

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS PROFESIONAL

**BENEFICIOS DEL USO DE ANFO PESADO EN EL PROCESO DE
VOLADURA EN MINERÍA A CIELO ABIERTO CON LA EMPRESA
ENAEX – MINERA YANACOCCHA 2018**

Para optar Título Profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Presentada por:

Bach. Otilia Patricia Mantilla Quispe

Asesor:

M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana

Cajamarca – Perú
2021

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va dirigido a:

Dios, por haberme brindado la vida y por su infinita gracia hacia mi persona durante todos estos años.

Mis docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional de Cajamarca

Al equipo Enaex, especialmente al Ing. York Chino y al Ing. Yimer Castañeda, los cuales ayudaron en mi formación laboral y me brindaron la información necesaria para desarrollar esta tesis profesional.

Mi asesor, M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, quien me brindó su tiempo y sus conocimientos para poder complementar esta tesis profesional.

DEDICATORIA

A mis padres Pedro y Victoria, a mis hermanos Luis y José, por sus enseñanzas, consejos y apoyo incondicional que he recibido por parte de ellos a lo largo de mi vida, y por su soporte en esta etapa de mi formación académica.

ÍNDICE

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE TABLAS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ABREVIATURAS	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
--------------------	---

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.....	3
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
2.1.1. ANTECEDENTES INTERNACIONALES	3
2.1.2. ANTECEDENTES NACIONALES	3
2.1.3. ANTECEDENTES LOCALES.....	4
2.2. BASES TEÓRICAS.....	5
2.2.1. PERFORACIÓN.....	5
2.2.3. VOLADURA	7
2.2.4. ACCESORIOS DE VOLADURA.....	13
2.2.5. EXPLOSIVOS	15
2.2.6. AGENTES DE VOLADURA.....	17
2.2.7. MECANISMO DE FRAGMENTACIÓN DE LA ROCA.....	23
2.2.8. VOLADURAS CONTROLADAS	27
2.2.9. VIBRACIONES.....	28
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	30

CAPÍTULO III

	Pág.
MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	32
3.2. ACCESIBILIDAD	33
3.3. CLIMA Y VEGETACIÓN	34
3.3.1. CLIMA.....	34
3.3.2. VEGETACIÓN	34
3.4. GEOLOGÍA REGIONAL Y LOCAL.....	35
3.4.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	35
3.4.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	35
3.5. HIDROGRAFÍA:	36
3.6. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	37
3.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.6.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	37
3.6.3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	37
3.6.4. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	37
3.6.5. POBLACIÓN DE ESTUDIO.....	37
3.6.6. MUESTRA.....	37
3.6.7. UNIDAD DE ANÁLISIS.....	37
3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	38
3.7.1. ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	38
3.7.2. ETAPA DE RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	38
3.7.3. ETAPA DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	38
3.8. DEFINICIÓN DE VARIABLES	38
3.9. EQUIPOS Y MATERIALES.....	40
3.10. GENERALIDADES DE MINERA YANACOCHA SRL.....	41
3.10.1. ANTECEDENTES GENERALES	41
3.10.2. CICLO DE MINADO EN MINERA YANACOCHA.....	41

CAPÍTULO IV

	Pág.
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	72
4.1. RESUMEN DE VOLADURAS	72
4.1.1. TAJO QUECHER MAIN.....	72
4.1.2. TAJO TAPADO OESTE – LA QUINUA	74
4.1.3. TAJO YANACOCHE.....	76
4.2. KPIS DEL PROCESO DE PRUEBA	79
4.2.1. MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE DETONACIÓN (VOD).....	79
4.2.2. NIVEL DE HUMOS NARANJAS	80
4.2.3. ANÁLISIS DE FRAGMENTACIÓN.....	81
4.2.4. ANÁLISIS DE VIBRACIONES	82
4.2.5. ANÁLISIS DE FACTOR DE POTENCIA.....	85
4.2.6. RENDIMIENTO DE EQUIPOS DE CARGUÍO – PALAS (T/H).....	87
4.2.7. COSTO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA (\$/T)	93

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
5.1. CONCLUSIONES	95
5.2. RECOMENDACIONES	97
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	98
ANEXO.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Densidades de las Mezclas explosivas más comunes	22
Tabla 2: Balance de Energía y Resistencia al agua del Anfo Pesado.....	22
Tabla 3. Operacionalización de Variables.....	39
Tabla 4: Equipos de perforación en Minera Yanacocha.	43
Tabla 5: Detalles de cada tipo de diseño de taladro	46
Tabla 6: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro de Producción.....	47
Tabla 7: Diseño teórico de carga para roca dura HA55	48
Tabla 8: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro adyacente.....	48
Tabla 9: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro 1ra Producción	49
Tabla 10: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro 2da Producción.....	49
Tabla 11: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro de Producción	50
Tabla 12: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro adyacente ...	51
Tabla 13: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro 1ra Producción.....	51
Tabla 14: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro 2da Producción.	52
Tabla 15: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro de Producción	53
Tabla 16: Diseño teórico de carga para roca dura HA 55, con diferente altura de banco.....	53
Tabla 17: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro adyacente ...	54

	Pág.
Tabla 18: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro de 1ra Producción	54
Tabla 19: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro de 2da Producción	55
Tabla 20: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro de Producción	56
Tabla 21: Diseño teórico de carga para roca dura HA 46, con diferente altura de banco	56
Tabla 22: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro adyacente. ..	57
Tabla 23: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro de 1ra Producción	57
Tabla 24: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro de 2da Producción	58
Tabla 25: Configuración de carga para roca suave y sin presencia de agua HA 28, taladro de Producción	59
Tabla 26: Diseño teórico de carga para roca dura HA 28, con diferente altura de banco	59
Tabla 27: Configuración de carga para roca suave y sin presencia de agua HA 37, taladro de producción	60
Tabla 28: Configuración de carga para roca suave y sin presencia de agua HA 37, taladro adyacente	60
Tabla 29: Verificación de la densidad del HA 55	66
Tabla 30: Verificación de la densidad del HA 73	66
Tabla 30: Promedio de factor de potencia en tajo Quecher Main	72
Tabla 31: Explosivo utilizado en tajo Quecher Main	72

	Pág.
Tabla 32: Resumen de voladuras en el tajo Quecher Main.....	73
Tabla 33: Resumen de voladuras en el tajo Tapado Oeste.....	74
Tabla 34: Promedio de factor de potencia en el tajo Tapado Oeste	75
Tabla 35: Explosivo utilizado en el tajo Tapado Oeste.....	75
Tabla 36: Resumen de voladuras en tajo Tapado Yanacocha	76
Tabla 37: Factor de carga en el tajo Yanacocha.....	77
Tabla 38: Consumo de explosivos en el tajo Yanacocha	77
Tabla 39: Vod de mezclas explosivas utilizadas	79
Tabla 40: Analisis de fragmentación en diferentes frentes de minado.....	81
Tabla 41: Cuadro de análisis de vibraciones de las voladuras	82
Tabla 42: Propuesta técnica en el tajo Quecher Main	86
Tabla 43: Propuesta técnica en el tajo Yanacocha	86
Tabla 44: Propuesta técnica en el tajo Tapado Oeste.....	87
Tabla 45: Propuesta técnica a implementarse en el tajo Quecher Main.....	87
Tabla 46: Propuesta técnica a implementarse en el tajo Tapado Oeste.....	87
Tabla 47: Propuesta técnica a implementarse en el tajo Yanacocha.....	87
Tabla 48: Voladuras en Tapado Oeste para analizar el Dig Rate.....	89

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Principios de perforación mecánica de rocas.....	5
Figura 2. Muestra los tipos de mallas de perforación.....	7
Figura 3: Nomenclatura de un banco de voladura.....	12
Figura 4: Composición de una Emulsión.	19
Figura 5: Abastecimiento de agentes Explosivos.	20
Figura 6: El comportamiento de la velocidad de detonación (VOD) del Anfo y Anfo pesado	23
Figura 7: Proceso de detonación.....	24
Figura 8: Propagación de las ondas de Choque.....	25
Figura 9: Expansión del gas a presión	25
Figura 10: Movimiento del Material.....	26
Figura 11: Comportamiento de las ondas de una vibración generada por voladura.....	29
Figura 12: Ubicación geográfica de Minera Yanacocha	32
Figura 13: Vista satelital del yacimiento minero Yanacocha	32
Figura 14: Ubicación de los tajos de Minera Yanacocha.....	33
Figura 15: Accesibilidad a Minera Yanacocha.....	33
Figura 16: Adaptado del mapa de las 08 regiones naturales del Perú (Pulgar, 1987).....	34
Figura 17: Sección transversal mostrando las alteraciones del Yacimiento. (Díaz, 2008)...	36
Figura 18: Ciclo de minado en Minera Yanacocha.	41

	Pág.
Figura 19: Perforadora Pit Viper 270	43
Figura 20: Perforadora Roc L8	43
Figura 21: Diseño triangular de una malla de perforación utilizada en Minera Yanacocha.	44
Figura 22: Taladro de pre corte.	45
Figura 23: Plano de falla producido por los taladros de pre corte.	45
Figura 24: Ubicación de taladros de procedimiento.	46
Figura 25: Diseño de columnas explosivas según taladros HA 55	50
Figura 26: Diseño de columnas explosivas según taladro, HA73.....	52
Figura 27: Diseño de columnas explosivas según taladro, HA55.....	55
Figura 28: Diseño de columnas explosivas según taladro, HA	58
Figura 29: Función de las cámaras de aire.	61
Figura 30: Silo de emulsión matriz, Minera Yanacocha	62
Figura 31: ID de taladro, y distribución de accesorios de voladura.....	63
Figura 32: Primado de taladros.....	63
Figura 33: Camiones fabrica utilizados.....	64
Figura 34: Camión fábrica (Milodon), cargando con Anfo Pesado al taladro.	64
Figura 35: Camión fábrica (Cuadra), cargando con Anfo Pesado al taladro.....	65
Figura 36: Toma y pesado de muestra de la mezcla explosiva para verificar su densidad...	65
Figura 37: Tapado de taladros, mediante minicargadores.	67

	Pág.
Figura 38: Sistema de programación de voladuras	68
Figura 39: Vibración límite, Norma alemana DIN 4150-3. (Bonisch, 2018).....	69
Figura 40: Secuencia de medición de fragmentación. (DaveyBickford, 2017)	70
Figura 41: Sistema de medición de fragmentación. (DaveyBickford, 2017)	70
Figura 42: Pala cargando material a un camión gigante	71
Figura 43: Cargador frontal cargando material a un camión gigante	71
Figura 44: Gráfico de factor de potencia en el tajo Quecher Main.....	72
Figura 45: Gráfico de consumo de explosivo en el tajo Quecher Main	72
Figura 46: Gráfico de factor de potencia en el tajo tapado oeste	75
Figura 47: Gráfico de consumo de explosivos en el tajo tapado oeste.....	75
Figura 48: Gráfico de factor de carga en el tajo Yanacocha.....	77
Figura 49: Gráfico de consumo de explosivos en el tajo Yanacocha	77
Figura 50: Resumen de consumo de explosivos por tajos	78
Figura 51: Consumo de explosivos por tipo de HA.....	78
Figura 52: Consumo de explosivo total vs tonelaje roto	78
Figura 53: Vod de mezclas explosivas utilizadas.	79
Figura 54: Proceso de análisis sobre la emisión de humos naranjas.	80
Figura 55: Resultado de emisión de humos naranjas en voladuras.	80
Figura 56: Fotografías de la fragmentación después de la voladura.	81

	Pág.
Figura 57: Datos históricos de fragmentación en Minera Yanacocha.....	81
Figura 58: Análisis de vibraciones según norma alemana DIN 4150-3.....	83
Figura 59: Criterio de niveles de vibración perceptible y su impacto.	83
Figura 60: Análisis de vibraciones según respuesta humana a la vibración.....	84
Figura 61: Monitoreo de vibraciones Enaex, en Minera Yanacocha.....	85
Figura 62: Factor de Potencia según el tipo de roca	85
Figura 63: Factor de Potencia por el tajo	86
Figura 64: Dig rate Leach PAD	88
Figura 65: Dig rate Gold Mill TO	88
Figura 66: Dig rate Waste TO.....	89
Figura 67: Dig rate Leach PAD	90
Figura 68: Dig rate Gold Mill.....	90
Figura 69: Dig rate Waste	91
Figura 70: Análisis del Dig Rate en los 3 depósitos	91
Figura 71: Análisis del Dig Rate en los 3 depósitos según el target.....	92
Figura 72: Análisis del Dig Rate promedio por palas.....	92
Figura 73: Costo promedio de voladura por tajo.....	93
Figura 74: Costo de perforación y voladura por tonelada.....	93
Figura 75: Costo promedio por tajo	94

ABREVIATURAS

TO:	Tajo Tapado Oeste – La Quinua.
YA:	Tajo Yanacocha
QM:	Tajo Quecher Main
B:	Burden
E:	Espaciamiento
H:	Altura de banco
T:	Taco
SP:	Sobre perforación
LP:	Longitud de Perforación
D:	Diámetro de taladro
P:	Perforación
V:	Voladura
NO:	Monóxido de Nitrógeno
VOD:	Velocidad de Detonación
HA:	Heavy Anfo – Anfo Pesado
NA:	Nitrato de Amonio
NC:	Nitrato de Calcio
ρ Anfo:	Densidad del Anfo
MPA:	Mega Pascales
CO₂:	Dióxido de Carbono
P80:	Fragmentación
SO₂:	Dióxido de Sulfuro
ALO₂:	Aluminio, oxígeno (2-)
FC:	Factor de Carga
FP:	Factor de Potencia
UTM:	Universal Transverse Mercator
SM:	Sílice Masiva

SA:	Sílice Alunita
SG:	Sílice Granular
SC:	Cuarzo Arcillas
CLAY:	Arcillas Silíceas
PPM:	Partes por millón
TN:	Tonelada
IN:	Pulgadas
VPP:	Velocidad pico partícula
PRILLS:	Presentación del Nitrato de Amonio
KPIs:	Indicador clave de rendimiento
DIG RATE:	Tasa de Excavación
DIN 4150-3:	Norma Alemana sobre vibraciones
IFC:	Corporación Financiera Internacional

RESUMEN

Esta investigación se ha desarrollado en los tajos Tapado Oeste, Yanacocha y Quecher Main, en la operación Minera Yanacocha. Actualmente en el proceso de voladura se emplea la Emulsión Gasificada como mezcla explosiva, evidenciándose deficiencias en la utilización de ésta y con la finalidad de optimizar los resultados posteriores a la voladura. La empresa Enaex Chemtrade, como parte del proceso de pruebas presentó la propuesta de la utilización del Anfo Pesado como mezcla explosiva. El objetivo es determinar los beneficios en la utilización del Anfo Pesado, en el proceso de voladura en minería a cielo abierto. Con ese fin se realizaron pruebas en 24 mallas de perforación, distribuidas en los tres tajos, el diseño de la carga explosiva de cada taladro, varía de acuerdo al tipo de taladro y los parámetros de voladura presentes en cada malla de perforación. Los resultados obtenidos son los siguientes: La fragmentación de mineral de alta ley es de 2.48” a 3.74” y para desmonte es de 3.8” a 4.14”; el Dig rate es de 4313 t/h en la pala SH005 y de 4817 t/h en la pala SH007; el costo promedio de voladura es de 0.16 USD\$/t; el factor de potencia promedio es de 0.25 Kg/t; se obtuvo cero humos naranjas y las vibraciones se mantienen entre apenas perceptible y fácilmente perceptible. Beneficiando el proceso de voladura con una adecuada fragmentación por lo tanto incrementando considerablemente el Dig rate, controlando las vibraciones y la emisión de humos naranjas, favoreciendo al medioambiente.

Palabras clave: Diseño de malla de perforación, taladro, diseño de carga explosiva, Anfo pesado, Voladura, densidad, vibraciones, fragmentación, emisión de humos naranjas.

ABSTRACT

This research has been carried out in the Tapado Oeste, Yanacocha and Quecher Main pits, in the Minera Yanacocha operation. Currently in the blasting process, Gasified Emulsion is used as an explosive mixture, showing deficiencies in its use and in order to optimize the results after blasting. The Enaex Chemtrade company, as part of the testing process, presented the proposal to use Anfo Pesado as an explosive mixture. The objective is to determine the benefits in the use of Heavy Anfo in the blasting process in open pit mining. To this end, tests were carried out on 24 drilling meshes, distributed in the three pits, the design of the explosive charge of each drill varies according to the type of drill and the blasting parameters present in each drilling mesh. The results obtained are as follows: High grade mineral fragmentation is 2.48" to 3.74" and for waste rock it is 3.8" to 4.14"; the Dig rate is 4313 t / h on the SH005 shovel and 4817 t / h on the SH007 shovel; the average cost of blasting is 0.16 USD \$ / t; the average power factor is 0.25 Kg / t; Zero orange fumes were obtained and the vibrations remain between barely perceptible and easily perceptible. Benefiting the blasting process with adequate fragmentation, therefore considerably increasing the Dig rate, controlling vibrations and the emission of orange fumes, favoring the environment.

