

**UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



“HEAVY ANFO 73 GASIFICADO, PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA EN  
EL NIVEL 3968 FASE 5 TAJO YANACANCHA, ANTAMINA 2017”

TESIS

PRESENTADO POR:

BACH.: WILMAN GÓMEZ RAMOS

BACH.: DAVID QUISPE ORTIZ

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE MINAS

ABANCAY - PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL MICAELA BASTIDAS DE APURÍMAC  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



Tesis

“HEAVY ANFO 73 GASIFICADO, PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA EN EL NIVEL 3968 FASE 5 TAJO YANACANCHA, ANTAMINA 2017”

Presentado por **WILMAN GÓMEZ RAMOS** y **DAVID QUISPE ORTIZ**, para optar el Título de:

**INGENIERO DE MINAS**

Sustentado y aprobado el 24 de diciembre de 2019 ante el jurado:

**Presidente:**

  
Mg. Franklin Aguirre Huillcas

**Primer Miembro:**

  
Ing. Darío Dante Sánchez Castillo

**Segundo Miembro:**

  
Ing. Giovanni Frisancho Triveño

**Asesor:**

  
Dr. Pablo Rubén Zuloaga Candia

### **Agradecimientos**

*Agradecemos a Dios por darnos la vida, guiarnos en el camino y permitirnos concluir nuestro objetivo. Así como también a nuestros docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac, institución que nos acogió en sus aulas y que a través de sus docentes nos impartieron conocimientos y experiencias que fueron muy valiosas para una formación profesional de calidad.*

### **Dedicatoria**

*El presente trabajo está dedicado a nuestros padres y hermanos que siempre estuvieron dispuestos a brindarnos su amor, trabajo, sacrificio y apoyo constante e incondicional a lo largo de esta etapa de nuestras vidas.*

## ÍNDICE

CAPÍTULO I .....	4
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA .....	4
1.2. ENUNCIADO .....	4
1.3. OBJETIVOS.....	4
1.4. JUSTIFICACIÓN.....	5
1.5. DELIMITACIÓN.....	5
CAPÍTULO II .....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. ANTECEDENTES .....	7
2.2. MARCO REFERENCIAL .....	8
2.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA .....	8
2.2.2. ACCESIBILIDAD .....	8
2.2.3. RECURSOS .....	9
2.2.4. TOPOGRAFIA.....	9
2.2.5. GEOLOGÍA .....	9
2.2.6. AGENTES Y EXPLOSIVOS DE VOLADURA.....	15
2.2.7. GEOMECAÁNICA EN LA VOLADURA DE ROCAS.....	36
2.2.8. CAMIÓN FÁBRICA.....	39
2.3. DEFINICION DE TÉRMINOS.....	41
CAPÍTULO III.....	45
DISEÑO METODOLÓGICO .....	45
3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES.....	45
3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	45
3.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.3.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	45
3.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO .....	45
3.4. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA .....	46
3.6. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN.....	46
3.7. MATERIALES DE INVESTIGACIÓN .....	46
3.7.1. INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN.....	47
CAPÍTULO IV.....	48
RESULTADOS.....	48
4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	48
4.1.1. ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE LOS PARAMETROS EN LABORATORIO .....	48
4.1.2. PRUEBA DE MACROHESS.....	52
4.1.3. PRUEBAS DE CAMPO REALIZADA .....	55
4.1.4. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN (VOD) .....	64
4.1.5. HUMOS NARANJAS .....	73

4.1.6.	ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN .....	73
4.1.7.	ANÁLISIS DE COSTOS .....	80
4.2.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	84
CAPÍTULO V .....		85
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		85
5.1.	CONCLUSIONES.....	85
5.2.	RECOMENDACIONES .....	85
BIBLIOGRAFÍA .....		86
ANEXOS .....		87

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación de Antamina .....	8
Figura 2.	Formaciones Geológicas .....	10
Figura 3.	Secuencia Estratigráfica .....	12
Figura 4.	Geología del Yacimiento Skarn .....	13
Figura 5.	Clasificación general de los explosivos industriales (EXSA S.A).....	17
Figura 6.	Influencia del diámetro del taladro en la velocidad de detonación .....	18
Figura 7.	Efecto del aluminio sobre la energía desarrollada con respecto a una misma cantidad de ANFO.....	19
Figura 8.	Estructura del ANFO pesado.....	20
Figura 9.	Variación de potencia y densidad de un ANFO pesado en base al porcentaje de emulsión...21	
Figura 10.	Diseño de carga de taladros con ANFO pesado matriz y ANFO pesado 73 gasificado.....22	
Figura 11.	Sensibilización química por la generación de burbujas de nitrógeno. ....23	
Figura 12.	Proceso de gasificación del Heavy ANFO 73 gasificado en el sistema vaciable. ....24	
Figura 13.	Camión fabrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (vaciable). ....24	
Figura 14.	Proceso de gasificación del Heavy ANFO 73 gasificado en el sistema bombeable.....25	
Figura 15.	Camión fabrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (bombeable). ....25	
Figura 16.	Mezcla optima de Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado y petróleo. ....26	
Figura 17.	Diseño de malla de perforación.....29	
Figura 18.	Diseño de carga taladro precorte .....	29
Figura 19.	Camión fabrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (vaciable). ....40	
Figura 20.	Camión fabrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (Bombeable).....40	
Figura 21.	Medición con densímetro nitrito de sodio. ....48	
Figura 22.	Medición de la densidad del aceite residual .....	48
Figura 23.	Brookfield viscometer .....	49
Figura 24.	Nitrato de amonio .....	49
Figura 25.	Medición de los parámetros de la emulsión .....	50
Figura 26.	ANFO a base de aceite residual .....	50
Figura 27.	Curva de gasificación del Heavy ANFO 73 Gasificado con aceite residual gasificado.....51	

Figura 28. Prueba de macrohess.....	52
Figura 29. Preparación de las muestras para la prueba de macrohess.....	53
Figura 30. Curva de gasificación.....	54
Figura 31. Prueba de macrohess con Heavy ANFO 73 con diésel gasificado.....	54
Figura 32. Prueba de macrohess con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.....	54
Figura 33. Taladro de producción.....	56
Figura 34. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado.....	57
Figura 35. Diseño de salida.....	57
Figura 36. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado.....	58
Figura 37. Diseño de salida.....	58
Figura 38. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado.....	59
Figura 39. Diseño de salida.....	60
Figura 40. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.....	61
Figura 41. Diseño de salida.....	61
Figura 42. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.....	62
Figura 43. Diseño de salida.....	62
Figura 44. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.....	63
Figura 45. Diseño de salida.....	64
Figura 46. Grafica de la velocidad de detonación.....	64
Figura 47. Grafica de la velocidad de detonación.....	66
Figura 48. Grafica de la velocidad de detonación.....	67
Figura 49. Grafica de la velocidad de detonación.....	69
Figura 50. Grafica de la velocidad de detonación.....	70
Figura 51. Grafica de la velocidad de detonación.....	72
Figura 52. Grafica de fragmentación.....	74
Figura 53. Grafica de fragmentación.....	75
Figura 54. Grafica de fragmentación.....	76
Figura 55. Grafica de fragmentación.....	77
Figura 56. Grafica de fragmentación.....	78
Figura 57. Grafica de fragmentación.....	79
Figura 58. Costo por taladro cargado con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado.....	81
Figura 59. Costo por taladro cargado con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.....	82
Figura 60. Comparación Económica y el ahorro por taladro.....	82
Figura 61. Materiales de Antamina.....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Acceso a la unidad minera.....	8
Tabla 2. Resumen de las principales formaciones geológicas. ....	10
Tabla 3. Normas de manejo de aceite residual .....	16
Tabla 4. Resumen de mezclas explosivas.....	21
Tabla 5. Parámetro de proceso para la sensibilización del ANFO pesado 73 en el camión fabrica .....	23
Tabla 6. Diámetro de taladro recomendado.....	31
Tabla 7. Altura de banco recomendada .....	32
Tabla 8. Valores para Kb.....	33
Tabla 9. Índice de calidad de Deere .....	37
Tabla 10. Clasificación RMR.....	38
Tabla 11. Interpretación del índice Q .....	38
Tabla 12. Índice GSI .....	39
Tabla 13. Variables, indicadores e índices .....	45
Tabla 14. Densidad del nitrito de sodio .....	48
Tabla 15. Resultado de la medición de parámetros .....	49
Tabla 16. Medición de nitrato .....	50
Tabla 17. Medición de los parámetros en emulsión.....	50
Tabla 18. Medición de la densidad del ANFO .....	51
Tabla 19. Parámetros de la medición Heavy ANFO 73 Gasificado con aceite residual.....	51
Tabla 20. Muestras del Heavy ANFO 73 Gasificado en la prueba de macrohess .....	53
Tabla 21. Medición del efecto de rotura .....	55
Tabla 22. Medición del efecto de rotura.....	55
Tabla 23. Formulas aplicadas durante el carguío de taladros .....	55
Tabla 24. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	65
Tabla 25. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	66
Tabla 26. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	68
Tabla 27. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	69
Tabla 28. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	71
Tabla 29. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	72
Tabla 30. Datos para la medición de velocidad de detonación .....	73
Tabla 31. P80 pedido por planta.....	74
Tabla 32. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler .....	74
Tabla 33. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec.....	74
Tabla 34. Valores de p.....	74
Tabla 35. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler .....	75
Tabla 36. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec.....	75
Tabla 37. Valores de p.....	75

Tabla 38. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler .....	76
Tabla 39. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec.....	76
Tabla 40. Valores de p.....	76
Tabla 41. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler .....	77
Tabla 42. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec.....	77
Tabla 43. Valores de p.....	78
Tabla 44. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler .....	78
Tabla 45. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec.....	78
Tabla 46. Valores de p.....	79
Tabla 47. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler .....	79
Tabla 48. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec.....	79
Tabla 49. Valores de p.....	80
Tabla 50. Precio de accesorios y agentes de voladura .....	80
Tabla 51. Comparación Económica.....	83
Tabla 52. Comparación Económica.....	83
Tabla 53. Parámetros de perforación según tipo de material. ....	97

## ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografía 1. Kit de medición de densidad. ....	91
Fotografía 2. Obtención de la muestra.....	92
Fotografía 3. Enrase del recipiente con la mezcla. ....	92
Fotografía 4. Instantel Micromate .....	98
Fotografía 5. Instantel Micromate Plus .....	98
Fotografía 6. Microtrap VOD.....	99
Fotografía 7. Portametries .....	99
Fotografía 8. Cabina de camión fábrica.....	100
Fotografía 9. Cabina de camión fábrica.....	100

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. ESTANDAR DE VOLADURA .....	87
ANEXO 2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD EN CAMPO. ....	91
ANEXO 3. PETS DE MEDICIÓN DE VOD.....	93
ANEXO 4. PETS DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES. ....	95
ANEXO 5. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA POLÍGONOS EN DISPATCH Y ESTACAS DE CAMPO.....	96
ANEXO 6. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN.....	97
ANEXO 7. EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE VIBRACIONES. ....	98

ANEXO 8. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN Y PARA EL ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN. ....	99
ANEXO 9. SISTEMA COMPUTALIZADO DE CARGUIO EN CAMIÓN FÁBRICA.....	100
ANEXO 10. CROQUIS DE TAJO OPERACIONES MINA. ....	101



“HEAVY ANFO 73 GASIFICADO, PARA LA OPTIMIZACION DE LA  
VOLADURA EN EL NIVEL 3968 FASE 5 TAJO YANACANCHA, ANTAMINA  
2017”

Esta publicación está bajo una Licencia Creative Commons



## INTRODUCCIÓN

La unidad minera Antamina es un yacimiento tipo skarn polimetálico que se emplaza al norte de la cordillera de Huayhuash en la provincia de San Marcos departamento Ancash que produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno, plata y plomo.

El objetivo principal del presente trabajo es la reducción de costos y el cuidado al medio ambiente que se realizará mediante la aplicación de los aceites lubricante residual en la preparación del ANFO como parte del Heavy ANFO 73 gasificado, es una manera eficiente de destruir estos residuos altamente contaminantes, ya que son sometidos en un proceso de detonación.

Los costos de voladura son reducidos significativamente ya que el petróleo (D<sub>2</sub>) es reemplazado en un 100% por el aceite lubricante residual en la fabricación del ANFO.

Para el empleo del aceite lubricante residual se tiene el fundamento teórico que este aceite lubricante residual son derivados del petróleo.

Dentro de las evaluaciones que se realizaron en la preparación del ANFO con aceite residual como parte del Heavy ANFO 73 gasificado están: evaluación físico-química del aceite en laboratorio, monitoreos en campo como medición de densidad inicial, medición de densidad final, velocidad de detonación, evaluación del carguío de los taladros con los camiones fabrica, grabación con cámara de alta velocidad durante la voladura para su posterior análisis en gabinete y análisis de fragmentación. También se realiza un análisis económico donde se muestra el ahorro por cada taladro cargado con explosivo al emplear aceite lubricante residual.

En Antamina se realiza las pruebas con la empresa especializado Famesa Explosivos S.A.C. quien es la encargada del servicio de voladura, estas pruebas se realizaron en el nivel 3968 fase 5 en el tajo Yanacancha donde se obtuvieron buenos resultados de voladura.

En el primer capítulo se detalla la descripción del problema encontrada en la Unidad Minera Antamina y la justificación de la investigación.

El segundo capítulo incluye toda teoría referente al trabajo de investigación y la definición de términos más relevantes.

En el tercer capítulo se describe la parte experimental de la investigación sobre el reemplazo del petróleo por aceite lubricante residual.

El cuarto capítulo trata sobre el análisis y discusión de resultados obtenidos en la investigación y prueba la hipótesis que el Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado influye significativamente en la optimización de la voladura.

En el quinto capítulo se demuestra que si es posible reducir los costos y los impactos al medio ambiente.

## RESUMEN

En la unidad minera Antamina se utilizan técnicas modernas de voladura a cielo abierto con equipos de carguío mecanizado en el cual se encuentran los camiones fábrica computarizados los cuales se encargan de la fabricación del explosivo gasificado.

Esta investigación está dirigida a la reducción de costos y el cuidado del medio ambiente gracias a la aplicación de un nuevo método el cual consiste en el reemplazo del petróleo por aceite lubricante residual en la fabricación del ANFO como parte del Heavy ANFO 73 Gasificado.

En el tajo Yanacancha los equipos de gran tonelaje y los equipos móviles auxiliares generan gran cantidad de aceite lubricante residual el cual es recolectado por la empresa especializada Disal, este es altamente contaminante para el medio ambiente por lo cual se busca el aprovechamiento y eliminación por el proceso de voladura.

Se realizaron análisis de fragmentación, costos y cuidado del medio ambiente obteniéndose buenos resultados, el P80 se mantuvo dentro del rango pedido por planta para desmonte < 40 cm y para mineral < 17 cm.

Con el uso del aceite lubricante residual se reduce el costo por taladro en 14,864 dólares, un ahorro de 96 615 dólares por mes y 1 159 383 dólares por año, cifras que representan un ahorro significativo del 3,46 %.

Es un buen aporte para evitar la contaminación del medio ambiente ya que usando el Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado se elimina de una manera eficiente en el proceso de voladura el aceite lubricante residual desecho altamente contaminante.

Palabras clave:

Aceite lubricante residual, ANFO, Optimización de costos, Voladura, Fragmentación.

## ABSTRACT

In the Antamina mining unit, modern open-pit blasting techniques are used with mechanized loading equipment in which are the computerized factory trucks that are responsible for the manufacture of the gasified explosive.

This research is aimed at reducing costs and caring for the environment thanks to the application of a new method which consists of replacing oil with residual lubricating oil in the manufacture of ANFO as part of Heavy Anfo 73 Gasified.

In the Yanacancha pit, large tonnage equipment and auxiliary mobile equipment generate a large amount of residual lubricating oil, which is collected by the specialized company Disal, which is highly polluting for the environment, which is why it is sought to be used and disposed of by the blasting process.

Fragmentation, cost and environmental care analyzes were performed, obtaining good results, the P80 remained within the range requested per plant for clearing <40 cm and for ore <17 cm.

Using residual lubricating oil reduces the cost per drill by \$ 14,864, a savings of \$ 96,615 per month and \$ 1,159,383 per year, figures that represent a significant savings of 3.46%.

It is a good contribution to avoid contamination of the environment since using the Heavy Anfo 73 with gasified residual oil, the highly polluting waste residual lubricating oil is efficiently removed in the blasting process.

Keywords:

Residual lubricating oil, ANFO, Cost optimization, Blasting, Fragmentation.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

#### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La voladura es el objetivo más deseado que está asociado al desplazamiento y esponjamiento del mineral, para lograr esto se requiere de voladuras que garanticen el rendimiento óptimo del carguío de la pala y transporte de mineral hacia la chancadora primaria con un porcentaje de pasantes finos superiores a los 80% exigidos por planta.

En la unidad minera Antamina actualmente se utiliza el petróleo para la fabricación del ANFO como parte del Heavy ANFO 73 gasificado este eleva los costos de voladura.

En la operación de la mina se generan aceites lubricantes residuales los cuales pueden ser aprovechados en reemplazo del petróleo para la elaboración del ANFO como parte del Heavy ANFO 73 gasificado.

Para lo cual se debe evaluar los resultados de voladura utilizando aceite lubricante residual como reemplazo del petróleo para garantizar un beneficio económico sin generar impactos al ambiente.

#### 1.2. ENUNCIADO

##### 1.2.1. General

- ¿De qué manera influye el Heavy ANFO 73 Gasificado, para la optimización de la voladura en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017?

##### 1.2.2. Específico

- ¿De qué manera el Heavy ANFO 73 Gasificado afecta a los costos de voladura en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017?
- ¿Cómo afecta el Heavy ANFO 73 gasificado en la tonelada volada en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017?
- ¿En qué grado favorece el Heavy ANFO 73 Gasificado en el cuidado del medio ambiente en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017?

#### 1.3. OBJETIVOS

##### 1.3.1. General

- Determinar de qué manera el Heavy ANFO 73 Gasificado influye en la optimización de la voladura en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.

##### 1.3.2. Específico

- Analizar cómo afecta el Heavy ANFO 73 Gasificado en los costos de voladura en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.

- Evaluar en que grado el Heavy ANFO 73 gasificado contribuye en la tonelada volada en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.
- Comprobar si el Heavy ANFO 73 Gasificado aporta al cuidado del medio ambiente en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN**

La perforación es el primer paso en toda operación minera a tajo abierto, que va de la mano con la voladura para asegurar el material con una granulometría adecuada para un acarreo eficiente y seguro.

El uso del petróleo es indispensable para la fabricación del ANFO como parte del Heavy ANFO 73 gasificado, esta a su vez eleva los costos de voladura por lo que se busca utilizar una nueva técnica reemplazando el petróleo por el aceite lubricante residual, la cual reducirán los costos de voladura y reducirán los impactos al medio ambiente.

El aceite lubricante residual es recolectado de los diferentes equipos de la operación por la empresa especializada Disal, esta es almacenada en tanques la cual se realiza el filtrado para su posterior uso en la elaboración del ANFO.

En la actualidad se utiliza técnicas modernas de voladura en minería a cielo abierto como es el carguío mecanizado con los camiones fábrica computarizados con el objetivo de aplicar exactamente la cantidad de explosivo en el taladro.

La aplicación de las nuevas técnicas de voladuras a corto, mediano y largo plazo, es la opción más rentable y sostenible en el tiempo para una empresa minera de clase mundial sobreponiendo el cuidado del entorno social, ambiental y económico.

#### **1.5. DELIMITACIÓN**

##### **1.5.1. DELIMITACION ESPACIAL**

El proyecto de tesis se lleva a cabo en la unidad minera Antamina S.A ubicado en la región de Ancash, provincia de Huari, distrito de San Marcos.

##### **1.5.2. DELIMITACION SOCIAL**

El proyecto de investigación involucra a los colaboradores del área de geología, operaciones, seguridad, planeamiento, diseño voladura, costos, topografía y áreas auxiliares.

##### **1.5.3. DELIMITACION TEMPORAL**

El presente trabajo empieza con la recolección y/o investigación de datos desde el mes de febrero del 2016 hasta diciembre del 2018.

#### 1.5.4. DELIMITACION CONCEPTUAL

El presente proyecto de investigación se centra en el estudio que está dentro de la Ingeniería de Minas abarcando las siguientes materias:

- Costos
- Operación mina
- Seguridad
- Planeamiento
- Topografía
- Geología
- Voladura
- Agentes de voladura
- Explosivos

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Aguirre (2016), en su tesis “Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en sociedad contractual minera el Abra” indica que, dentro del proceso minero, se tiene que los costos operacionales alcanzan una relevancia significativa en la unidad minera el Abra en Chile, por lo tanto, para reducir estos costos primero se debe visualizar los procesos involucrados a ellos. Se tiene que los procesos de perforación y voladura son las primeras operaciones unitarias que resultan del diagrama de flujo en la extracción del material, implicando que un buen comienzo podría generar mejoras en los procesos posteriores; en consecuencia, el presente trabajo busca encontrar la rentabilidad técnico-económico de aplicar un explosivo de alta energía en la voladura mediante el análisis de fragmentación, análisis de pérdida por cargas redireccionadas por fragmentación gruesa, costos y rendimiento de la planta de procesamiento con el objetivo de optimizar la operación mediante la reducción de costos y granulometría con el propósito de estandarizar la voladura en un sector particular de la mina.

##### 2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES

Sánchez (2014), en su tesis “Evaluación de los resultados de voladura con aceite lubricante residual en la mezcla de ANFO” indica que se viene implementando el reemplazo del petróleo por aceite lubricante residual para la fabricación del Heavy ANFO, para la mina Antapaccay. En la elaboración del ANFO se utilizan materias primas como el nitrato de amonio y el petróleo, siendo el petróleo una materia prima que eleva los costos de voladura. En Antapaccay se tiene buenos resultados de fragmentación, un aporte económico y cuidado al medio ambiente con la utilización de esta técnica con una mezcla 50% de diésel y un 50% de aceite lubricante residual.

Valdivia (2002), en su tesis “Implementación del empleo de aceite usado en la fabricación de agentes de voladura como el ANFO en mina Cuajone.” Indica que se viene implementando las instalaciones necesarias para el uso del aceite lubricante residual para la fabricación del ANFO. la utilización de este aceite ayuda a la conservación del medio ambiente ya que son eliminados de una manera eficiente. La disminución en el consumo del petróleo representa un gran beneficio económico. La fragmentación y el rendimiento del equipo de carguío en la zona cargada con aceite fue buena no observándose ninguna diferencia con respecto a zonas cargadas con ANFO fabricado con 100% de petróleo.

### 2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES

Figuroa (2017), en su tesis “Diseño de perforación y voladura aplicando la teoría de Richard Ash, para la mejora de la fragmentación en la compañía minera Antamina s.a. – 2017.” Indica que aplicando el diseño de perforación y voladura según la teoría de Richard Ash se obtiene una fragmentación adecuada, tanto en mineral como desmante. Como resultados de fragmentación se tiene el porcentaje de pasante (P80) de 16.60 cm en desmante y 10.50 cm en mineral los cuales están dentro de los estándares de Antamina S.A.

## 2.2. MARCO REFERENCIAL

### 2.2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Antamina es un complejo minero polimetálico que produce concentrados de cobre, zinc, molibdeno, plata y plomo. La unidad minera está ubicada en el distrito de San Marcos, provincia de Huarí en la Región Ancash, a 200 km. de la ciudad de Huaraz y a una altitud promedio de 4,300 msnm.

Carta Nacional del Perú 20-i del Instituto Geográfico Nacional IGN

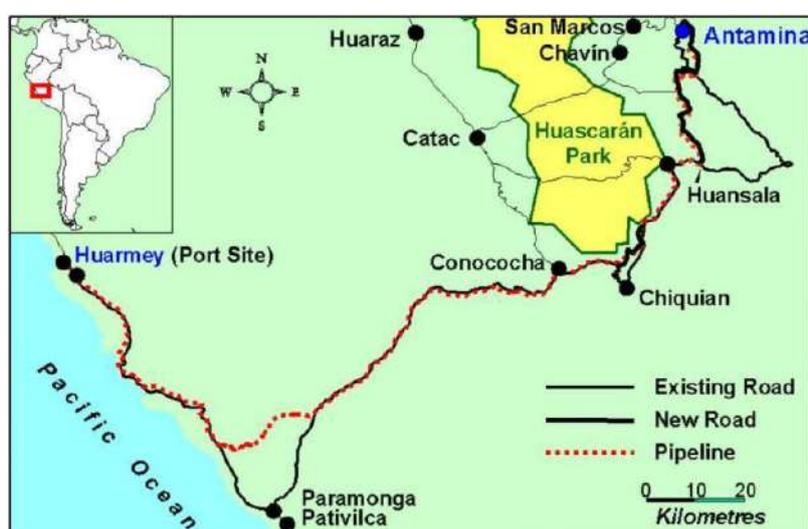


Figura 1. Mapa de ubicación de Antamina

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.2. ACCESIBILIDAD

El acceso a la unidad minera por vía terrestre se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 1. Acceso a la unidad minera

TRAMO	TIPO DE VIA	DISTANCIA EN KM
Lima - Pativilca	Carretera asfaltada	210
Pativilca - Conococha	Carretera asfaltada	121
Conococha – Antamina	Carretera asfaltada	120
	<b>total</b>	<b>451</b>

Fuente: Elaboración propia.

### 2.2.3. RECURSOS

#### ➤ CLIMA

El clima en la unidad minera Antamina presenta las siguientes variaciones como: cálido, frío templado, frío extremo. Las lluvias se presentan entre los meses de diciembre a abril con algunas precipitaciones en forma de granizo.

Las temperaturas máximas y mínimas que se registraron a los 4300 m.s.n.m. son de 22°C en los meses de mayo a octubre y de -15°C en los meses de noviembre a enero.

#### ➤ FLORA Y FAUNA

Dentro del área de influencia de la Unidad Minera Antamina se identificaron 76 especies de aves entre las cuales 61 especies son terrestres y 15 acuáticas, 442 especies de plantas, 10 especies de mamíferos, 1 anfibio (ranas) y 1 reptil (lagartijas).

### 2.2.4. TOPOGRAFÍA

La topografía de la cordillera blanca es más escarpada, con más de 30 picos con elevaciones mayores a 6000 m.s.n.m. es interceptada por numerosas quebradas que son el resultado de la erosión glacial y fluvio-glacial. En la zona sur de la cordillera los valles tienen secciones en forma de U con pendientes de 30% a 60 % en sus taludes y con longitudes de 200 m a 400 m. En el proyecto las quebradas Tunacancha, Picharagra, Desague, Sheque y Rumicacha son las más resaltantes.

### 2.2.5. GEOLOGÍA

#### 2.2.5.1. GEOLOGÍA REGIONAL

Zavala (2017), La geología regional está caracterizada por la presencia del batolito de la cordillera blanca con un promedio aproximado de 200 km de longitud extendido desde Conococha hasta Corongo, este a su vez se extiende dentro de la cuenca Santa cuyas fallas son de NW – SE respectivamente.

El Batolito de la Cordillera Blanca es un complejo principalmente del Mioceno medio a tardío y tiene alrededor de 200 km. en longitud y yace completamente dentro de la cuenca Santa de la Cuenca Sedimentaria Peruana del Oeste. Está limitado hacia el norte por el Sistema Transformante Trujillo mientras que su límite sur coincide aproximadamente con la Flexura de Chiquián.

El principal tipo de roca en la parte sur del Batolito de la Cordillera Blanca son granitos, en ellos se observa un afloramiento de tonalita – diorita y pequeños stocks tardíos de granodiorita. Diques y pequeños stocks de pórfido de cuarzo cortan la granodiorita principal. Las pegmatitas son más abundantes en las áreas marginales.

El batolito está emplazado principalmente en las lutitas de la formación Chicama (Jurásico superior). Los pliegues en las lutitas de la formación Chicama son cortados por rocas intrusivas que son claramente post. Tectónicas.

El método K-Ar, lo cual podría indicar una edad del Mioceno superior para el batolito de la Cordillera Blanca.

Un número de stocks yace hacia el sur (cuadrángulo de Chiquián) del Batolito de la Cordillera Blanca. La litología de las rocas de la cordillera Blanca es muy característico, ellas son rocas eurócratas y de grano mucho más grande que las rocas del Batolito de la Costa. Algunos de estos stocks tienen algunas de estas características y se considera que los stocks de Aquia, Llaclla, Cajatambo y Churín son representativos del Batolito de la Cordillera Blanca.

