicamente diseñado para ser usado en minería a cielo abierto en rocas duras. *Fortis™ Advantage* puede ser usado dondequiera que se presenten taladros con agua. No se aconseja para terrenos que presentan sulfuro reactivo.

Beneficios claves

- *Fortis™ Advantage* es confiable en taladros secos y con agua.
- *Fortis™ Advantage* es fabricado y entregado con un control preciso, para que se ajusten a su necesidad.
- El producto integrado y sistemas de entrega, del sistema a granel *Fortis™ Advantage* asegura exactitud, productividad y confiabilidad en el suministro.
- *Fortis™ Advantage* puede ser cargado a distintas energías y densidades para maximizar la fragmentación mejorando la productividad mina a molino.
- *Fortis™ Advantage* entrega cargas explosivas totalmente acopladas para maximizar los resultados de las voladuras.

Recomendaciones para su uso

Longitud de carga del taladro

Fortis™ Advantage es apropiado para uso en taladros de hasta 30 metros en longitud, dependiendo del diámetro del taladro, densidad del producto y presencia de agua. Por favor póngase en contacto con un representante del servicio técnico de Orica para mayor información.

Primado e Iniciación

Fortis™ Advantage debe ser iniciado usando un iniciador *Pentex™* de 900g o mayor, primado junto con un detonador *Exel™*. No se recomienda el uso de cordón detonante con *Fortis™ Advantage*

Carguío

Fortis™ Advantage es parte de un rango de productos a granel entregado por las unidades fabricas de Orica (*MMU™*). *Fortis™ Advantage* es producido en los *MMU™* y bombeado dentro de los taladros a pedido.

Propiedades Técnicas

Propiedades	Sistema *Fortis Advantage*	
	65	*70*
Densidad (g/cm³) [1]	1.18 - 1.33	1.20 - 1.35
Diámetro mínimo taladros (mm)	140	
Profundidad máxima taladros (m)	30	30
Máxima longitud de carga (m)	25	25
Tipo de taladros	Seco, con Agua o Desaguado	
Sistema de cargado	Bombeado	
Tipo de iniciador *Pentex* recomendado para el mínimo diámetro	Pentex de 900g	
VOD típico (km/s) [2]	3.9 - 6.4	3.9 - 6.4
Energía Relativa Efectiva (REE) [3]		
Fuerza Relativa en peso	105 - 115	103 - 113
Fuerza Relativa en volumen	170 - 195	170 – 195
Emisión CO_2 (kg/t) [4]	162	160
Tiempo de Espera [5]	7 días	

Tiempo de Gasificación

Se debe dejar a lo menos 30 minutos entre el carguío y operación de taconeo del taladro.

Tiempo de espera en el taladro de voladura

El tiempo máximo de espera recomendado es de 7 días. El tiempo de espera depende de factores tales como diámetro del taladro, densidad, condiciones de agua del terreno y sistema de iniciación. El personal técnico de Orica Mining Services debe ser consultado si se presentan condiciones especiales en el terreno.

Temperatura del Terreno

Este producto está disponible para uso en terrenos de temperatura entre 0º a un máximo de 55ºC. Si usted requiere aplicaciones en terrenos fuera de este rango, por favor contacte a representante Local Orica.

Fortis Advantage

ORICA

www.oricaminingservices.com

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ

ANEXO 13: Ficha técnica del Vistis

Technical Data Sheet

The Power of Partnership

Serie Vistis™

Descripción:

La serie de explosivos *Vistis™* corresponden a una mezcla bombeable, sensibilizada, de alta resistencia, que está diseñada para ser usada en aplicaciones de voladura húmedas y secas. *Vistis™* es especialmente útil en aplicaciones difíciles de voladuras en rocas duras de minería cielo abierto. Está diseñada para ser manufacturada y distribuido por los camiones fábrica de Orica (MMU™).

Aplicación

Los productos de la serie *Vistis™* son formulados para incrementar la energía del explosivo en barrenos de alto contenido de agua, lo que permite alcanzar altos grados de fragmentación, nunca antes obtenidos con los explosivos a granel tradicionales. No es adecuado para suelos que contengan materiales con sulfuros reactivos.

Beneficios Claves

- *Vistis™225 y 250* desarrollan una muy alta energía explosiva que, combinada a su alta velocidad de detonación, entrega muy buenos resultados en fragmentación del material volado.
- La muy alta energía de los productos de la serie *Vistis™* pueden ser utilizada para.
  - Aumentar el grado de fragmentación en mineral y así aumentar el desempeño de los procesos de trituración y molienda. Ello permite también reducir los consumos de energía en los procesos de trituración.
  - Una directa reducción en los requerimientos de perforación a través de una expansión de malla.
  - Mejor productividad minera mediante una mejor fragmentación y esponjamiento de la pila del material tronado.
  - O una combinación de ambas de lo anterior.
- *Vistis™* desarrolla una muy alta energía de esponjamiento para maximizar desplazamiento en yacimientos de carbón.

Recomendaciones Para Uso

Longitud de Carga del Barreno

Vistis™ es adecuado para usar en barrenos de hasta 30 metros en longitud, dependiendo del diámetro del barreno, inclinación y presencia de agua. Para más información, por favor ponerse en contacto con su representante local del servicio técnico de Orica.

Primado e Iniciación

Vistis™ debe ser iniciado utilizando un iniciador *Pentex™* en conjunto con detonadores *Exel™* o *i-kon™*. No se recomienda el uso de cordón detonante con *Vistis™*.

Carguio

Vistis™ es parte del rango de productos a granel entregado por los Camiones Fábrica de Orica (MMU™). *Vistis™* es manufacturado en el MMU™ y vaciado o bombeado en el barreno.

Propiedades Técnicas	*Vistis™*	
	225	*250*
Densidad (g/cm³) [1]	1.30 ± 0.12	1.34 ± 0.12
Diámetro Mínimo de Barreno (mm)	125	
Profundidad Máxima de Barreno (m)	30	
Tipo de barrenos	Seco o desaguado	
Booster *Pentex* Recomendado para diámetro mínimo del barreno	450	
VOD típico (km/s) [2]	3.0 – 6.5	
Energía (Calor de Formación) (MJ/kg)	4.39	4.98
Energía Efectiva (MJ/kg) [3]	3.19	3.44
Energía Efectiva Relativa (REE) [4]		
Fuerza Relativa en Peso (**RWS**)	139	150
Fuerza Relativa en volumen (**RBS**)	225	250
Volumen de gases (l/kg)	897	835
Emisión CO_2 (kg/t) [5]	141	134
Tiempo de espera [6]	21 días	

Tiempo de espera en barrenos

El tiempo máximo de espera recomendado para *Vistis™ 225* es de 21 días.

Temperatura del Suelo

Este producto está disponible para uso en suelos con temperaturas que van desde 0°C hasta un máximo de 55°C. Si usted requiere aplicaciones en terrenos fuera de este rango, por favor contacte a su representante local del servicio técnico de Orica.

Almacenamiento y Manipulación

Clasificación del Producto

Nombre del Producto:	Serie *Vistis™*
Nombre para transporte:	Explosivo, Voladura, Tipo E
N° NU:	0332
Clasificación:	1.5D

Vistis™

Revisado Julio 2014

ORICA

Fuente: Asistencia técnica Orica - Las Bambas.

Repositorio Institucional – UNAMBA - PERÚ