Keywords: Drilling mesh design, drill, explosive charge design, Heavy Anfo, Blasting, density, vibrations, fragmentation, emission of orange fumes.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La voladura de rocas conlleva a un gran impacto en la productividad y economía de una operación minera, es por eso que, si el proceso de voladura produce un pobre resultado, entonces el carguío es más complicado y su productividad es reducida significativamente. Se considera una buena voladura cuando se logra un adecuado grado de fragmentación, minimizando el daño al entorno del macizo rocoso, protegiendo la integridad de los bancos y la estabilidad de taludes, y para lograr estos objetivos se tiene en cuenta diferentes aspectos como las características del terreno, tipo de Mezcla explosiva.

Las Mezclas explosivas, han tenido una gran aceptación en la industria minera por los beneficios que produce, como por ejemplo en la fragmentación deseada de rocas, y no sobrepasar los límites permisibles de los gases que emanan.

En Minera Yanacocha SRL, se realiza un proceso de voladura utilizando actualmente Emulsión Gasificable, pero siempre buscando alternativas de mejora y optimización de esta operación unitaria, una de las alternativas para alcanzar una mayor productividad y reduciendo costos, es la utilización del Anfo Pesado como mezcla explosiva la cual tiene una gran aceptación dentro del proceso de voladura de rocas.

Por lo tanto, el problema principal se plantea con la siguiente pregunta: ¿Cuáles serían los beneficios de la utilización del Anfo Pesado en el proceso de voladura en minería a tajo abierto en comparación con otras mezclas explosivas? Y los problemas secundarios se plantean con las siguientes preguntas: ¿Cuál es el proceso de voladura utilizando el Anfo Pesado como explosivo?, ¿Cuál sería el diseño adecuado de la Mezcla Explosiva, según los parámetros del terreno, para obtener una buena fragmentación?, ¿Cuáles son los beneficios económicos, operativos y medioambientales al utilizar el Anfo Pesado como mezcla explosiva?

Se toma la siguiente Hipótesis para el proceso de la investigación: La calidad de la voladura de rocas tiene influencia directa en las demás operaciones mineras unitarias, dentro de mina y en planta, por lo tanto al utilizar una mezcla explosiva adecuada como el Anfo Pesado nos resulta beneficioso; ya sea económicamente, teniendo una fragmentación ideal según lo requerido para el posterior proceso del mineral; operativamente, optimizando el tiempo de carguío de taladros; y también en el aspecto medioambiental, controlando las vibraciones y emisiones de gases nitrosos.

En base al problema mencionado anteriormente se tiene el siguiente objetivo principal: Determinar los beneficios en la utilización del Anfo Pesado, en el proceso de voladura en minería a cielo abierto. Y también se tienen los siguientes objetivos secundarios: Determinar el proceso de voladura utilizando el Anfo Pesado como explosivo. Determinar el diseño de la Mezcla Explosiva, según los parámetros del terreno, para obtener una buena fragmentación. Determinar cuáles son los beneficios económicos, operativos y medioambientales al utilizar el Anfo Pesado como mezcla explosiva en el proceso de voladura. La utilización del Anfo Pesado como Mezcla Explosiva, para el proceso de voladura según los parámetros del terreno en donde se ejecutó el presente estudio, nos brindaría beneficios significativos tales como, una optimización de tiempo de carguío de taladros, grado de fragmentación adecuado para el proceso posterior del mineral, asimismo beneficios ambientales relevantes.

El contenido de los capítulos de esta investigación se describe a continuación: En el Capítulo II, presentamos los antecedentes teóricos indicando investigaciones similares, utilización de diferentes mezclas Explosivas en Minera Yanacocha SRL, y en otras operaciones mineras, las bases teóricas necesarias, y términos básicos para entender y validar el estudio. En el Capítulo III, se detalla los materiales y métodos, ubicación geográfica, descripción del proceso de voladura utilizando el Anfo Pesado. En el capítulo IV, se presentan los resultados de la investigación realizada, donde se da la validación y análisis de información, se comprueba la hipótesis planteada. Finalmente, en el capítulo V, se muestra las conclusiones de acuerdo a los objetivos de la investigación, como también las recomendaciones.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Parida (2016) El proceso de perforación y voladura se utiliza en todas las industrias mineras tanto para explotación de minerales metálico como no metálicos, el principal proceso es la voladura de las rocas; en esta investigación titulada “Evaluation of Blasting Efficiency in Surface Mines”, se evalúa la integración de todos los aspectos técnicos y económicos que intervienen en el proceso de voladura, para así obtener una uniformidad y equidad entre éstos, los cuales utilizados en parámetros exactos producen una disminución de problemas en la eficiencia, como también en lo ambiental, y así optimizar el proceso de voladura teniendo resultados favorables para nuestra operación.

Aguirre (2016) en su tesis titulada “Optimización de parámetros de tronadura en función de explosivos de alta energía en Sociedad Contractual Minera el Abra”, se busca la rentabilidad técnico-económica al aplicar explosivos de alta energía en la tronadura mediante análisis de fragmentación, llegando a la conclusión que con el uso del nuevo explosivo de alta energía se tiene que alcanzar incrementos tanto en energía del explosivo como en factor de carga total, alcanzando mayores beneficios en fragmentación.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Ruiz (2013) en su tesis denominada: “Ventajas técnico - económicas de la Emulsión Gasificada en comparación con el Heavy Anfo en el proceso de voladura en rocas tipo II en mina La Arena”, realizando análisis comparativo entre la Emulsión Gasificada y el Heavy Anfo, concluyendo que al utilizar la Emulsión gasificada se tiene mayores beneficios de fragmentación, económicos y medioambientales que al utilizar el Heavy Anfo.

Medina (2014) en su tesis titulada “Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone – Southern Perú”, se analiza, el uso de la emulsión gasificada AP-73Q, y se compara con los resultados obtenidos usando el ANFO pesado 45/55 en las operaciones mineras de voladura de rocas en Cuajone, llegando a las conclusiones que se obtuvieron mejores resultados en fragmentación, uniformidad y apilamiento del material volado con respecto a los resultados de las voladuras usando la mezcla explosiva HA 45/55.

2.1.3. Antecedentes Locales

Salcedo (2015) en su tesis titulada “Evaluación Técnica y Económica de la Emulsión Gasificada en Minera Yanacocha SRL”, donde realiza un análisis sobre el uso de la Emulsión Gasificada, haciendo un comparativo técnico y económico con el uso de Anfo y Anfo Pesado, proponiendo a la emulsión gasificada como una alternativa de solución que puede reemplazar los explosivos convencionales, concluyendo que, las emulsiones gasificadas son más resistentes al agua, se realizaron mediciones de granulometría luego del disparo en zonas contiguas y de similar alteración litológica, las cuales fueron cargadas con HA46 y emulsión G a densidad 1,10 g/cm³. No se encontraron diferencias significativas en el tamaño de los fragmentos producidos por los disparos con diferentes agentes.

Vilela (2014) en su tesis titulada “Análisis de factibilidad para el uso de Anfo pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha”, elabora una investigación sobre el uso del Anfo pesado en voladura utilizando a la emulsión gasificada como base de esta mezcla explosiva, en el cual tiene por objetivo analizar la viabilidad técnica, económica y operativa de un nuevo tipo de emulsión, componente principal del Anfo Pesado. Después del proceso de esta investigación se llega a la conclusión de que desde el punto de vista medioambiental y en términos de seguridad, se redujo significativamente la generación de humos nitrosos, los cuales generaban demoras operativas y significaban un riesgo para los trabajadores.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Perforación

Este proceso es la primera operación en la preparación de una voladura, con el principal propósito de abrir huecos cilíndricos en la roca, para alojar al explosivo y sus accesorios, estos se denominan taladros, barrenos o blast holes. La perforación de rocas se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpe y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. La eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menor costo.

La perforación se efectúa por los siguientes medios:

- Percusión: Con efecto de golpe y corte como el de un cincel y martillo. Ejemplo, el proporcionado por los martillos neumáticos pequeños y rompe pavimentos.
 - Percusión/rotación: Con efecto de golpe, corte y giro, como el producido por las perforadoras neumáticas comunes, tradrills, jumbos hidráulicos.
 - Rotación: Con efecto de corte por fricción y rayado con material muy duro (desgaste de la roca, sin golpe), como el producido por las perforadoras diamantinas para exploración.
 - Fusión: mediante un dardo de llama que funde roca y mineral extremadamente duro.
- (Exsa, 2014)

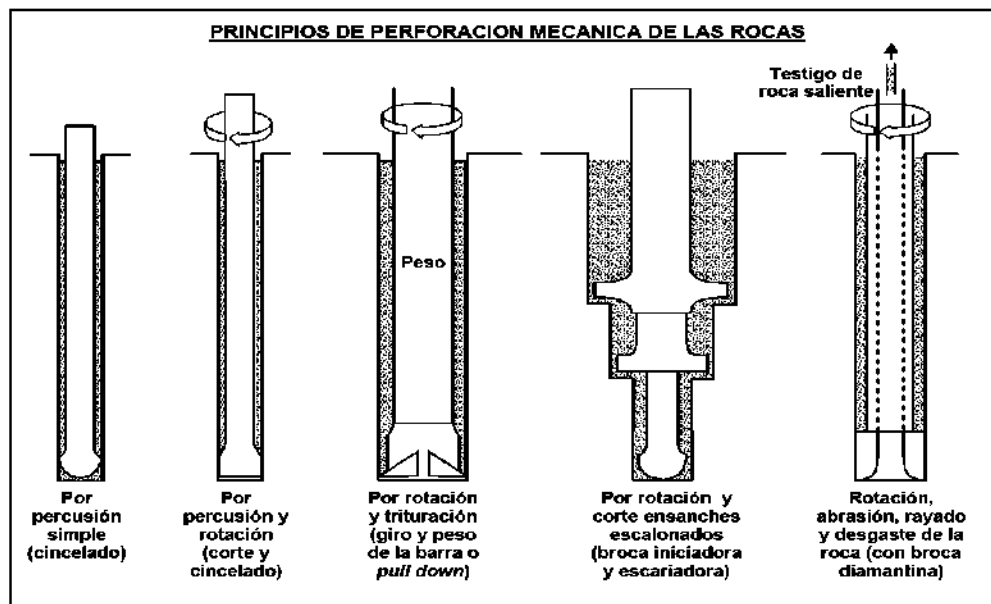


Figura 1: Principios de perforación mecánica de rocas. (Exsa, 2014)

2.2.1.1. Equipos de Perforación

Existen diversos tipos y marcas de equipos de perforación para diferentes condiciones de trabajo. Su selección se basa en criterios económicos. De diseño mecánico, mantenimiento y servicio, capacidad operativa, adaptabilidad a los demás equipos de la mina, y de condiciones generales del lugar de trabajo (acceso, roca, topografía, fuentes de energía), uno de los criterios más importantes en perforación es la velocidad de penetración. (Exsa, 2014)

2.2.1.2. Componentes del sistema de perforación

- a) Perforadora: Equipo que proporciona la energía mecánica que se emplea para poder realizar los taladros de perforación.
- b) Barreno o varilla: Son varillas o tubos de acero acoplables que transmiten el impacto del martillo a la broca, ubicada en uno de sus extremos. Estas barras se convierten en el método de transmisión de la energía proporcionada por la perforadora, hacia la broca.
- c) Broca: Las brocas son las herramientas cortantes, generalmente de acero altamente resistente al impacto, reforzadas en sus filos con insertos o botones de material muy duro resistente a la abrasión (carburo de tungsteno).

Las brocas se clasifican en tres grupos:

➤ De corte

Generalmente empleadas en perforación de producción con máquinas chicas, entre 1” y 4” de diámetro, (integrales, cruz) donde el inserto es el elemento que trabaja y se gasta.

➤ Rotatorias

También llamadas “tricónicas” por estar formadas por tres conos dentados acoplados a un cuerpo fijo o carcasa. Estos conos giran libremente alrededor del eje de la broca cuando ésta entra en movimiento triturando a la roca.

➤ Diamantinas

Empleadas en prospección geológica y en voladura con taladros largos (long holes), generalmente huecas para permitir la extracción de una varilla de la roca o mineral que va siendo perforado (testigo), tienen insertos muy finos de diamante embebidos en una masa o matriz fundida, dura, que conforme se gasta deja aparecer nuevos diamantes.

d) Fluido de barrido: La velocidad de penetración no solamente depende de la aplicación de fuerza; también depende del barrido o limpieza de los detritos del taladro con aire comprimido y/o con agua a presión, a través de la misma barra conforme avanza la perforación. (Exsa, 2014)

El barrido con aire se utiliza en trabajos a cielo abierto, donde el polvo producido puede eliminarse por medio de captadores. Este detritus evacuado por medio del barrido es utilizado posteriormente como taco en el carguío del taladro.

2.2.2. Malla de Perforación

Es la forma en la que se distribuyen los taladros de una voladura, considerando básicamente a la relación de burden y espaciamiento y su directa vinculación con la profundidad de taladros. En el diseño de una voladura de banco se puede aplicar diferentes trazos para la perforación, denominándose malla cuadrada, rectangular y triangular o alterna, basándose en la dimensión del burden. (Exsa, 2014)

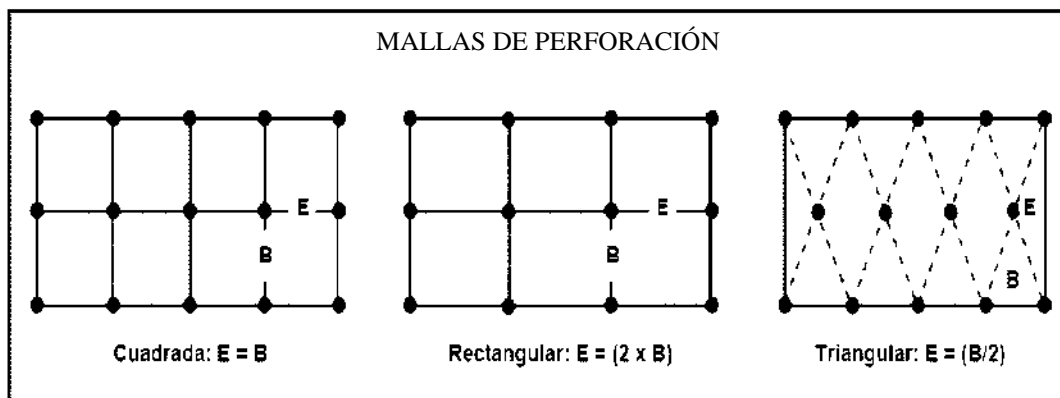


Figura 2. Muestra los tipos de mallas de perforación. (Exsa, 2014)

2.2.3. Voladura

La voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento.

La fragmentación, se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, una adecuada fragmentación es importante para facilitar la remoción y transporte del material volado y está en relación directa con el uso al que se destinará este material, por lo tanto se busca preferentemente fragmentación menuda, que

facilita los procesos posteriores de conminución en las plantas metalúrgicas, mientras que en la de rocas algunas veces se requiere que sea en grandes bloques, como los que se emplean para la construcción de ataguías o rompeolas.

El desplazamiento, se refiere al movimiento de la masa de roca triturada y la forma de acumulación del material volado se proyecta de la manera más conveniente para el paleo o acarreo, de acuerdo al tipo y dimensiones de las palas y vehículos disponibles.

Existen diversos criterios que enmarca un buen trabajo de voladura, como el propósito o uso final del lugar a excavar o el del material a obtener el volumen a ser excavado, el grado de fragmentación promedio requerido, si la roca excavada se quedará in situ o será transportada a otro lugar, el tipo y la dimensión del equipo de remoción y acarreo disponible, la proximidad a instalaciones importantes que puedan ser afectadas por vibraciones o proyecciones, además de otros, es pues necesaria una planificación cuidadosa de la voladura considerando todos los detalles que puedan influir en sus resultados.

Existe una serie de factores o variables que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno con otro. (Exsa, 2014)

2.2.3.1. Parámetros de Voladura

Se dividen en dos grandes grupos, los que no se pueden controlar, como las propiedades de la roca, y las condiciones geológicas en las que se encuentra; y los que son controlables, referibles a las propiedades de los explosivos, el diseño de la carga.

2.2.3.1.1. Parámetros de Voladura No Controlables

➤ Parámetros de la Roca

- **Dureza**, indica aproximadamente la dificultad de perforarla.
- **Tenacidad**, indica la facilidad o dificultad de romperse bajo el efecto de fuerzas de compresión, tensión e impacto, variando entre los rangos de friable (fácil), intermedia a tenaz (difícil).
- **Densidad**, indica aproximadamente entre la dificultad para volarla y varía entre 1,0 a 4,5 g/cm³ en promedio. Rocas densas requieren también explosivos densos y rápidos para romperse.