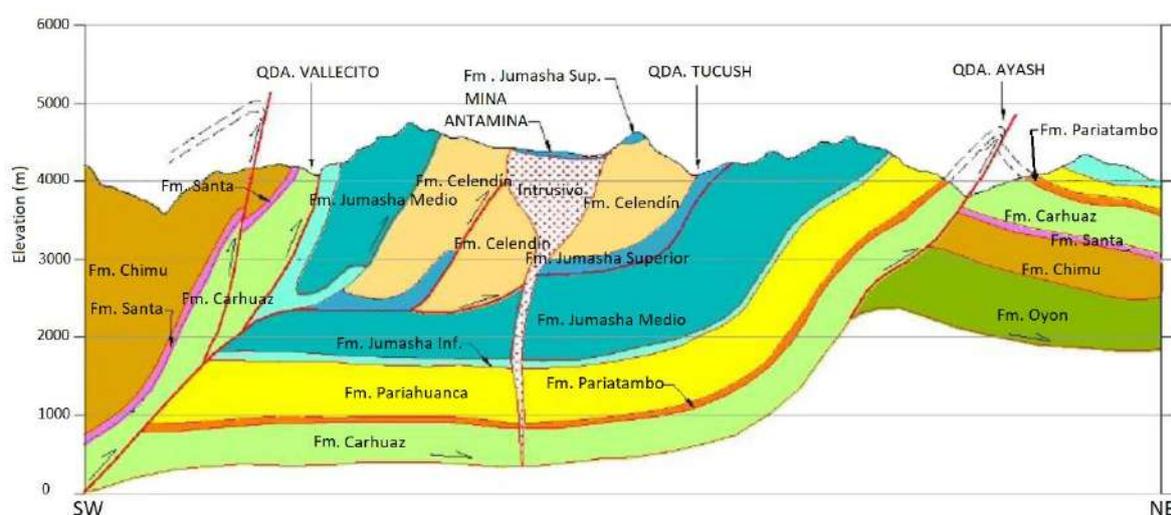


Figura 2. Formaciones Geológicas  
Fuente: Departamento de geología Antamina

Tabla 2. Resumen de las principales formaciones geológicas.

FORMACIÓN	EDAD	ROCAS
Formación chicama	Jurásico superior	Calizas, areniscas, cuarcitas.
Formación chimú	Cretácico inferior	Cuarcitas, areniscas, calizas, carbón.
Formación santa	Cretácico inferior	Calizas, lutitas calcáreas.
Formación carhuaz	Cretácico inferior	Areniscas, lutitas.
Batolito de la cordillera blanca	Plioceno	Granodiorita, granito.
Cuaternario y reciente	cuaternario	Glaciar, glacio-fluvial y depósitos coluviales.

Fuente: Ingemmet

#### a) Estratigrafía

Knight (1998), El área del proyecto está ubicada dentro de una faja sedimentaria de rumbo nor oeste correspondiente al Grupo Goyllarisquizga de edad Cretácico Inferior y conformado por sedimentos marinos y terrígenos; a su vez esta faja está flanqueada por otras dos fajas volcánicas

paralelas correspondientes a las Formaciones Quiruvilca y Cajamarca, ambas de edad terciaria, El grupo Goyllarisquizga está conformado por 5 formaciones las cuales desde la más antigua hasta la más reciente son: Chimú, Santa, Carhuaz, Farrat e Inca; algunos depósitos cuaternarios también ocurren en la zona, pero en menor proporción.

### Descripción de la Columna estratigráfica

Knight (1998), describe la columna estratigráfica desde la más antigua hasta la más reciente.

- **Formación Celendín, (Ks-ce):** Margas calcáreas nodulares, pobremente estratificadas, de color amarillo plomizo, con intercalaciones de caliza, esquistos de barro plomo y margas. La formación tiene un grosor de aproximadamente 500 m y se observa como un centro de sinclinales con rumbo noroeste-sureste. La Formación Celendín es concordante con respecto a la Formación Jumasha.
- **Formación Jumasha:** Caliza gris masivo compuesta por estratos de aproximadamente 1 a 2 m de grosor. Esta formación resistente al intemperismo tiene un grosor menor que 700 m y se presenta como cadenas sobresalientes y elevadas. La Formación Jumasha es cárstica, contiene numerosas cuevas y sumideros, y es concordante con la Formación Pariatambo.
- **Formación Pariatambo:** Margas de color marrón oscuro con intercalaciones de caliza con esquistos de color marrón. La formación tiene aproximadamente 100 m de grosor y es concordante con la Formación Pariahuanca.
- **Formación Pariahuanca:** Caliza masiva de color plomo azulado, con estratos de 1 a 2 m de grosor. La formación tiene aproximadamente 100 m de grosor y sobre yace en concordancia con la Formación Carhuaz.
- **Grupo Goyllarisquizga:** no diferenciado: Areniscas friables de color blanquecino, con estratificaciones transversales de 2 m de grosor o menos en ciertos casos, con intercalación de esquistos y lodolitas inter estratificadas. Este grupo es el equivalente de las tres formaciones mencionadas a continuación que no podrían mapearse individualmente en una escala regional.
- **Formación Carhuaz:** Se observan lutitas litificadas de color gris a gris verdoso, con algunos interestratos de areniscas. La formación es de aproximadamente 600 m de espesor y es concordante con la Formación Santa.
- **Formación Santa:** Se puede observar caliza de color azul grisáceo, con estratos de 0.1 a 1 m de espesor, con nódulos horstenos grises a blancos. La formación tiene aproximadamente entre 100 y 150 m de espesor y es concordante con la Formación Chimú.
- **Formación Chimú:** Arenisca de color blanco a blanco rojizo en láminas de aproximadamente 1 a 3 m de grosor. La formación tiene un grosor aproximado de 100 m.

- **Formación Oyón:** Arenisca parda y basáltica de fino grano y de color gris oscuro, con inserciones de esquistos de barro y carbón (lignito).
- **Formación Chicama:** Esquistos grises y areniscas.

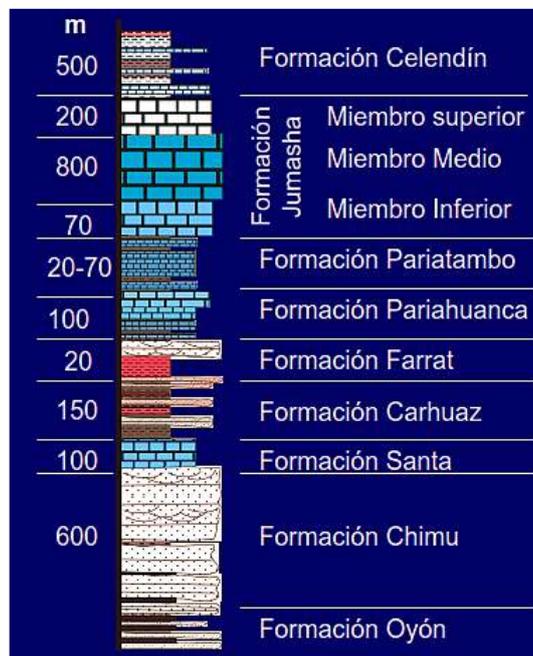


Figura 3. Secuencia Estratigráfica  
Fuente: Departamento de Geología Antamina

Calizas y otras rocas calcáreas son los miembros dominantes de varias de estas formaciones. Esto puede explicar la alta naturaleza calcárea de algunos de los suelos del área del proyecto, como también el alto pH, alcalinidad, conductividad y contenido de calcio en el agua de los ríos Pativilca y Santa.

### 2.2.5.2. GEOLOGÍA LOCAL

O'Connor (1999), El yacimiento de Antamina es de tipo "Skarn" polimetálico causado por el reemplazo de contacto meta somático de una monzonita intrusiva el cual dio origen a la formación del skarn mineralizado en caliza circundante con mineralización de cobre, zinc, plata, molibdeno y bismuto.

Las rocas de caja del yacimiento Antamina están constituidas por una secuencia de calizas, margas y limolitas calcáreas de la formación Celendín de edad Cretácico superior, que se encuentran intruidas por varias apófisis de un intrusivo porfírico del Mioceno. Tanto las rocas de la formación Celendín y los estratos calcáreos y clásticos de las formaciones infra yacentes del Cretácico inferior, se encuentran plegadas con fallamientos de sobre escurrimiento que siguen un rumbo general noroeste.

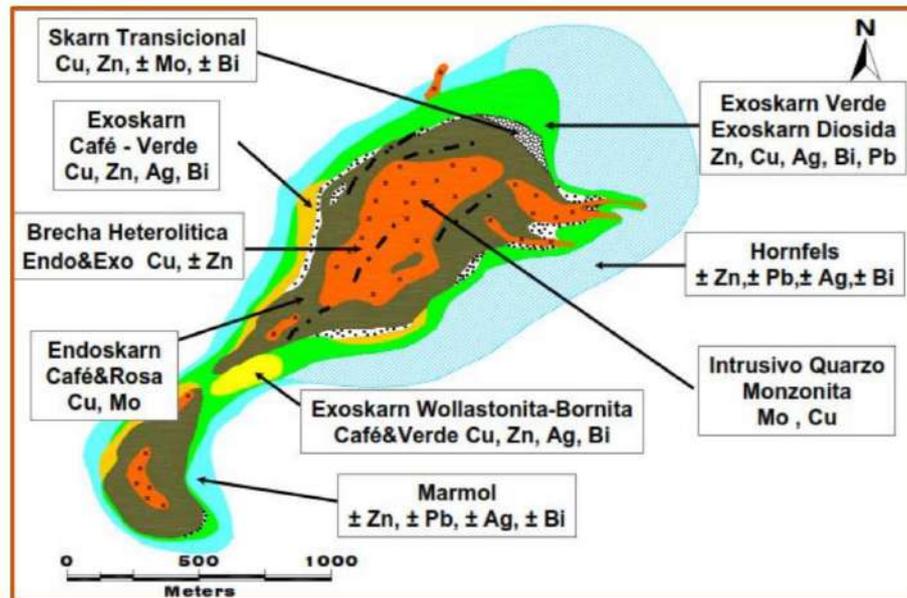


Figura 4. Geología del Yacimiento Skarn  
Fuente: Departamento de geología Antamina

Knight (1999), La intrusión porfirítica comprende múltiples intrusiones, habiéndose podido identificar hasta nueve fases. La intrusión contiene mineralización de cobre/molibdeno tipo porfirítico, con leyes que por lo general están por debajo de 0.7% de cobre equivalente, valor que ha sido utilizado como ley de corte para el plan de minado. Las fases intrusivas asociadas con el evento de mineralización han sido afectadas por la alteración potásica. La alteración filítica está pobremente desarrollada, pero muy extendida. La silificación penetrante en la roca puede ocurrir localmente, pero no hay una zona definida para la alteración propilítica.

El Skarn está bien definido por zonas en ambos lados de la intrusión central, con la siguiente secuencia que empieza en el intrusivo y termina en la caliza:

- Skarn de granate marrón con cobre como calcopirita (mena de cobre).
- Skarn de granate verde con calcopirita y esfalerita (mena de cobre-zinc).
- Skarn de wollastonita/diopsido/granate verde con bornita, esfalerita, y bismuto irregular
- Caliza metamorfizada con venas o mantos de skarn de wollastonita/granate verde con mineralización de zinc, plomo y plata.

#### A. Mineralogía

Existe información acerca de la mineralogía de sulfuros de minerales primarios y de las estadísticas de los valores de cobre y sus promedios.

- ❖ Los sulfuros ocurren:
  - Intersticial en granates
  - En zonas con sulfuros masivos

- En vetillas entrecruzadas

❖ Los minerales de mena primarios son: pirita, magnetita, calcopirita, esfalerita, galena y bornita.

- La calcopirita contiene más del 90% del cobre en el yacimiento

❖ Estadísticas del contenido de cobre:

- 1.3 % Cu en la zona de Cobre

- 0.95 % Cu en la zona de Cobre-Zinc

- 1.95 % Cu en otros Skarns

- 0.29 % Cu en el intrusivo

Existen otros datos estadísticos. Básicamente se considera dos cuerpos envueltos uno con otro. Una zona de Cobre con Zinc, y otra Zona de sólo Cobre. Existen leyes de más o menos 2.25 % de zinc en la zona de cobre con Zinc, y que serán tratados separadamente en la planta. El Mo ocurre en las dos zonas y en el intrusivo; probablemente, el intrusivo es un pórfido de molibdeno. La zona envolvente de Zinc coincide con los Skarns de granate verde y wollastonita-diópsido

❖ Estadísticas del contenido de Zn:

- 2.25 % Zn en la zona de Cobre-Zinc

- 0.43 % Zn en la zona de sólo Cobre

### 2.2.5.3. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Connor (1999), El rango estructural del área donde se ubica la compañía minera Antamina es el sobre escarpamiento regional de alto ángulo que se desplaza de sur a norte, esta estructura ha asignado plegamientos paralelos al rumbo general de la Cordillera.

Los plegamientos son del tipo arrastre en forma de pequeños anticlinales y sinclinales que han jugado un rol importante en la disposición de minerales.

### 2.2.5.4. GEOLOGÍA ECONÓMICA

INGEMMET (2011), Antamina es un depósito polimetálico de cobre y zinc ubicado en los andes centrales del norte del Perú con una altitud de 4300 a 5073 m.s.n.m.; a 270 km al norte de Lima.

El depósito de skarn se desarrolla alrededor del intrusivo Antamina que es un pórfido cuarzo monzonita.

Las rocas cajas del yacimiento están constituidas por una secuencia de calizas, margas y limolitas de la formación Celendín del cretácico superior que se encuentran intruidos por un intrusivo porfirítico del mioceno. tanto las rocas de la formación Celendín y los estratos

calcáreos y clásicos de la formación infra yacentes del cretácico inferior, se encuentran plegadas con fallamientos de tipo escurrimiento que siguen un rumbo general noroeste.

En el skarn y en las intrusiones hay zonas de deformación frágil, aunque algunas fallas de desplazamiento post. mineral no significativas han sido identificadas. La alteración filica está poco desarrollada, aunque muy extendida. Por lo general se caracteriza por la débil a moderada intensidad de la alteración de las plagioclasas. Sus recursos económicos son la extracción de metales como el cobre, zinc, plata y molibdeno.

## 2.2.6. AGENTES Y EXPLOSIVOS DE VOLADURA

### 2.2.6.1. ACEITE RESIDUAL

Sánchez (2014), Indica que el aceite lubricante residual es todo aceite con base mineral o sintética que debido a su uso se encuentra contaminado con impurezas físicas o químicas y no puede ser utilizado para el fin con el que fue producido.

La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), define al aceite lubricante residual como cualquier aceite que haya sido refinado del petróleo crudo o cualquier aceite sintético que haya sido usado y como resultado esté contaminado con impurezas físicas y químicas.

Durante el uso normal del aceite, pueden mezclarse con impurezas tales como tierra, partículas de metal, agua y productos químicos que afecten a la larga, el rendimiento de dicho aceite. Tarde o temprano éste debe ser reemplazado con aceite virgen o vuelto a refinar para que pueda continuar realizando su función.

Las normas sobre manejo de aceite de la EPA incluyen un análisis tripartito con el objetivo de determinar si la sustancia cumple los requisitos para ser considerada como aceite lubricante residual. Para satisfacer la definición de aceite lubricante residual de la EPA, la sustancia debe cumplir los tres criterios siguientes:

- **Origen:** El primer criterio que define un aceite lubricante residual es su origen, debe haber sido refinado a partir de petróleo crudo o haber sido fabricado con materiales sintéticos. Los aceites de origen Vegetal o animal están excluidos de la definición de aceites usado de la EPA.
- **Uso:** El segundo criterio es si el aceite ha sido usado y cómo fue usado. Los aceites utilizados como lubricantes, líquidos hidráulicos, fluidos para la transferencia de calor, medios de flotación y en otros propósitos similares se consideran como aceites usados. El aceite que no ha sido usado, como por ejemplo los depósitos en el fondo de tanques de almacenamientos de combustible virgen o el combustible virgen recuperado en un derrame, no satisfacen la definición de aceite usado de la EPA porque estos nunca han sido

utilizados. La definición también excluye productos como agentes limpiadores y los que han sido utilizados sólo por sus propiedades disolventes, así como ciertos derivados del petróleo tales como anticongelantes y Queroseno.

- **Contaminante:** Es el tercer criterio, está basado en si el aceite está o no contaminado con impurezas físicas o químicas. En otras palabras, para satisfacer la definición de la EPA, el aceite lubricante residual debe ser contaminado como resultado de su uso. Este aspecto de la definición de la EPA incluye residuos y contaminantes generados por el manejo, almacenamiento y procesamiento del aceite lubricante residual. Los contaminantes físicos incluyen partículas de metal, aserrín o suciedad. Los contaminantes químicos incluyen solventes, halógenos o agua salada.

Tabla 3. Normas de manejo de aceite residual

NORMAS TÉCNICAS PERUANAS (NTP)	NOMBRE/DESCRIPCIÓN	AÑO DE APROBACIÓN
900.050	Manejo de aceites usados. Generalidades	2001
900.051	Manejo de aceites usados. Recolección y Almacenamiento	2001
900.52	Manejo de aceites usados. Transporte	2002
900.53	Manejo de aceites usados. Re-refinación	2003
900.54	Manejo de aceites usados. Aprovechamiento energético previo tratamiento	2003

**Fuente:** Sánchez (2014)

### 2.2.6.2. EXPLOSIVOS

EXSA (2012), los materiales explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que por medio de reacciones químicas de óxido-reducción, son capaces de transformarse en un tiempo muy breve, del orden de una fracción de microsegundo, en productos gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en una masa gaseosa que llega a alcanzar altas temperaturas y en consecuencia elevadas presiones.

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

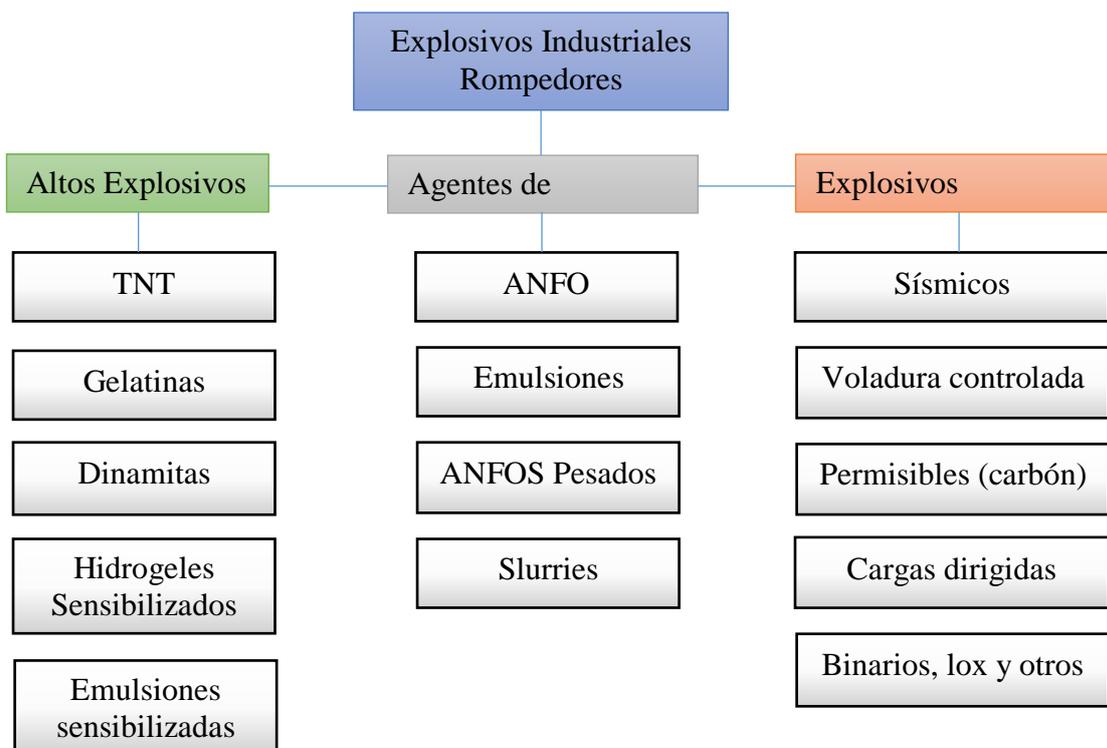


Figura 5. Clasificación general de los explosivos industriales.  
Fuente: EXSA (2012).

### 2.2.7. AGENTES DE VOLADURA

Espinoza (2016), Indica que los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N<sup>o</sup> 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.

#### A. NITRATO DE AMONIO

Instituto Tecnológico de España (1994), indica que el Nitrato Amónico ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ) es una sal inorgánica de color blanco cuya temperatura de fusión es 160,6°C. Aisladamente, no es un explosivo, pues sólo adquiere tal propiedad cuando se mezcla con una pequeña cantidad de un combustible y reacciona violentamente con él aportando oxígeno. Frente al aire que contiene el 21% de oxígeno, el nitrato de amonio posee el 60%.

El Nitrato Amónico puede encontrarse en diversas formas, en la fabricación de explosivos se emplea aquel que se obtiene como partículas esféricas o prills porosos, ya que es el que posee mejores características para absorber y retener a los combustibles líquidos y es fácilmente manipulable sin que se produzcan apelmazamientos y adherencias.

## B. ANFO

Konya (1995), Indica que el término Ammonium Nitrate and Fuel Oil (ANFO) es una mezcla entre Nitrato de Amonio y Petróleo. Esta mezcla de Nitrato y Petróleo debido a su relativa baja viscosidad y la facilidad de mezclado con los gránulos de nitrato de amonio. Es posible utilizar otro tipo de sustancias carbonáceas.

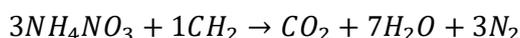
Espinoza (2016), Indica que el ANFO es una mezcla explosiva industrial cuya aplicación se ha extendido por todo el mundo, debido a su seguridad en la manipulación, bajo costo y alto rendimiento energético. Su composición es de 94.5% nitrato de amonio y 5.5% combustible. El nitrato de amonio es una sal inorgánica, no explosiva, siendo de aplicación en minería aquella que se fabrica como partículas esféricas o prills porosos, en consecuencia, es crítica su capacidad de absorción y retención.

Instituto Tecnológico de España (1994), indica que las características explosivas del ANFO varían también con la densidad, conforme esta aumenta la velocidad de detonación se eleva, pero también es más difícil conseguir la iniciación. Por encima de una densidad de  $1,2 \text{ g/cm}^3$  el ANFO se vuelve inerte no pudiendo ser detonado o haciéndolo sólo en el área inmediata al iniciador.

El tamaño de los gránulos de nitrato amonio influye a su vez en la densidad del explosivo. Así, cuando el ANFO se reduce a menos de 100 mallas su densidad a granel pasa a ser  $0,6 \text{ g/cm}^3$ , lo que significa que si se quiere conseguir una densidad normal entre  $0,8$  y  $0,85 \text{ g/cm}^3$  para alcanzar unas buenas características de detonación será preciso vibrarlo o compactarlo.

Por otro lado, el diámetro de la carga es un parámetro de diseño que incide de forma decisiva en la velocidad de detonación del ANFO.

El balance de reacción del ANFO es:



(Explosivo)

(Productos de reacción)

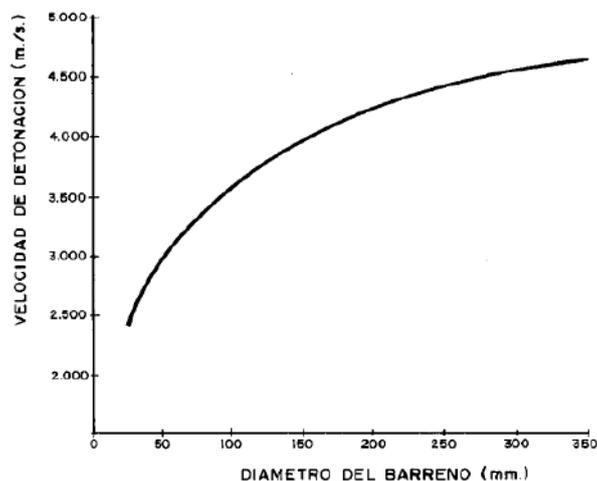


Figura 6. Influencia del diámetro del taladro en la velocidad de detonación

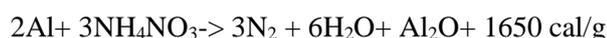
Fuente: López Jimeno y otros (2003)

### C. ANFO ALUMINIZADO

López Jimeno y otros (2003), Indica que la densidad del ANFO es baja, la energía que resulta por unidad de longitud de columna es pequeña.

Para elevar esa energía, desde 1968 se viene añadiendo a ese agente explosivo productos como el Aluminio con unos buenos resultados técnicos y económicos, sobre todo cuando las rocas son masivas y los costos de perforación altos.

Cuando el aluminio se mezcla con el nitrato amónico y la cantidad es pequeña la reacción que tiene lugar es:



Pero si el porcentaje de aluminio es mayor, la reacción que se produce es:



En la Fig. 7 se indica la energía producida por el ALANFO con respecto al ANFO para diferentes cantidades de metal añadidas.

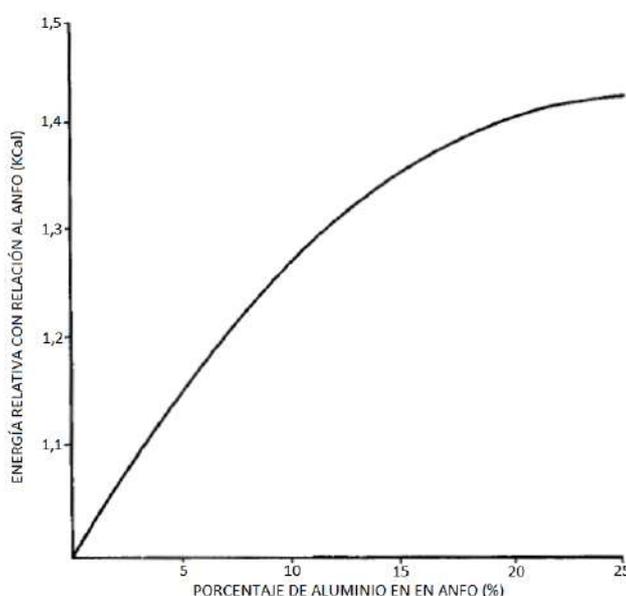


Figura 7. Efecto del aluminio sobre la energía desarrollada con respecto a una misma cantidad de ANFO.

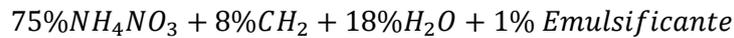
Fuente: López Jimeno y otros (2003)

### C. EMULSIÓN

Instituto Tecnológico de España (1994), indica que las emulsiones explosivas son del tipo denominado “agua en aceite” en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado.

FAMESA EXPLOSIVOS SAC (2009), Indica que la emulsión explosiva es del tipo agua-aceite y está compuesta principalmente por una fase oxidante (sales de nitrato) y otra fase combustible. Químicamente, está formulada para reaccionar con nitrito de sodio, que es el agente gasificante y físicamente está preparada para retener burbujas de gas dentro de su masa. Es un poco más densa que la emulsión común del ANFO pesado. Y otros aspectos como la viscosidad, balance de oxígeno, PH y tensión superficial juegan un papel importante.

La fórmula de la emulsión es:



#### D. ANFO PESADO

López Jimeno y otros (2003), indica que el ANFO Pesado, que es una mezcla de emulsión base con ANFO, abre una nueva perspectiva en el campo de los explosivos.

El ANFO presenta unos huecos intersticiales que pueden ser ocupados por un explosivo líquido como la emulsión que actúa como una matriz energética. Fig. 8

ENAEX (2005), indica que el sistema que contiene dos fases líquidas naturalmente inmiscibles entre sí, una de las cuales es dispersa como pequeñas gotas dentro de la otra.

La fórmula del anfo pesado es:

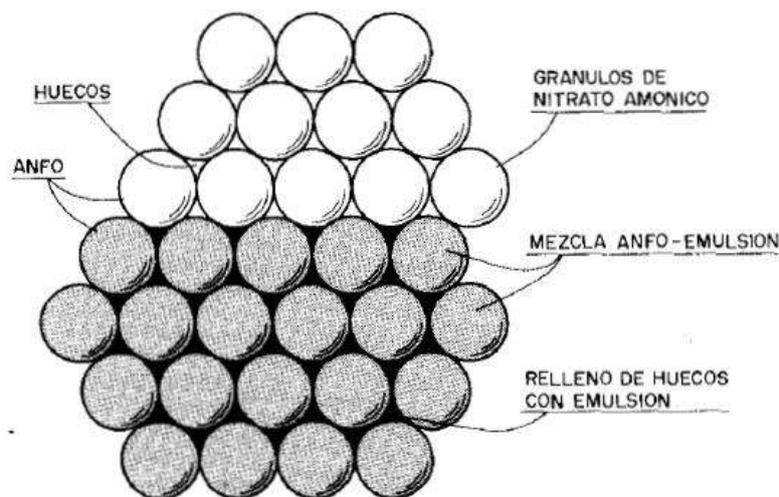
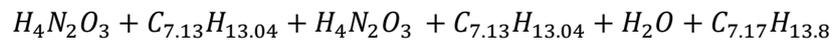


Figura 8. Estructura del ANFO pesado  
Fuente: López Jimeno y otros (2003)

ENAEX - Asistencia Técnica Antamina (2017), indica que existen diversas mezclas de ANFO Pesado, teniendo las principales en la siguiente tabla, incluyendo su densidad, VOD y los kilogramos por metro lineal.