- **Textura**, forma de amarre de los cristales o granos y su grado de cementación o cohesión, también relacionada con su facilidad de rotura.
 - **Porosidad**, proporción de poros u oquedades y su capacidad de captar agua.
 - **Variabilidad**, las rocas no son homogéneas en su composición y textura. Tienen un alto índice de anisotropía o heterogeneidad.
 - **Grado de alteración**, deterioro producido por efecto del intemperismo y aguas freáticas, además de fenómenos geológicos que las modifican o transforman.
- **Propiedades Elásticas o de Resistencia Dinámica de las Rocas**
- **Frecuencia sísmica** o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido, velocidad con la que estas ondas atraviesan las rocas.
 - **Resistencia mecánica**, resistencia a las fuerzas de compresión y tensión.
 - **Fricción interna**, habilidad de las superficies internas para deslizarse bajo esfuerzos (rocas estratificadas).
 - **Módulo de Young**, resistencia elástica a la deformación.
 - **Radio de Poisson**, radio de contracción transversal o extensión longitudinal del material bajo tensión.
 - **Impedancia**, relación de la velocidad sísmica y densidad de la roca versus la velocidad de detonación y la densidad del explosivo. Usualmente las rocas con alta frecuencia sísmica requieren explosivos de alta velocidad de detonación.
- **Condiciones Geológicas**
- **Estructura**, es la forma de presentación de las rocas y está en relación con su origen o formación (macizos, estratos).
 - **Grado de fisuramiento**, indica la intensidad y amplitud del fracturamiento natural de las rocas.
 - **Presencia de agua**, define incluso el tipo de explosivo a usar. (Exsa, 2014)

2.2.3.1.2. Parámetros de Voladura Controlables

- **Parámetros del Explosivo - Propiedades Físico-Químicas**
- **Densidad**, peso específico en g/cm³ (a mayor densidad, mayor potencia), varía entre 0,7 a 1,6 g/cm³. Todo explosivo tiene una densidad crítica encima de la cual ya no detona.

- **Velocidad de detonación (VOD)**, velocidad de la onda de choque, en m/s, califica a los explosivos como detonantes y deflagrantes; a mayor velocidad mayor poder rompedor o brisance.
- **Transmisión o simpatía**, transmisión de la onda de detonación en la columna de carga. Una buena simpatía asegura la explosión total de la columna de carga.
- **Resistencia al agua**, varía desde nula hasta excelente (varias horas).
- **Energía del explosivo**, se puede dar en cal/g ó J/g. Calculada sobre la base de su formulación, aplicable para estimar su capacidad de trabajo.
- **Sensibilidad a la iniciación**, cada explosivo requiere un iniciador o cebo mínimo para iniciarse.
- **Volumen normal de gases**, cantidad de gases en conjunto generados por la detonación.
- **Presión de taladro**, fuerza de empuje que ejercen los gases sobre las paredes del taladro. Se expresa en kg/cm², en kilobares (kbar) o en Mega pascales (MPa) en el sistema SI, esta presión varía con el confinamiento de cada taladro.
- **Categoría de humos**, Factor de seguridad que califica su toxicidad (todos los explosivos generan gases de CO y NO en diferentes proporciones).

➤ **Condiciones de La Carga**

- **Diámetro de la carga (diámetro del taladro)**, Influye directamente sobre el rendimiento del explosivo y la amplitud de la malla de perforación. Todo explosivo tiene un diámetro crítico; por debajo de ese diámetro no detonan.
- **Geometría de la carga**, Relación entre el largo de la carga con su diámetro y el punto donde es iniciada. Se refleja en el proceso de rompimiento y en la formación de “zonas de fracturación” en las cargas cilíndricas de los taladros de voladura.
- **Grado de acoplamiento**, Radio del diámetro de carga al diámetro del taladro. El acoplamiento físico entre la carga explosiva y la roca permite la transferencia de la onda de choque entre ellas, teniendo un carácter muy significativo sobre el rompimiento. El efecto de trituración depende mucho del contacto directo del explosivo con la roca. El desacoplamiento tiene enorme efecto sobre el grado de confinamiento y sobre el trabajo del explosivo, ya que la presión de taladro decrecerá con el aumento del desacoplamiento.

- **Grado de confinamiento**, Depende del acoplamiento, del taqueo o acabado, del uso de taco inerte para sellar el taladro y de la geometría de la carga (burden y distancia entre los taladros). Un confinamiento demasiado flojo determinará un pobre resultado de voladura. Por otro lado, un alto grado de confinamiento (por excesivo atacado del explosivo) puede incrementar tanto su densidad que lo puede hacer insensible a la transmisión de la onda de detonación y fallar.
- **Densidad de carguío (Dc)**, Da la medida de llenado de un taladro. En el caso de un llenado perfecto sin dejar el menor espacio desocupado tendremos por definición una densidad de carguío = 1. En general, cuando un taladro se llena al X% de su espacio ocupado por explosivo tendremos $Dc = 0,92$.
- **Distribución de carga en el taladro**, La carga explosiva puede ser de un solo tipo en todo el taladro (carga única) o tener primero explosivo más denso y potente (carga de fondo) y luego explosivo menos denso (carga de columna). También pueden ser varias cargas de igual o distinto tipo separadas entre sí por material inerte (cargas espaciadas o decks), dependiendo del tipo de taladro a cargar.
- **Tipo y ubicación del cebo**, puede emplearse el cebo único, el cebado múltiple (dos o más en rosario en la misma columna de carga, o una en cada deck en cargas espaciadas) y el cebado longitudinal (axial), éste generalmente con cordón detonante.
- **Distribución de energía**, la energía aplicada sobre la roca dependerá de la distribución de la carga en el taladro, de la densidad del carguío, del punto de iniciación y del tipo de explosivo utilizado, alrededor de la columna explosiva la fragmentación presenta cierta zonificación; el área de cráter o de cavidad de la explosión donde procesos hidrodinámicos asociados a la detonación producen la volatilización y pulverización de la roca, la zona de transición donde la presión y tensión se reducen rápidamente originando un flujo plástico o viscoso de la roca acompañado por trituración y desintegración, finalmente la zona sísmica donde la tensión se encuentra ya por debajo del límite elástico de la roca y donde ya no se presenta fragmentación si no hay caras libres. La densidad de carguío y la distribución del explosivo tienen influencia en esta zonificación. Así, un taladro con carga normal de columna con refuerzo de carga de fondo tendrá un buen rompimiento al piso. Por lo contrario, si la mayor densidad de carga está hacia la boca del taladro, el tiro

proyectará demasiados fragmentos volantes y tendrá mal rompimiento al piso. Igualmente, es diferente el resultado entre una carga concentrada al fondo y otra en la que se empleen cargas alternadas con tacos a lo largo del taladro. Las cargas desacopladas y el empleo de explosivos de baja presión de detonación normalmente eliminan la zona de trituración y controlan el rumbo y extensión de las grietas en la voladura amortiguada.

- **Intervalos de iniciación de las cargas (*Timing*)**, los taladros deben ser disparados manteniendo una secuencia ordenada y correcta, para crear las caras libres necesarias para la salida de cada taladro, lo que se logra con los detonadores de retardo o con métodos de encendido convencional escalonados. (Exsa, 2014)

2.2.3.2. Variables de perforación y voladura

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

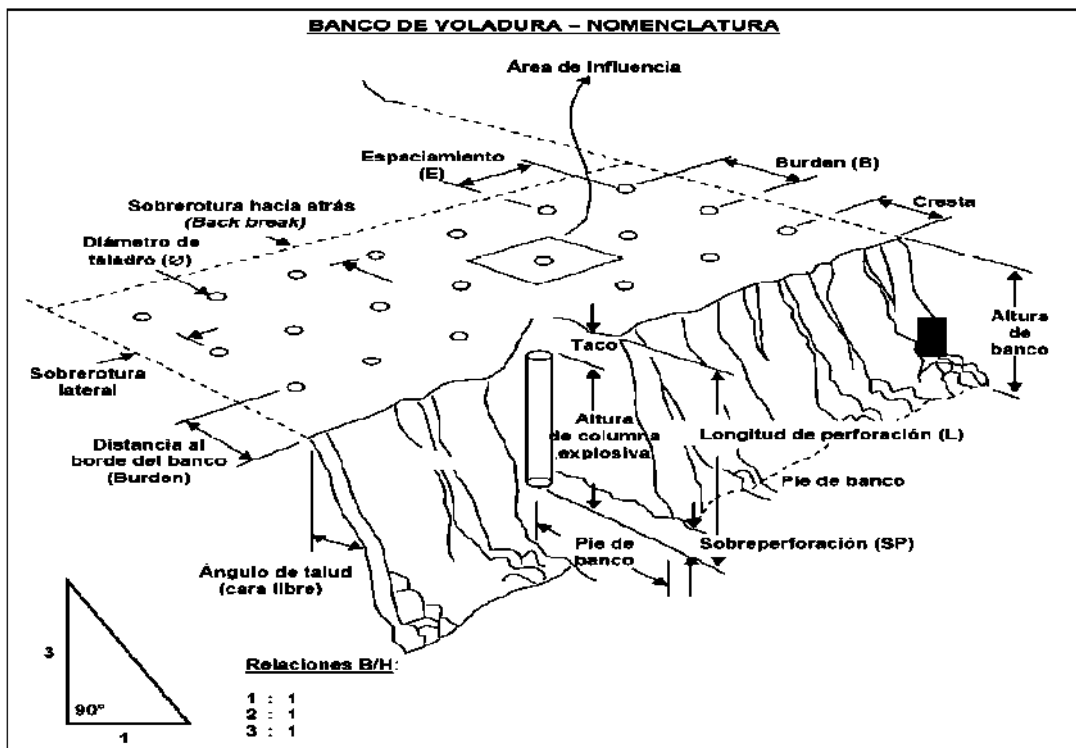


Figura 3: Nomenclatura de un banco de voladura. (Exsa, 2014)

- a. **La profundidad del taladro** respecto a la altura de banco, Influye mucho en la elección de la capacidad del equipo de minado, equipo de perforación y naturalmente en el avance del disparo (profundidad del taladro), El largo de un taladro es, generalmente, levemente mayor que la altura del banco, para evitar dejar pisos altos por taladros cortos
- b. **Tamaño de la malla de perforación**, relación de **Burden** (Distancia medida del taladro perpendicular a la cara libre más próxima) y **espaciamiento** entre taladros (Distancia medida entre taladros paralelo a la cara libre), El espaciamiento y burden de una voladura se debe seleccionar para adecuarlo a la condición local de la roca y en particular al espaciamiento de fracturas.
- c. **Diámetro del taladro**, base para determinar el burden y el consumo de explosivo. Las brocas de perforación tienen desgaste variable según el tipo de roca, tendiendo a reducir paulatinamente su diámetro, especialmente en perforaciones de pequeño diámetro.
- d. **Inclinación del taladro**, controlada, como en la perforación radial o en abanico y desviación del taladro (fuera de control, perjudica el performance del explosivo y por tanto la fragmentación y avance). Otros factores que se deben considerar en el planeamiento de un disparo son el costo de perforación y el costo del explosivo, con base en el consumo total de explosivo por metro cúbico o tonelada de roca movida (factor de carga en kg/m³).
- e. **Sobre perforación**, la Sobre-Perforación es necesaria en la mayoría de las operaciones, para proporcionar un grado suficiente de fragmentación al nivel de piso. El grado de fragmentación logrado en la base de una columna larga de explosivo es pequeño relativo a la lograda alrededor del centro de la carga. (Exsa, 2014)

2.2.4. Accesorios de Voladura

En todos aquellos trabajos en los que se emplean explosivos, tanto en minería como en obra civil, es necesario que la detonación se inicie correctamente. Para ello, es necesario conocer aquellos medios y técnicas que permiten iniciar la reacción en régimen de detonación, la iniciación de explosivos y, de forma subsiguiente, la iniciación de voladuras de manera que se produzca la detonación de un conjunto de barrenos con un orden determinado (Bernaola, 2013)

2.2.4.1. Sistema de Iniciación

Los diferentes sistemas de iniciación, conocidos como detonadores, pueden emplearse tanto en voladuras a cielo abierto como en interior y la finalidad es la de iniciar los explosivos dentro del barreno, o bien el cartucho cebo o multiplicador que desencadene la detonación en el interior del mismo. (Bernaola, 2013)

a. Detonadores Ordinarios

Son aquellos que se inician mediante mecha lenta. La mecha lenta se introduce en el extremo abierto de una cápsula de aluminio que aloja la carga explosiva del detonador y se engarza mediante unas tenazas especiales, de modo que se evite que la mecha se salga durante su manipulación. Se usa, por tanto, únicamente en voladuras de roca ornamental. (Bernaola, 2013)

b. Detonadores Eléctricos

El detonador eléctrico emplea la energía eléctrica para su iniciación. El detonador eléctrico posee un inflamador pirotécnico (denominado comúnmente “cerilla”), a través del cual circula la corriente eléctrica, que provoca la iniciación de la carga explosiva. (Bernaola, 2013)

c. Detonadores No Eléctricos

Los detonadores no eléctricos se caracterizan porque no interviene ningún tipo de corriente eléctrica en su iniciación. La parte explosiva es común a los detonadores eléctricos, pero en lugar de un inflamador pirotécnico la carga portarretardo se inicia por medio de una onda de choque de baja energía que se transmite a través de un tubo de transmisión. (Bernaola, 2013)

d. Detonadores Electrónicos

Los detonadores electrónicos son la última evolución de los sistemas de iniciación para voladuras. Su desarrollo comenzó hace bastantes años, pero todavía el uso de este tipo de sistema está centrado en ciertas aplicaciones donde se buscan unos resultados específicos

La diferencia fundamental entre el detonador electrónico y cualquier otro, bien sea eléctrico o no eléctrico, es que la pasta pirotécnica que determina el tiempo de retardo ha sido sustituida por un circuito electrónico, en el cual, un microchip es el encargado de realizar la descarga de un condensador en el instante deseado. (Bernaola, 2013)

2.2.4.2. Cordón Detonante

Un cordón detonante es un cordón flexible e impermeable que contiene en su interior un explosivo denominado pentrita, cuya velocidad de detonación es de 7.000 metros por segundo; el cordón detonante se emplea fundamentalmente para transmitir a los explosivos colocados en los barrenos la detonación iniciada por un detonador. (Bernaola, 2013)

2.2.4.3. Relé de Microretardo

Consisten en unos artificios que, intercalados entre dos tramos de cordón detonante, interrumpen la detonación del mismo durante 15 ó 25 milisegundos según el tipo de relé, creando un efecto de retardo, en las voladuras conexionadas con cordón detonante, similar al proporcionado por los detonadores eléctricos de microrretardo. (Bernaola, 2013)

2.2.4.4. Booster o multiplicadores

Los multiplicadores (también conocidos como boosters) son iniciadores de voladura que se utilizan para iniciar explosivos de baja sensibilidad, como pueden ser Anfo, hidrogeles o emulsiones, tanto si se emplean en modalidad de encartuchados o a granel. Están compuestos por un cilindro de pentolita que va envuelto con una cubierta de cartón. (Bernaola, 2013)

2.2.4.5. Mecha Lenta

La mecha lenta está formada por un núcleo de pólvora negra recubierto con varias capas de hilados y materiales impermeabilizantes que la hacen resistente a la humedad, abrasión y los esfuerzos mecánicos. Habitualmente se utiliza para la iniciación de detonadores ordinarios y de la pólvora de mina. (Bernaola, 2013)

2.2.5. Explosivos

Los explosivos son sustancias químicas con un cierto grado de inestabilidad en los enlaces atómicos de sus moléculas que, ante determinadas circunstancias o impulsos externos, propicia una reacción rápida de disociación y nuevo reagrupamiento de los átomos en formas más estables. Esta reacción, de tipo oxidación-reducción, es inducida térmicamente por los llamados “puntos calientes”, se conoce con el nombre de detonación y origina gases a muy alta presión y temperatura, los cuales generan a su vez una onda de compresión que recorre el medio circundante.

De esta forma, la energía química contenida en el explosivo se transforma en la energía mecánica de esa onda de compresión, La clave que le proporciona su singular poder expansivo es su capacidad de liberarla en un corto espacio de tiempo.

La onda de compresión se genera por el aumento de volumen que sufren los productos de reacción en forma gaseosa, de manera que se dispone de energía mecánica suficiente y aplicable a la fragmentación de rocas, convirtiéndose en un elemento clave en minería y en todo tipo de excavaciones en roca. (Bernaola, 2013)

2.2.5.1. Clasificación de los Explosivos

Los explosivos se clasifican en:

a) Explosivos Primarios:

Un explosivo primario es el que detona por ignición simple de medios tales como chispas, llamas, impacto, y otras fuentes primarias de calor. Explosivos Primarios incluyen aquellos que se hallan en detonadores, cordón detonante, e iniciadores. (Bernaola, 2013)

b) Explosivos Secundarios:

Son explosivos en que la detonación es iniciada por el impacto de la detonación de un explosivo inicial (primario).

Esta definición incluye todo explosivos usado en voladura de la roca. Materiales insensibles tales como nitrato de amonio se clasifican como explosivos terciarios. (Bernaola, 2013)

2.2.5.2. Selección del Tipo de Explosivo

La selección del tipo de explosivo se basa generalmente en la economía y la confiabilidad del abastecimiento. Sin embargo, existen factores técnicos que se pueden aplicar para determinar el explosivo más efectivo para un tipo de roca en particular y el requerimiento de voladura.

Estos factores que influyen en la selección del explosivo incluyen:

- La presencia de agua subterránea (dinámica o estática).
- El diámetro del taladro.
- Las propiedades in situ de la roca y la condición de la roca.
- Los requerimientos de voladura (fragmentación o perfil de la pila).