Tabla 4. Resumen de mezclas explosivas.

PRODUCTO	DENSIDAD(gr/cc)	VOD(m/s)	carga lineal kg/m		
			5"	9 7/8"	12 1/4"
ANFO	0,80 ( $\pm 0,01$ )	3800 - 4450	10,14	39,55	60,87
HA28	0,91 ( $\pm 0,01$ )	4359 - 4700	12,42	48,45	74,58
HA37	1,00 ( $\pm 0,01$ )	4800 - 5100	13,93	54,38	83,69
HA46	1,17 ( $\pm 0,01$ )	4800 - 5300	14,83	57,85	89,02
HA55	1,28 ( $\pm 0,01$ )	5100 - 5400	16,22	63,28	97,38
HA64	1,31 ( $\pm 0,01$ )	4800 - 5200	16,60	64,77	99,67
HA73	1,32 ( $\pm 0,01$ )	4300 - 5100	16,73	65,26	100,43
SAN-G	1,35 ( $\pm 0,01$ )	5350 - 5550	16,48	64,27	98,91
<b>DENSIDAD MATERIAS PRIMAS</b>		* kilogramos de explosivo por metro lineal: $\text{kg/m} = \text{densidad explosivo} \times \phi^2 \times 0,507$			
EMULSION	1,35 gr/cc				
NITRATO DE AMONIO	0,76 gr/cc				
PETRÓLEO	0,85 gr/cc				
		Actualizado el 18/07/17			

Fuente: ENAEX - Asistencia Técnica Antamina (2017)

López Jimeno y otros (2003), indica que la siguiente figura se muestra el efecto que tienen, en cuanto a Potencia Relativa en Volumen (ANFO = 100), diferentes mezclas de ANFO Pesado en función al porcentaje de emulsión. Se aprecia que se llega a un nivel (40% emulsión, densidad = 1.30 g/cc) en donde la potencia deja de aumentar e inclusive disminuye ligeramente. Esto ocurre debido a que, a mayor porcentaje de emulsión, mayor es la separación entre partículas de ANFO, y son estos elementos quienes actúan como puntos calientes y propagadores de la onda de choque.

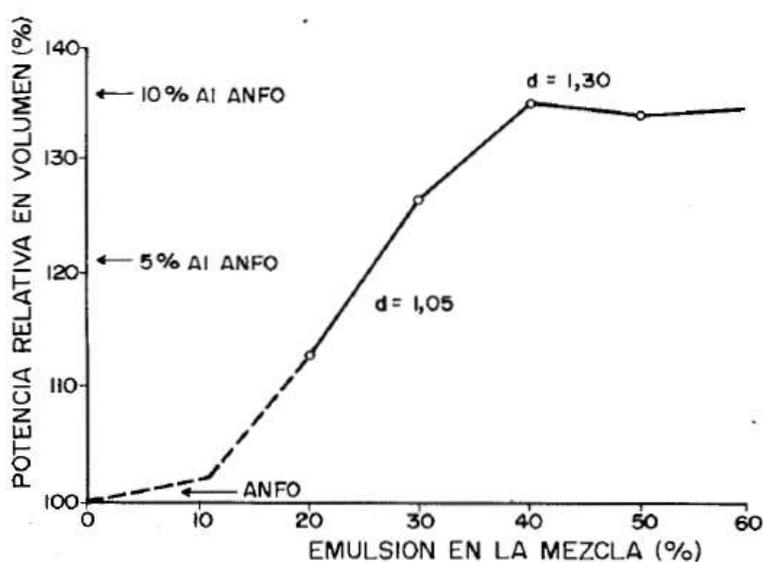


Figura 9. Variación de potencia y densidad de un ANFO pesado en base al porcentaje de emulsión.

Fuente: López Jimeno y otros (2003)

### E. ANFO PESADO GASIFICADO

Espinoza (2016), indica que el proceso de gasificación del ANFO Pesado consiste en formar pequeñas burbujas en la matriz, las cuales actúan en forma de hot spots. Ello permite variar su densidad y sus demás características, según la cantidad del agente gasificante que se dosifique. Esta investigación se enfoca en un ANFO Pesado 73 Gasificable (70% Emulsión, 30% ANFO), llevado a diferentes densidades con tal de conseguir (tanto en costos como fragmentación) resultados similares o mejores a los obtenidos con las mezclas explosivas utilizadas hasta la fecha: ANFO Pesados a base de emulsión matriz.

A continuación, se muestra la gasificación que ocurre en un taladro cargado con ANFO Pesado 73 a base de emulsión Gasificable, frente a otro cargado con ANFO Pesado a base de emulsión matriz, cuya carga lineal no varía debido a que su densidad es constante.

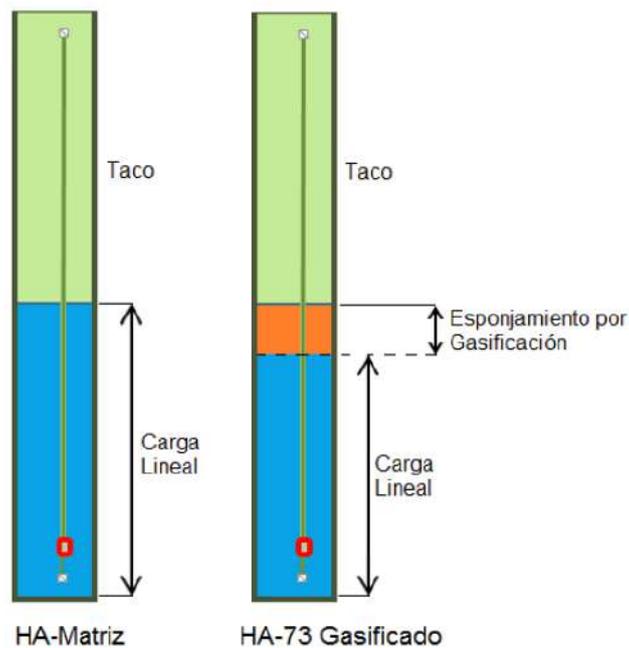


Figura 10. Diseño de carga de taladros con ANFO pesado matriz y ANFO pesado 73 gasificado.

Fuente: Espinoza (2016)

La emulsión que compone el ANFO Pesado Gasificable es básicamente la emulsión matriz, con la adición de ciertos catalizadores que producen la gasificación. Estos le dan propiedades específicas, como alterando su PH, haciéndola una emulsión ácida.

### ❖ SENSIBILIZACIÓN DE LA EMULSIÓN

FAMESA EXPLOSIVOS SAC (2009), indica que el estudio se enfoca en la sensibilización de la mezcla mediante la generación de burbujas de aire por la adición de un agente gasificante, siendo en este caso el nitrito de sodio ( $\text{NaNO}_2$ ). Esta sustancia química reacciona con el nitrato

de amonio ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), generando pequeñas burbujas de gas nitrógeno. A continuación, se muestra la reacción química que ocurre.

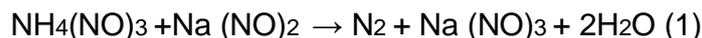


Figura 11. Sensibilización química por la generación de burbujas de nitrógeno.

Fuente: FAMESA EXPLOSIVOS SAC (2009)

La reacción se lleva a cabo de manera muy lenta y con la finalidad de acelerar el proceso de gasificación se agrega ácido acético, el cual se encarga de romper algunas microgotas de emulsión y liberar al nitrato de amonio en su interior para que reaccione con el nitrito de sodio. También es necesario agregar el catalizador tiourea, el cual se encarga de acelerar aún más el proceso de gasificación.

La adición del ácido acético le da un carácter ácido a la emulsión. Asimismo, la cantidad de adición, junto con la tiourea, se determina durante las pruebas del explosivo, debido a que son solamente catalizadores y no intervienen en la reacción de formación del gas nitrógeno.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de nitrito de sodio que es agregado a la mezcla de Heavy ANFO 73 Gasificable para lograr la densidad final deseada, partiendo de una densidad inicial de 1,31 g/cc. Cabe indicar que el tiempo que dura el proceso de gasificación de un taladro es de 25-30 minutos, por lo que se tiene que esperar este tiempo antes de tapan el taladro.

Tabla 5. Parámetro de proceso para la sensibilización del ANFO pesado 73 en el camión fabrica

N°	RANGO DE TEMPERATURA DE ANFO PESADO (°C)	(°C)	PORCENTAJE DE SOLUCION N-20	DENSIDAD A LOS (30min)	PORCENTAJE DEL ANILLO DE AGUA	CAUDAL DE LA MATRIZ (Kg/min)
1	30 °C - 40 °C	37	1,00 %	1,05	1,0% - 2,5%	200 - 300
1	20 °C - 30 °C	26	1,25 %	1,07	1,0% - 2,5%	200 - 300
2	15 °C - 20 °C	18	1,40 %	1,03	1,0% - 2,5%	200 - 300
3	10 °C - 15 °C	12	1,60 %	1,01	1,0% - 2,5%	200 - 300
4	5 °C - 10 °C	8	1,75 %	1,09	1,0% - 2,5%	200 - 300
5	0 °C - 5 °C	3	2,00 %	1,10	1,0% - 2,5%	200 - 300

Fuente: FAMESA EXPLOSIVOS SAC (2009)

### 2.2.6.2. FABRICACION DE HEAVY ANFO 73 CON ACEITE RESIDUAL GASIFICADO

#### ❖ Fabricación con camión fabrica del Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado

FAMESA EXPLOSIVOS SAC (2009) indica que el proceso de fabricación del ANFO Pesado 73 gasificado se muestra en el siguiente gráfico, donde se observa el proceso de fabricación con el sistema vaciable y sistema bombeable.

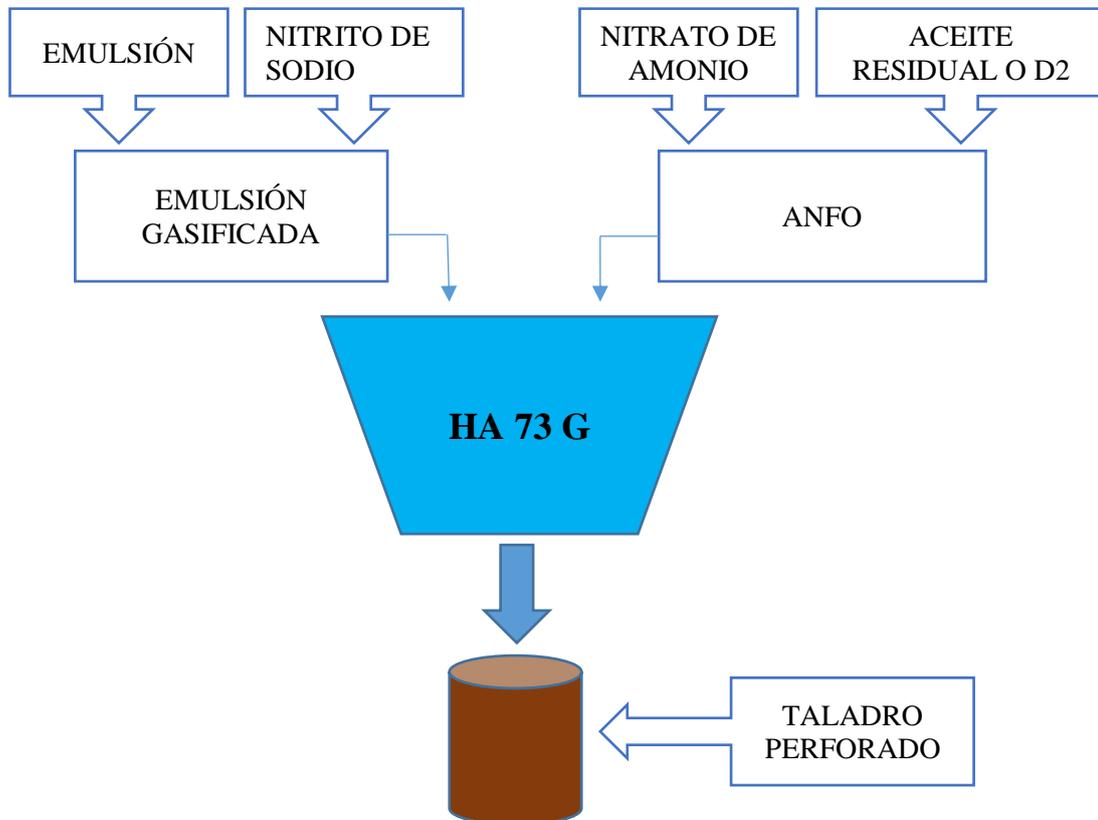


Figura 12. Proceso de gasificación del Heavy ANFO 73 gasificado en el sistema vaciable.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Camión fabrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (vaciabile).  
Fuente: Elaboración propia.

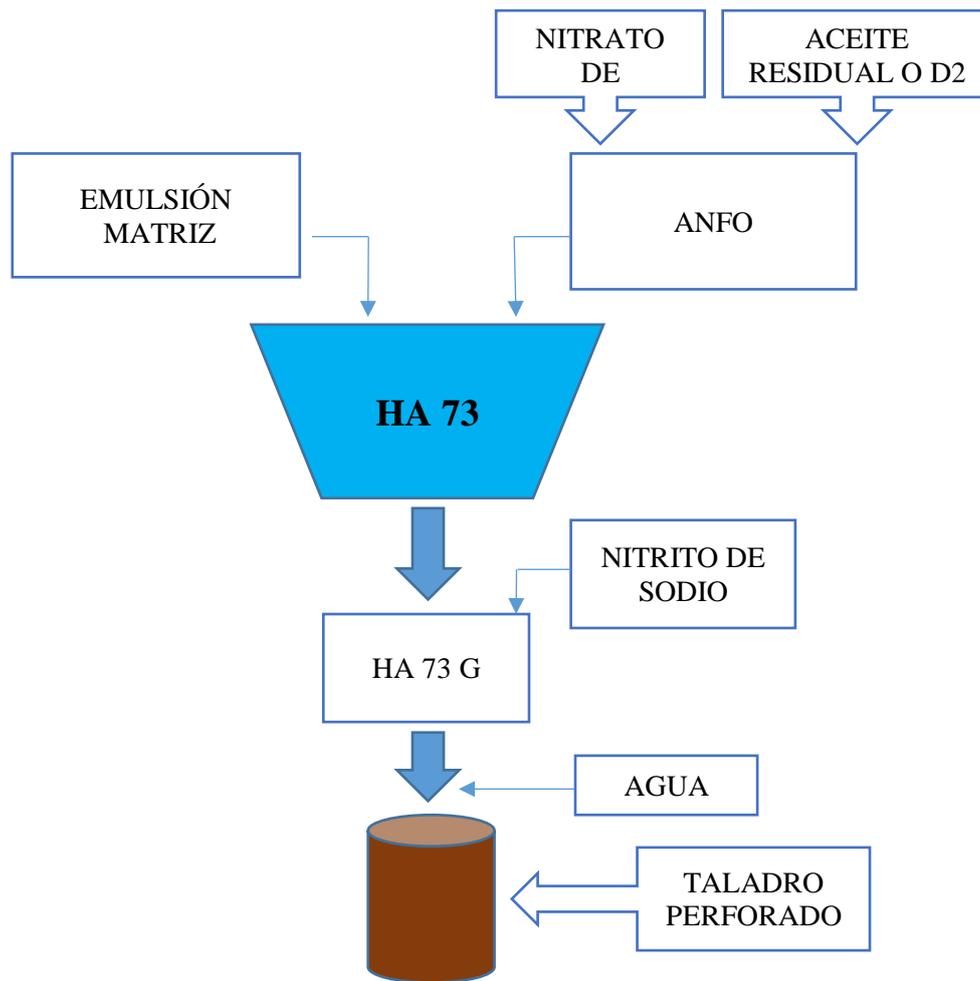


Figura 14. Proceso de gasificación del Heavy ANFO 73 gasificado en el sistema bombeable.



Figura 15. Camión fábrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (bombeable).  
Fuente: (Elaboración propia).



Figura 16. Mezcla óptima de Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado y petróleo.  
Fuente: (Elaboración propia)

### 2.2.6.3. CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO DE LOS EXPLOSIVOS

Espinoza (2016), describen del presente estudio, las características que serán desarrolladas son aquellas que han podido ser medidas en la operación y afectan directamente la calidad de la fragmentación, lo que a su vez se relaciona con la productividad de los equipos de minado, los cuales no pueden ser afectados de manera negativa.

En este sentido, es importante mencionar que los agentes de voladura descritos previamente son fabricados y sensibilizados in-situ por medio de camiones fábrica, por lo que su calidad está ligada a la calibración de los equipos, calidad de componentes y capacidad del operador. Asimismo, los explosivos pueden ser afectados directamente por el medio ambiente que contiene los taladros, como flujos de agua, acidez del agua, fracturamiento de la roca, altas temperaturas, etc. En estos casos no se puede asumir al explosivo como puro con características uniformes debido a que su performance, sensibilidad y otras características propias pueden ser afectadas. Describen el Poder Rompedor o Brisance como la capacidad para fracturar y el efecto destructivo ejercido sobre la roca, por resultado de la descomposición instantánea del explosivo. A su vez, considera que esto es proporcional a la densidad de carga y velocidad de detonación. Estos son los factores analizados en el presente estudio.

#### a) Velocidad de detonación (VOD)

López Jimeno y otros (2003), describen la velocidad de detonación como: “la velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía”. La liberación de energía mencionada, en forma de sonido, calor y gases en un instante de tiempo, es la que se aprovecha para la fragmentación de la roca. Por otro lado, hay diversos factores que afectan la velocidad de detonación como la densidad de carga, diámetro, confinamiento, iniciación y tiempo de espera dentro del taladro. KONYA (1995), indica que la velocidad de detonación es la velocidad a la cual la reacción se mueve a lo largo de la columna de explosivo. Tiene un rango que va de 1 524 a 7 620 m/s en

los productos explosivos comerciales. La velocidad de detonación es una consideración importante para aplicaciones fuera del barrenado, tales como el plasteo o la demolición de elementos estructurales. La velocidad de detonación tiene una importancia menos significativa si el explosivo se usa dentro de un barrenado.

**b) Densidad**

Espinoza (2016), Indica que la densidad es un parámetro crítico en los explosivos, debido a que de éste dependen muchas importantes características como resistencia al agua, velocidad de detonación, poder rompedor, entre otras. Además, los explosivos se compran, almacenan y utilizan en base a su peso. Por tal motivo, la cantidad de explosivo que se diseña para cada taladro está basada en la densidad y por ende sus características para las cuales se diseñó dependen de la calidad del carguío.

López Jimeno, y otros (2003), indica que la calidad para los agentes de voladura es un factor crítico debido a que, si la densidad es muy baja, la columna explosiva se vuelve muy sensible y puede ser iniciada por el cordón detonante, antes de que el booster inicie la detonación desde el fondo del taladro. Por otro lado, si la densidad es muy alta, el agente de voladura pierde la sensibilidad al booster y no inicia.

#### 2.2.6.4. TIPOS DE VOLADURA CONTROLADA

Hidalgo (2003), Tiene como finalidad controlar la energía de los explosivos generando planos de corte que sirven como barreras impidiendo que las ondas de choque atraviesen la zona protegida, obteniendo el perfil planeado.

**a) Voladura de Pre-corte**

Son la primera fila de taladros fijados en la pared final del diseño del talud generalmente con una inclinación de 15 a 30°, con el objetivo de protegerlo, obtener el perfil deseado y generar una línea de debilidad permitiendo crear un plano de fractura y atenuando las vibraciones de la voladura principal, no se cargan.

Cálculo de presión en las paredes para un explosivo desacoplado:

Ecuación 2. 1

$$P_b = 110 * F^n * D_{exp} * VOD^2$$

Ecuación 2. 2

$$F^n = \frac{\emptyset e^2}{\emptyset t^2} * \frac{L}{H}$$

Dónde:

$P_b$  : Presión en las paredes del taladro (MPa)

$D_{exp}$  : Densidad del explosivo (g/cm<sup>3</sup>)

- F : Razón de desacoplamiento; Volumen explosivo y volumen del taladro  
 n : Índice de acoplamiento: 1,25 taladro seco y 0,90 taladro con agua.  
 Øe : Diámetro del explosivo (mm)  
 Øh : Diámetro del taladro (mm)  
 L : Altura de carga (m)  
 H : Altura del taladro (m)  
 VOD : Velocidad de detonación (m/s)

Para minimizar los daños a la pared, el esfuerzo inducido por la línea de pre-corte no debe exceder a la resistencia de la tracción de la roca por lo que para generarlo se requeriría de taladros con separaciones menores que los de la fila de amortiguamiento además de la consideración de la orientación de las discontinuidades en el plano a generar por lo que, se deberá realizar taladros con menor diámetro.

Ecuación 2. 3

$$S = D_t * \frac{(P_b + T)}{T}$$

Dónde:

- S : Espaciamiento (mm)  
 T : Resistencia a la tracción de la roca (MPa)  
 Pb : Presión de detonación (MPa)  
 Dt : Diámetro de taladro (mm)

El factor de carga queda determinado por:

Ecuación 2. 4

$$F_c = \frac{\pi}{4} * \frac{D_t}{(12R + 1)} * \left( \frac{R^{\frac{1}{n}} * D_{exp}^{\left(\frac{1}{n}\right)} * UCS^{\frac{1}{n}}}{110^{\frac{1}{n}} * VOD^{\frac{2}{n}}} \right)$$

Dónde:

- Fc : Factor de carga (Kg/m<sup>2</sup>)  
 n : Índice de acoplamiento  
 R : Relación Pb/UCS  
 UCS : Resistencia a la compresión no confinado (MPa)  
 Dexp : Densidad del explosivo (gr/cm<sup>3</sup>)  
 Dt : Diámetro de taladro (mm)  
 VOD : Velocidad de detonación (km/s)

La velocidad de detonación deberá ser establecida por una diferencia máxima de 100 ms previo a los taladros de producción.

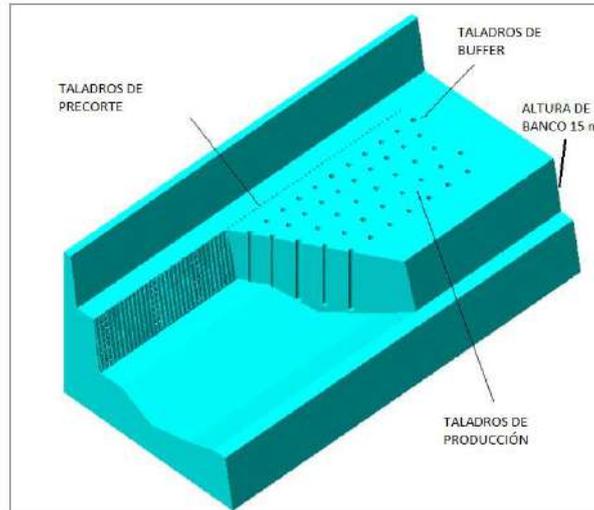


Figura 17. Diseño de malla de perforación  
Fuente: Manual especialista de voladura

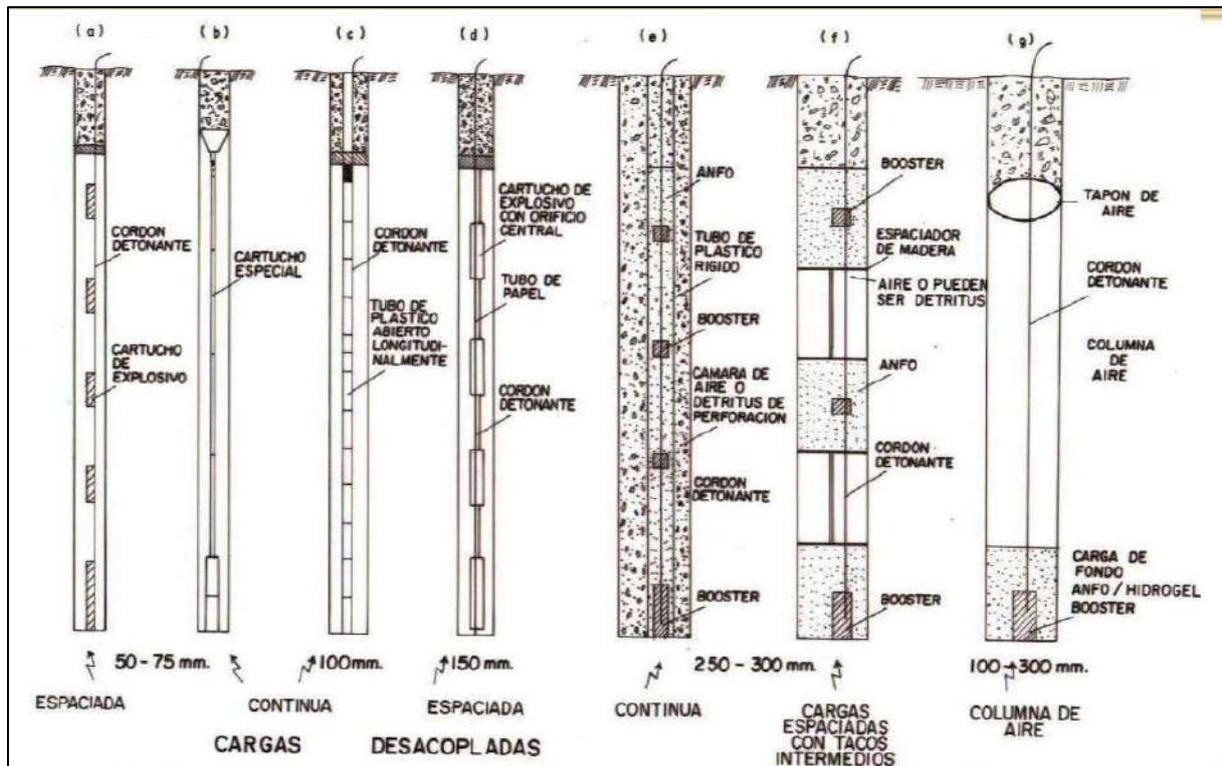


Figura 18. Diseño de carga taladro precorte  
Fuente: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú

## b) Voladura amortiguada

Este tipo de voladura genera control sobre la roca volada y su dirección, permitiendo que los equipos se ubiquen a una distancia prudente sin mayor riesgo. Su diseño implica tener un menor diámetro de taladro, burden y espaciamiento en comparación con los taladros de producción.

Para decidir sobre diámetro de perforación y factor de potencia se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- Si :  $\emptyset\text{Tal. amort} = \emptyset\text{Tal. prod}$ ; B y S deben reducirse en 0,60 a 0,80 veces.
- Si :  $\emptyset\text{Tal. amort} < \emptyset\text{Tal.prod}$ ; B y S deben aumentarse en 0,70 a 0,90 veces.
- Fc Tal Amort.  $\approx$  al Fc Tal Prod.

Para disminuir la presión en las paredes se debe reducir el burden 0,50 a 0,80 y aumentar el espaciamento 1,25 veces en relación a los taladros de producción.

### c) Voladura de producción

Su principal objetivo es separar el elemento de interés del macizo rocoso además de la correcta fragmentación (granulometría) para su fácil transporte y procesamiento el cual sigue un diseño apropiado.

#### Diseño de voladura de producción:

Abarca conceptos de geología, geomecánica y termoquímica que al ser canalizados mediante la matemática para su desarrollo se obtiene el fundamento necesario para la toma de decisión del diseño final que servirá como elemento para futuros análisis y mejoras, el diseño de la voladura posee variables que se pueden controlar son: Geométricas (diámetro, longitud de carga, burden, espaciamento, etc.), Químico – Físicas (tipo de explosivo, densidad, potencia, energía) y la iniciación (retardo y secuencia de iniciación).

Variabes de diseño:

- Altura de banco
- Diámetro de taladro
- Sobre perforación
- Burden
- Espaciamento
- Taco
- Energía
- Presión de detonación
- Resistencia al agua
- Velocidad de detonación
- Densidad de explosivo
- Temperatura
- Factor de potencia
- Carga lineal
- Inclinación

**Diámetro de perforación:**

La elección del diámetro del taladro estará en función al ritmo de producción y resistencia de la roca, teniendo en cuenta que a mayor diámetro habrá mayor roca volada sin embargo no necesariamente con los resultados deseados.

Tabla 6. Diámetro de taladro recomendado

DIAMETRO DEL BARRENO (mm)	PRODUCCIÓN HORARIA MEDIA (m <sup>3</sup> b/h)	
	Roca blanda – media < 120 MPa	Roca dura – muy dura > 120 MPa
65	190	60
89	250	110
150	550	270

Fuente: Manual López Jimeno 2003

**Altura de banco:**

La altura de banco se obtiene en función al equipo de carga (alcance y características, dilución) y el diámetro del taladro. Dicha altura de banco varia de 8 a 15 metros teniendo en cuenta que a mayor altura se presentan desviaciones mayores en la perforación, que deberán ser evaluados para obtener un factor de seguridad mayor a 1 (análisis de taludes).