2.2.6. Agentes de Voladura

Los agentes de voladura son aquellos explosivos no sensibles al fulminante N° 8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer-boosters 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. (Vilela, 2014)

2.2.6.1. Anfo

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

El nitrato de amonio sólido utilizado en explosivos simples se suministra en forma de prills. Estos prills deben ser porosos y de distribución de tamaño uniforme. El tamaño típico para el prill de nitrato de amonio grado explosivo es:

$$100\% < 3 \text{ mm}$$

$$90\% < 2 \text{ mm}$$

$$1\% < 1 \text{ mm}$$

Durante la formación de dichos prills, generalmente se añade una fina capa de arcilla en su exterior, con el fin de contrarrestar la naturaleza higroscópica del nitrato. El nitrato sin recubrimiento en contacto con el aire, que tenga un 60% de humedad, eventualmente se transforma en líquido.

Hoy en día, teniendo un balance de oxígeno correcto, el Anfo es la fuente de mayor energía explosiva más barata del mercado. (Konya & Albarrán, 1998)

Sin embargo, la principal desventaja del Anfo es su nula resistencia al agua. Esto se debe a que el agua absorbe gran cantidad de energía para su vaporización y rebaja la potencia del explosivo. Además, el nitrato es soluble en agua, perdiendo todas sus características al estar

en contacto con esta. Igualmente, el nitrato es igroscópico, es decir absorbe la humedad del medio ambiente, por lo que su almacenamiento debe ser en lugares apropiados.

Las propiedades explosivas del Anfo están ligadas a su densidad. A medida que ésta aumenta, también aumenta su velocidad de detonación. Sin embargo, este aumento de densidad dificulta su iniciación, volviéndose inerte a una densidad por encima de 1.20 gr/cc, no pudiendo detonar o solamente en el área inmediata al iniciador. (López, 1994)

2.2.6.2. Alanfo

Debido a que el Anfo tiene una baja densidad, también lo es su energía, velocidad de detonación, poder rompedor y demás características. Para elevar esta energía y poder aplicar el explosivo en rocas más competentes, se le puede agregar aluminio en forma de polvo o granalla, por lo general entre 5-10% en peso, obteniendo una mezcla llamada Anfo aluminizado, también conocido como Alanfo.

El aluminio es un combustible altamente energético que incrementa la liberación de energía, en forma de presión y temperatura de detonación. Hay una menor producción de gases debido a que la reacción del aluminio forma como productos óxidos sólidos. Sin embargo, hay una mayor presión y temperatura, aspectos críticos para la fragmentación de la roca. En el siguiente gráfico se aprecia el efecto de una carga de Anfo Aluminizado frente a una carga de únicamente Anfo, en base a la energía desarrollada. (López, 1994)

2.2.6.3. Hidrogeles

Los hidrogeles exentos de materia explosiva propia en su composición no reaccionan con el fulminante y se califican como “agentes de voladura hidrogel, slurries o papillas explosivas”, requiriendo de un cebo reforzado o primer-boosters para arrancar a su régimen de detonación de velocidad estable; de lo contrario, no arrancan o lo hacen a bajo régimen con velocidades transientes dando bajo rendimiento energético, razón por la que en un principio también se les denominaba explosivos de seguridad. También son conocidos como wáter gels. Sus cualidades principales son: alta velocidad de detonación y alta densidad que les dan enorme poder rompedor y elevada resistencia al agua, por lo que resultan excelentes sustitutos del Anfo, para voladura de rocas tenaces y de taladros inundados, incluso con agua dinámica. Su aplicación está dirigida mayormente a taladros de mediano a gran diámetro en tajos abiertos, tanto como carga de fondo reforzador para taladros muy confinados y para nivelación de

pisos, o como carga completa para taladros con agua. Normalmente se suministran en fundas o mangas plásticas. Su textura es homogénea, viscosa, relativamente ligosa, lo que les permite contenerse adecuadamente en taladros altamente fisurados, sin pérdidas por filtración, lo que garantiza mantener el factor de carga calculado, y también permite cargarlos al taladro soltándolos sin su funda o manga de polietileno. Su alta densidad desplaza fácilmente al agua presente en los taladros. Por otro lado, su viscosidad es incompatible para carguío mecanizado por bombeo y para la mezcla con Anfo. (Exsa, 2014)

2.2.6.4. Emulsión

Las emulsiones explosivas son agentes de voladura del tipo denominado “agua en aceite” en las que la fase acuosa está compuesta por sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua y la fase aceitosa por un combustible líquido inmiscible con el agua del tipo hidrocarbonado, comúnmente diésel 2. El tamaño de los componentes de esta mezcla (oxidante y combustible) tiene influencia directa en la velocidad de detonación. (López, 1994)

Una formulación típica para una emulsión que contiene tanto nitrato de amonio y de calcio debe tener alrededor de 65% de nitrato de amonio, 16% de nitrato de calcio, 12% de agua y 7% de petróleo. (Enaex, 2013)

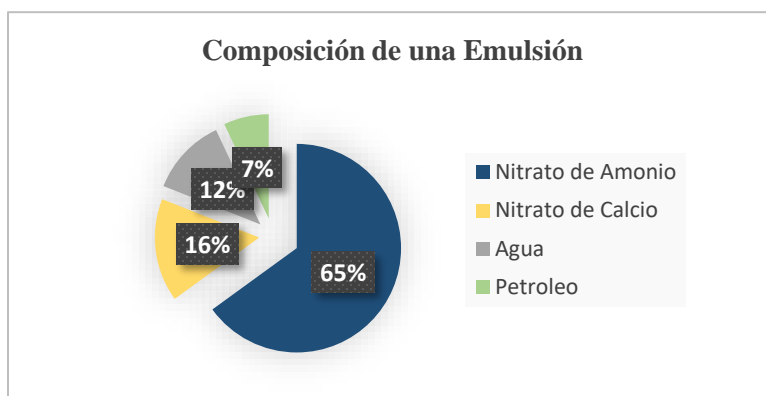


Figura 4: Composición de una Emulsión.

La emulsión pura no es un agente de voladura, debido a que no es sensible ni siquiera al booster porque su densidad es muy alta. Para sensibilizarla, se puede utilizar un mecanismo físico como la generación de burbujas de gas, las cuales al ser comprimidas adiabáticamente se comportan como puntos calientes o hot spots, favoreciendo tanto la iniciación como la propagación de la detonación. Estos agentes gasificantes pueden ser poliestireno expandido o microesferas de vidrio. (López, 1994).

2.2.6.5. Anfo Pesado

Es una mezcla de Emulsión y Anfo, que reúne las principales propiedades de ambos componentes: alta energía, buena generación de gases, alta densidad y, en algunos casos, resistencia al agua.

Son productos apropiados para voladuras de superficie, especialmente cuando es factible el uso de sistemas mecanizados de carga, en perforaciones secas o con agua.

Son mezclas de emulsión y Anfo en diferentes proporciones, que permiten:

- Bajar el costo y potencia de una emulsión pura, para voladura en rocas difíciles, secas o húmedas.
- Darle resistencia al agua al Anfo, al saturar con emulsión los espacios libres entre los prills o perlas del nitrato.

La emulsión utilizada se fabrica comúnmente produciendo primero una solución acuosa super saturada de sal(es) oxidantes y finamente dispersa en una fase aceite para formar una emulsión agua en aceite. La solución de sales siempre contendrá nitrato de amonio, pero puede también tener nitrato de calcio o de sodio. (Enaex, 2013)

El abastecimiento de los agentes de voladura para fabricar el anfo pesado consta en el siguiente esquema:

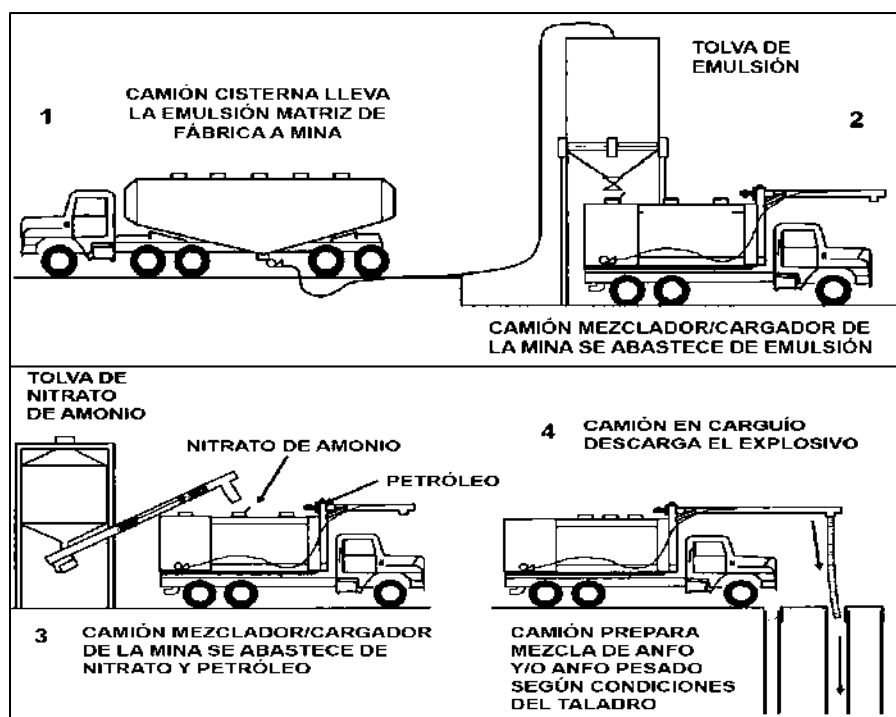


Figura 5: Abastecimiento de agentes Explosivos. (Famesa, 2019)

2.2.6.5.1. Composición de los Anfos pesados más comunes:

- Anfo simple:
 - Nitrato de amonio (NitroPril $\rho = 0.78\text{gr/cc}$)
 - ρ Anfo = 0.80 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
- Anfo pesado 20/80: utilizada en roca suave, con nula resistencia al agua.
 - ρ HA28 = 0.95 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
 - Emulsión = 20%
 - Anfo = 80%
- Anfo pesado 30/70: se utiliza para rocas semi dura, con nula resistencia al agua.
 - ρ HA37 = 1.10 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
 - Emulsión = 30%
 - ANFO = 70%
- Anfo pesado 40/60: se utiliza para roca dura, con baja resistencia al agua
 - ρ HA46 = 1.20 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
 - Emulsión = 40%
 - Anfo = 60%
- Anfo pesado 50/50: se utiliza para roca dura, con poca resistencia al agua.
 - ρ HA55 = 1.28 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
 - Emulsión = 50%
 - Anfo = 50%
- Anfo pesado 60/40: se utiliza para roca dura con buena resistencia al agua.
 - ρ HA55 = 1.31 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
 - Emulsión = 60%
 - Anfo = 40%

- Anfo pesado 70/30: se utiliza para coca muy dura con muy buena resistencia al agua.
 - ρ HA73 = 1.32 gr/cc
 - Na / Diesel 2 = 94% / 6%
 - Emulsión = 70%
 - Anfo = 30% (Farge, 2006)

Tabla 1: Densidades de las Mezclas explosivas más comunes. (Enaex, 2013)

Enaex DENSIDADES / Carga Lineal Enaex				
Nitrato Prillex		0.73 + / - 0.02		
Emulsion Matriz		1.32 + / - 0.02		
Producto	Densidad (gr/cc)	Carga lineal 9 7/8" (Kg/m)	Carga lineal 10 5/8" (Kg/m)	RESISTENCIA AL AGUA
Emulsión	1.32 +/- 0.02	65.26	75.55	
ANFO	0.79 +/- 0.01	39.55	45.79	NULA
HA-19	0.84 +/- 0.01	42.02	48.65	NULA
HA-28	0.93 +/- 0.01	45.98	53.23	NULA
HA-37	1.03 +/- 0.01	50.92	58.95	NULA
HA-46	1.13 +/- 0.01	55.37	64.10	BAJA
HA-55	1.25 +/- 0.02	61.80	71.54	BAJA
HA-64	1.29 +/- 0.02	63.28	73.26	BUENA
HA-73	1.32 +/- 0.02	65.26	75.55	MUY BUENA

Normalmente las mezclas con menos de 50 % de emulsión no son resistentes al agua, pero se incrementa notablemente la potencia del explosivo, y las mayores de 50 % emulsión son progresivamente más resistentes al agua.

Tabla 2: Balance de Energía y Resistencia al agua del Anfo Pesado. (Famesa, 2019)

BALANCE DE ENERGÍA Y RESISTENCIA AL AGUA DEL ANFO PESADO (HEAVY ANFO)				
PROPORCIÓN DE MEZCLA:				
	EMULSIÓN MATRIZ	ANFO CONVENCIONAL		MEZCLA
	0%	100%		
Incremento de potencia	10	90		19
	20	80		28
	30	70		37
	40	60		46
	50	50	Incremento de la resistencia al agua	55
	60	40		64
	70	30		73
	80	20		82
	90	10		91
	100%			
No detonables sin microesferas o Gassing				

Las densidades de los Anfos Pesados Vaciabes pueden variar hasta en un 3% debido a las propiedades de los gránulos del nitrato de amonio y a la diferente compactación que sufren por efecto de la presión hidrostática de la columna de explosivo y del taco, al encontrarse cargados en la perforación. (Enaex, 2013)

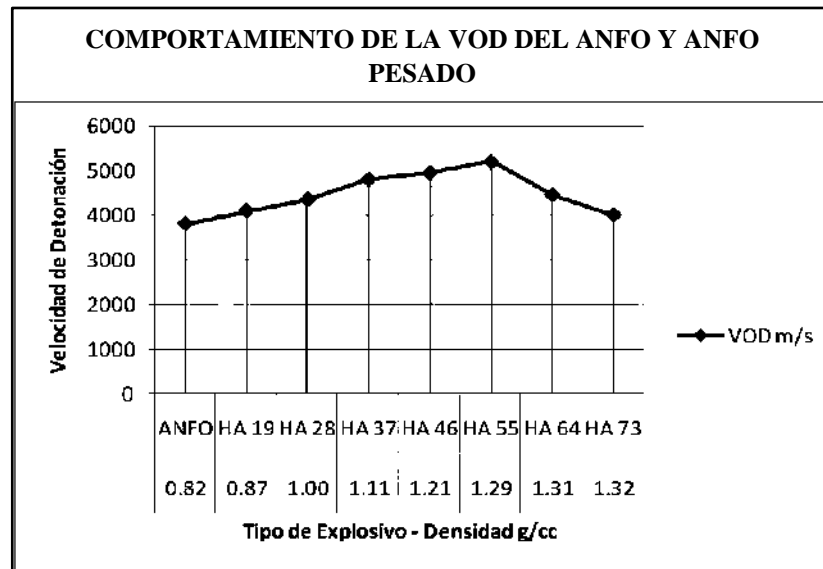


Figura 6: El comportamiento de la velocidad de detonación (VOD) del Anfo y Anfo pesado. (Famesa, 2019)

2.2.7. Mecanismo de Fragmentación de la Roca

En el proceso de rompimiento y desplazamiento de material, que ocurre durante y después de la detonación completa de una carga confinada, existen 4 etapas que se definen a continuación como:

2.2.7.1. Detonación

La fase inicial de un proceso de fragmentación, en la cual los ingredientes básicos de un explosivo (combustibles y comburentes), se convierten inmediatamente en gases de altas presiones y temperaturas. Cercana a una reacción nuclear, la detonación es la reacción química más rápida que se conoce. Esta presión, conocida como la presión de detonación depende principalmente de la densidad y VOD del explosivo. El marco de tiempo necesario para completar la detonación, es de pocos microsegundos para una carga pequeña esférica y milisegundos para una carga cilíndrica larga. Otros factores que afectan el tiempo de detonación son las formas geométricas, dimensiones y la VOD de la carga. (Enaex, 2013)

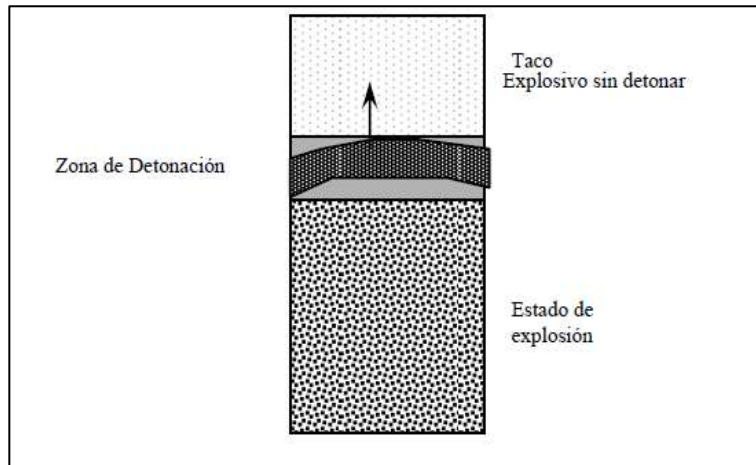


Figura 7: Proceso de detonación. (Enaex, 2013)

2.2.7.2. Propagación de las ondas de choque y/o de esfuerzo.

Esta alteración u onda de presión, transmitida a través del macizo rocoso, es resultado, en parte, de la rápida expansión del gas y las altas presiones, lo cual produce el impacto en las paredes del pozo y la presión de detonación. La geometría de la dispersión depende de varios factores, tales como ubicación del punto de iniciación (o puntos) VOD y velocidad de la onda de choque en la roca.