La relación de esbeltez  $Sr$  se define como:

Ecuación 2. 5

$$Sr = \frac{Hb}{B}$$

Dónde:

Hb : Altura de banco (m)

B : Burden (m)

Si:

$Sr > 2$  es bueno

$Sr = 3$  es óptimo

$Sr < 2$  es malo

Ejemplo: Diseño Antamina 2017

Hb : 15 m

B : 7 m

$Sr = 15/7 = 2,14$  (es correcto)

Tabla 7. Altura de banco recomendada

ALTURA DE BANCO H (m)	DIAMETRO DEL BARRENO D(mm)	EQUIPO DE CARGA RECOMENDADO
08-10	65 - 90	Pala de ruedas
10-15	100 - 150	Excavadora hidráulica o de cables

Fuente: Manual López Jimeno 2003

### Sobre perforación:

Es la longitud adicional perforada con la finalidad de obtener el correcto perfil del piso y asegurar la fragmentación y desplazamiento adecuado del material, se tiene las siguientes consideraciones para su determinación:

- Si la sobre perforación es pequeña no obtendrá la correcta geometría del pie del banco por lo que se inducirá a voladura secundaria con mayor gasto.
- Si la sobre perforación es excesiva se producirá un aumento en el nivel de vibraciones obteniendo una fragmentación distinta a la deseada y sobre excavación.

Las formas de calcular la sobre perforación son las siguientes:

Ecuación 2. 6

$$Sp = K \times \varnothing tal$$

Ecuación 2. 7

$$Sp = 0,3 \times B$$

Donde:

$Sp$  : Sobre perforación (m)

$K$  : 8–12

$\varnothing tal$  : Diámetro del taladro (m)

$B$  : Burden (m)

### Taco

Es la longitud del taladro que se rellena con material estéril con el objetivo de contener la energía liberada, tiene las siguientes consideraciones:

- Si se excede en la longitud del taco se genera bloques en la parte alta del banco (mala fragmentación).
- Si el diámetro de la carga (mm) dividido por la longitud del taco (m) es mayor que 55 se puede producir flyrock.

Ecuación 2. 8

$$T = K \times \varnothing tal$$

Ecuación 2. 9

$$T = 0,7 \approx 1,6 \times B$$

Donde:

T : Taco (m)

B : Burden (m)

 $\varnothing_{tal}$  : Diámetro del taladro (mm)

K : 20 a 35 en función a tipo de material a usar

**Burden**

Se refiere a la dimensión del borde, se define como la distancia más corta a la cara libre al momento de la detonación, el cálculo del burden es una de los parámetros más influyentes y críticos en el diseño, si el burden es excesivo se formarán cráteres en la zona, mala fragmentación, problemas de perfil en el pie de banco y al contrario si el burden es demasiado pequeño se producirá flyrock, excesiva fragmentación, nivel de vibraciones alto, para su determinación se emplean los siguientes modelos matemáticos:

**Modelo de Anderson:**

Considera que el burden está en función al diámetro y longitud del taladro.

Ecuación 2. 10

$$B = \sqrt{D * L}$$

Donde:

B : Burden (m)

D : Diámetro del taladro (pies)

L : Longitud del taco (pies)

**Modelo de R. Ash:**

Ecuación 2. 11

$$B(\text{pies}) = \left( \frac{K_B \times D(\text{pulg})}{12} \right)$$

Dónde:

K<sub>b</sub> : Depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado.Tabla 8. Valores para K<sub>b</sub>

TIPO DE EXPLOSIVO	CLASE DE ROCA		
	BLANDA	MEDIA	DURA
Baja densidad (0,8 a 0,9 g/cm <sup>3</sup> ) y baja potencia.	30	25	20
Densidad media (1,0 a 1,2 g/cm <sup>3</sup> ) y potencia media.	35	30	25
Alta densidad (1,3 a 1,6 g/cm <sup>3</sup> ) y potencia media.	40	35	30

Fuente: Manual López Jimeno 2003

Profundidad de barreno	: $L=K_L \times B$ ( $K_L$ entre 1,5 y 4)
Sobreperforación	: $J=K_J \times B$ ( $K_J$ entre 0,2 y 0,4)
Retacado	: $T=K_t \times B$ ( $K_t$ entre 0,7 y 1)
Espaciamiento	: $S=K_S \times B_2$
$K_S$	: 2,0 para iniciación simultánea.
$K_S$	: 1,0 para barrenos secuenciados con mucho retardo.
$K_S$	: Entre 1,2 y 1,8 para barrenos secuenciados con pequeño retardo.

### Modelo de Konya:

Ecuación 2. 12

$$B = \left( \frac{2\delta e}{\delta r} + 1,5 \right) \times d$$

Dónde:

B	: Burden (m)
$\delta e$	: <i>Densidad del explosivo</i>
$\delta r$	: <i>Densidad de la roca</i>
d	: Diámetro de la carga (pulg)

Otras variables de diseño determinadas a partir del burden son:

Espaciamiento (pies)

- Barrenos de una fila instantáneos

Ecuación 2. 13

$$H < 4B \quad S = \frac{H + 2B}{3}$$

Ecuación 2. 14

$$H \geq 4B \quad S = 2B$$

- Barrenos de una fila secuenciados

Ecuación 2. 15

$$H < 4B \quad S = \frac{H + 7B}{8}$$

Ecuación 2. 16

$$H \geq 4B \quad S = 1.4B$$

Retacado (pies) :  $T = 0,7 B$

Sobreperforación (pies) :  $J = 0,3 B$

### Modelo de Pearse:

Utilizando el concepto de la energía de detonación por unidad de volumen obtuvo la siguiente ecuación:

Ecuación 2. 17

$$B = K_V \times 10^{-3} \times D \left(\frac{PD}{RT}\right)^{1/2}$$

Donde:

B : Burden máximo (m)

$K_V$  : Constante que depende de las características de las rocas (0,7 a 1,0).

D : Diámetro del barreno (mm)

PD : Presión de detonación del explosivo (kg/cm<sup>2</sup>)

RT : Resistencia a tracción de la roca (kg/cm<sup>2</sup>)

### Modelo de López Jimeno

Modificó la fórmula de Ash incorporando la velocidad sísmica del macizo rocoso, por lo que resulta:

Ecuación 2. 18

$$B = 0,76 \times D \times F$$

Donde:

B : Burden (m)

D : Diámetro del barreno (pulg).

F : Factor de corrección en función de la clase de roca y tipo de explosivo.

Ecuación 2. 19

$$F = f_c \times f_e$$

Ecuación 2. 20

$$f_r = \left(\frac{2,7 \times 3500}{\delta_r \times VC}\right)^{0,33}$$

Ecuación 2. 21

$$f_e = \left(\frac{\delta_e \times VD^2}{1,3 \times 3360^2}\right)^{0,33}$$

Donde:

$\delta_r$  : Densidad de la roca (g/cm<sup>3</sup>)

VC : Velocidad sísmica de propagación del macizo rocoso (m/s)

$\delta_e$  : Densidad de la carga de explosivo (g/cm<sup>3</sup>)

VD : Velocidad de detonación del explosivo (m/s)

La fórmula indicada es válida para diámetros entre 165 y 250 mm. Para barrenos más grandes el valor del burden afectara de un coeficiente reductor de 0,9.

### Espaciamiento

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

Si se tiene espaciamentos muy pequeños se produce un exceso de fragmentación y bloques inestables en el talud, en cambio si el espaciamento es de gran tamaño se produce mala fracturación, mal perfil en el pie de banco y una cara libre irregular, generalmente el espaciamento se calcula de la siguiente forma:

Ecuación 2. 22

$$E = 1,3 \cong 1,5 \times B$$

Donde:

E : Espaciamiento (m)

B : Burden (m)

### **Inclinación de taladros**

Dentro del diseño de voladura una de las variables de control es el ángulo del taladro que proporciona las siguientes ventajas:

- Mejor fragmentación, desplazamiento manteniendo la uniformidad del perfil deseado.
- En ciertos diseños se usa para evitar tiros cortados.
- Genera taludes más estables y seguros para los nuevos bancos.
- Contribuye a la eficiencia de las palas cargadoras debido al buen apilamiento y menor altura.
- Menos sobre perforación por lo tanto menos consumo de explosivo.

#### **2.2.7. GEOMECÁNICA EN LA VOLADURA DE ROCAS**

Manual López Jimeno (2003), En el diseño de la voladura las propiedades (físicas, mecánicas) y rasgos del macizo rocoso determinan la geometría de la voladura, el tipo de explosivo, energía, cantidad y retardos. El macizo rocoso se compone de roca intacta y discontinuidades que son de vital importancia en la determinación del burden y espaciamento.

### **CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA**

Los sistemas de clasificación geomecánica para identificar el macizo rocoso son 4: RQD (Deere, 1964), RMR (Bieniawski, 1989), Q (Barton, 1974), GSI (Hoek y Marino, 2000).

#### **ÍNDICE RQD**

Deere (1964), Es un estimado numérico de la calidad de roca obtenido a partir de los números de testigos de la perforación diamantina mayores a 10 cm, numero de fisuras por metro.

Ecuación 2. 23

$$RQD(\%) = \left( \frac{\# \text{Testigos} > 10 \text{ cm}}{\text{Long total}} \right) \times 100$$

Tabla 9. Índice de calidad de Deere

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

Fuente: Manual López Jimeno 2003

La determinación del RQD cuando no se dispone de núcleos se puede hallar directamente por: número de fisuras por unidad de volumen, se requiere de la cantidad de discontinuidades por metro cubico.

Ecuación 2. 24

$$RQD = 115 - 3,3 J_v$$

Dónde:

$J_v$  : Sumatoria de numero de juntas o fisuras por  $m^3$

Ecuación 2. 25

$$RQD = 100e - 0,1\lambda \times (0,1\lambda + 1)$$

Dónde:

$\lambda$  : Numero de fisuras por metro lineal

### ÍNDICE RMR

Bieniawski (1989), hace la valoración de la roca considerando cinco aspectos: Resistencia de la roca intacta (compresión axial), índice de calidad de roca, espaciamiento entre discontinuidades, estado de las discontinuidades, agua.

Ecuación 2. 26

$$RMR = (\sigma + RQD + S + J + W) - At$$

Dónde:

$At$  : Ajuste por orientación de discontinuidades

$\sigma$  : Compresión axial

RQD : Índice de calidad de roca

S : Espaciamiento entre discontinuidades

J : Estado de las discontinuidades

W : Agua

Tabla 10. Clasificación RMR

CALIDAD	RMR
Regular	57
Muy mala	37
Mala	56
Muy mala	37
Muy mala	44
Muy mala	39
Muy mala	28
Mala	53
Muy mala	41
Buena a excelente	67

Fuente: Compañía minera San Simón S.A

### ÍNDICE Q

Barton (1974), hace la valoración de la roca considerando seis aspectos: RQD, número de juntas, rugosidad de las juntas, alteración de juntas, agua y el factor de reducción de esfuerzos.

Ecuación 2. 27

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

RQD : Índice de calidad de roca

J<sub>n</sub> : Parámetro basado en el número de familias de discontinuidades

J<sub>r</sub> : Parámetro basado en la rugosidad de las discontinuidades

J<sub>a</sub> : Parámetro basado en la alteración de las discontinuidades

J<sub>w</sub> : Parámetro basado en la presencia de agua

SRF : Factor de reducción de esfuerzos

Tabla 11. Interpretación del índice Q

DESCRIPCIÓN	Q
Roca excepcionalmente mala	0,001-0,01
Roca extremadamente mala	0,01-0,1
Roca muy mala	0,1-1
Roca mala	1-4
Roca regular	4-10
Roca buena	10-40
Roca muy buena	40-100
Roca extremadamente buena	100-400
Roca excepcionalmente buena	400-1000

Fuente: Minera San Simón S.A



Estos camiones fábrica pueden transportar y cargar taladros con cualquier explosivo que sea hecho básicamente a granel como:

- Heavy ANFO
- ANFO
- ALANFO
- Emulsiones



Figura 19. Camión fábrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (vaciable).  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 20. Camión fábrica descargando Heavy ANFO 73 gasificado (Bombeable).  
Fuente: Elaboración propia.

### Explosivos Cargados con Camiones Fábrica

- ANFO:** Es un explosivo de alto orden, consiste en la mezcla de nitrato de amonio y el combustible Diesel (petróleo) en una proporción de 94,5% y 5,5% respectivamente en peso. La resistencia al agua de este explosivo es nula.

El uso del ANFO se ha convertido en el explosivo preferido en minería debido a su relativo bajo costo en comparación con los demás explosivos.

- b) **Heavy ANFO:** Este explosivo se usa cuando los taladros tienen problemas de infiltración de agua, esta mezcla es básicamente proporcional en peso entre el ANFO normal y emulsión o hidrogel, en el mercado de los explosivos con camiones fábrica se puede obtener heavy ANFO en toda proporción 70/30 45/55 etc. Esto dependerá de la razón del problema con el agua en los taladros.

En el caso de los camiones fábrica de heavy ANFO, estos cuenta con 4 compartimentos

- Tanque de agua
- Tanque de Diésel
- Tanque de aceite hidráulico.
- Tolva de Nitrato de Amonio: 3 compartimentos individuales de igual capacidad. La tolva intermedia puede almacenar matriz de emulsión para fabricar Heavy ANFO.

- c) **EMULSIÓN GASIFICADA:** Sistema que contiene dos fases líquidas naturalmente inmiscibles entre sí, una de las cuales es dispersa como pequeñas gotas dentro de la otra.

En el caso de los camiones fábrica de emulsión, estos cuenta con 3 compartimentos:

- Tanque de emulsión matriz
- Tanque de solución sensibilizante
- Tanque de lubricante (agua)

### 2.3. DEFINICION DE TÉRMINOS

**Aceite residual.** - Es conocido como aceite quemado o aceite usado.

**Agente explosivo.** - Agente explosivo mezcla de sustancias combustibles y oxidantes que no son intrínsecamente explosivos por separado.

**ANFO.** - Agente explosivo mezcla de nitrato amónico y gas-oil.

**ANFO Pesado.** - Agente explosivo constituido por una mezcla de emulsión y ANFO.

**Banco.** - Unidad básica de explotación en forma de gran escalón constituido por un plano vertical, o frente, y un plano horizontal, o plataforma de trabajo.

**Burden.** - Es la distancia más corta al punto de alivio al momento que el taladro detona, es uno de los factores más importantes en el diseño de voladura.

**Carga conformada.** - Explosivo preparado con una configuración geométrica especial, empleado fundamentalmente en la fragmentación secundaria y en demoliciones.

**Carga de columna.** - Explosivo colocado por encima de la carga de fondo y que llega hasta el retacado.

**Carga de fondo.** - Explosivo, generalmente de alta potencia, situado en la parte inferior de un barreno.

**Carga operante.** - Suma de las cargas de explosivo que se considera que detonan en un intervalo de tiempo inferior a 8 m/s dentro de una voladura.

**Cebada axial.** - Sistema de iniciación de una carga de explosivo mediante un cordón detonante a lo largo de ella.

**Cebada puntual.** - Sistema de iniciación con un cebo colocado generalmente en el fondo o en la cabeza de la columna de explosivo.

**Cebo.** - Carga de explosivo de alta potencia y sensibilidad, en la que se sitúa el iniciador, y que sirve para aumentar el rendimiento de otros explosivos.

**Circuito de voladura.** - Circuito eléctrico utilizado para disparar uno o más detonadores.

**Conectador.** - Accesorios de voladuras empleados para unir los cordones detonantes o hilos de los detonadores eléctricos.

**Consumo específico.** - Cantidad de explosivo empleada por tn o m<sup>3</sup> de roca volada.

**Cordón detonante.** - Cordón con cubierta de plástico o ánima de un explosivo potente y alta velocidad de detonación usado para iniciar las cargas de explosivo y transmitir la detonación.

**Detonación.** - Reacción explosiva que consiste en la propagación de una onda de choque a través del explosivo acompañada por una reacción química en la que se libera una gran cantidad de gases a alta presión y temperatura.

**Detonador.** - Accesorio de iniciación en forma de cápsula detonante que puede ser en los eléctricos de retardo (0,5 s), de microrretardo (20 ó 30 m/s) o instantáneos. También se diferencian en función del impulso de encendido.

**Dilución.** - Mezcla del mineral con material estéril o sin valor.

**Elemento de retardo.** - Accesorio de iniciación que sirve para desfasar en el tiempo el instante de detonación de una carga con respecto a otra.

**Emulsión.** - Agente explosivo en el que el nitrato amónico está disuelto en agua y en forma de pequeñas gotas rodeadas de un combustible.

**Espaciamiento.** - Distancia entre barrenos de una misma fila.

**Esponjamiento.** - Aumento del volumen de una roca después de ser troceada.

**Explosión.** - Proceso termoquímico en el que una mezcla de gases, líquidos o sólidos reaccionan con la formación instantánea de gases a alta presión y temperatura.

**Explosivo.** - Sustancia o mezcla de sustancias que por liberación súbita de su energía produce una sobre presión en sus alrededores seguida de llama y ruido.

**Fila.** - Serie de barrenos alineados en una voladura.

**Fragmentación.** - Tamaño de los trozos de roca volada.

**Frente.** – Superficie Libre en una voladura.

**Hidrogel.** - Papilla explosiva constituida por una solución acuosa con nitrato de amonio sensibilizada por un combustible y espesada con aditivos gelificantes.

**Humos.** - Gases peligrosos o nocivos producidos en una voladura.

**Inicacion.** - Acto de detonar un explosivo por medio de un detonador o cualquier otro accesorio.

**Iniciador.** - Accesorio de voladura empleado para hacer detonar un explosivo.

**Línea de pega.** - Cable eléctrico utilizado para conectar la voladura al explosor.

**Microesferas.** - Pequeñas esferas de vidrio o plástico que se adicionan a los explosivos para aumentar la sensibilidad.

**Microrretardo.** - Desfase de tiempo en milisegundos con que se fabrican diversos accesorios de voladura, detonadores, relés, etc.

**NG.** – Nitroglicerina ( $C_3H_5N_3O_9$ )

**Onda de detonación.** - Onda de choque que se propaga por la carga de explosivo a una velocidad superior a la del sonido en ese medio.

**PETN.** - Pentrita (Pentaeritritoltetranitrato). Explosivo de alta potencia empleado en los cordones detonantes y como carga base de los detonadores.

**Pila de material.** - Conjunto de roca fragmentada después de una voladura.

**Polvo de perforación.** - Partículas de roca procedentes de la perforación de un barreno.

**Potencia.** - Propiedad de un explosivo medida por diversos métodos y que expresa la capacidad del mismo para realizar un trabajo.

**Precorte.** - Voladura de contorno constituida por barrenos que se disparan antes que las voladuras de destroza y que crean un corte o plano de fisuración en las rocas.

**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.

**Pril|.** - Pequeña esfera porosa de nitrato-amónico.

**Proyección.** - Lanzamiento de fragmentos de roca en una voladura.

**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.

**Sensibilizante.** - Ingrediente usado en los explosivos para aumentar la facilidad a la iniciación o propagación de las reacciones.

**Talud.** - Relación entre la proyección horizontal y la altura del frente de un banco.

**Velocidad de detonación.** - Velocidad a la que la onda de detonación se propaga en una carga de explosivo.

**Vibración.** - Movimiento oscilante de un medio sólido o líquido al paso de una onda elástica.

**Voladura.** - Fragmentación de la roca y otros materiales sólidos mediante explosivos confinados en barrenos o adosados a su superficie.

**Voladura amortiguada.** - Voladura disparada después de la principal, constituida por cargas desacopladas y poco espaciadas para producir taludes competentes.

**Voladura controlada** Técnica de voladura usada para controlar la sobre excavación y producir un talud final competente. Puede ser de pre corte, recorte, perforación en línea, voladura amortiguada, etc.

**Voladura de proyección.** - Voladura realizada para desplazar la mayor distancia posible la roca fragmentada.

**Voladura secundaria.** - Técnica de voladura empleada para trocear los bolos producidos en las voladuras principales.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES

- **VARIABLE INDEPENDIENTE**

Heavy ANFO 73 gasificado

- **VARIABLE DEPENDIENTE**

Optimización de voladura

#### 3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 13. Variables, indicadores e índices

VARIABLE	INDICADORES	INDICE
<b>INDEPENDIENTE</b> Heavy ANFO 73 gasificado	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Velocidad de detonación</li> <li>• Densidad</li> <li>• Viscosidad</li> <li>• Temperatura</li> <li>• Porcentaje de mezcla de Heavy ANFO y Aceite residual.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• mm/s</li> <li>• gr/cm<sup>3</sup></li> <li>• cP</li> <li>• °C</li> <li>• %</li> </ul>
<b>DEPENDIENTE</b> Optimización de voladura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Costos de voladura.</li> <li>• Fragmentación</li> <li>• Factor de potencia</li> <li>• Porcentaje de generación de gases nitrosos</li> <li>• Diseño de malla (B x S)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• \$/tn</li> <li>• Granulometría en P80</li> <li>• Kg/tn</li> <li>• %</li> <li>• m</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia

#### 3.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

- El Heavy ANFO 73 Gasificado influye significativamente en la optimización de la voladura en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.

##### 3.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICO

- El Heavy ANFO 73 Gasificado reduce significativamente los costos de voladura en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.

- El Heavy ANFO 73 gasificado incrementa la tonelada volada en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.
- El Heavy ANFO 73 Gasificado aporta positivamente en el cuidado del medio ambiente en el nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha, Antamina 2017.

### 3.4. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Es un trabajo de investigación descriptivo, correlativo y aplicativo porque tiene en cuenta la reducción de costos para la empresa mediante el reemplazo de petróleo por aceite lubricante residual.

### 3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.5.1. POBLACIÓN

La población del presente estudio lo conforma el tajo Yanacancha en la Unidad Operativa Antamina.

#### 3.5.2. MUESTRA

Nivel 3968 fase 5 tajo Yanacancha en donde se evaluará los datos para el presente trabajo de Investigación.

- Técnica de muestreo.

Como las técnicas de muestreo se empleará el muestreo no probabilístico.

- Tamaño y cálculo de muestra.

El tamaño de la muestra conforma el nivel 3968 fase 5 del tajo Yanacancha.

### 3.6. PROCEDIMIENTO DE INVESTIGACIÓN

Se refiere primero a la recolección de información de las fuentes primarias como son los libros, monografías, tesis, trabajos presentados en seminarios; de fuentes secundarias como reportes y artículos. Así como también información de campo el cual se procederá a su respectivo análisis con la presentación de tablas, formatos y uso de paquete Informático.

### 3.7. MATERIALES DE INVESTIGACIÓN

Revisiones bibliográficas, antecedentes de otros proyectos de investigación, así como antecedentes o estudios dentro de la unidad minera como reportes de voladura, reportes de laboratorio, análisis estadísticos.

### 3.7.1. INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

Los instrumentos a usar en el proyecto de investigación son:

**a) Materiales**

- Útiles de escritorio
- Material de impresión
- Folletos

**b) Equipos**

- Kit de medición de densidad (balanza, vasos, termómetro, nivel, calculadora, cronometro)
- Viscosímetro Brookfield (Medición de la viscosidad en la emulsión matriz)
- Densímetro (Medición de la densidad del petróleo y aceite lubricante residual)
- Computadora
- Cámara fotográfica
- Impresora

**c) Software**

- Microsoft office
- Blastplan
- AutoCAD

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS

#### 4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

##### 4.1.1. ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE LOS PARAMETROS EN LABORATORIO

###### a) Medición de la densidad del nitrito de sodio



Figura 21. Medición con densímetro nitrito de sodio.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Densidad del nitrito de sodio

DENSIDAD(g/cm <sup>3</sup> )	Nitrito de sodio (N-30)
	1,123

Fuente: Elaboración propia

###### b) Medición de los parámetros del aceite residual



Figura 22. Medición de la densidad del aceite residual  
Fuente: Elaboración propia

Tabla 15. Resultado de la medición de parámetros

PARAMETROS	ACEITE RESIDUAL
VISCOSIDAD (cP)	161,1
TEMPERATURA (°C)	13,5
MUESTRA	DENSIDAD(g/cm <sup>3</sup> )
1	0,865
2	0,865
3	0,865
PROMEDIO	0,865

Fuente: Elaboración propia



Figura 23. Brookfield viscometer

Fuente: Elaboración propia

### c) Medición de la densidad de nitrato de amonio



Figura 24. Nitrato de amonio

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Medición de nitrato

PARAMETROS	MUESTRA	NITRATO DE AMONIO
DENSIDAD(g/cm <sup>3</sup> )	1	0,722
	2	0,718
	3	0,724
PROMEDIO		0,721

Fuente: Elaboración propia

d) **Medición de los parámetros de la emulsión.**

Figura 25. Medición de los parámetros de la emulsión

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17. Medición de los parámetros en emulsión

PARAMETROS	EMULSION
VISCOSIDAD (cP)	18 000
TEMPERATURA (°C)	24,6
DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )	1,35

Fuente: Elaboración propia

e) **Medición de los parámetros del ANFO**

Figura 26. ANFO a base de aceite residual

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Medición de la densidad del ANFO

MUESTREO	ANFO (gr/cm <sup>3</sup> )
1	0,738
2	0,740
3	0,740
PROMEDIO	0,739

Fuente: Elaboración propia

**f) Medición de los parámetros Heavy ANFO 73 Gasificado con aceite residual gasificado**

Tabla 19. Parámetros de la medición Heavy ANFO 73 Gasificado con aceite residual

HA 73 G -ACEITE RESIDUAL (LABORATORIO)	
% N-20	0,8
T. EMULSION (°C)	23,4
T. HA 73 (°C)	19,9
TIEMPO (min)	DENSIDAD (g/cm <sup>3</sup> )
0	1,325
2	1,243
5	1,137
10	1,102
15	1,096
20	1,094
30	1,094

Fuente: Elaboración propia

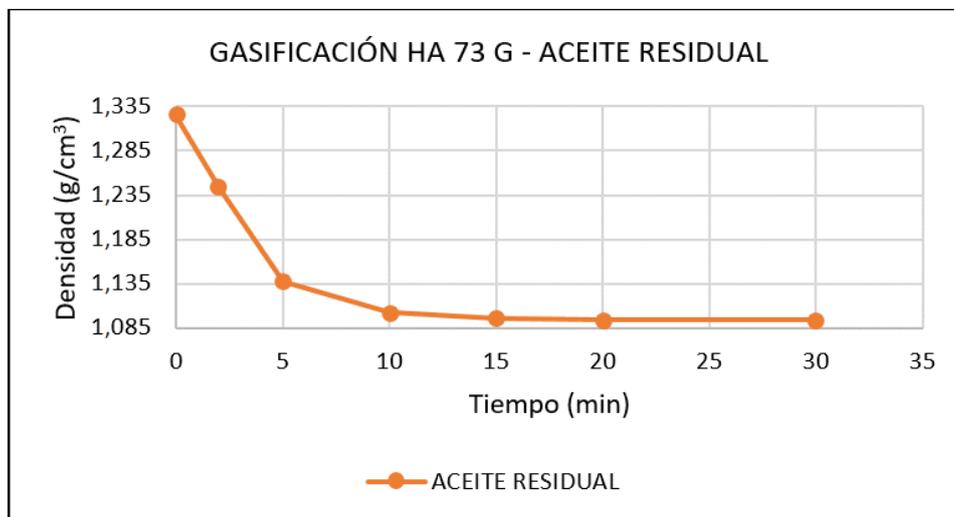


Figura 27. Curva de gasificación del Heavy ANFO 73 Gasificado con aceite residual gasificado

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.2. PRUEBA DE MACROHESS

La Prueba de Macrohess, es la medida del “contenido de energía” del explosivo y del trabajo que puede efectuar. El poder rompedor del explosivo es determinado por el aplastamiento de un cilindro de plomo mediante el disparo de una masa de explosivo colocada en la parte superior del cilindro. La diferencia entre su altura original y la que se obtiene después del aplastamiento se mide en milímetros (mm), siendo este valor el índice de brisance o poder rompedor.

El poder rompedor es una característica del explosivo que nos indica la capacidad de fragmentar un material, creando nuevas fisuras debida a la onda de detonación.

##### a) EXPRESIÓN DE RESULTADOS

El poder rompedor o Macrohess se expresa en mm y se calcula con la siguiente formula:

Ecuación 4. 1

$$E = H - h$$

Dónde:

E : Efecto de rotura o Macrohess (mm).

H : Altura del bloque cilíndrico de plomo antes de la detonación (mm).

h : Altura del bloque cilíndrico de plomo después de la detonación (mm).

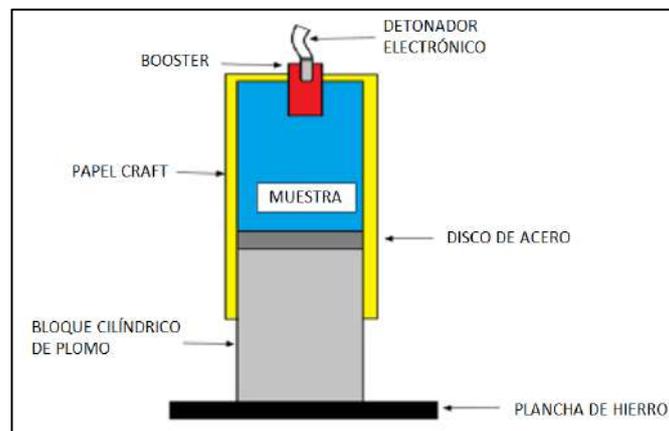


Figura 28. Prueba de macrohess.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos de las pruebas respecto a la determinación del poder rompedor (MACROHESS) de Heavy ANFO 73 Gasificable en muestras correspondientes a ANFO (100% Diésel) y ANFO (100% Aceite residual).

El objetivo primordial del presente está orientado a identificar cuál de los Heavy ANFO Gasificable evaluados tiene mejor poder rompedor.

Las pruebas se efectuaron en la Fase 5 sur teniéndose dos muestras, las cuales fueron preparadas manualmente, en las mismas condiciones (Temperatura: 6,4 °C y % de Solución N-20: 0,85)

##### b) EQUIPOS Y MATERIALES DE TRABAJO

- Equipo de protección personal: Zapatos punta de acero, chaleco, casco, lentes de seguridad, protector auditivo, traje químico y guantes de nitrilo.

- Hojas de papel Kraft de 90 g/m<sup>2</sup> de 71,6 cm por 45,5 cm (3 unidades).
- Planchas cuadradas de fierro de aproximadamente 150 mm de lado y 15 mm de espesor (3 unidades).
- Balanza electrónica.
- Pie de rey o calibrador.
- Rollo de cinta crepe.
- Detonador electrónico (2 unidades).
- Booster de 150 g (2 unidades).
- Bloques cilíndricos de plomo de 100 mm de diámetro x 175 mm de altura, con una pureza de 99,9% procedente de la primera fusión y sin la presencia de rajaduras o fallas de fundición (2 unidades).
- Discos de acero ASSAB 705 de 100 mm de diámetro x 12,5 mm de espesor (2 unidades).
- 3 kg de de ANFO Pesado 73 Gasificable por muestra.



Figura 29. Preparación de las muestras para la prueba de macrohess

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Muestras del Heavy ANFO 73 Gasificado en la prueba de macrohess

PRODUCTO	HA73G (PETROLEO)	HA73G (ACEITE RESIDUAL)
% N-20	0.85	0.85
TIEMPO (min.)	$\delta_1$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\delta_2$ (g/cm <sup>3</sup> )
0	1,318	1,325
2	1,215	1,243
5	1,156	1,137
10	1,133	1,102
15	1,108	1,096
20	1,102	1,094
30	1,091	1,094

Fuente: Elaboración propia

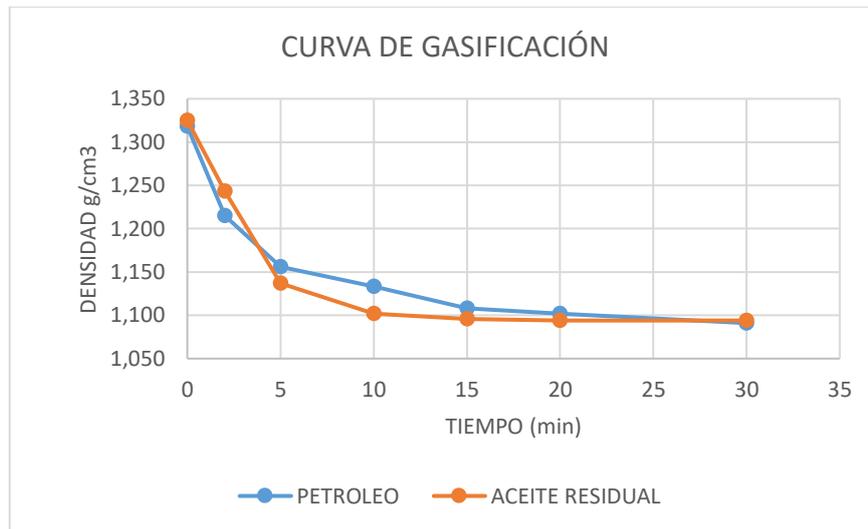


Figura 30. Curva de gasificación.  
Fuente: Elaboración propia

**c) REGISTRO DE MEDICIONES DE ALTURA DE LOS BLOQUES DE PLOMO EVALUADOS**



Figura 31. Prueba de macrohess con Heavy ANFO 73 con diésel gasificado.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 32. Prueba de macrohess con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.  
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Medición del efecto de rotura

HA 73 G		
(ACEITE RESIDUAL)		
	long. Inicial(mm)	long. Final(mm)
	175,5	71,5
	176,0	58,5
	176,0	69,5
	176,0	71,5
PROMEDIO	175,9	67,8
EFEC.ROTURA	108,13	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Medición del efecto de rotura

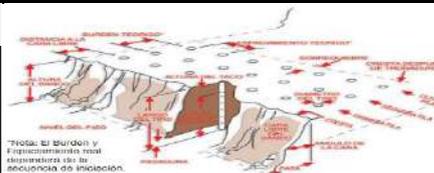
HA 73 G		
(PETRÓLEO)		
	long. Inicial(mm)	long. Final(mm)
	175,5	67,4
	176,0	56,0
	176,0	70,2
	176,0	69,5
PROMEDIO	175,9	65,8
EFEC.ROTURA	110,10	

Fuente: Elaboración propia

#### 4.1.3. PRUEBAS DE CAMPO REALIZADA

Tabla 23. Formulas aplicadas durante el carguío de taladros

CUADRO DE RESUMEN	
<b>Kilos de explosivo por metro lineal</b>	
kg/m = densidad explosivo x $\Phi^2$ x 0,507 $\Phi$ = diámetro del taladro en pulg.	
<b>Porcentaje de Petróleo</b>	
Petróleo (kg) = Galones petróleo x 3,21      1 galón = 3,21 kg.	
% D <sup>2</sup> = Petróleo (kg) / ANFO (kg)      ANFO = 94,5% NA + 5,5% D <sup>2</sup>	
<b>Factor de Potencia</b>	
Tonelaje Roto = Burden x Espaciamiento x Altura de Banco x Densidad de Roca	
Factor de Potencia = Kilos de Explosivo / Tonelaje Roto (kg./Ton)	
<b>Conversiones</b>	
1 km = 0,62 millas	1 Pie = 30,48 cm
1 Pulg = 2,54 cm	1 Yarda = 0,914 m
1 Libra = 453,6 gr	1 Galón = 3,78 Lts



Fuente: Elaboración propia

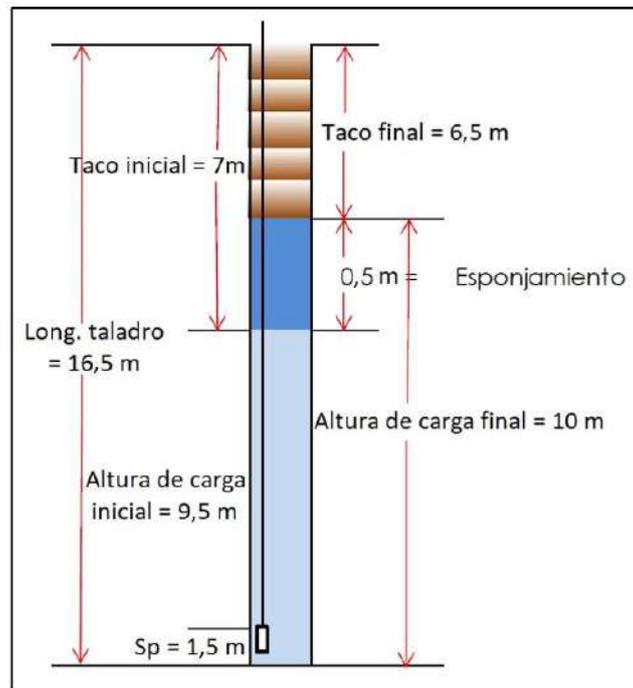


Figura 33. Taladro de producción  
Fuente: Elaboración propia

## A. RESULTADOS DE PRUEBAS CON HA 73 CON PETROLEO GASIFICADO

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-15 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.

- El 15 de febrero alrededor de las 13:35 hrs se realizó el disparo del Proyecto 5-SP-3968-15 malla de producción, con un total de 606 taladros.
- El Proyecto 5-SP-3968-17PS pertenece a la fila de pre corte con un total de 75 taladros cargados con Famecorte S (1 ½" x 13 m).
- El Proyecto 5-SP-3968-15 fue cargado con HA 73GV (producción) y HA 64B (buffer) de acuerdo al diseño de carga proporcionado por Antamina.
- En el Proyecto 5-SP-3968-15/17PS se realizó una medición de VOD cargado con HA 73GV en el taladro de inicio de la malla (D201 / 2 828 ms).
- El Proyecto 5-SP-3968-15/17PS se disparó con un diseño de salida en "Diamante" y en "V" usando secuencia de 15 ms entre taladros culmina una fila y comienza la otra +13 ms, con iniciación electrónica (DB). Back Up: 03 (X85, BF 177, X115) , TQ: 00.



Figura 34. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

El registro de vibraciones fue de 4,034mm/s@562,15m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Túnel.  
El registro de vibraciones fue de 73,55mm/s@101,32m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en el Mismo Nivel.  
El registro de vibraciones fue de 7,426mm/s@967,08m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Oficinas Slot 1.

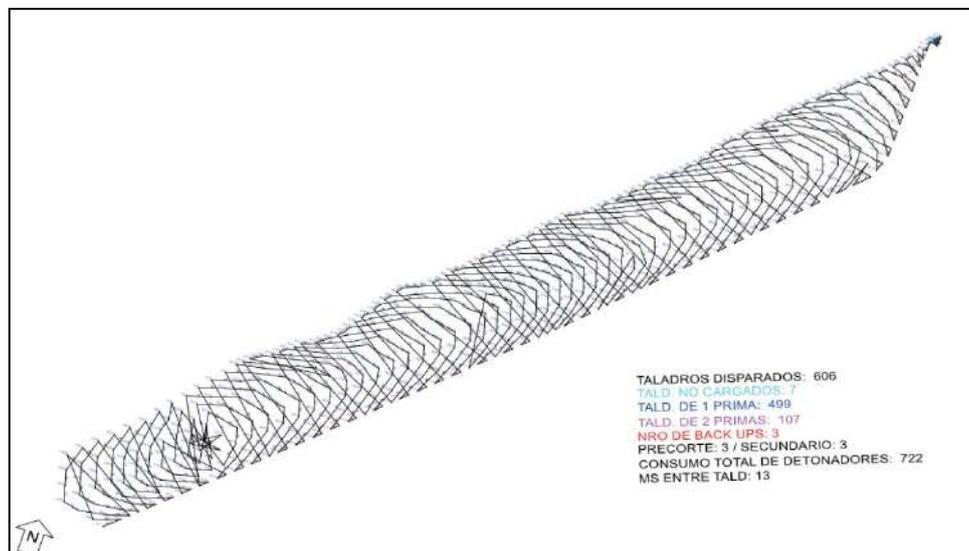


Figura 35. Diseño de salida.  
Fuente: Reporte de Voladura Davey Bickford

#### Disparo del proyecto 5-SP-3968-16 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.

- El 17 de marzo alrededor de las 13:25 horas, se realizó el disparo del y el Proyecto 5-SP-3968-16 (278 taladros).
- El Proyecto 5-SP-3968-16, fue cargado con HA 73GV (producción) y HA 64V (buffer) de acuerdo al diseño de carga proporcionado por Antamina.
- El Proyecto 5-SP-3968-18PS, pertenece al proyecto de pre-corte cargando un total de 166 cajas o piezas de Famecorte S (1 ½" x 13 m).

- En el Proyecto 5-SP-3968-16 se realizó una medición de VOD cargado con HA 73GV en el taladro de inicio de la malla (E126 / 5 228 ms).
- El Proyecto **5-SP-3968-16**, se disparó con un diseño de salida en “Echelón-V” utilizando 13, 26 y 39 ms entre taladros y 150 ms entre filas, con iniciación electrónica (DB). **Back Up: 02 (BF 52 y X49)**.



Figura 36. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado.  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

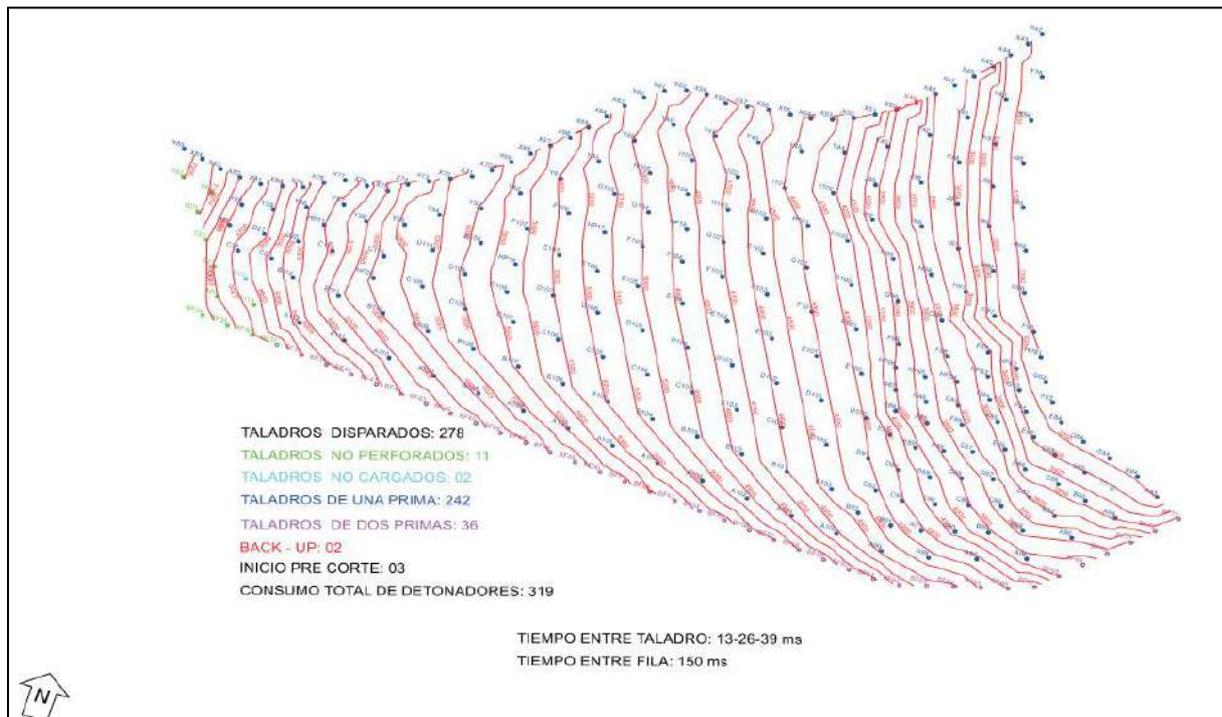


Figura 37. Diseño de salida.  
Fuente: Reporte de Voladura Davey Bickford

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-19 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.

- El 05 de marzo alrededor de las 13:34 hrs se realizó el disparo del Proyecto 5-SP-3968-19 malla de producción, con un total de 267 taladros.
- El Proyecto 5-SP-3968-18PS pertenece a la fila de pre corte con un total de 52 taladros cargados cajas o piezas de Famecorte S (1 ½" x 13 m).
- El Proyecto 5-SP-3968-19 fue cargado con HA 73GB (producción) y HA 64B (buffer) de acuerdo al diseño de carga proporcionado por Antamina
- En el Proyecto 5-SP-3968-18PS/19 se realizó una medición de VOD cargado con HA 73GB en el taladro de inicio de la malla (F82 / 6 129 ms).
- El Proyecto 5-SP-3968-18PS/19 se disparó con un diseño de salida en "V" usando secuencia de 11 ms entre taladros y 149 ms entre filas, con iniciación electrónica (DB).

**Back Up: 00; TQ: 00.**



Figura 38. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado.

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

El registro de vibraciones fue de 0,976mm/s@1424,07m obtenido en el Geófono Empotrado ubicado en Usupallares.

El registro de vibraciones fue de 4,549mm/s@1010,58m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Oficinas Slot 1.

El registro de vibraciones fue de 0,525mm/s@3417,59m obtenido en el Geófono Empotrado ubicado en Contonga.

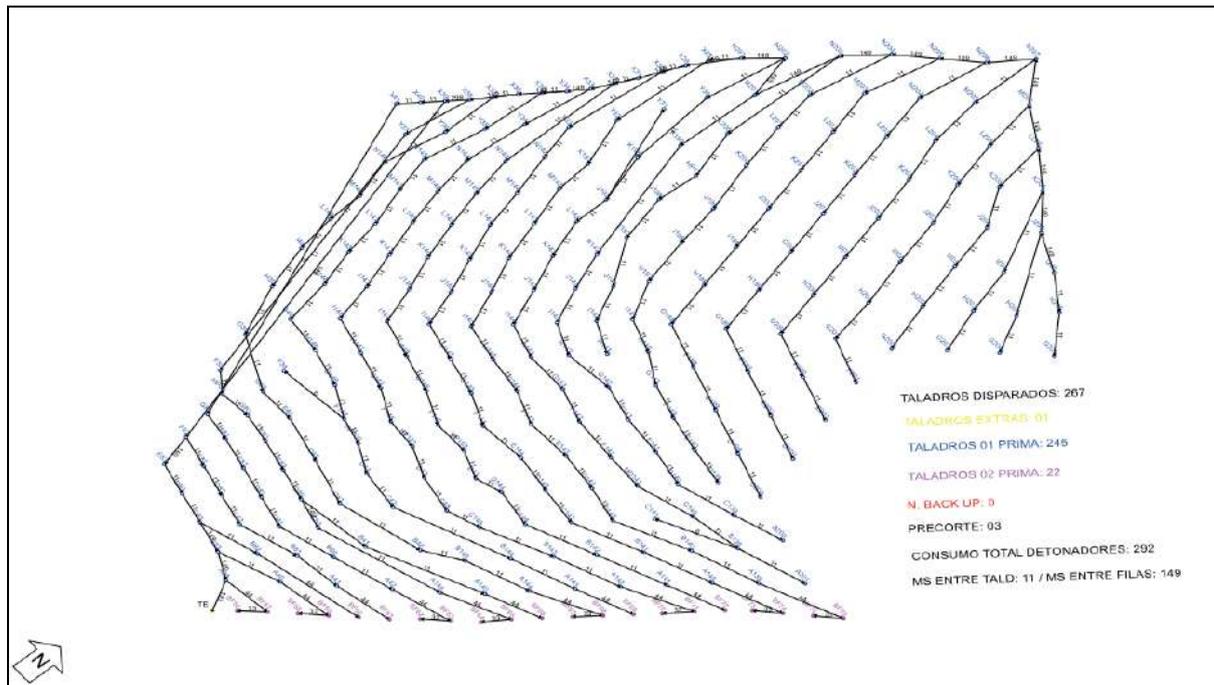


Figura 39. Diseño de salida  
 Fuente: Reporte de Voladura Davey Bickford

## B. RESULTADOS DE PRUEBAS CON HA 73 CON ACEITE RESIDUAL GASIFICADO

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-12 ubicado en la zona sur del tajo Antamina

- El 13 de marzo alrededor de las 13:25 hrs se realizó el disparo del Proyecto 5-SP-3968-12 malla de producción, con un total de 337 taladros.
- El Proyecto 5-SP-3968-13PS pertenece a la fila de pre corte cargado con un total de 260 cajas de Famecorte S (1 ½" x 13 m).
- El Proyecto 5-SP-3953-12 fue cargado con HA 73GV (producción y cresta) y HA 64V (buffer) de acuerdo al diseño de carga proporcionado por Antamina.
- En el Proyecto 5-SP-3968-12/13PS se realizó una medición de VOD cargado con HA 73GB en el taladro de la malla (E126 / 8 200 ms).
- El Proyecto 5-SP-3968-12/13PS se disparó con un diseño de salida en "Diamante" y en "V" usando secuencia de 13 ms entre taladros y 143 ms entre filas, con iniciación electrónica (DB). Back Up: 00; TQ: 00.

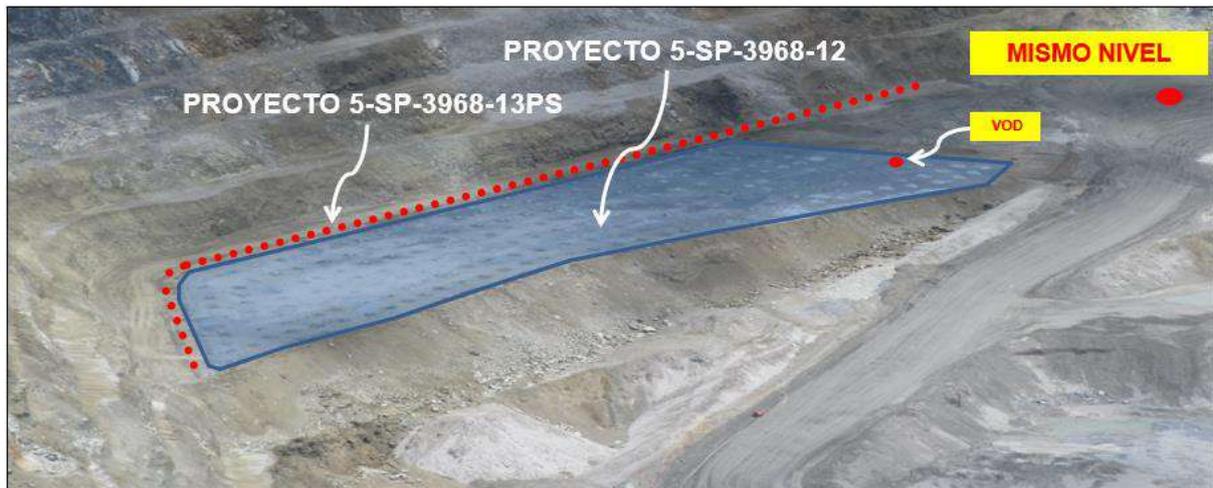


Figura 40. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

El registro de vibraciones fue de 229,1mm/s@103.76m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en el mismo nivel.

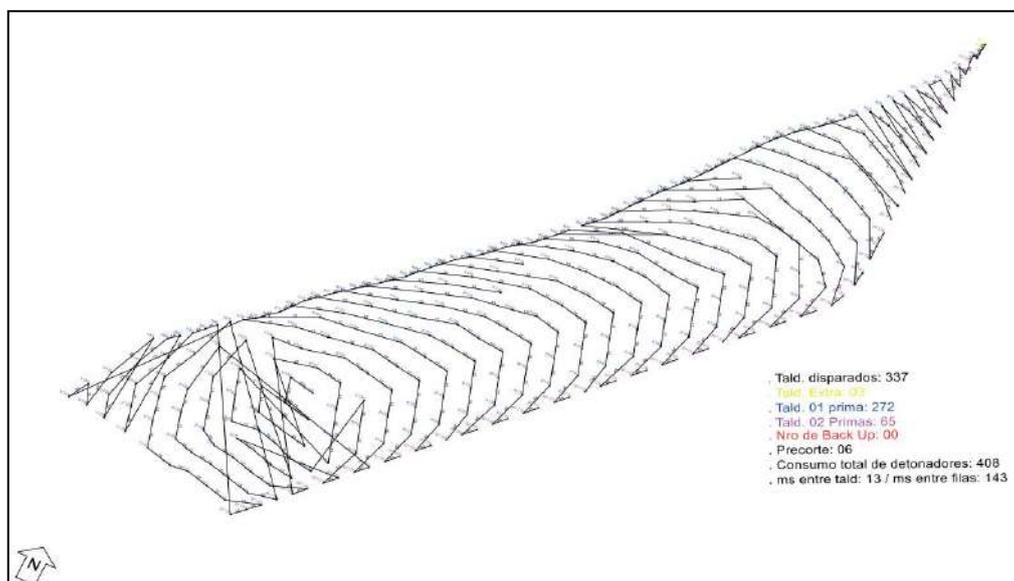


Figura 41. Diseño de salida  
Fuente: Reporte de Voladura Davey Bickford

#### Disparo del proyecto 5-SP-3968-20 ubicado en la zona sur del tajo Antamina

- El 21 de abril alrededor de las 14:20 hrs se realizaron los disparos de los Proyectos: 5-SP-3968-20/12PS malla con un total de 278 taladros de producción, 16 unidades de Famecorte S.
- Los Proyectos 5-SP-3968-20/12PS fueron cargados con HA 73GV (producción) y HA 64V (buffer) de acuerdo al diseño de carga proporcionado por Antamina.

- En el Proyecto 5-SP-3968-20 se realizó una medición de VOD cargado con HA 73GV en el segundo taladro de la secuencia de salida de la malla (G113 / 12 243 ms).
- Los Proyectos 5-SP-3968-20/12PS se dispararon con un diseño de salida en “Echelón en V” usando secuencia de 13 ms entre taladros y 150 ms entre filas, con iniciación electrónica (DB). Back Up: 03 (BF38, BF58, BF62); TQ: 00.



Figura 42. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

El registro de vibraciones fue de 2,329mm/s@817.03m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Túnel.  
El registro de vibraciones fue de 208,1mm/s@106.62m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Mismo Nivel.

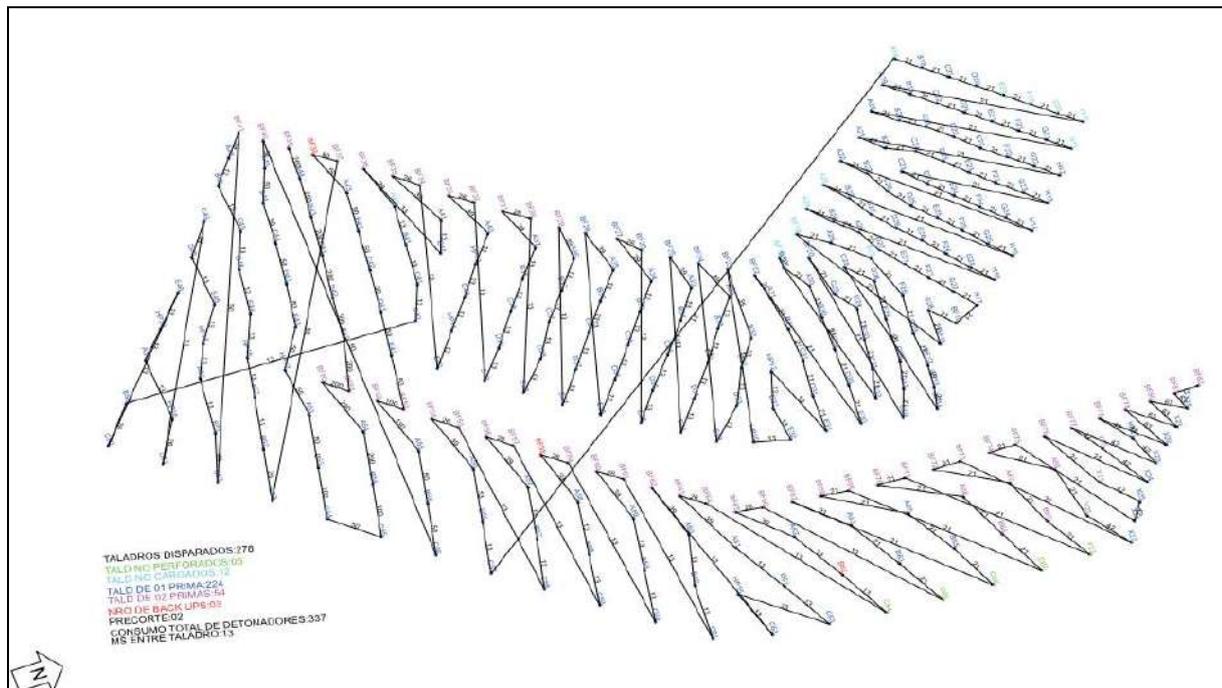


Figura 43. Diseño de salida  
Fuente: Reporte de Voladura Davey Bickford

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-22 ubicado en la zona sur del tajo Antamina

- El 27 de marzo alrededor de las 13:29 hrs se realizó el disparo del Proyecto 5-SP-3968-22 malla de producción, con un total de 342 taladros.
- El Proyecto 5-SP-3968-22 fue cargado con HA 73GV (producción y cresta) de acuerdo al diseño de carga proporcionado por Antamina.
- En el Proyecto 5-SP-3968-22 se realizó una medición de VOD cargado con HA 73GV en el segundo taladro de la secuencia de salida de la malla (K110 / 3 100 ms).
- El Proyecto 5-SP-3968-22 se disparó con un diseño de salida en “V” usando secuencia de 13 ms entre taladros y 176 ms entre filas, con iniciación electrónica (DB). Back Up: 02 (T108, X116); TQ: 00.



Figura 44. Voladura en fase 5 con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado  
Fuente: Asistencia técnica Famesa Explosivos SAC.