Por lo general, el fallamiento por compresión, tensión y cizalle ocurre como una zona de material pulverizado cerca de la carga, ya que es donde la energía de la onda es máxima. A medida que el frente de onda viaja hacia afuera, se produce una tendencia a comprimir el material en el frente de onda. En ángulos rectos a este frente de compresión, existe otro componente que se conoce como el esfuerzo tangencial. Si este esfuerzo es de suficiente magnitud, puede causar fallamiento por tensión en ángulos rectos a la dirección de propagación.

Los fallamientos mayores de tensión en la roca se espera que ocurran cerca del pozo, en discontinuidades o donde hay un cambio dramático en la disparidad de la impedancia. Los componentes de compresión, tensión, cizalle y los componentes combinados de cualquier frente de onda, siempre decaerán con la distancia a la carga. La interacción de ondas de esfuerzo en un medio complicado, discontinuo como es el macizo rocoso, es un área de intensa investigación y se considera muy importante en algunas de las nuevas teorías de voladura. (Enaex, 2013)

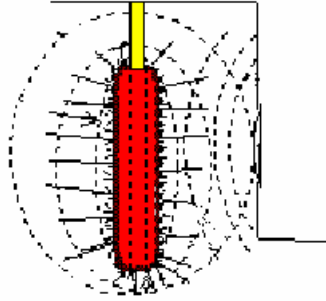


Figura 8: Propagación de las ondas de Choque. (Enaex, 2013)

2.2.7.3. Expansión del gas a presión.

Durante, o después de la propagación de la onda de esfuerzo, los gases a alta temperatura y presión, producen un campo de esfuerzo alrededor del pozo que puede expandir el pozo original, extendiendo grietas radiales y penetrando en cualquier discontinuidad.

Esto significa que los gases primero emigran a las grietas, diaclasas, fallas y discontinuidades existentes, además de estratos de material que tienen baja cohesión en las interfases. Si una discontinuidad o estrato lo suficientemente grande conecta los pozos a una cara libre, los gases de alta presión generados después de la detonación inmediatamente se irán a la atmósfera, por lo tanto, reducirá rápidamente la presión total de confinamiento y conducirá inevitablemente a una reducción en fragmentación y eyección del material. Los tiempos de confinamiento para los gases en un macizo rocoso, varían significativamente dependiendo de la cantidad y tipo de taco y del burden. (Enaex, 2013)

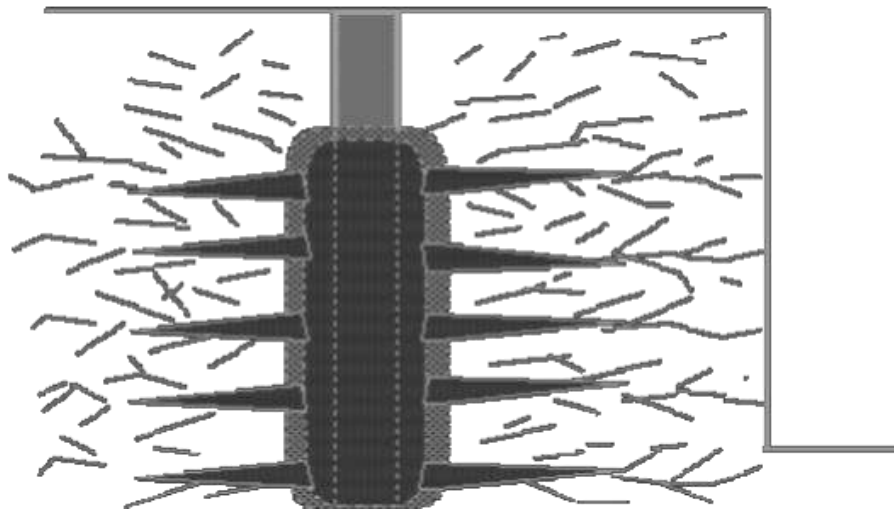


Figura 9: Expansión del gas a presión. (Enaex, 2013)

2.2.7.4. Movimiento del material.

Es la última etapa en el proceso de voladura. La mayor parte de la fragmentación ya se ha completado a través de ondas compresionales y de tensión, de la presurización del gas o una combinación de ambos. Sin embargo, algún grado de fragmentación ocurre a través de colisiones en el aire y cuando el material impacta al suelo. Generalmente, mientras más alto es el banco mayor es la fragmentación, debido al aumento de la velocidad de impacto de los fragmentos individuales cuando caen al piso del banco. De la misma manera, el material eyectado de las filas opuestas de un amarre en V y que colisionan en el aire, puede dar como resultado una mayor fragmentación. (Enaex, 2013)

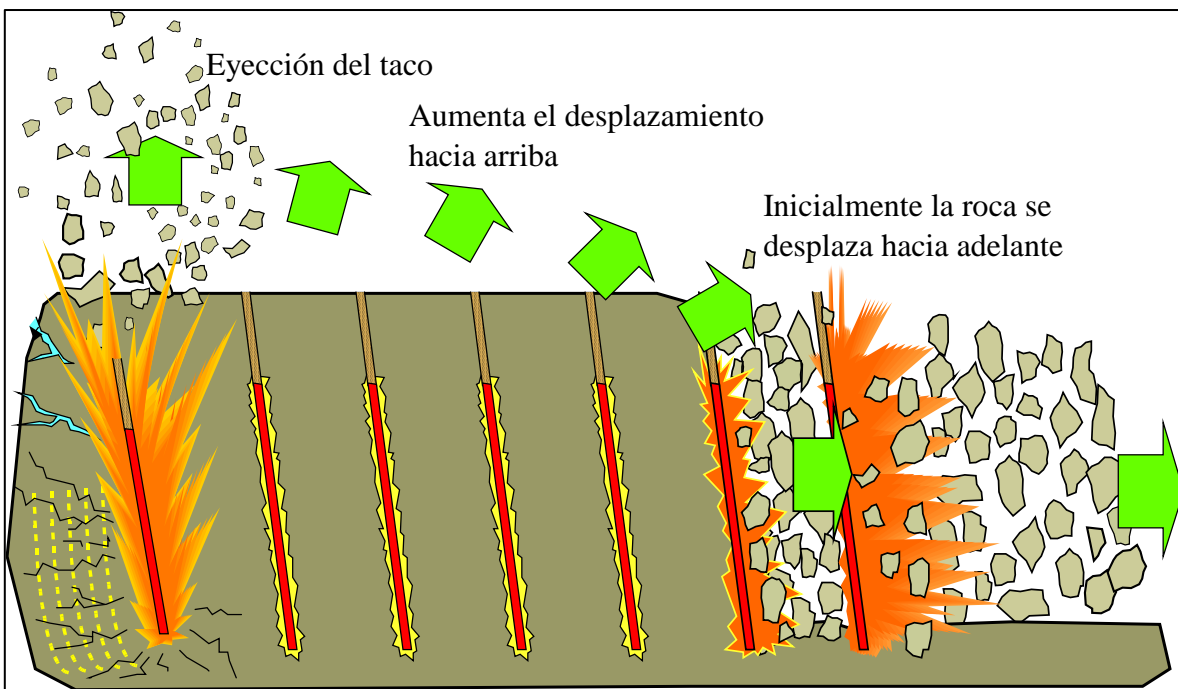


Figura 10: Movimiento del Material. (Orica, 2014)

Aunque dichas etapas se describen aisladamente, hay que recalcar que en las voladuras de un solo pozo y/o de varios pozos, la fase de uno y otro evento ocurre simultáneamente a intervalos específicos. (Enaex, 2013)

2.2.8. Voladuras controladas

Son técnicas de Voladura destinadas a minimizar el daño a la roca en el límite de la excavación como consecuencia de la onda de choque y los gases a alta presión producto de la detonación del explosivo.

Las razones puntuales para usar Voladuras Controlada son:

- Asegurar que no se produzca sobre excavación, vale decir que la roca es fragmentada en el área a excavar y no más allá o fuera de ella, a fin de cumplir con geometría planificada (ángulo cara de banco, ángulo interrampa, ancho de berma, razón lastre mineral).
- Minimizar el daño al macizo rocoso en su entorno, protegiendo la integridad de los bancos y la estabilidad de los taludes, asegurando ángulos de diseño y una operación sin riesgo.
- Reducir los niveles de vibración generados por las tronaduras de producción tiene consecuencias en disminuir y controlar el daño provocado al macizo rocoso remanente por la voladura a nivel de banco.
- Reducir el riesgo de desprendimientos a nivel de banco y asegurar el ancho de las bermas de contención, lo que repercute positivamente en la seguridad y productividad de los trabajos de explotación.
- Favorecer las condiciones para lograr el cumplimiento del plan minero, controlando la geometría comprometida en la planificación. (Scherpenisse & Silva, 2015)

2.2.8.1. Métodos de voladuras de control

- PreCorte (Presplitting): Es una de las técnicas más utilizadas, especialmente en minería de superficie. Sirve para aislar la zona tronada con la roca remanente y se realiza antes de la tronadura de contorno (días o junto a la misma con milisegundos antes).
- Recorte (Trim Blasting): Se usa para hacer un corte o recortar el material en exceso de la cara del banco y dejar una cara más lisa y estable. Se realiza posterior a la tronadura de contorno.
- Buffer o Amortiguada: Es quizás la forma más simple de control de paredes. Consiste en modificar la última fila de la tronadura, para limitar la energía hacia la pared final.

Se reduce el explosivo y también el Burden y el Espaciamiento. Se usa en forma independiente y también en asociación con las otras técnicas.

- Línea de Perforación (Line Drilling): Considera perforaciones muy cercanas (pequeño diámetro) en el perímetro de la excavación, no se cargan con explosivo, pero forman una discontinuidad en el límite deseado. (Scherpenisse & Silva, 2015)

2.2.9. Vibraciones

Las vibraciones causadas por voladuras, tienen el potencial de afectar estructuras y provocar molestias en las personas. Éstas presentan parámetros que la definen, como amplitud de aceleración, frecuencia y desplazamiento, pero es la amplitud de velocidad pico de partícula a una frecuencia predominante la que mejor se relaciona con un potencial de daño estructural. (Ingenieros, 2013)

En su forma más sencilla, la vibración es un movimiento ondulatorio y cíclico, en un medio con fases alternando entre compresión y tensión y que probablemente más influencia tienen sobre impactos relacionados con el estrés o presión dinámica en la roca. (DaveyBickford, 2017)

2.2.9.1. Tipos de Ondas

Básicamente podemos agrupar los tipos de ondas elásticas en dos grupos:

- Ondas internas, que se propagan por el interior del sólido rocoso en nuestro caso y dentro de las cuales encontramos:
 - las ondas longitudinales, de compresión o principales P, se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en la misma dirección en la que la onda se propaga.
 - las ondas transversales, de cizalladura o secundarias S, se caracterizan por provocar la oscilación de las partículas en una dirección transversal a la dirección en que la onda se propaga.

Cuando las ondas internas generadas en el interior de un macizo rocoso alcanzan la superficie, son influidas por esta discontinuidad y aparecen ondas de superficie. Si se considera para su análisis que el eje X es el correspondiente al de la dirección principal de propagación, el eje Y al horizontal, perpendicular al X, y el eje Z al vertical perpendicular a los dos anteriores.

- Ondas de superficie, que únicamente se transmiten por la superficie del material y entre las que encontramos:
 - ✓ las ondas Rayleigh R, se propagan en el plano ZX, originando en dicho plano oscilaciones elípticas. Su efecto es de compresión, dilatación y cizalla. Su velocidad es aproximadamente 0.9 de las ondas transversales.
 - ✓ las ondas Love L, se propagan en el plano XY originando oscilaciones elípticas contenidas en dicho plano. Su velocidad es similar a la de las Rayleigh. La existencia de las ondas Love, está restringida a capas de terreno en contacto con la atmósfera y bajo las cuales existan otras capas en que la velocidad de las ondas transversales sea mayor que en la capa en cuestión. (DaveyBickford, 2017)

En la siguiente figura se muestran los trenes de ondas de una vibración generada por una voladura medidos en las tres componentes del movimiento; en ellos se distinguen los tipos de ondas P, S y superficiales que, al viajar a distinta velocidad, se van separando y diferenciándose.

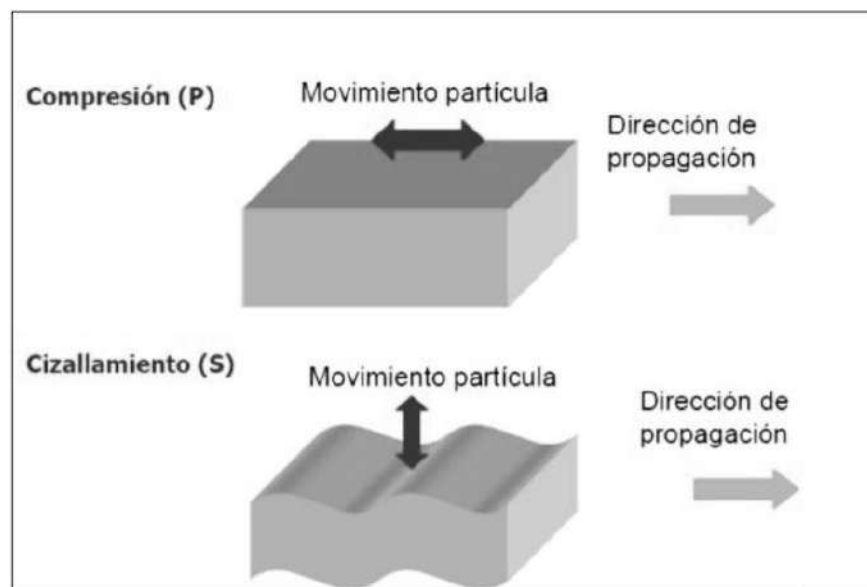


Figura 11: Comportamiento de las ondas de una vibración generada por voladura. (López, 1994)

2.3. Definición de Términos Básicos

Burden y burden efectivo. El burden de un pozo se refiere a la dimensión lineal entre el pozo y la cara libre y se mide perpendicular a la dirección de la línea de pozos que constituyen una fila. El término burden generalmente se refiere al burden perforado, y la dimensión lineal se hace a la cara libre existente del banco. El término burden efectivo se refiere a la dimensión lineal entre el pozo y la posición de la cara libre más cercana al tiempo de la detonación del pozo, y toma en consideración la dirección de la iniciación. (Exsa, 2014)

Deflagración. Los materiales del explosivo a menudo se descomponen a rapidez mucho menor que la velocidad del sonido del material sin ningún acceso a oxígeno atmosférico. Esto es una deflagración, y es propagado por la liberación del calor de reacción, y la dirección de flujo de los productos de la reacción es opuesta al de la detonación. En algunos casos la deflagración puede convertirse en una reacción de detonación. (Exsa, 2014)

Diámetro crítico. Es el diámetro mínimo mediante el cual puede detonar una carga explosiva. Agregando gas finamente disperso se reduce considerablemente el diámetro crítico de un explosivo. Este diámetro crítico puede ser bastante grande (aprox. 125 mm) para muchas emulsiones y acuageles a granel. (Exsa, 2014)

Densidad. 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. (Konya & Albarrán, 1998)

Espaciamiento y spaciamiento efectivo. El spaciamiento para un pozo de tronadura se refiere a la dimensión lineal entre pozos de tronadura adyacentes que forman una fila, y se mide usualmente paralelo a la cara libre. El término usualmente se refiere al spaciamiento de la perforación. El término spaciamiento efectivo se refiere a la dimensión lineal entre pozos que detonan sucesivamente, y toma en consideración la dirección de la cara libre. (Exsa, 2014)

Factor de carga. Mediante este término se describe la cantidad de explosivo usado para romper un volumen o peso unitario de roca. El factor de carga se indica mediante unidades

de kg/m³ o kg/ton. Otros usuarios prefieren usar un término inverso del factor de carga, para describir el peso de roca quebrada por unidad de peso de explosivo (ton/kg). (Exsa, 2014)

Proyección de rocas. Es el desplazamiento indeseado de roca de un área de la tronadura. Es importante señalar que un buen diseño minimizará la ocurrencia de proyección, pero no puede garantizar la eliminación de ella. No se debe permitir que las rocas salgan del área de la tronadura, y en situaciones de tronaduras en banco bien controlada, usualmente la proyección es de aproximadamente 5 veces la altura del banco. La proyección puede ser causada por sobreconfinamiento de cargas, o sobrecarga debido a la presencia de cavidades o fracturas abiertas en la roca. (Exsa, 2014)

Taco superior & taco intermedio. Es el material inerte añadido en la cima del pozo de tronadura para efectuar el confinamiento de los gases de la explosión y prevenir una proyección y sobre presión excesiva. El taco intermedio se añade a la columna del explosivo para reducir deliberadamente la cantidad de explosivo contenido en un pozo de tronadura. Se agrega taco intermedio en aquellas posiciones del pozo de tronadura donde la roca circundante es lo suficientemente débil como para no producir un quebrantamiento adicional. (Exsa, 2014)