El registro de vibraciones fue de 4,087mm/s@536,96m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Túnel.  
El registro de vibraciones fue de 87,07mm/s@100,66m obtenido en el Geófono Superficial ubicado en Mismo Nivel.

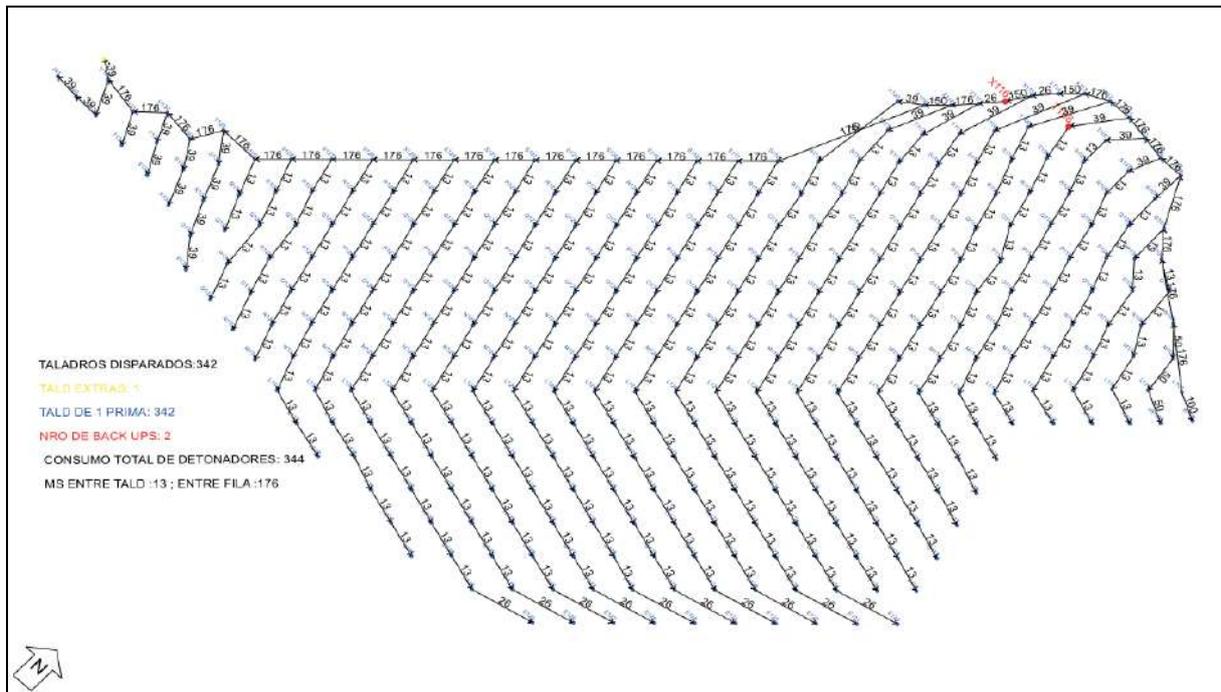


Figura 45. Diseño de salida  
 Fuente: Reporte de Voladura Davey Bickford

#### 4.1.4. MEDICIÓN Y ANÁLISIS DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN (VOD)

Se analizarán a detalle los registros de VOD, se realizaron las siguientes mediciones en la fase 5 que a continuación, se detallan las mediciones:

##### A) ANALISIS DE VOD CON PETROLEO

##### Disparo del proyecto 5-SP-3968-15

El 15-02-17, se realizó la medición de VOD en 01 taladros D201. En el taladro se utilizó Booster HDP-1, la condición del taladro seco en promedio se cargó con HA73G vaciable.

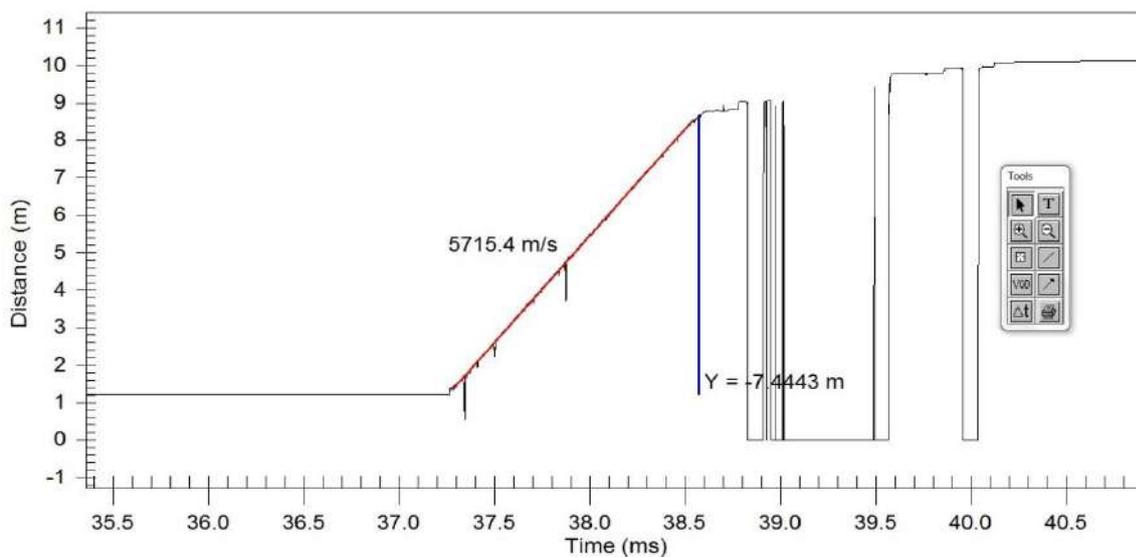
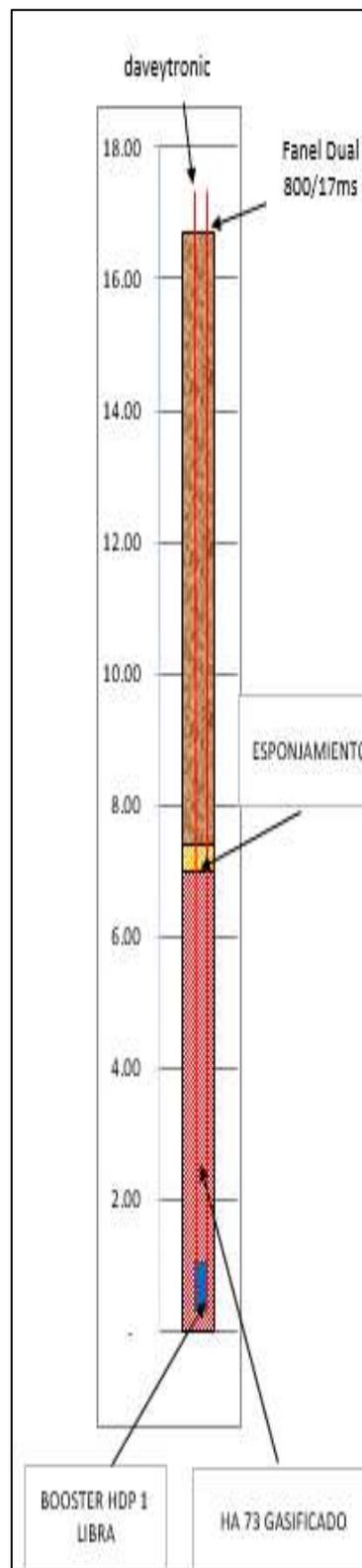


Figura 46. Grafica de la velocidad de detonación  
 Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 24. Datos para la medición de velocidad de detonación

<b>UBICACIÓN</b>	
Nivel/proyecto	5-SP-3968-15
Zona/tajo	FASE 5
<b>PARÁMETROS</b>	
N° de taladros/condición	D201
Diámetro de taladro (pulg)	12,25
Longitud inicial de taladro(m)	16,3
Condición del taladro	seco
Longitud del taco inicial(m)	9
Longitud del taco final(m)	8,5
Camión fabrica	FAM 517
Tipo de explosivo	HA 73 GV
Tipo de carga fondo/columna	columna
Carga utilizada (kg)	700
Densidad inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31
Densidad final (gr/cm <sup>3</sup> )	1,11
Tiempo de esponjamiento(min)	30
Iniciador	Booster HDP-1
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	Prillex LD
Tipo de emulsión	SAN-FAMESA
<b>RESULTADOS</b>	
Distancias(m)	VOD(m/s)
1,00-6,00	5 715,4
<b>UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO</b>	
Primer taladro de la secuencia	
Perímetro al lado sur	x
Parte final del proyecto	



Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-16

El 17-02-17, se realizó la medición de VOD en 01 taladros E126. En el taladro se utilizó Booster HDP-1, este taladro sin presencia de agua se cargó con HA73G vaciable.

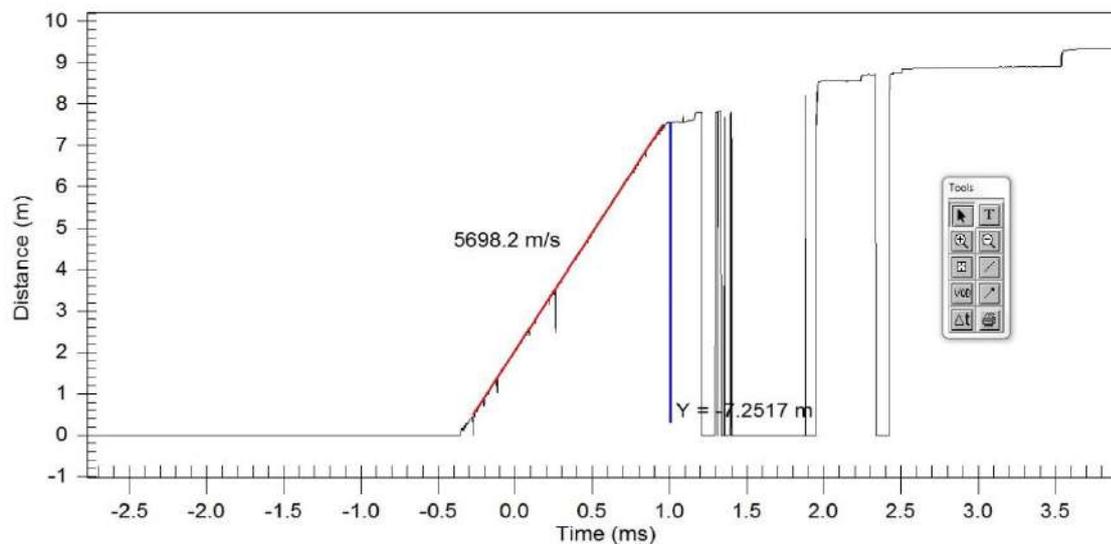
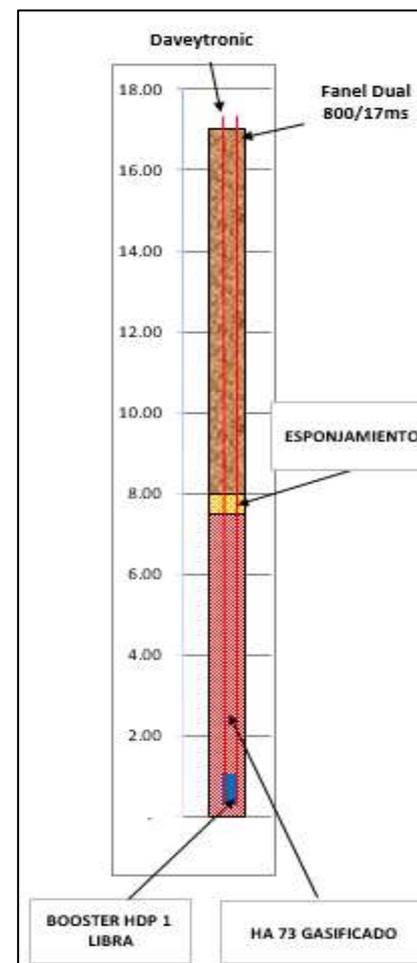


Figura 47. Grafica de la velocidad de detonación  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 25. Datos para la medición de velocidad de detonación

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	5-SP-3968-16
Zona / Tajo	FASE 5
PARÁMETROS	
N° de taladro / Condición	E126
Diámetro de taladro (pulg)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	17
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m)	9,6
Longitud de taco final (m)	9,1
Camión fábrica	FAM 502
Tipo de explosivo	HA 73V
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	750
Densidad inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31
Densidad final (gr/cm <sup>3</sup> )	1,11
Tiempo de esponjamiento (min)	30
Iniciador	Booster HDP-1



Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	PRILLEX LD
Tipo de emulsión	SAN - FAMESA
<b>RESULTADOS</b>	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
1,00-6,00	5 698,2
<b>UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO</b>	
Primer taladro de la Secuencia	
Parte final del proyecto	X
Otro:	

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

#### Disparo del proyecto 5-SP-3968-19

El 05-03-17, se realizó la medición de VOD en 01 taladros F 82. En el taladro se utilizó Booster HDP-1, la condición del taladro con agua 13m en promedio se cargaron con HA73G bombeable.

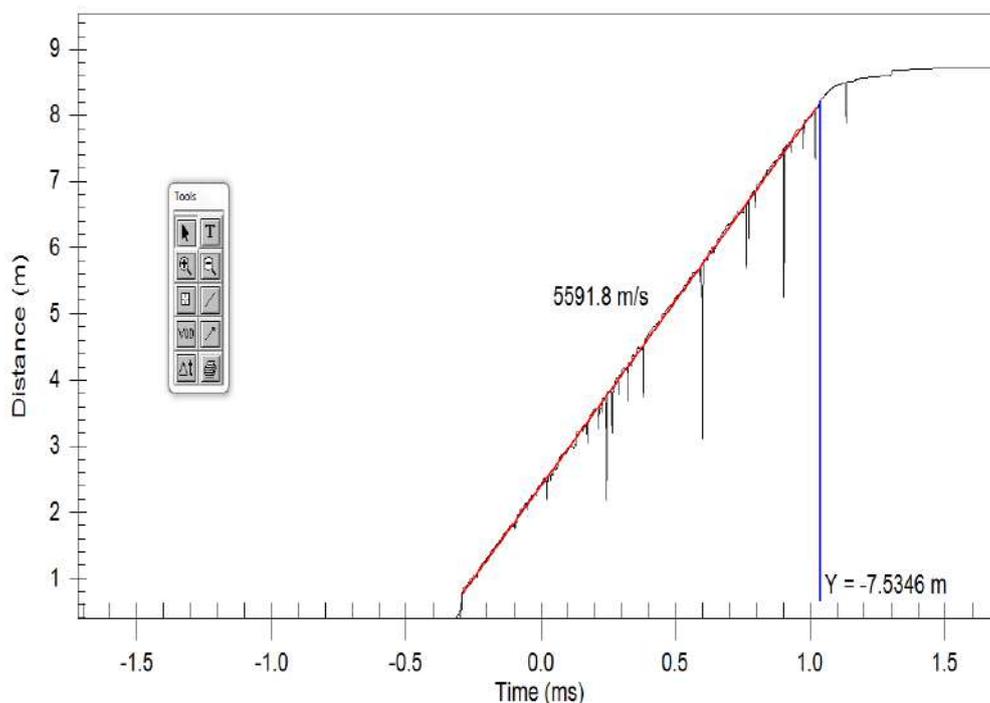
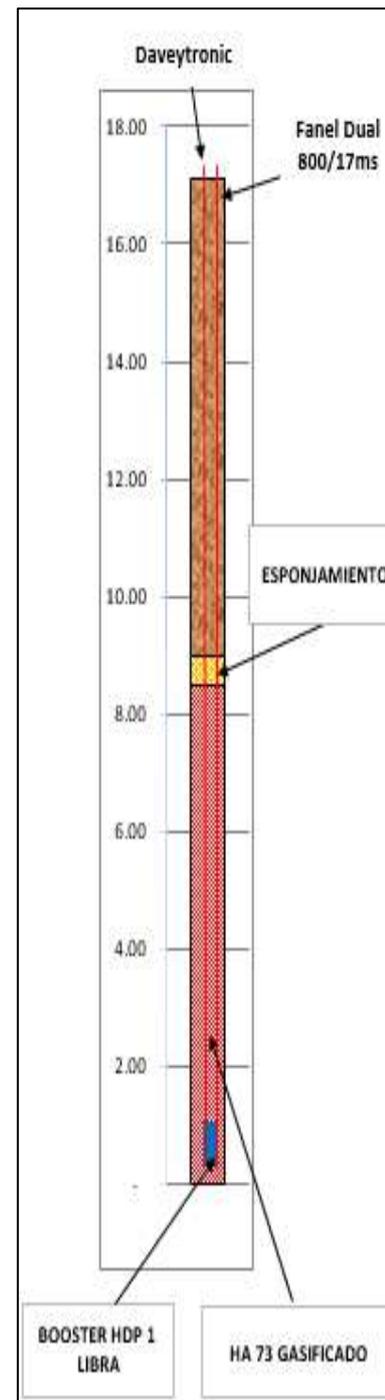


Figura 48. Grafica de la velocidad de detonación  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 26. Datos para la medición de velocidad de detonación

<b>UBICACIÓN</b>	
Nivel / Proyecto	5-SP-3968-19
Zona / Tajo	FASE 5
<b>PARÁMETROS</b>	
N° de taladro / Condición	F 82
Diámetro de taladro (pulg)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	17
Condición del taladro:	Con agua, 13.0 m. aprox.
Longitud de taco inicial (m)	8,4
Longitud de taco final (m)	8,1
Camión fábrica	FAM 518
Tipo de explosivo	HA 73GB
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	850
Densidad inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31
Densidad final (gr/cm <sup>3</sup> )	1,09
Tiempo de esponjamiento (min)	30
Iniciador	Booster HDP-1
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	PRILLEX LD
Tipo de emulsión	SAN - FAMESA
<b>RESULTADOS</b>	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
1,00-6,00	5 591,8
<b>UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO</b>	
Primer taladro de la Secuencia	
Parte final del proyecto	X
Otro:	



Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

## ANÁLISIS DE VOD CON ACEITE RESIDUAL

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-12

El 05-03-17, se realizó la medición de VOD en 01 taladros F 82. En el taladro se utilizó Booster HDP-1, la condición del taladro con agua 13m en promedio se cargaron con HA73G bombeable.

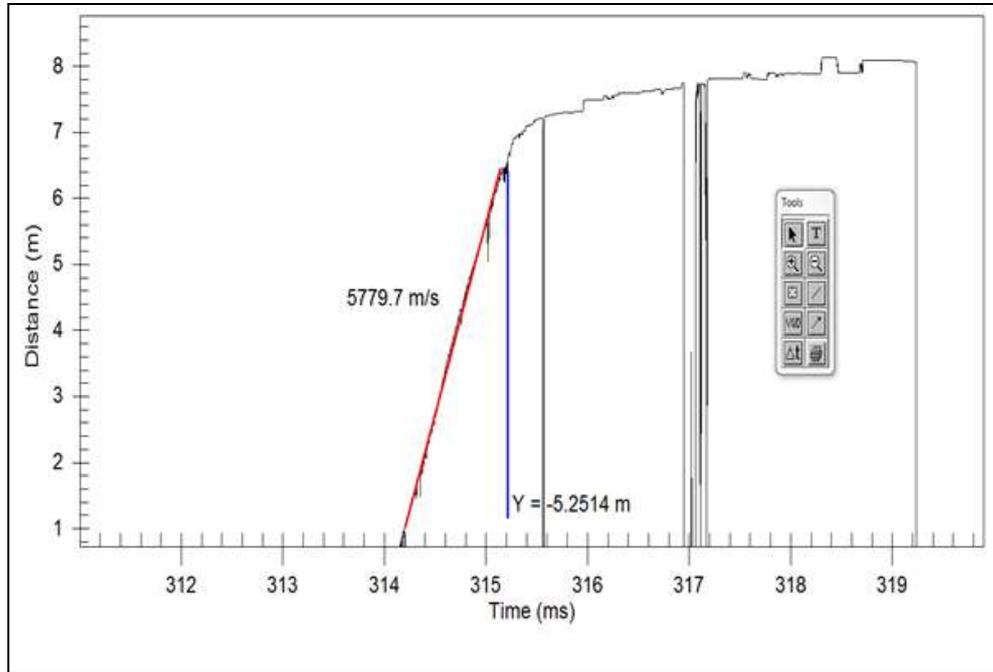
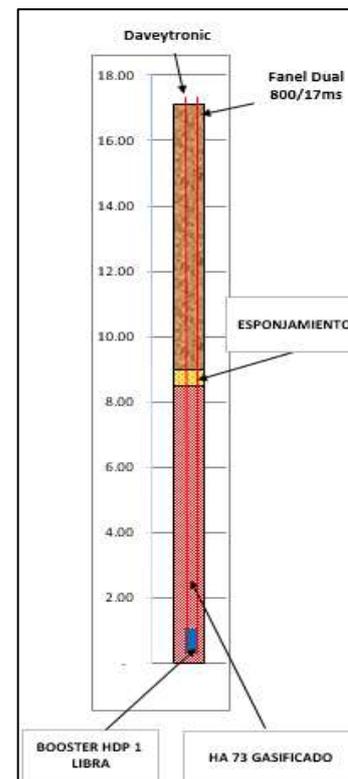


Figura 49. Grafica de la velocidad de detonación  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 27. Datos para la medición de velocidad de detonación

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	5-SP-3968-12
Zona / Tajo	FASE 5
PARÁMETROS	
N° de taladro / Condición	F 82
Diámetro de taladro (pulg)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	17
Condición del taladro:	SECO
Longitud de taco inicial (m)	8,4
Longitud de taco final (m)	8,1
Camión fábrica	FAM 518
Tipo de explosivo	HA 73GV
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	850



Densidad inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31
Densidad final (gr/cm <sup>3</sup> )	1,09
Tiempo de esponjamiento (min)	30
Iniciador	Booster HDP-1
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	PRILLEX LD
Tipo de emulsión	SAN - FAMESA
<b>RESULTADOS</b>	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
1,00-6,00	5 779,70
<b>UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO</b>	
Primer taladro de la Secuencia	
Parte final del proyecto	X
Otro:	

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

#### Disparo del proyecto 5-SP-3968-20

El 05-03-17, se realizó la medición de VOD en 01 taladros G 113. En el taladro se utilizó Booster HDP-1, la condición del taladro con agua 13m en promedio se cargaron con HA73G bombeable.

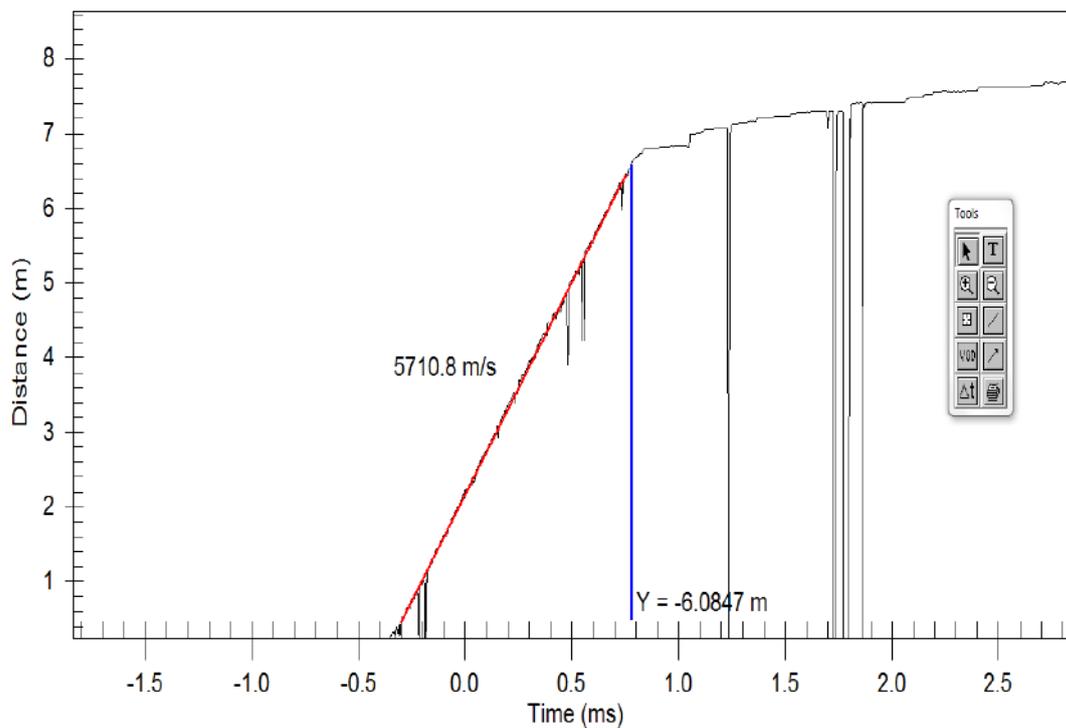
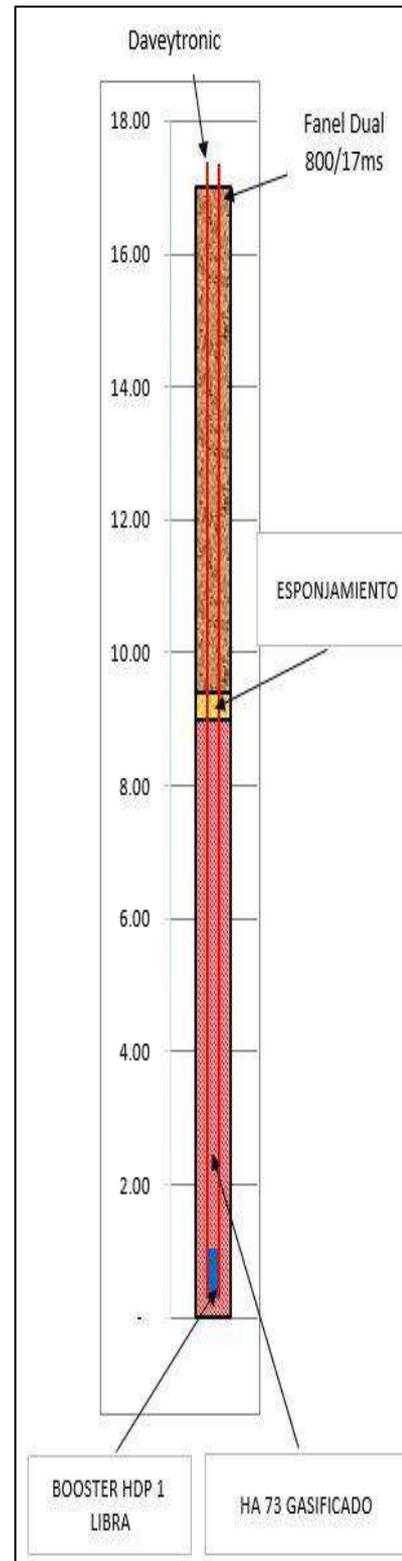


Figura 50. Grafica de la velocidad de detonación  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 28. Datos para la medición de velocidad de detonación

<b>UBICACIÓN</b>	
Nivel / Proyecto	5-SP-3968-20
Zona / Tajo	FASE 5
<b>PARÁMETROS</b>	
N° de taladro / Condición	G113
Diámetro de taladro (pulg)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	17
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m)	8,10
Longitud de taco final (m)	7,60
Camión fábrica	FAM 518
Tipo de explosivo	HA 73 GV
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	900
Densidad inicial (gr/cm <sup>3</sup> )	1,31
Densidad final (gr/cm <sup>3</sup> )	1,1
Tiempo de esponjamiento (min)	30
Iniciador	Booster HDP-1
Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	PRILLEX LD
Tipo de emulsión	SAN - FAMESA
<b>RESULTADOS</b>	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
1,00-6,00	5 710,8
<b>UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO</b>	
Primer taladro de la Secuencia	
Parte final del proyecto	X
Otro:	



Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

### Disparo del proyecto 5-SP-3968-22

El 05-03-17, se realizó la medición de VOD en 01 taladros K 110. En el taladro se utilizó Booster HDP-1, la condición del taladro con agua 13m en promedio se cargaron con HA73G bombeable.