Velocidad de Detonación. 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. Velocidad de detonación (VOD) es una medida de la razón a que la reacción de la detonación procede, por la columna del explosivo. Típicamente, el VOD variará entre 3000 m/ s para Anfo en pozos de tronadura de diámetros pequeños y 6000 m/ s para emulsión y acuagel en pozos de tronadura de diámetros más grandes. Se considera un indicador del potencial de fragmentación de un explosivo, con el potencial creciente para un VOD creciente. (López, 1994)

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Geográfica

Minera Yanacocha está ubicada en el distrito de Yanacocha, al noreste del Perú, aproximadamente a 20 Km al norte de la ciudad de Cajamarca, entre los 3500 y 4100 msnm. El centro geográfico del complejo minero tiene aproximadamente las siguientes coordenadas UTM: 774 260m E y 9 227 050m S, o 6° 59' S latitud, 78° 31' O longitud. (MINEM, 2006) (Ver Anexo I)

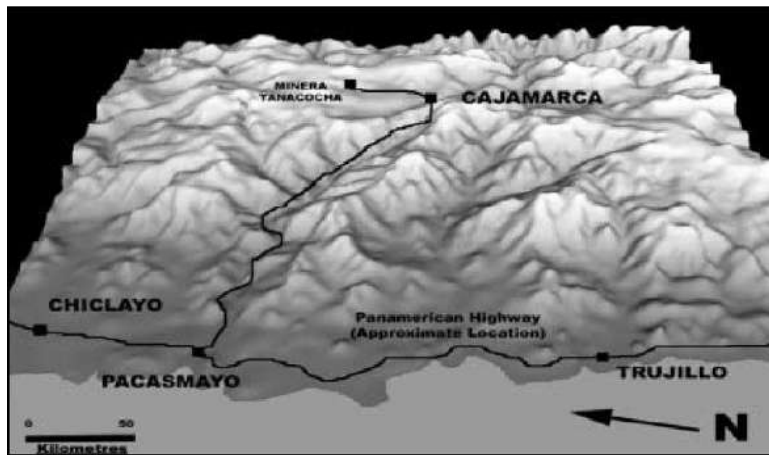


Figura 12: Ubicación geográfica de Minera Yanacocha. (Bury, 2004)



Figura 13: Vista satelital del yacimiento minero Yanacocha. (Google Earth, 2021)



Figura 14: Ubicación de los tajos Tapado Oeste, Yanacocha y Quecher Main en la operación de Minera Yanacocha. (Senace , 2019)

3.2. Accesibilidad

El acceso hacia la ciudad de Cajamarca es a través de vía aérea y terrestre. El acceso a Minera Yanacocha, desde la ciudad de Cajamarca está a 48 km a través de la carretera de transporte interprovincial Cajamarca-Hualgayoc. En la mina se cuenta con helipuertos los cuales ocasionalmente se utilizan para el traslado de personal de Cajamarca hacia la mina y viceversa. Están ubicados en la zona de Yanacocha norte, La Quinua y las oficinas administrativas en el Km. 32. (MINEM, 2006)

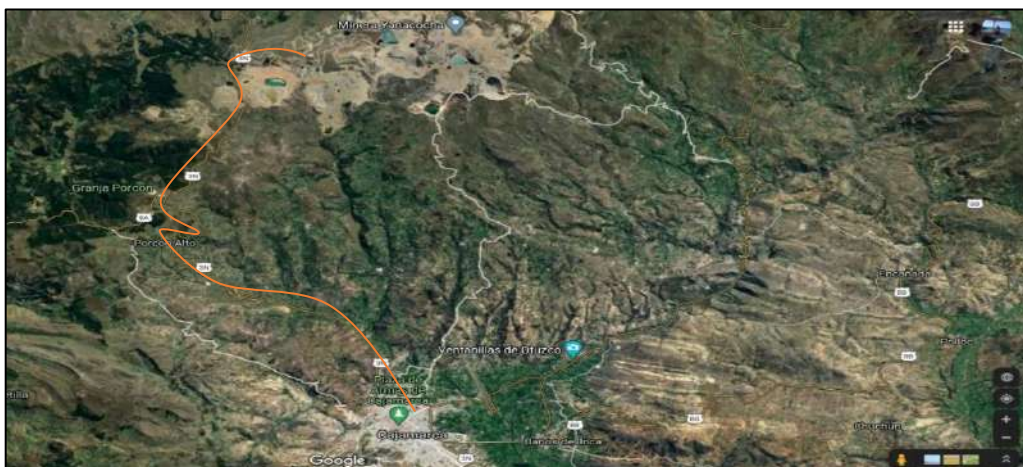


Figura 15: Accesibilidad a Minera Yanacocha. (Google Earth, 2021)

3.3. Clima y Vegetación

3.3.1. Clima

El clima del lugar que se realizó la investigación es típico de la región natural Suni y Jalca al ubicarse entre los 3200 y 4100 metros sobre el nivel del mar, se manifiesta de manera frígida con variaciones desde los -3°C hasta los 20°C con una sensación térmica que alcanza inclusive los 23°C .

Las precipitaciones son frecuentes y con mayor intensidad entre los meses de octubre a abril, y con un aspecto de estiaje entre mayo y setiembre. (MINEM, 2006)

3.3.2. Vegetación

La vegetación es típica de la región altoandina predominando el Ichu, Quinual y Quishuar, sin embargo, es importante acotar que en el proyecto minero la vegetación es limitada pues las áreas de trabajos la vegetación y suelo orgánico ha sido reubicado para el desarrollo de las actividades propias de la minería extractiva. (MINEM, 2006)

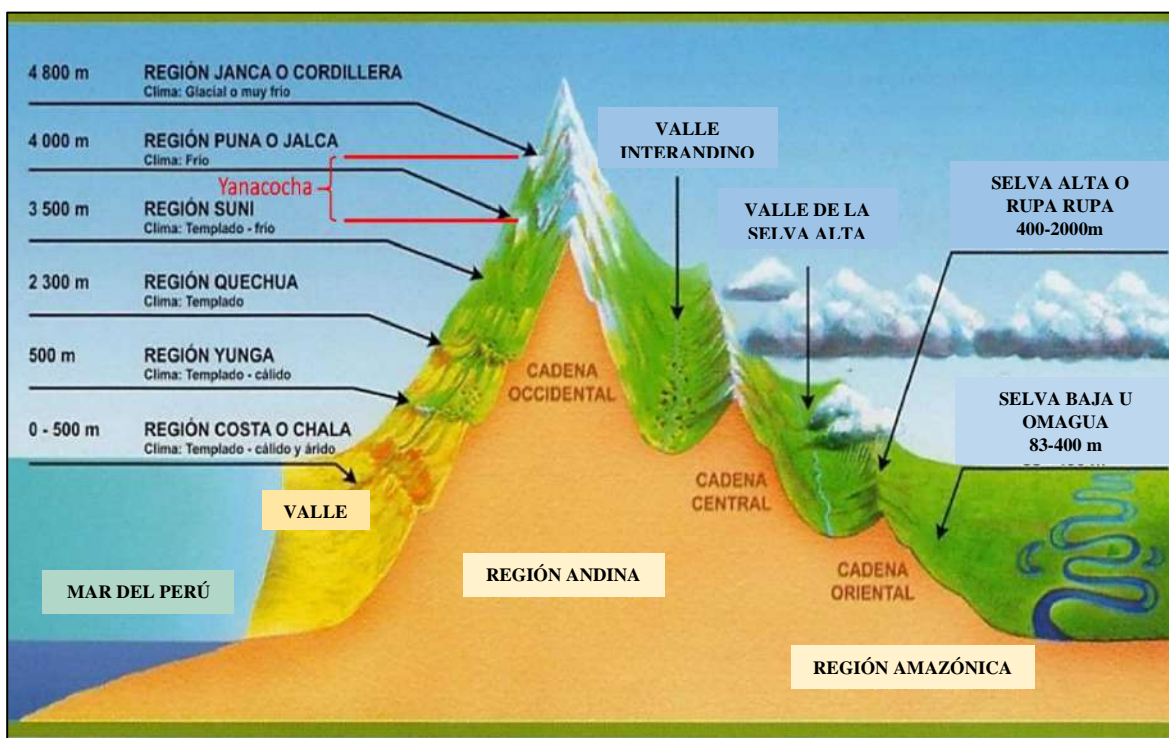


Figura 16: Adaptado del mapa de las 08 regiones naturales del Perú (Pulgar, 1987)

3.4. Geología Regional y Local

3.4.1. Geología Regional

La geología de la región de Cajamarca – Yanacocha está constituida por un basamento sedimentario de edad Cretácico que ha sido plegado, fallado e intruído por stocks del Paleógeno Neógeno y recubiertos por efusiones volcánicas del Paleógeno Neógeno Regionalmente el Grupo Calipuy se subdivide en dos unidades: Volcánicos Llama y Volcánicos Porculla. Sobre ellas yacen con discordancia erosional las ignimbritas de la Formación Huambos. Turner, considera a la Formación Huambos como parte del Grupo Calipuy. (Merino, 2005). (Ver Anexo II)

3.4.2. Geología Local

La geología del distrito Yanacocha forma parte de los depósitos polimetálicos del cinturón metalogénico del Mioceno que se extiende en la cordillera occidental del norte en el territorio peruano. Cordilleras que han sido formadas por la actividad tectónica que generó la subducción de la placa oceánica por debajo de la sudamericana, a su vez esto conlleva la actividad magmática en diferentes fases, es en la segunda fase, denominada Quechua I, (Merino, 2005)

Es en esta fase que se genera la formación de los yacimientos que comprenden el distrito Yanacocha con la presencia de derrames lávicos y flujos piroclásticos de composición dacítica andesítica, Posterior a la gran actividad volcano-plutónica Miocénica se produce el levantamiento Andino y erosión, seguidamente se deposita el volcanismo de la Formación Huambos (8.2 Ma, Noble et 1989), constituido por coladas piroclásticas de composición andesítica-dacítica que recubren valles y depresiones del distrito de Yanacocha. Finalmente, en el Pleistoceno, ocurre una fuerte etapa de glaciación que erosiona el depósito de Yanacocha dando lugar a la depositación de morrenas y gravas del depósito La Quinoa.

Para el caso del Yacimiento Quecher Main está asociado a un centro volcánico de rocas freáticas, freatomagmáticas e hidrotermales pertenecientes a un “horst” geológico, limitadas por fallas NW-SE. La mineralización está controlada principalmente por brechas freáticas y freatomagmáticas afectadas por fases hidrotermales. La alteración hidrotermal se constituye principalmente por un ensamble de cuarzo-alunita (SA) y cuarzo-arcillas (SC) que nos indican una alteración argílica avanzada, con una sílice lixiviada granular (SG) hacia los

extremos. Por otro lado, existen patrones geoquímicos con buena distribución en superficie como lo muestra el Cu, Ag, Mo, Sn, As, Sb y Fe los cuales se encuentran directamente relacionados al Au. En la siguiente imagen se muestra la sección transversal mostrando las alteraciones del Yacimiento. SM: Sílice Masiva, SA: Sílice Alunita, SG: Sílice granular, CLAY: Arcillas silíceas. (Díaz, 2008). (Ver Anexo III)

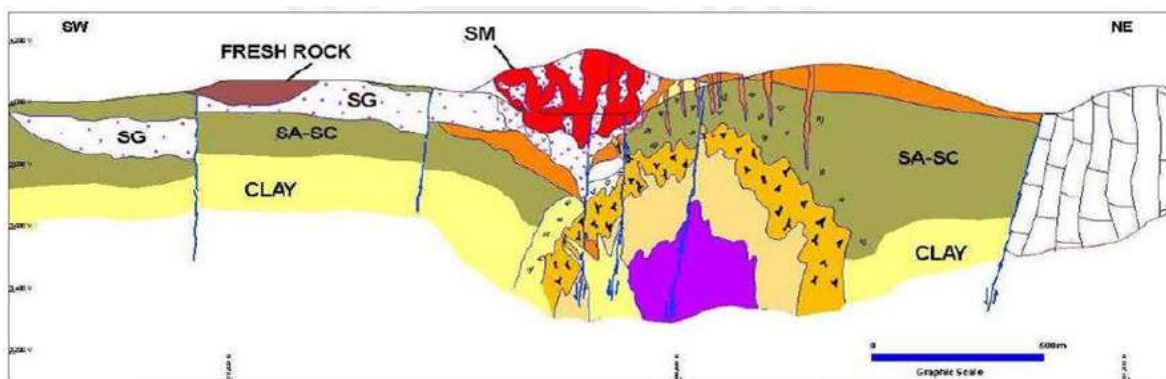


Figura 17: Sección transversal mostrando las alteraciones del Yacimiento. (Díaz, 2008)

3.5. Hidrografía:

La hidrografía regional del Proyecto minero en mención constituye parte de la vertiente del Atlántico, área que se encuentra sobre las subcuencas de la quebrada Honda, río Azufre, río Quinuario y río Grande, de las cuales la primera pertenece a la cuenca Alto Marañón y las tres últimas a la cuenca Crisnejas. El proyecto también considera las instalaciones ubicadas en la subcuenca del río Rejo, que pertenece a la cuenca del río Jequetepeque, que drena hacia la vertiente del Pacífico.

A nivel local, en el área del Proyecto se delimitaron ocho microcuencas y una intercuenca que son: microcuenca de la quebrada Honda, microcuenca del río Azufre, microcuenca de la quebrada La Saccha, microcuenca de la quebrada San José, microcuenca del río Grande, microcuenca del río Shoclla, microcuenca de la quebrada Chachacoma. (Tantec, 2018).

(Ver Anexo IV)

3.6. Metodología de la investigación

3.6.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación es Experimental, correlacional y transversal en el tiempo.

3.6.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es Descriptiva – Correlacional-Causal, es decir; descriptiva porque se detallan las condiciones del escenario actual y correlacional-causal porque se describen relaciones entre las variables en un momento determinado, en función de la relación causa-efecto.

3.6.3. Diseño de Investigación

El diseño de la investigación es Experimental – transversal, ya que se llevó a cabo las pruebas in situ, para luego analizar y determinar los beneficios que nos brinda la utilización del Anfo Pesado como mezcla explosiva en minería a cielo abierto.

3.6.4. Método de Investigación

El método de investigación es experimental, ya que ofrece la posibilidad de analizar los resultados más ampliamente, otorga control sobre los diferentes procesos, así como un punto de vista basado en conteos y magnitudes. También, facilita la comparación entre estudios similares.

3.6.5. Población de Estudio

Los tajos Tapado Oeste, Yanacocha, Quecher Main, en el periodo de pruebas de la empresa ENAEX en Minera Yanacocha SRL, en la ciudad de Cajamarca.

3.6.6. Muestra

Se tomarán como muestra las 24 voladuras realizadas en el proyecto minero utilizando la mezcla explosiva en estudio, con diferentes parámetros, por lo tanto, se tendrá propuestas técnicas diferentes.

3.6.7. Unidad de Análisis

Resultados de los procesos de voladura en los distintos tajos de la unidad minera en donde se aplicarán las distintas propuestas técnicas utilizando el Anfo Pesado en sus distintas presentaciones.

3.7. Procedimiento de la Investigación

3.7.1. Etapa de recopilación de información

En esta etapa se realizó la revisión bibliográfica, referente a la Perforación y voladura, en minería a tajo abierto, así como investigaciones previas, informes y trabajos anteriores, los que fueron mencionados en los antecedentes e información del marco teórico, para determinar posteriormente elaborar las fichas de recolección de datos y las fuentes de donde extraerlos.

3.7.2. Etapa de recopilación de información

En esta etapa se realizó la recolección detallada de los datos de cada variable de estudio de los procesos de voladura pertenecientes a la muestra utilizando la base de datos almacenada del año 2018 por el proyecto de pruebas realizadas por la empresa Enaex, en Minera Yanacocha.

3.7.3. Etapa de análisis de información

En esta etapa se hizo el procesamiento y análisis de toda la información histórica recolectada, y de tal modo establecer escenarios y determinar correlaciones causales entre las variables para finalmente elaborar el informe final con el reporte de los resultados.

3.8. Definición de Variables

Variable Independiente

- **Proceso de Voladura:**

Se entiende por proceso de voladura la disposición de un grupo de taladros, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin afectar a elementos ajenos a la misma.

Variable Dependiente

- **Beneficios de la Utilización el ANFO Pesado:**

Se entiende como Beneficios de la utilización del Anfo pesado, a las diferentes ventajas que nos brinda esta mezcla explosiva, tal como ventajas operativas, económicas y medioambientales.

Tabla 3. Operacionalización de Variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Unid. del indicador
VARIABLES INDEPENDIENTES (CAUSA)				
Proceso de Voladura	Se entiende por proceso de voladura la disposición de un grupo de taladros, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin afectar a elementos ajenos a la misma.	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño de carguío del taladro (Longitud de cámara de aire, carga explosiva, taco y el tipo de Anfo pesado que se utilizará, variando en porcentajes según la necesidad del terreno y diferentes parámetros encontrados.) • Diseño de la secuencia de detonación según el desplazamiento del material que se desea obtener. • Primado (Introducir la prima juntamente con el detonador electrónico y pirotécnico), carguío y tapado de taladros. • Posterior a la voladura, toma de datos sobre las dimensiones de los fragmentos de roca obtenidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de ANFO pesado. • Zonificación del Yacimiento. • Tipo de Roca 	<ul style="list-style-type: none"> • HA28, HA37, HA46, HA55, HA73 • Ley del mineral. • Índice de dureza
VARIABLES DEPENDIENTES (EFECTO)				
Beneficios de la Utilización el ANFO Pesado	Se entiende como Beneficios de la utilización del Anfo pesado, a las diferentes ventajas que nos brinda esta mezcla explosiva, tal como ventajas operativas, económicas y medioambientales.	<ul style="list-style-type: none"> • Optimización del tiempo en el carguío de taladros. • Análisis de la fragmentación de la roca posterior a la voladura. • Control de vibraciones y emisiones de gases nitrosos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo usado en el carguío total de un taladro. • Diámetro promedio de los fragmentos de la roca después de la voladura. • Velocidad de la Onda P • Concentración de Gases. 	<ul style="list-style-type: none"> • s • cm • (mm/s) • PPM

3.9. Equipos y materiales

Durante el desarrollo de la presente tesis, fue necesario aplicar técnicas de observación, descripción e interpretación, a través de trabajos de campo y gabinete, así como el empleo de materiales y equipos, tales como:

a) Equipos

- Cámara fotográfica digital:

Se utilizó la cámara fotográfica para realizar capturas y videos a las mallas de perforación, al carguío de taladros, las voladuras y el resultado de éstas (Fragmentación, vibraciones, emisión de gases), para así tener evidencias de, de los mismos y poder tener los resultados de las diversas pruebas realizadas.

- Computadora-Laptop:

Se utilizó para la recolección, análisis e interpretación de los datos empleando Excel.

- Cronómetro:

Se utilizó para medir los tiempos de carguío de explosivo de cada taladro.

b) Materiales

- Libreta de Campo y lapiceros:

Se utilizó para la anotación de datos extras y análisis realizados.

- Ficha de recolección de datos:

Se utilizó con la nomenclatura de cada taladro en la malla correspondiente

3.10. Generalidades de Minera Yanacocha SRL.

3.10.1. Antecedentes Generales

Minera Yanacocha es propiedad conjunta de Newmont Mining Company (51,35%), la compañía peruana Compañía de Minas Buenaventura (43,65%) y el brazo corporativo del Grupo del Banco Mundial, la Corporación Financiera Internacional (IFC) (5%). La mina de Yanacocha es la mayor productora de oro de Sudamérica. El yacimiento, ubicado en la provincia de Cajamarca, Perú, está formado por seis minas a cielo abierto, cuatro plataformas de lixiviación y tres plantas de recuperación de oro. Comenzó a producir en 1993 y se espera que continúe funcionando hasta 2029, aunque la expectativa de vida de la mina depende de la capacidad de la compañía de identificar nuevas áreas de exploración y explotación.

(Elizalde, 2009)

3.10.2. Ciclo de Minado en Minera Yanacocha

Se divide en cuatro procesos básicamente los cuales son dependientes uno del otro, iniciando con la perforación, voladura, carguío y acarreo; cada uno de ellos se ajusta al cumplimiento del plan de minado.



Figura 18: Ciclo de minado en Minera Yanacocha. (Vilela, 2014)

El ciclo inicia con la perforación de taladros, según la malla de perforación diseñada y brindada por el área de Perforación y voladura, se procede a cargar los taladros, posteriormente se realiza la voladura o disparo mediante un proceso electrónico.

El material obtenido producto de la voladura, se procede a cargar a los camiones gigantes quienes transportan el material hacia el destino que le corresponde según el material que están trasladando.

3.10.2.1. Perforación en el proyecto de Voladura

Con este proceso inicia el ciclo de minado, el área de operaciones mina, según el plan de minado entrega el área a trabajar al área de perforación y voladura para proceder con la actividad.

Habiéndose realizado el diseño de la malla de perforación, se hace la entrega del plano a los operadores de las perforadoras, las cuales realizan este proceso, en coordinación con la supervisión.

Este proceso se realiza con el estricto cuidado, supervisado en todo momento por seguridad, el cual, basándose en las normas establecidas, como la señalización de todo el perímetro del área a perforar, proceden a realizar la actividad.

3.10.2.1.1. Equipos de Perforación

Los equipos utilizados en Minera Yanacocha se basan exactamente en las condiciones del terreno que se tiene en el tajo, y también en el tipo de taladros a realizar si son de pre corte, de procedimiento o de producción y todos estos equipos son de alta tecnología los cuales cuentan con un sistema de comunicación conectado al servidor, mediante el cual son capaces de cargar desde cualquier ubicación las mallas de perforación que son diseñadas en las oficinas administrativas. Las perforadoras cuentan con un sistema satelital que permite perforar los taladros según las coordenadas del diseño, éstas se encargan de la perforación de toda la malla diseñada dejando la nomenclatura en cada taladro realizado, para identificación y posteriormente cargar los taladros, según diseño.

A continuación, se muestra los equipos de perforación con los que se cuenta en Minera Yanacocha, para los distintos tipos de taladros existentes en una malla de perforación.

Tabla 4: Equipos de perforación en Minera Yanacocha. (Vilela, 2014)

Equipo de Perforación	Unidades	Diámetros Broca (Pulg)
Pit Viper 270	4	10 5/8 - 9 7/8
DML	2	7 7/8
Roc L8	2	5 & 6



Figura 19: Perforadora Pit Viper 270



Figura 20: Perforadora Roc L8

3.10.2.1.2. Diseño de la malla de perforación

El diseño de la malla de perforación estaba a cargo del área de perforación y voladura de Minera Yanacocha SRL, de acuerdo a los parámetros que se presentaba en cada uno de los tajos y en los bancos establecidos para realizar dichas voladuras.

El diseño de la malla de perforación comprende una geometría triangular, el diseño de una malla triangular permite una mejor distribución de la energía, y según eso se procede a la asignación del burden, espaciamiento, sobreperforación, según el tipo de taladro.

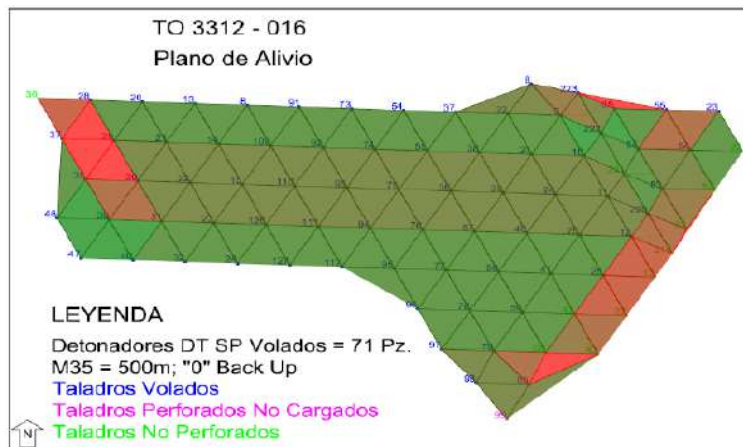


Figura 21: Diseño triangular de una malla de perforación utilizada en Minera Yanacocha. (Enaex, 2018)

Los tipos de diseño de taladros en minera Yanacocha son, de pre corte, procedimiento y producción.

- **Taladros de pre corte**

Son taladros diseñados con la finalidad de cuidar la pared del talud final, ubicados en la primera fila, con un espaciamiento mucho menor a comparación de los demás tipos de taladros, éstos interactúan entre si generando un plano de falla, minimizando significativamente las vibraciones hacia el talud, este plano de falla absorbe la onda de choque producida por los taladros de procedimiento y producción, esto significa beneficios en la estabilidad de paredes, menor sobre rotura en las crestas cumplimiento del ángulo y catch bench de diseño.



Figura 22: Taladro de pre corte. (Yanacocha, 2015)

En la siguiente imagen se puede observar claramente como se ha generado un plano de falla, al utilizar los taladros de pre corte, por lo tanto, ayuda al cuidado de la pared del nuevo banco, también absorbiendo la energía producida por la voladura.



Figura 23: Plano de falla producido por los taladros de pre corte.
(Yanacocha, 2015)

- **Taladros de Procedimiento**

Estos taladros están luego de los taladros de pre corte, consta de tres filas de taladros, los cuales son, los taladros adyacentes, de primera producción y de segunda producción, cada fila tiene un diseño distinto de acuerdo a su ubicación, la finalidad que se tiene al emplear este tipo de taladros es similar a los taladros de pre corte, amortiguan las vibraciones producidas por los taladros de producción.

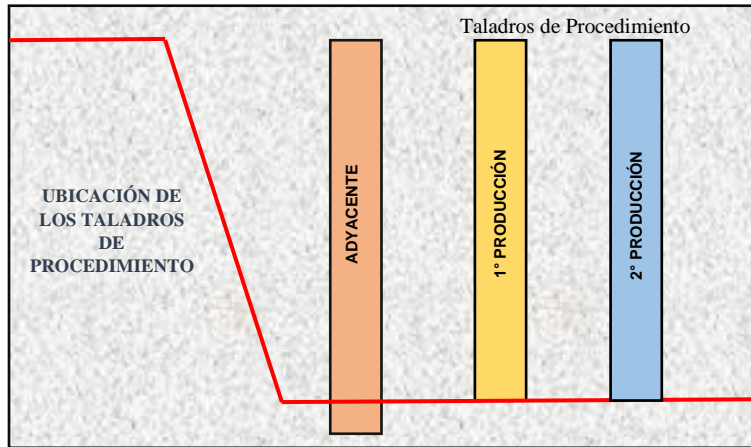


Figura 24: Ubicación de taladros de procedimiento.

- **Taladros de Producción**

Estos taladros son diseñados para optimizar la producción, obtener una buena fragmentación, el burden y el espaciamiento tienen una misma dimensión, así mismo el diseño de carga del taladro es la misma para todos estos taladros.

Tabla 5: Detalles de cada tipo de diseño de taladro. (Vilela, 2014)

Tipo de diseño	Diámetro (pulg)	Equipo de Perforación	Carga Explosiva	Espaciamiento (m)
Precorte	5	Rock Drill L8	No	1.8
Procedim.	7 7/8 – 9 7/8	IR DML	Si - Diseño especial	5-6
Producción	10 5/8	PV 271	Si - Carga normal	7-8

3.10.2.2. Voladura

La voladura, inicia con la activación de un fulminante, quien dota de energía calorífica a la carga explosiva, en este caso al Anfo Pesado, teniendo una reacción en cadena que permite la liberación de energía multidireccional de alta potencia, que juntamente con la onda expansiva genera la rotura de la roca, este proceso se aplica con la finalidad de obtener un grado de fragmentación ideal, que se adecúe con los requerimientos de planta o botadero, según sea el caso.

En este proceso se realizan una serie de actividades como: el diseño de carga explosiva, carguío de taladros, verificación de densidades, tapado de los taladros, secuenciación de taladros, disparo, verificación de humos naranjas, medición de vibraciones y fragmentación.

3.10.2.2.1. Diseño de carga

En la investigación se diseñó la carga, según el tipo de taladro y las características que se presentaron en los tres tajos, en donde se realizaron las voladuras estudiadas, como lo son, tajo Tapado Oeste, Yanacocha y Quecher Mine.

- **Propuestas de diseño según el tajo**

- 1. Propuesta para el tajo Tapado Oeste – La Quinua**

En este tajo se presentaba taladros adyacentes de procedimiento de (1ra y 2da Producción), y taladros de producción, y con roca tipo Sílice Masiva y Propilítica, y en algunas zonas con moderada y alta presencia de agua, por lo tanto, el diseño de la carga explosiva eran las siguientes con algunas variaciones.

- **Para roca Dura**

Tabla 6: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro de Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
PRODUCCIÓN MINERAL		Tipo de Roca	
Densidad de Roca	2.1	Dura	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	> 50 Mpa	
Burden (m)	7.0	SIL MA	
Espaciamiento (m)	8.0	FC=0.31	
Altura de banco (m)	12.0		
Sobreperforación (m)	1.0		
Aire Superior (m)	1.0		
Aire Inferior (m)	1.0		
Carga de Fondo (m)	5.0	Explosivo	HA-55
Kg. Carga de Fondo	376		
Carga de Columna (m)		Explosivo	HA-37
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	6		
Tonelaje	1411.2		
Factor de Potencia	0.266		

Este procedimiento se realiza empleando el Software Paradigm, que, ingresando los datos proporcionados de la malla de perforación, nos permite realizar los cálculos necesarios para tener un modelamiento aproximado del resultado que se tendrá, habiendo diseñado dichas columnas explosivas.

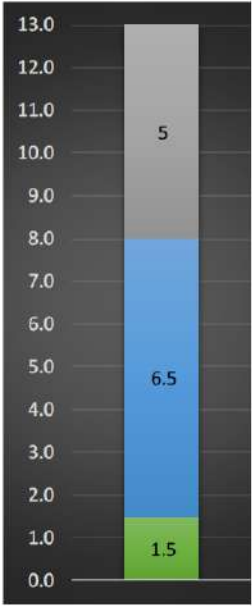
Tabla 7: Diseño teórico de carga para roca dura HA55

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA								
Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire Hacia el taco (m)	Aire al fondo (m)	FC (Kg/Ton)	Kg de explosivo	Ton/Tal
9.5	5.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.303	338	1117.20
10.0	5.0	0.0	4.5	0.0	0.5	0.287	338	1176.00
10.5	5.0	0.0	4.5	0.0	1.0	0.274	338	1234.80
11.0	5.5	0.0	4.5	0.0	1.0	0.261	338	1293.60
11.5	5.5	0.0	5.0	0.0	1.0	0.278	376	1352.40
12.0	5.5	0.0	5.0	0.5	1.0	0.266	376	1411.20
12.5	5.5	0.0	5.0	1.0	1.0	0.266	376	1411.20
13.0	6.0	0.0	5.0	1.0	1.0	0.266	376	1411.20
13.5	6.0	0.0	5.5	1.0	1.0	0.281	413	1470.00
14.0	6.5	0.0	5.5	1.0	1.0	0.270	413	1528.80

Para un taladro adyacente se configura la menor carga explosiva ya que el espaciamiento entre estos taladros es considerablemente mucho menor que los de producción se diseña con una cámara de aire para poder extender el poder rompedor del explosivo.

Tabla 8: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro adyacente

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
		Tipo de Roca	
ADYACENTE		Dura	
Densidad de Roca	2.1	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	SIL MA	
Burden (m)	3.5	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	5.0		
Altura de banco (m)	12.0		
Sobreperforación (m)	1.0		
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	6.5		
Carga de Fondo (m)	1.5	Explosivo	HA-55
Kg. Carga de Fondo	113		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	441.0		
Factor de Potencia	0.26		



Para los taladros de procedimiento se tiene en cuenta que el burden y espaciamiento ha aumentado en relación a los taladros adyacentes por lo tanto se considera aumentar la carga explosiva con una relativa disminución de la cámara de aire.

Tabla 9: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro 1ra Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
1ra PRODUCCIÓN		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Dura	
Densidad de Roca	2.1	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	SIL MA	
Burden (m)	5.2	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	6.5		
Altura de banco (m)	12.0		
Sobreperforación (m)			
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	4.0		
Carga de Fondo (m)	3.0	Explosivo	HA-55
Kg. Carga de Fondo	225		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	851.8		
Factor de Potencia	0.26		

Tabla 10: Configuración de carga para roca dura HA 55, taladro 2da Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
2da PRODUCCION		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Dura	
Densidad de Roca	2.1	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	SIL MA	
Burden (m)	5.2	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	6.5		
Altura de banco (m)	12.0		
Sobreperforación (m)			
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	4.0		
Carga de Fondo (m)	3.0	Explosivo	HA-55
Kg. Carga de Fondo	225		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	851.8		
Factor de Potencia	0.26		

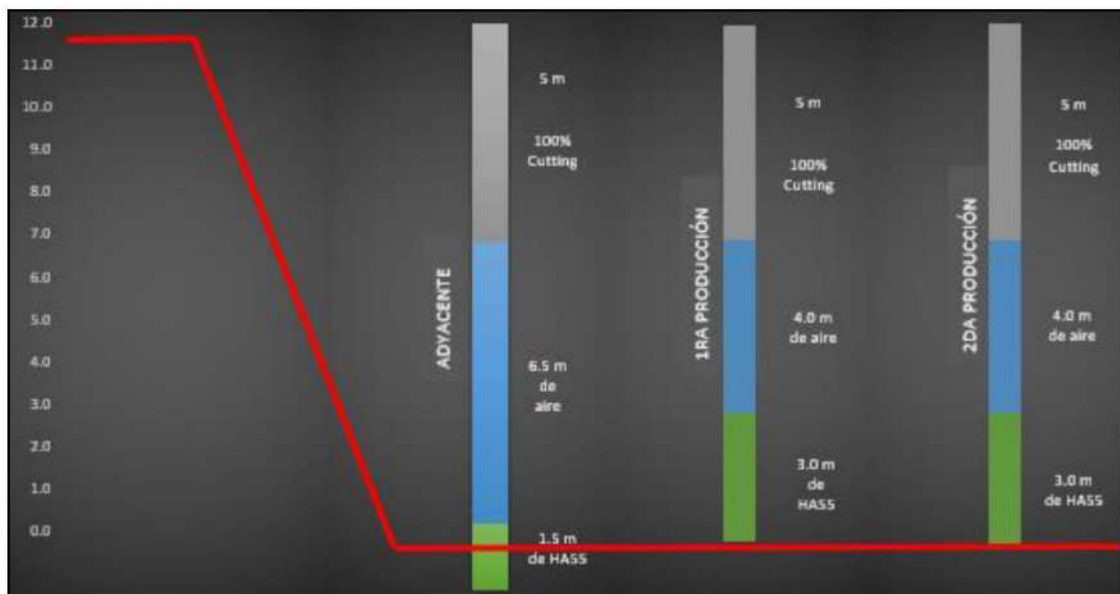


Figura 25: Diseño de columnas explosivas según taladros HA 55

- **Para roca Dura con presencia de agua**

En este tajo se presentaba mucha presencia de agua por lo tanto se recomendaba la utilización de la mezcla explosiva HA 73, el cual presenta una excelente resistencia al agua.