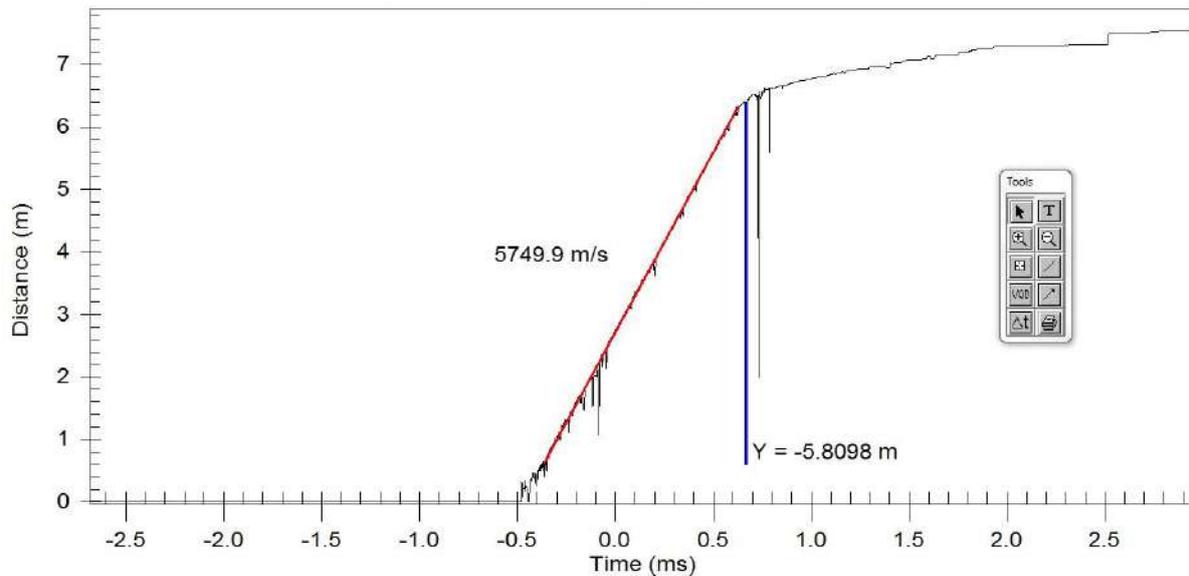
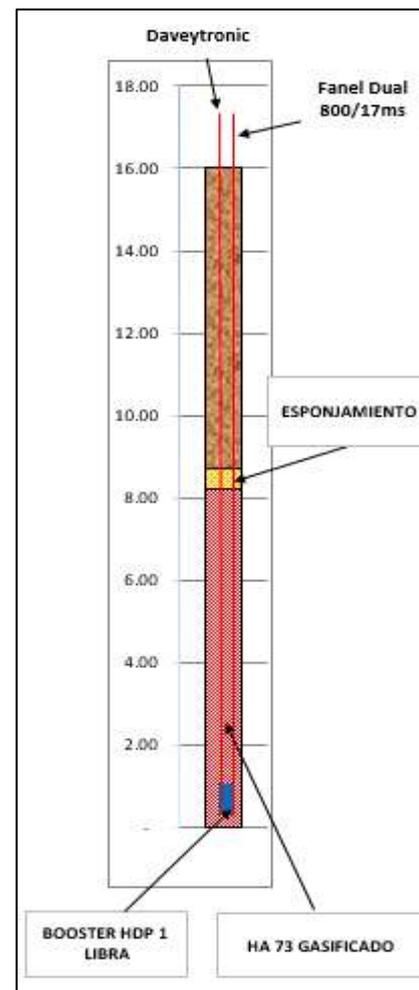


Figura 51. Grafica de la velocidad de detonación  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 29. Datos para la medición de velocidad de detonación

UBICACIÓN	
Nivel / Proyecto	5-SP-3968-22
Zona / Tajo	FASE 5
PARÁMETROS	
N° de taladro / Condición	K110
Diámetro de taladro (pulg)	12 ¼
Longitud inicial de taladro (m)	16
Condición del taladro:	Seco
Longitud de taco inicial (m)	7,70
Longitud de taco final (m)	7,30
Camión fábrica	FAM 517
Tipo de explosivo	HA 73 GV
Tipo de carga Fondo/Columna	Columna
Carga utilizada (kg)	850
Densidad inicial (gr/cm3)	1,31
Densidad final (gr/cm3)	1,11
Tiempo de esponjamiento (min)	30
Iniciador	Booster HDP-1



Ubicación del iniciador desde el piso (m)	1
Tipo de nitrato de amonio	PRILLEX LD
Tipo de emulsión	SAN - FAMESA
<b>RESULTADOS</b>	
DISTANCIAS (m)	VOD (m/s)
1,00-6,00	5 749,9
<b>UBICACIÓN DEL REGISTRO EN EL PROYECTO</b>	
Primer taladro de la Secuencia	
Parte final del proyecto	X

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

#### 4.1.5. HUMOS NARANJAS

Se tiene la siguiente tabla de humos naranjas post. Voladura.

Tabla 30. Datos para la medición de velocidad de detonación

MALLA	TOTAL TAL. DISPARADOS	TIPO CARGUIO	Nº DIAS CARGADOS	% HUMOS NARANJAS	OBSERVACIONES
3968-15	606	VACIABLE	4	10%	
3968-16	278	VACIABLE	2	2%	
3968-19	267	BOMBEABLE	2	8%	PRESENCIA DE AGUA
3968-12	337	VACIABLE	3	8%	
3968-20	278	VACIABLE	2	5%	
3968-22	342	VACIABLE	2	2%	

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

#### 4.1.6. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN

##### A. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN DE ROCAS UTILIZANDO EL EQUIPO PORTAMETRICS™

El dispositivo portametrics realiza el análisis de la granulometría de la roca luego de la voladura en tiempo real sin necesidad de utilizar ningún tipo de referencia escalada. También contribuye en la seguridad, ya que evita que el personal se exponga a los riesgos de caída de rocas en el talud luego de la voladura. Así mismo otro de los beneficios es que los resultados del análisis se obtienen en menor tiempo que cualquier otro procedimiento de análisis de fragmentación

Tabla 31. P80 pedido por planta

MATERIAL		P80 BUDGET
A, B, C	DESMONTE	40 cm
M	MINERAL	17 cm

Fuente: Área de diseño Antamina

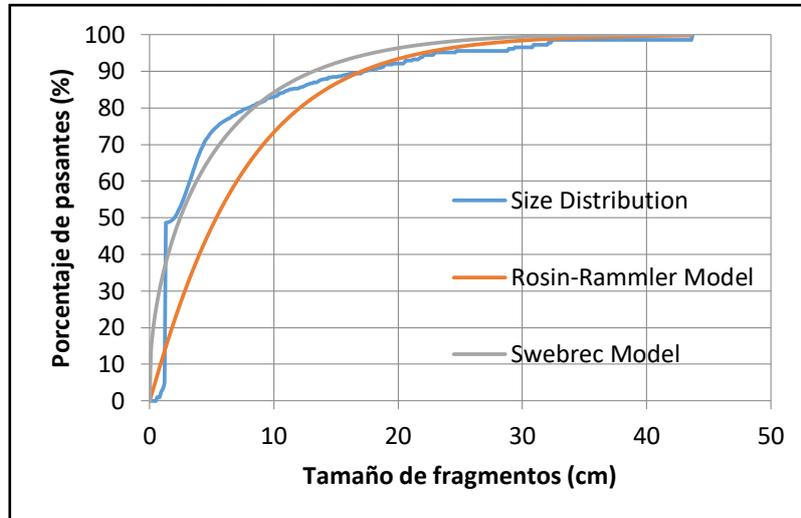
**Análisis del proyecto 5-SP-3968-15 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.****Distribución del tamaño de la roca**

Figura 52. Grafica de fragmentación

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 32. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler

Size modulus (Xc):	7,64 cm
Distribution modulus (K):	1,038

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 33. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec

Characteristic Size (Xc):	2,46 cm
Maximum Size (Xmax):	43,70 cm
Exponential Constant(b):	2,507

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 34. Valores de p

Valores P:	
P10	1,30 cm
P20	1,30 cm
P30	1,30 cm
P40	1,30 cm
P50	2,00 cm
P60	3,30 cm
P70	4,40 cm

P80	8,00 cm
P90	17,30 cm
P100	43,70 cm

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

**Análisis del proyecto 5-SP-3968-16 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.  
Distribución del tamaño de la roca**

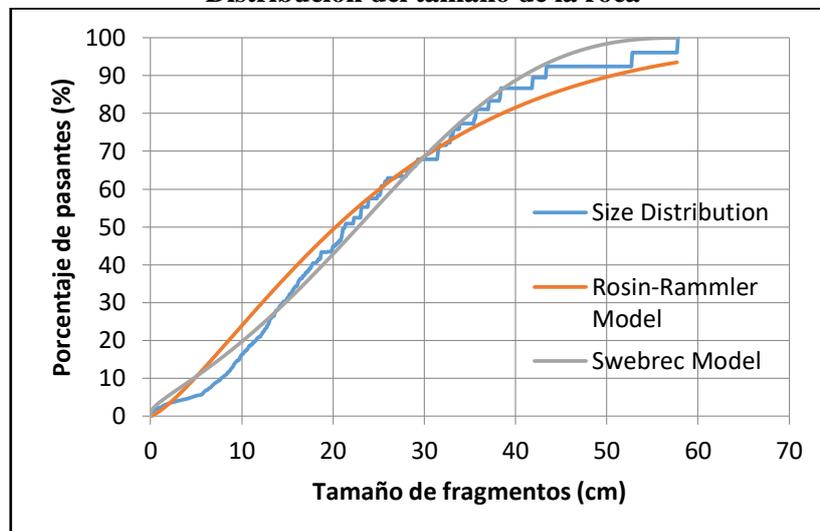


Figura 53. Grafica de fragmentación

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 35. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler

Size modulus (Xc):	26,82 cm
Distribution modulus (K):	1,315

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 36. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec

Characteristic Size (Xc):	22,76 cm
Maximum Size (Xmax):	57,80 cm
Exponential Constant(b):	2,222

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 37. Valores de p

P-Values:	
P10	7,80 cm
P20	11,60 cm
P30	14,50 cm
P40	17,80 cm
P50	21,30 cm
P60	25,30 cm

P70	31,60 cm
P80	35,70 cm
P90	43,40 cm
P100	57,80 cm

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

**Análisis del proyecto 5-SP-3968-19 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.  
Distribución del tamaño de la roca**

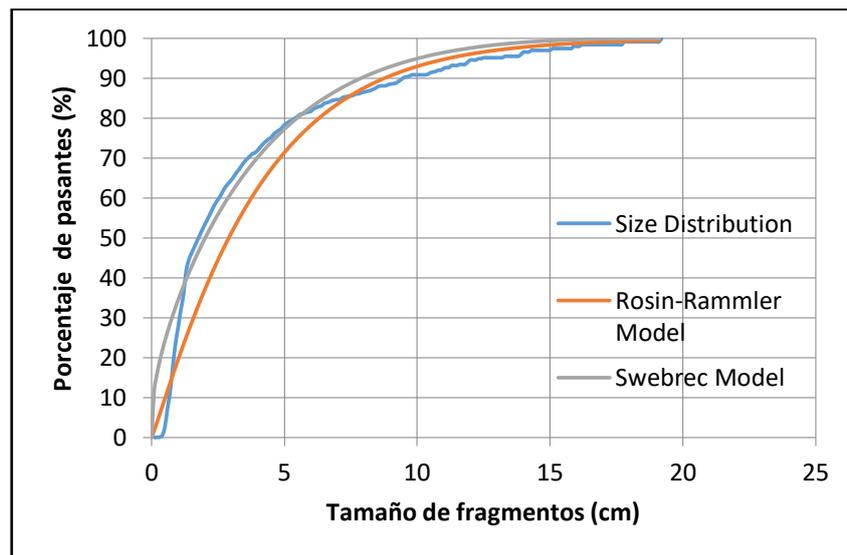


Figura 54. Grafica de fragmentación

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 38. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler

Size modulus (Xc):	4,07 cm
Distribution modulus (K):	1,089

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 39. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec

Characteristic Size (Xc):	2,02 cm
Maximum Size (Xmax):	19,20 cm
Exponential Constant(b):	2,374

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 40. Valores de p

<b>P-Values:</b>	
P10	0,70 cm
P20	0,90 cm

P30	1,10 cm
P40	1,30 cm
P50	1,80 cm
P60	2,60 cm
P70	3,70 cm
P80	5,40 cm
P90	9,50 cm
P100	19,20 cm

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

## ANÁLISIS DE FRAGMENTACION UTILIZANDO ACEITE RESIDUAL

Análisis del proyecto 5-SP-3968-12 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.  
Distribución del tamaño de la roca

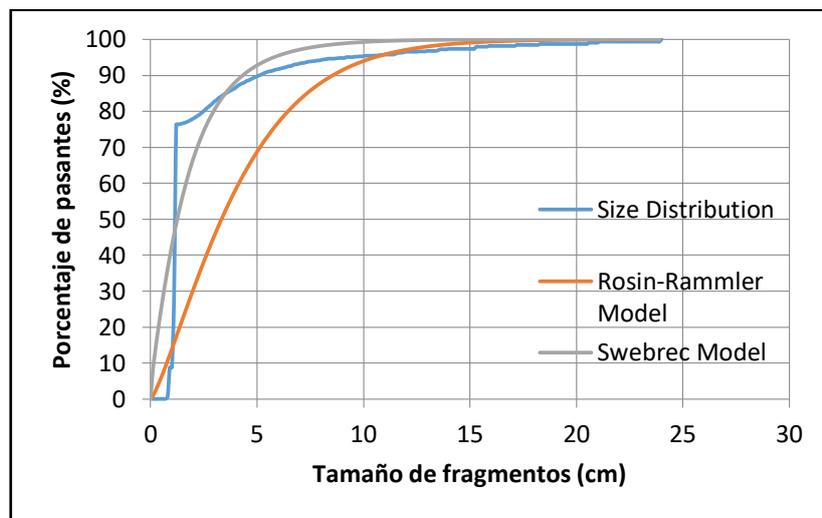


Figura 55. Grafica de fragmentación

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 41. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler

Size modulus (Xc):	4,44 cm
Distribution modulus (K):	1,273

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 42. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec

Characteristic Size (Xc):	1,25 cm
Maximum Size (Xmax):	23,61 cm
Exponential Constant(b):	4,000

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 43. Valores de p

P-Values:	
P10	1,10 cm
P20	1,10 cm
P30	1,20 cm
P40	1,20 cm
P50	1,20 cm
P60	1,20 cm
P70	1,20 cm
P80	2,50 cm
P90	5,20 cm
P100	24,00 cm

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

**Análisis del proyecto 5-SP-3968-20 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.  
Distribución del tamaño de la roca**

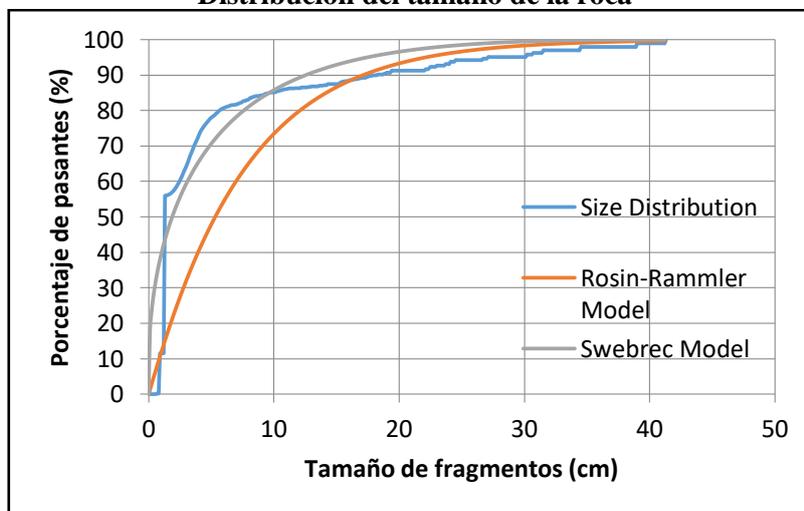


Figura 56. Grafica de fragmentación

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 44. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler

Size modulus (Xc):	7,59 cm
Distribution modulus (K):	1,026

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 45. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec

Characteristic Size (Xc):	1,88 cm
Maximum Size (Xmax):	41,30 cm
Exponential Constant(b):	2,306

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 46. Valores de p

P-Values:	
P10	0,90 cm
P20	1,30 cm
P30	1,30 cm
P40	1,30 cm
P50	1,30 cm
P60	2,50 cm
P70	3,70 cm
P80	5,70 cm
P90	18,30 cm
P100	41,30 cm

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

**Análisis del proyecto 5-SP-3968-22 ubicado en la zona sur del tajo Antamina.**

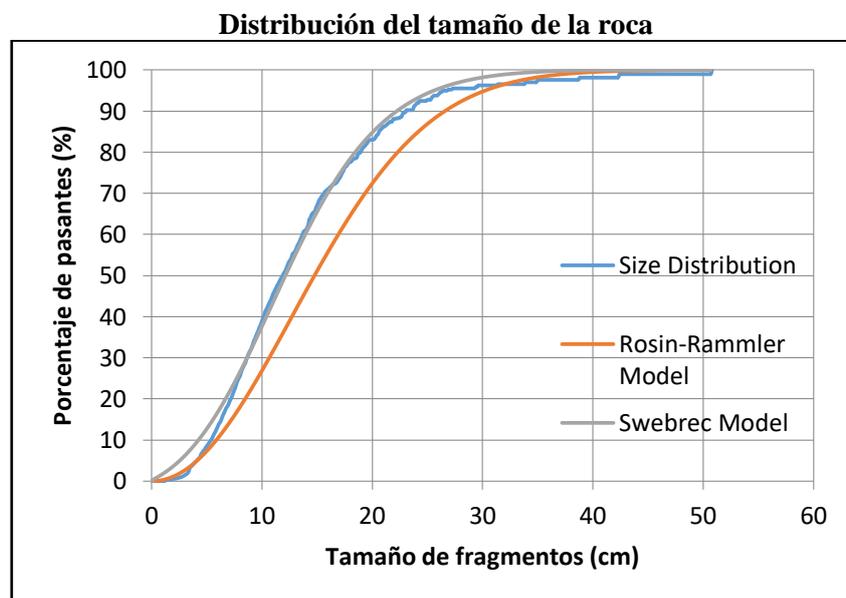


Figura 57. Grafica de fragmentación  
Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 47. Parámetros del modelo de Rosin-Rammler

Size modulus (Xc):	17,67 cm
Distribution modulus (K):	2,043

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 48. Parámetros del modelo ajustado Sewbrec

Characteristic Size (Xc):	12,13 cm
Maximum Size (Xmax):	50,80 cm
Exponential Constant(b):	4,000

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

Tabla 49. Valores de p

P-Values:	
P10	5,40 cm
P20	7,20 cm
P30	8,70 cm
P40	10,20 cm
P50	11,90 cm
P60	13,70 cm
P70	15,70 cm
P80	19,00 cm
P90	23,10 cm
P100	50,80 cm

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

#### 4.1.7. ANÁLISIS DE COSTOS

Después de haber expuesto los casos de estudio se realizará la evaluación técnico-económica usada en la minera Antamina con la predisposición de incorporarlo en todos sus frentes de trabajo.

Tabla 50. Precio de accesorios y agentes de voladura

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTOS EN ALMACENES	UNIDAD	COSTO USD
EMULSION G (famesa)	kilos	0,459494
NITRATO DE AMONIO PRILLEX (1250 Kg)(famesa)	Kilos	0,5369
SOLUCION GASIFICANTE (FAMESA)	Kilos	0,989031
EMULNOR 300 3"x16"(11 Unid/caja) (22Kg/caja)	Piezas	3,8849
FAMECORTE - 1 1/2"x13 M (encartuchado)	Piezas	9,234
BOOSTER HDP - 3	Piezas	6,0469
BOOSTER HDP - 1E	Piezas	3,3796
CORDON DETONANTE 5P	Metros	0,1691
INICIADORES	Piezas	0,319
LSEF 500M - 1.1B	Rollos	75,4408
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 017 ms - 1.1B	Piezas	2,4618
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 025 ms - 1.1B	Piezas	2,5406
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 042 ms - 1.1B	Piezas	2,3922
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 100 ms - 1.1B	Piezas	2,3922
RTDO FANEL (MS CONECTOR) 200 ms - 1.1B	Piezas	2,4895
FANEL MS 9.0m N 018 - 1.1B	Piezas	2,0095
FANEL MS 18.0m N 018 - 1.1B	Piezas	3,3498
DETON. ELECTRONICO I-KON	Piezas	22,58
DETONADOR ELECTRONICO DE 20 M	Piezas	25,364393

CABLE DE DISPARO 500 m	Rollos	185,1613
DETON. ELECTRONICO DAVEYTRONIC 17 m	Piezas	23,0
CABLE DE CONEXIÓN I-KON ROLLO X 400 M	Rollos	48,5
DAVEYLINE M35 BUS LINE 2 COPPER WIRES 6/10	Rollos	104,9736
SMART SHOT STRING STARTER (50 unid/caja)	Piezas	30,9001
CABLE DE DISPARO DIGI-PRO 200 m	Rollos	40
PETROLEO	galón	2,499566
ACEITE RESIDUAL	galón	0

Fuente: Asistencia técnica FAMESA EXPLOSIVOS SAC

### A. ANALISIS DE COSTO POR TALADRO DEL HEAVY ANFO 73 CON PETROLEO GASIFICADO

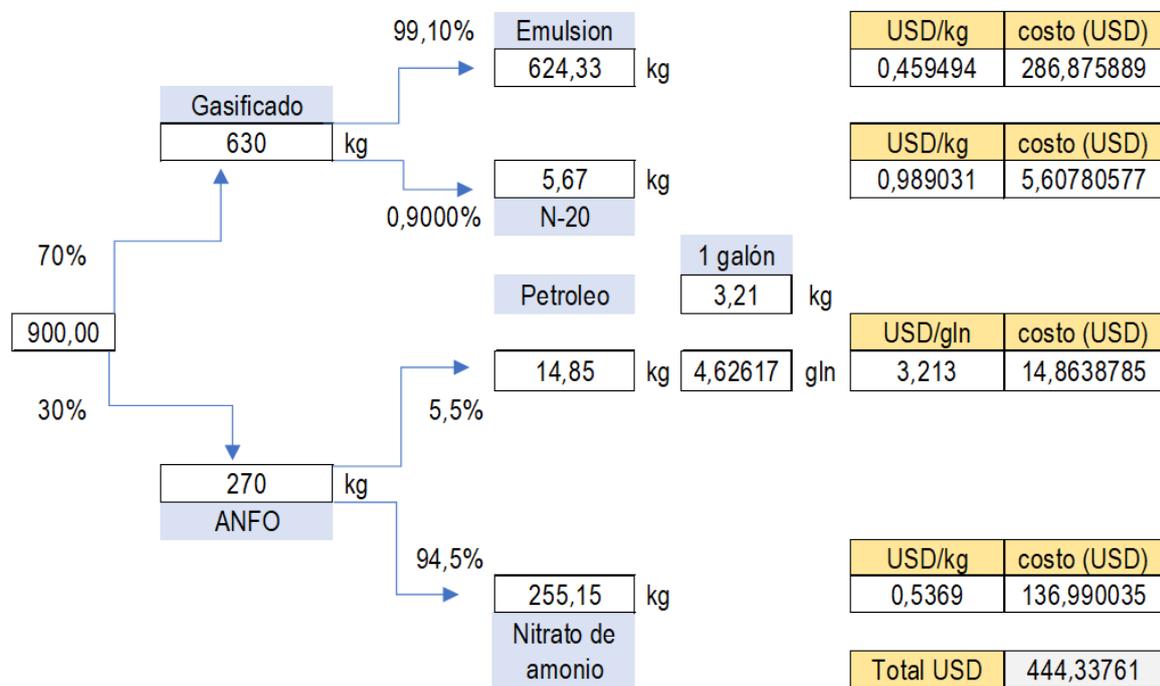


Figura 58. Costo por taladro cargado con Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado

Fuente: Elaboración propia

**B. ANALISIS DE COSTO POR TALADRO DE HEAVY ANFO 73 CON ACEITE RESIDUAL GASIFICADO**

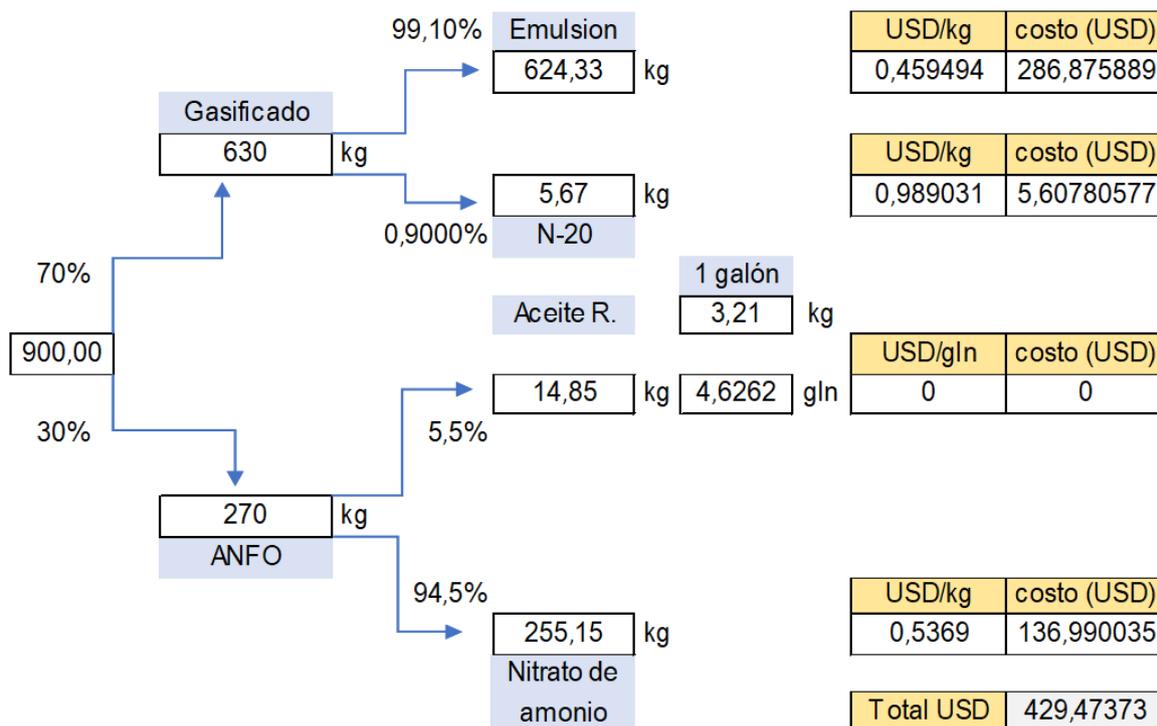


Figura 59. Costo por taladro cargado con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado  
Fuente: Elaboración propia

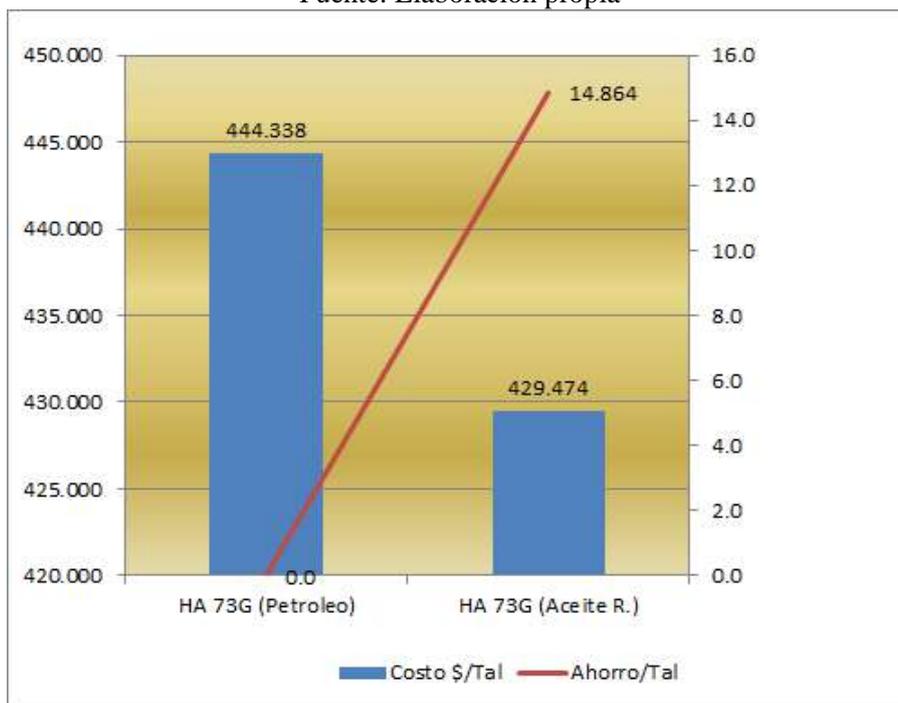


Figura 60. Comparación Económica y el ahorro por taladro  
Fuente: Elaboración propia

**COMPARACIÓN ECONÓMICA ENTRE HEAVY ANFO 73 G (PETROLEO) –  
HEAVY ANFO 73G (ACEITE RESIDUAL)**

Tabla 51. Comparación Económica

HA 73G (PETROLEO)			HA 73G (ACEITE R.)		
Diam. Taladro	Pulgada	12,25	Diam. Taladro	Pulgada	12,25
BURDEN	m	6,00	BURDEN	m	6,00
ESPACIAMIENTO	m	7,00	ESPACIAMIENTO	m	7,00
H. BANCO	m	15,00	H. BANCO	m	15,00
SOBRE P.	m	1,50	SOBRE P.	m	1,50
VOLUMEN	m <sup>3</sup>	630,00	VOLUMEN	M <sup>3</sup>	630,00
DENSIDAD	Ton/m <sup>3</sup>	2,65	DENSIDAD	Ton/m <sup>3</sup>	2,65
TONELAJE	Ton	1669,50	TONELAJE	Ton	1669,50
TACO	m	8,50	TACO	m	8,50
LONG. TAL	m	16,50	LONG. TAL	m	16,50
Long. Esponja	m	0,6	Long. Esponja	m	0,6
L. CARGA	m	7,40	L. CARGA	m	7,40
Mezcla Exp.		HA 73 G	Mezcla Exp.		HA73 G
D. Explosivo	gr/cm <sup>3</sup>	1,31	D. Explosivo	gr/cm <sup>3</sup>	1,31
D.Lineal	kg/m	99,67	D.Lineal	Kg/m	99,67
Explos. /Tal	Kg/Tal	900,00	Explos. /Tal	Kg/Tal	900,00
Factor de Potencia	kg/Ton	0,539	Factor de Potencia	kg/Ton	0,539
Costo	USD/Tal	444,338	Costo	U.S.\$/Tal	429,474
	USD/Ton	0,266		U.S.\$/Ton	0,257

Fuente: Elaboración propia  
Tabla 52. Comparación Económica

	# Taladros	HA 73G (Petróleo)	HA 73G (Aceite R.)
Costo \$/Tal	1	444,338	429,474
Ahorro\$/Tal	1	0,0	14,864
Ahorro \$/mes	6 500	0,0	96 615
Ahorro \$/año	78 000	0,0	1 159 383
		% Ahorro	3,46%

Fuente: Elaboración propia

## 4.2. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En esta sección se discuten las diferencias y similitudes que se encontraron en el desempeño de las mezclas explosivas en evaluación. Se analizó la información recopilada en la línea base y en la etapa de pruebas donde se experimentó con el reemplazo del petróleo por aceite residual como parte del Heavy ANFO 73 gasificado. Los puntos centrales de comparación son: velocidad de detonación, fragmentación, presencia de gases post. voladura y costos.

Es preciso indicar que todas las pruebas, se realizaron en el mismo tipo de terreno, no se variaron los parámetros de perforación y se usó los mismos accesorios de voladura.

En el capítulo IV, se ha hecho un análisis económico donde se compara el costo de fabricación del HA 73 con petróleo gasificado y Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado, en términos de petróleo, aceite residual, nitrito de sodio, nitrato de amonio y emulsión.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

En los resultados se llegó a la siguiente conclusión después de realizar la investigación son las siguientes:

1. Usando el Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado se redujo el costo por taladro, ya que el uso del aceite residual representa un gran beneficio económico. Así como su uso aporta al cuidado del medio ambiente ya que estos aceites altamente contaminantes son eliminados en el proceso de voladura. Los resultados obtenidos en la medición de velocidad de detonación no se verifica una variación significativa ya que usando el Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado registran un VOD promedio de 5703,07 mm/s y el registro de VOD con Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado en promedio es de 5746,8 mm/s.
2. El empleo del aceite residual minimizó el costo por taladro en 14,864 dólares, un ahorro de 96 615 dólares por mes y 1 159 383 dólares por año, cifras que representan un ahorro significativo del 3,46 % usando Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado.
3. Empleando el Heavy ANFO 73 con petróleo gasificado y el Heavy ANFO 73 con aceite residual, el tonelaje se mantuvo constante, obteniéndose buenos resultados. Así como también el P80 se mantuvo dentro del rango pedido por planta P80 en desmonte < 40 cm (Material A, B, C) y P80 en mineral < 17 cm (Material M).
4. Es un buen aporte a la conservación del medio ambiente ya que usando el Heavy ANFO 73 con aceite residual gasificado se elimina eficientemente en el proceso de voladura el aceite residual desecho altamente contaminante.

#### 5.2. RECOMENDACIONES

1. Para el uso del HA 73 G se deben realizar monitoreos constantemente como el control de densidad inicial, densidad final, control de la inyección de nitrito de sodio, tiempo de esponjamiento y longitud de esponjamiento del explosivo.
2. Se debe realizar el control de calidad de los agentes de voladura cada vez que ingresan a los polvorines, para poder garantizar que estas vienen de acuerdo a las especificaciones técnicas del producto.
3. Se debe tener especial cuidado cuando se va utilizar una emulsión recién llegada a la operación puesto que su temperatura será alta, y la emulsión caliente reacciona de una forma más rápida con la solución de nitrito de sodio, por lo que se tendrá que reducir la dosis. No es recomendable utilizar la emulsión recién llegada a la operación.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Banpfeld, H. y B. Morrey, W. 1984.** Emulsion explosives. Canada : s.n., 1984.
- Alejandro, Aguirre Garcia Andres. 2016.** Optimizacion de parametros de tronadura en funcion de explosivos de alta energia en sociedad contractual minera el Abra. Chile : s.n., 2016.
- Compañía Dyno Nobel. 1998.** Manual de procedimiento en la prueba en terreno y manipulación de nitratos de amonio. Canada : s.n., 1998.
- Ebert Cueva, Josvel A. Mostacero, Julio C. Aguilar. 2017.** Geología y Alcances Generales del Yacimiento Minero de Antamina. Lima : s.n., 2017.
- Edwin, Espinoza Vasquez. 2016.** Uso de mezclas explosivas para la optimizacion de voladuras en la empresa minera Yanacocha. Nasca : s.n., 2016.
- ENAEEX. 2005.** Manual de Tronadura. Santiago de Chile, Chile : s.n., 2005.
- Engineers, International Society of explosives. 2007.** Manual del especialista en voladura. Lima : s.n., 2007.
- EXSA S.A. 2012.** Manual Practico De Voladura. Lima, Peru : s.n., 2012.
- FAMESA EXPLOSIVOS SAC. 2009.** Emulsion Gasificada. Arequipa : s.n., 2009.
- Figuroa Urbano, Jesús Angel. 2017.** Diseño de perforación y voladura aplicando la teoría de Richard Ash, para la mejora de la fragmentación en la compañía minera Antamina S.A. 2017. Huaraz : s.n., 2017.
- INGEMMET. 2011.** Informe geoeconomico de la region Ancash. lima : s.n., 2011.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET). 2018.** Estimación del Potencial Minero Metálico del Perú y su Contribución Económica al Estado, Acumulado al 2050. Lima : s.n., 2018.
- Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico. 2011 .** INFORME GEOECONÓMICO DE LA REGIÓN ANCASH . Lima : s.n., 2011 .
- Instituto Tecnológico de España. 1994.** Manual Perforación y Voladura de Rocas. España : s.n., 1994.
- KONYA. 1995.** Diseño de voladura. 1995.
- Lara, Victor Alejandro Ames. 2008.** Diseño de las mallas de perforación y voladura utilizando la energia producida por las mezclas explosivas. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.
- López Jimeno, Carlos, Emilio y García Bermúdez, Pilar. 2003.** Manual de perforacion y voladura. Madrid : s.n., 2003.
- O'Connor, K. 1999.** Yacimiento polimetálico de Antamina. lima : s.n., 1999.
- Knight Piésold Consultores. 1999.** ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL COMPAÑÍA MINERA ANTAMINA S.A. Lima : s.n., 1999.
- Sánchez, Elvis Jair Escobar. 2014.** Evaluacion de los resultados de voladura con aceite lubricante residual en la mezcla de anfo. Tacna : s.n., 2014.
- Skarn, Deposito tipo. 2013.** MSc. Ing. Jorge ACOSTA ALE. Lima : s.n., 2013.
- Valdivia, Hector Manuel Diaz. 2002.** Implementación del empleo de aceite usado en la fabricación de agentes de voloadura como el Anfo en Mina Cuajone. Lima : s.n., 2002.

## ANEXOS

### ANEXO 1. ESTANDAR DE VOLADURA

#### 1. OBJETIVO

Establecer los lineamientos para un proceso sistemático de identificación continua de los peligros y evaluación y control de los riesgos relacionados a la Seguridad y Salud Ocupacional asociados a las actividades de voladura en las instalaciones de la mina, talleres y Planta.

#### 2. ALCANCE

Este procedimiento se aplica a todas las áreas operativas y administrativas de la Unidad Minera Antamina, así como a todas sus contratistas, proveedores y visitantes.

#### 3. REFERENCIAS LEGALES Y OTRAS NORMAS

- Reglamentos de seguridad y salud ocupacional (DS N 024-2016 EM).
- Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (Ley N 29783).
- Reglamento de la Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo (DS N 005-2012-TR).
- Reglamento Interno de Seguridad, Salud y Ambiente.
- Reglamento de Control de Explosivos de Uso Civil (DS 019-71-IN)

#### 4. ESPECIFICACIONES DEL ESTANDAR

##### 4.1. Comunicación y coordinaciones previas.

- El Área de Mina ha instalado Pizarras de Aviso de Voladura en áreas accesibles y concurridas por los trabajadores.
- El supervisor de Pervol actualizará las Pizarras de Aviso de Voladura a más tardar a las 07:45 am del mismo día de la voladura.
- El área de Pervol definirá en un plano la zona del área de influencia de Voladura, restricción de ingreso a los accesos y número de vigías.
- El día anterior a la voladura, el área de Pervol enviará un correo a todas las áreas informando la programación de la voladura, el horario, lugar, nombre del proyecto y adjuntará el plano con la ubicación de los proyectos a volar y sus radios de influencia.
- El día de la voladura a las 06:50 en la reunión matinal de inicio de guardia llevada a cabo en el Dispatch, se informará a todas las áreas sobre la voladura programada para ese día.
- Se realizará una reunión de Meeting a las 10:30 am cuando la voladura se realice a las 12:00 am o las 14:30 pm cuando la voladura se realice a las 16:00 pm, en la zona del proyecto a volar, para que el Supervisor de Pervol coordine con el Jefe de Mina y los Supervisores de Operaciones y Seguridad. Para tales reuniones se llenará el formato de reunión de Coordinación de Voladura – Meeting y será firmado por todos los involucrados.
- En caso de suspensión de voladura o cambio de horario se realizará un PETAR por cambio de horario de Voladura y los responsables de cada área involucrada firmarán dicho documento.
-

#### 4.2. Vigías de Voladura

- Los vigías de voladura deberán contar con una paleta de forma hexagonal de 20 cm por lado, de color rojo reflectivo, con la inscripción de “ALTO VOLADURA” en color blanco reflectivo ubicado en el centro de la paleta y con bordes de cinta reflectiva blanca de 2.5 cm, de ancho y un cono de seguridad.
- Adicionalmente los vigías portarán una radio portátil para su comunicación en el momento del disparo.
- Una vez cerrado el pase por voladura, ningún vigía podrá dar pase al Área de influencia de Voladura (de ser necesario deberá pedir autorización al supervisor de Pervol).

#### 4.3. Área cargada con explosivos

- Está prohibido fumar o hacer fuego abierto a una distancia menor de 100 m. del área cargada con explosivos así como también el uso de celulares.
- Las áreas cargadas con explosivos deberán contar obligatoriamente con: Muro de seguridad perimétrica a una altura no menor de 60 cm, Letreros con la leyenda “RIESGO, AREA CARGADA CON EXPLOSIVOS” “INGRESO SOLO PERSONAL AUTORIZADO”, Cinta perimétrica de color rojo y/o conos de seguridad.
- Solo el personal autorizado que cuente con el carnet de SUCAMEC podrá ingresar a un área que estén cargando o esté cargada con explosivos.
- Si por razones de trabajo, personal ajenas al área de voladura necesitan ingresar a un área cargada con explosivos, deberán solicitar autorización del supervisor se PERVOL.

#### 4.4. Transporte de explosivos

- El Supervisor de Pervol solicita al polvorín los explosivos y accesorios de voladura de acuerdo a las necesidades verificadas en campo.
- Solo para el caso de los trabajos de carguío de los taladros los explosivos y accesorios de voladura se ubicaran en zonas de almacenamiento temporal cerca del área de trabajo respetando la compatibilidad de los mismos y manteniendo 10 m. de distancia entre los explosivos y accesorios de voladura.
- Si al concluir los trabajos de voladura hubiera material restante, el supervisor de Pervol devolverá el excedente de manera inmediata.
- Solo personal autorizado puede transportar explosivos desde los polvorines a las áreas de voladura y viceversa.
- La velocidad máxima para el camión fábrica y la camioneta de transporte de explosivos es de 40 km/h.
- El camión fábrica y la camioneta de transporte de explosivos contarán con líneas (cadena) a tierra con la finalidad que la corriente estática que se pudiera acumular en la masa metálica de la unidad sea descargada.

- Las tolvas de las camionetas de transporte de explosivos deben estar cubiertas con material aislante o colocar una caja de madera.
- La camioneta debe contar con un letrero en la parte posterior y anterior con la inscripción “EXPLOSIVOS” de 1 cm de largo por 0.30 m de ancho con blanco y letras de color rojo.
- Está prohibido transportar en el mismo vehículo explosivos y accesorios de voladura.
- Durante el transporte de explosivos solamente podrán ocupar el vehículo personal autorizado.
- El camión fábrica y la camioneta de explosivos deben contar con circulina color ámbar, rojo y sirena, las cuales deben permanecer prendidas al salir del polvorín hasta el proyecto donde se realizara el carguío.
- Está prohibido fumar y usar celulares en el camión fabrica y la camioneta de transporte de explosivos.
- Está prohibido que el camión fábrica y la camioneta de transporte de explosivos ingresen a mantenimiento con explosivos y accesorios de voladura.

#### **Protocolo de voladura**

- El horario de voladura es de 12:00 a 13:00 horas y de 16:00 a 17:00 horas en cualquier día de la semana.
- Media hora antes de la voladura se iniciara la evacuación de las áreas involucradas de la zona de influencia de la voladura. A través del Supervisor de Operaciones, retirando al personal y equipos del área de influencia de la voladura. Al finalizar el Supervisor de Operaciones confirmará el despeje al Supervisor de Pervol.
- El área de influencia de voladura será en un radio de distancia para las personas de 500 m y para los equipos de 300 m.
- 15 minutos antes del horario de voladura establecido, el Supervisor de Pervol realiza la confirmación de la ubicación de todos los vigías los cuales deben indicar estar en sus áreas de responsabilidad durante el disparo.
- Antes de iniciar el Protocolo de Disparo, el Supervisor de Pervol deberá obtener la conformidad del Jefe de Mina solicitando la autorización para iniciar el protocolo de voladura.
- Los vigías de voladura serán ubicados en puntos definidos. El supervisor de Seguridad inicia el proceso de revisión y despeje final de todas las áreas. Al terminar la revisión lanzara el claro al supervisor de Pervol y se colocara detrás de algún vigía.
- El Supervisor de Pervol declarara el silencio radial en la frecuencia que se usara durante la voladura el cual deberá ser acatado por todo el personal.
- Antes de disparar se emitirá una señal preventiva por medio de una sirena por 10 minutos, el sonido deberá tener un alcance no menor a los 500 m.
- Para iniciar la voladura el Supervisor de Pervol solicita la confirmación final de área despejada y autorización para iniciar el disparo.

- Después de 5 minutos de haber realizado el disparo el Supervisor de Pervol solicitara el permiso de ingreso al Jefe de Mina, luego de lo cual evaluara y dara la orden a su personal para ingresar a la malla disparada y verificar visualmente el resultado del disparo.
- Si se encuentra alguna anomalía en la revisión, el área se mantendrá despejada y cerrada hasta que el Jefe de Mina y el Supervisor de Pervol revisen y adopten medidas de control.
- En caso contrario, el Supervisor de Pervol entregara el área libre al Jefe de Mina quien reiniciara las operaciones de mina y/o informara a los Supervisores de otras áreas el reinicio de las operaciones.
- Si por alguna consideración no se llegara a realizar el disparo programado, el áreas será delimitada y se coordinara con el Jefe de Mina para un nuevo disparo.
- El frente podrá quedar cargado pero de debe retirar el amarre.

## ANEXO 2. PROCEDIMIENTO PARA EL CÁLCULO DE LA DENSIDAD EN CAMPO.

Para realizar el cálculo de la densidad del Heavy ANFO 73 Gasificado se necesitan los siguientes instrumentos y equipos.

### 1. INSTRUMENTOS Y EQUIPOS

- Balanza electrónica con capacidad de pesaje de por lo menos 1 kg (calibrada).
- Calculadora.
- Cronometro.
- Recipiente graduado de peso y volumen conocido.
- Espátula que sirva para enrazar.

Fotografía 1. Kit de medición de densidad.



Fuente: Elaboración propia

### 2. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD EN CAMPO

- Verifique que la Balanza Electrónica este calibrada y que todos los componentes estén en buenas condiciones. Hacer el destare del recipiente vacío el cual nos ayudara a obtener el peso exacto de la mezcla.
- Con la ayuda de un recipiente obtener una muestra del producto a analizar.
- Llene el vaso graduado con el producto dando golpes de arriba hacia abajo al recipiente para eliminar las burbujas en el interior del recipiente.
- Enrase el recipiente con la mezcla con la ayuda de una espátula. Asimismo, limpie las paredes exteriores del recipiente de cualquier exceso que pudiera existir.

- Determine el peso total de la muestra con la balanza.
- Verificar en el cuadro de referencias para obtener la densidad o mediante la ayuda de la siguiente formula halle la densidad:

$$\text{Densidad} = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso del recipiente vacio} (\text{gr})}{\text{Volumen del recipiente} (\text{cm}^3)}$$

- Repetir todos los pasos anteriores desde el principio con dos a tres muestras más, luego sacar el promedio final.

Fotografía 2. Obtención de la muestra.



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 3. Enrase del recipiente con la mezcla.



Fuente: Elaboración propia

### **ANEXO 3. PETS DE MEDICIÓN DE VOD.**

#### **1. PERSONAL**

- Supervisor de Asistencia Técnica
- Personal de cuadrilla de Voladura designado

#### **2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

- Protector o casco
- Lentes
- Tapones
- Respirador
- Cortaviento
- Guantes de cuero badana liviano
- Zapatos de seguridad
- Chaleco
- Mameluco
- Impermeable en caso de lluvias

#### **3. EQUIPO / HERRAMIENTA / MATERIALES**

- Equipo para medir VOD definido
- Cable resistivo
- Cable coaxial RG-58
- Caja metálica de protección
- wincha de lona de 30m
- cinta aislante
- pico y lampa
- Libreta de apuntes
- lapiceros y formato de toma de datos de VOD
- Reloj con cronometro
- Radio walkie-talkie

#### **4. PROCEDIMIENTO**

- Definir en el plano de perforación los taladros donde se va a realizar la medición, para no cargarlos antes.
- Se programa el equipo con los datos de la medición.
- Se une el extremo del cable resistivo, cortocircuitando o soldado al iniciador (booster) usando cinta aislante
- Se introduce el iniciador adherido al extremo del cable resistivo dentro del taladro, se procede al carguío tratando de que el iniciador quede en el centro del explosivo.

- Se une el cable resistivo con el cable coaxial.
- Se instala el equipo VOD en terreno, uniendo este y la probeta con cable coaxial número RG-58.
- Se prende el equipo y se deja a la espera del trigger para iniciar la medición.
- Cubrir con la caja metálica el equipo de VOD.
- Con la ayuda de la lampa cubrir el cable coaxial con detrito desde el taladro de 20 metros aproximadamente.

##### **5. RESTRICCIONES**

No usar carretilla porque no es tan dura o fuerte como la caja metálica.

**ANEXO 4. PETS DE MEDICIÓN DE VIBRACIONES.****1. PERSONAL**

- Supervisor de Asistencia Técnica
- Personal de cuadrilla de Voladura designado

**2. EQUIPOS DE PROTECCIÓN PERSONAL**

- Protector o casco
- Lentes
- Tapones
- Respirador
- Cortaviento
- Guantes de cuero badana liviano
- Zapatos de seguridad
- Chaleco
- Mameluco
- Impermeable en caso de lluvias

**3. EQUIPO / HERRAMIENTAS / MATERIALES**

- Sismógrafo definido por el jefe de instrumentación
- Geófonos de superficie y demás cables verificados
- Caja metálica de protección
- Wincha de lona de 30m
- Pico y lampa
- Libreta de apuntes, lapiceros y formato de toma de datos
- Reloj con cronometro, radio walkie-talkie

**4. PROCEDIMIENTO**

- Se ubica el lugar para realizar la medición el cual debe estar alejado a 50m de la voladura.
- Se coloca al geófono sus tres patas para anclarlo a la superficie.
- Se hace un pequeño hueco en la superficie, para ubicar el geófono encima de 2 Kg. aproximadamente. De tal manera que el geófono se encuentre en contacto por sus tres dimensiones junto al macizo rocoso.
- Se conecta el geófono al monitor se programa el Equipo con los datos de
- Se enciende y se deja el equipo en proceso de monitoreo.
- Se coloca encima del monitor la caja metálica de protección y se evacua el área.
- Luego del disparo se procede a recuperar el equipo y se apunta la medición al fondo y se le coloca tierra encima, un peso la medición y parámetros de grabación.
- Luego del disparo se procede a recuperar el equipo y se apunta la medición y la hora.

## 5. RESTRICCIONES

No usar carretilla porque no es tan dura o fuerte como la caja metálica.

### ANEXO 5. CLASIFICACIÓN DE MATERIALES PARA POLÍGONOS EN DISPATCH Y ESTACAS DE CAMPO.

ESTACAS DE MADERA								
Código	Color de estaca	Clasificación	Límites de metal/restricciones				Destino	
<b>X</b>	Estacas de color naranja con cinta azul		Leyes pendientes				No cargar	
<b>A</b>	Naranja	Desmante Zonas de	Hornfels/calizas/Marmol/skarn/intrusivo/cuatenario • >1500 ppm(0.15%) Zn ó >400ppm(0.04%)As • > 3 % sulfuros totales visuales				Botadero este	
		AO oxido	Ox > 40% del ratio CUAC/CUTOT					
<b>AI</b>	Amarillo	Desmante ligeramente reactivo (no	<b>Tipo de roca intrusivo</b> <b>S total (lab) hasta 1%</b> Valor del límite se S total no mayor a 1% es deseable tener un margen de				<b>Tailings</b> (enrocado)	
<b>B</b>	Azul	Desmante potencialmente reactivo	Hornfels/caliza/mármol • 700-1500 ppm Zn ó < 400 ppm(0.04%) As • < 2-3% de sulfuro total visual				Botaderos tucush	
<b>C</b>	verde	Desmante no reactivo	Hornfels/caliza/mármol < 700 ppm(0.07%)Zn < 400 ppm(0.04%)As < 2-3% de sulfuro total visual < 20% finos para presa			< 10% FeOx	Tailings Dam	
						Sin restricción FeOx		Botaderos
<b>C1</b>	verde	Desmante no reactivo	Hornfels/caliza/mármol < 700 ppm(0.07%)Zn < 400 ppm(0.04%)As < 2-3% de sulfuro total visual			FeOx<10% Abrasión<40 Compresión >60 MTYMS=96	Tailings Dam	
PIN STAKES								
código	Color de banderín	Clasificación	VPHRM K\$/h	%Cu	%Zn	Bi ppm	Bi/Cu Biconc	Destino
<b>M1</b>	Fuccia	Cu bajo en bismuto	≥ 6 k\$/h	NA	<0.6	NA	<19 <350 ppm	Chancadora primaria y
<b>M2</b>	amarillo	Cu alto en bismuto	≥6 k\$/h	NA	<0.5	<115	19-35.3 >350-800	Chancadora primaria y
<b>M2A</b>	Verde esmeralda	Cu muy alto en bismuto	≥6 k\$/h	NA	<0.5	≥115	≥35.3 ≥800ppm	Chancadora primaria y
<b>M4B</b>	Naranja	Cu-Zn muy	≥6 k\$/h	NA	≥0.5	NA	NA	Chancadora
<b>M5</b>	Celeste	Bornita bajo	≥6 k\$/h	NA	<0.5	NA	NA	Chancadora
<b>M6</b>	Azul	Bornita alto	≥6 k\$/h	NA	≥0.5	NA	NA	Chancadora
<b>*M-</b>	Cinta roja	Mineral	≥6 k\$/h	De acuerdo a pruebas Metalúrgicas Ox >15% del			NA	Chancadora
*Mineral determinado por pruebas metalúrgicas como transicional, generalmente M2,M2A y M4B, destino chancadora primaria o			MINERAL		VPHRM ≥ 6.0 k\$/h			

Fuente: Área de diseño Antamina

**ANEXO 6. PARÁMETROS DE PERFORACIÓN.**

Tabla 53. Parámetros de perforación según tipo de material.

FASES	MATERIAL	PARAMETROS		
		B(m)	S(m)	SG(m)
FASE 5	M5 Y M6	6	7	1,5
	M4B	6,5	7,5	1,5
	M1, M2, M3	8	9	1,5
	A, B, C	9,5	10,5	2
FASE 6	M5 Y M6	6	7	1,5
	M4B	6,5	7,5	1,5
	M1, M2, M3	7,5	8,5	1,5
	A, B, C	7,5	8,5	1,5
FASE 7	M5 Y M6	6	7	1,5
	M4B	6,5	7,5	1,5
	M1, M2, M3	7,5	8,5	1,5
	A, B, C	9	10	2
FASE 8	M5 Y M6	5,5	6,5	1,5
	M4B	6,5	7,5	1,5
	M1, M2, M3	7	8	1,5
	A, B, C	9	10	2

Fuente: Área de diseño Antamina

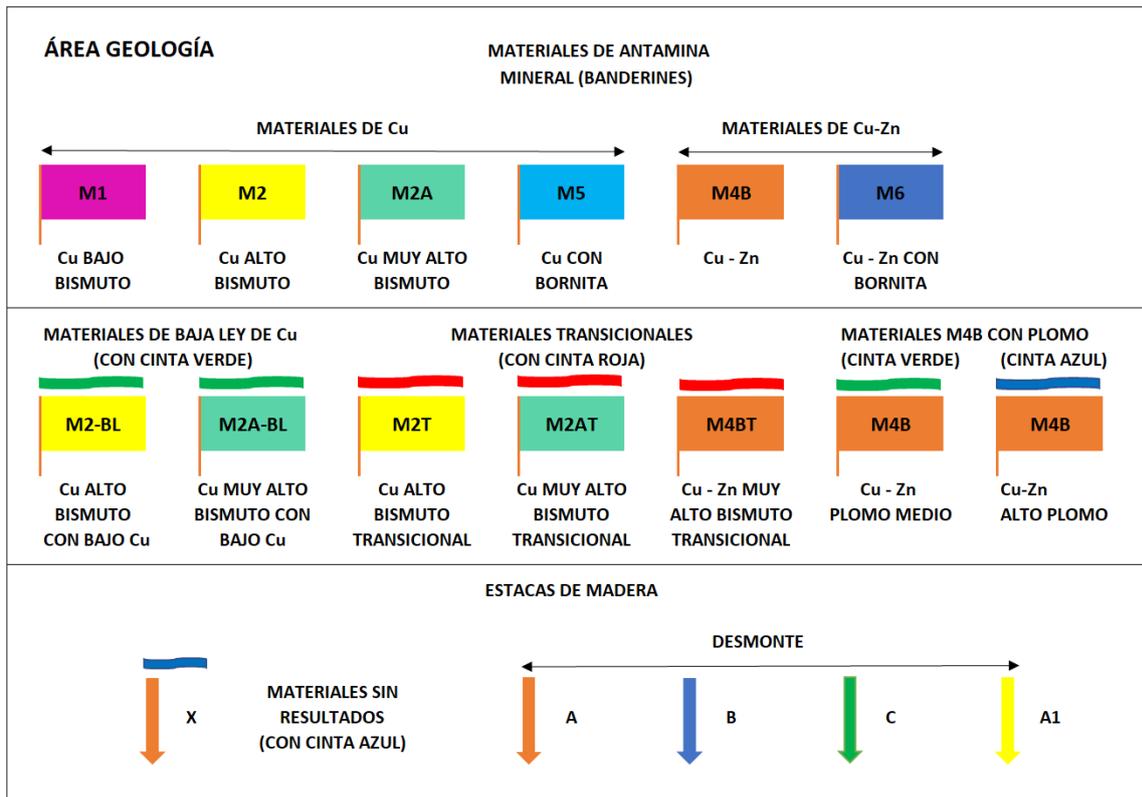


Figura 61. Materiales de Antamina  
Fuente: Área de Geología Antamina

## ANEXO 7. EQUIPOS PARA MEDICIÓN DE VIBRACIONES.

Fotografía 4. Instantel Micromate



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 5. Instantel Micromate Plus



Fuente: Elaboración propia

## ANEXO 8. EQUIPOS DE MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN Y PARA EL ANALISIS DE FRAGMENTACIÓN.

Fotografía 6. Microtrap VOD



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 7. Portametrics



Fuente: Elaboración propia

**ANEXO 9. SISTEMA COMPUTALIZADO DE CARGUIO EN CAMIÓN FÁBRICA.**

Fotografía 8. Cabina de camión fábrica



Fuente: Elaboración propia

Fotografía 9. Cabina de camión fábrica



Fuente: Elaboración propia

ANEXO 10. CROQUIS DE TAJO OPERACIONES MINA.