Tabla 11: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro de Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Dura	
Densidad de Roca	2.1	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	SIL MA	
Burden (m)	7.0	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	8.0		
Altura de banco (m)	12.0		
Sobreperforación (m)	1.0		
Aire Superior (m)	1.0		
Aire Inferior (m)	1.0		
Carga de Fondo (m)	5.0	Explosivo	HA-73
Kg. Carga de Fondo	397		
Carga de Columna (m)		Explosivo	HA-37
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	6		
Tonelaje	1411.2		
Factor de Potencia	0.28		

Tabla 12: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro adyacente

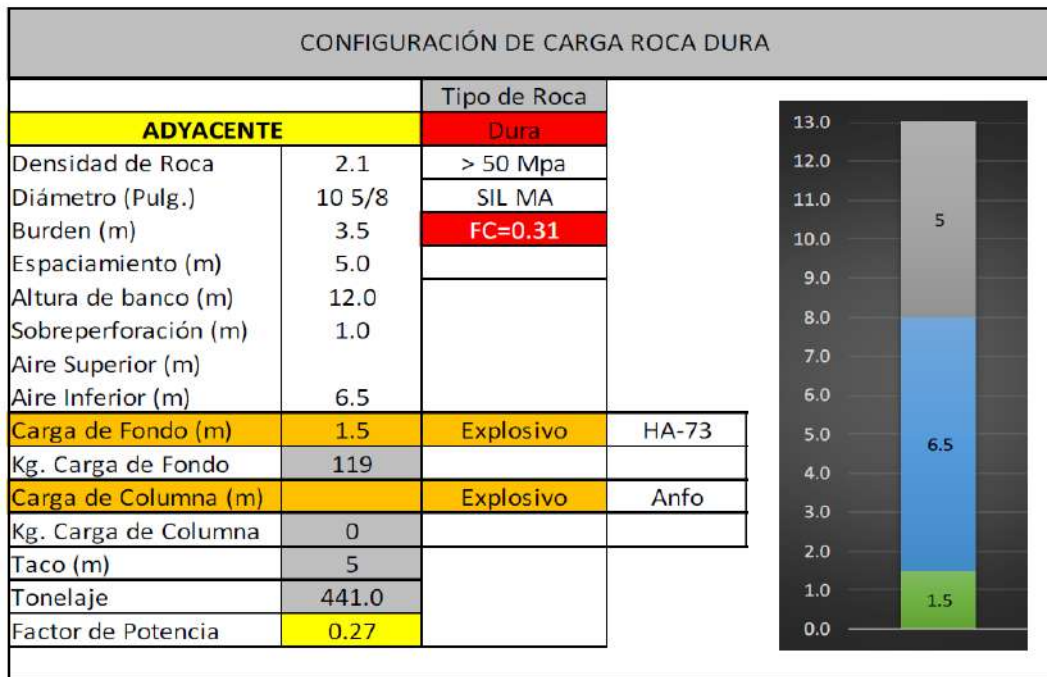


Tabla 13: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro 1ra Producción.



Tabla 14: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 73, taladro 2da Producción.

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
2da PRODUCCION		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Dura	
Densidad de Roca	2.1	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	SIL MA	
Burden (m)	5.2	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	6.5		
Altura de banco (m)	12.0		
Sobreperforación (m)			
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	4.0		
Carga de Fondo (m)	3.0	Explosivo	HA-73
Kg. Carga de Fondo	238		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	851.8		
Factor de Potencia	0.28		

Teniendo en cuenta los parámetros que se presentaron en esta zona para voladura se diseñaron las columnas explosivas siguientes.

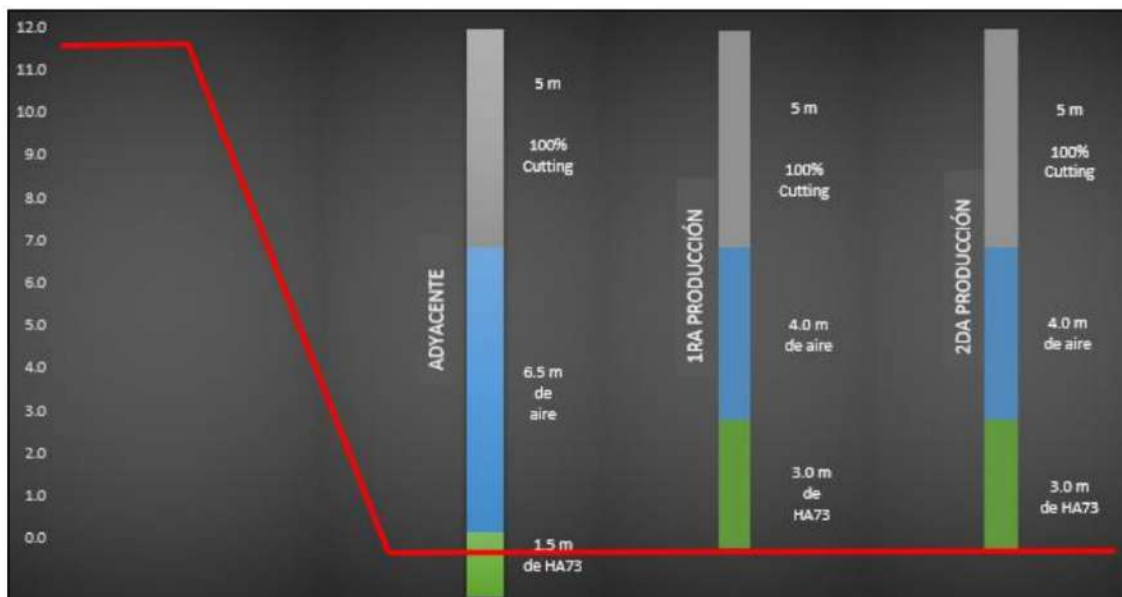


Figura 26: Diseño de columnas explosivas según taladro, HA73

2. Propuesta para el tajo Yanacocha

En este tajo se tuvo la presencia de roca dura Sílice Masiva, y también se tuvo la presencia de agua, aunque esta vez era moderada, no se necesitó de HA73, pero sí de HA55, la altura de banco era menor al tajo Tapado Oeste, por lo tanto, el diseño de la carga era distinta.

- **Propuesta con HA55**

Tabla 15: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro de Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
PRODUCCIÓN MINERAL		Tipo de Roca	
Densidad de Roca	2.45	Dura	
Diámetro (Pulg.)	9 7/8	> 50 Mpa	
Burden (m)	7.0	SIL MA	
Espaciamiento (m)	8.0	FC=0.31	
Altura de banco (m)	10.0		
Sobreperforación (m)	1.0		
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	1.0		
Carga de Fondo (m)	5.0	Explosivo	HA-55
Kg. Carga de Fondo	324		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	1372.0		
Factor de Potencia	0.236		

Tabla 16: Diseño teórico de carga para roca dura HA 55, con diferente altura de banco.

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA								
Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire Hacia el taco (m)	Aire al fondo (m)	FC (Kg/Ton)	Kg de explosivo	Ton/Tal
9.5	5.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.224	292	1303.40
10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.236	324	1372.00
10.5	5.0	0.0	5.0	0.0	0.5	0.236	324	1372.00
11.0	5.0	0.0	5.0	0.0	1.0	0.236	324	1372.00
11.5	5.0	0.0	5.5	0.0	1.0	0.248	357	1440.60
12.0	5.5	0.0	5.5	0.0	1.0	0.236	357	1509.20
12.5	5.5	0.0	6.0	0.0	1.0	0.247	389	1577.80
13.0	6.0	0.0	6.0	0.0	1.0	0.236	389	1646.40
13.5	6.0	0.0	6.5	0.0	1.0	0.246	422	1715.00
14.0	6.5	0.0	6.5	0.0	1.0	0.236	422	1783.60

Tabla 17: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro adyacente



Estos diseños varían según el tamaño del burden y espaciamiento de la malla de perforación, que se ha diseñado previamente.

Tabla 18: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro de 1ra Producción

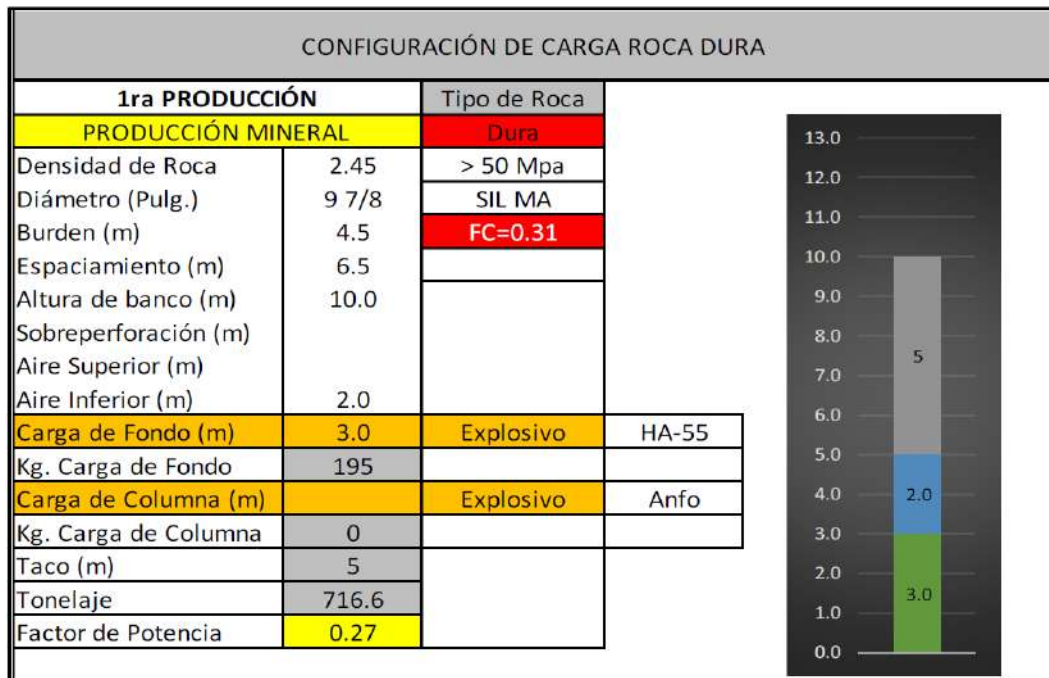


Tabla 19: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 55, taladro de 2da Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
2da PRODUCCION		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Dura	
Densidad de Roca	2.45	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	9 7/8	SIL MA	
Burden (m)	4.5	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	6.5		
Altura de banco (m)	10.0		
Sobreperforación (m)			
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	2.0		
Carga de Fondo (m)	3.0	Explosivo	HA-55
Kg. Carga de Fondo	195		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	716.6		
Factor de Potencia	0.27		

Los diseños de cargas para este tajo con la mezcla explosiva de HA 55 quedaría de la siguiente manera:

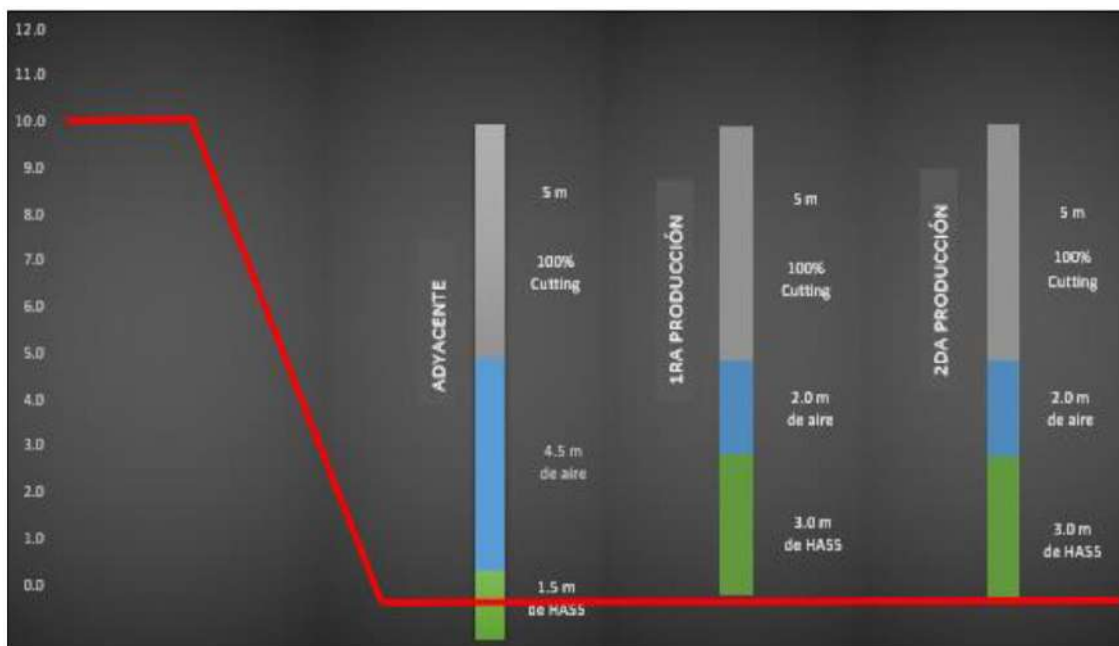


Figura 27: Diseño de columnas explosivas según taladro, HA55

- **Propuesta con HA 46**

Esta propuesta se maneja teniendo en cuenta que la dureza de la roca es menor respecto al anterior tajo, la presencia de agua es mínima.

Tabla 20: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro de Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Dura	
Densidad de Roca	2.45	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	9 7/8	SIL MA	
Burden (m)	7	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	8		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)	1		
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)			
Carga de Fondo (m)	5.5	Explosivo	HA-46
Kg. Carga de Fondo	320		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna			
Taco (m)	5.5		
Tonelaje	1372		
Factor de Potencia	0.23		

Tabla 21: Diseño teórico de carga para roca dura HA 46, con diferente altura de banco

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA								
Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire Hacia el taco (m)	Aire al fondo (m)	FC (Kg/Ton)	Kg de explosivo	Ton/Tal
9.5	5.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.224	292	1303.40
10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.236	324	1372.00
10.5	5.0	0.0	5.0	0.0	0.5	0.236	324	1372.00
11.0	5.0	0.0	5.0	0.0	1.0	0.236	324	1372.00
11.5	5.0	0.0	5.5	0.0	1.0	0.248	357	1440.60
12.0	5.5	0.0	5.5	0.0	1.0	0.236	357	1509.20
12.5	5.5	0.0	6.0	0.0	1.0	0.247	389	1577.80
13.0	6.0	0.0	6.0	0.0	1.0	0.236	389	1646.40
13.5	6.0	0.0	6.5	0.0	1.0	0.246	422	1715.00
14.0	6.5	0.0	6.5	0.0	1.0	0.236	422	1783.60

Tabla 22: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro adyacente.

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
		Tipo de Roca	
ADYACENTE		Dura	
Densidad de Roca	2.45	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	9 7/8	SIL MA	
Burden (m)	3.5	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	5		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)	1		
Aire Superior (m)	4		
Aire Inferior (m)			
Carga de Fondo (m)	2	Explosivo	HA-46
Kg. Carga de Fondo	116		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	428.8		
Factor de Potencia	0.27		

Tabla 23: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro de 1ra Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
		Tipo de Roca	
1ra PRODUCCIÓN		Dura	
Densidad de Roca	2.45	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	9 7/8	SIL MA	
Burden (m)	5.2	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	6.5		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)			
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	2		
Carga de Fondo (m)	3	Explosivo	HA-46
Kg. Carga de Fondo	174		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	828.1		
Factor de Potencia	0.23		

Tabla 24: Configuración de carga para roca dura y presencia de agua HA 46, taladro de 2da Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA DURA			
		Tipo de Roca	
2da PRODUCCIÓN		Dura	
Densidad de Roca	2.45	> 50 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	9 7/8	SIL MA	
Burden (m)	5.2	FC=0.31	
Espaciamiento (m)	6.5		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)			
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)	2		
Carga de Fondo (m)	3	Explosivo	HA-46
Kg. Carga de Fondo	174		
Carga de Columna (m)		Explosivo	Anfo
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	828.1		
Factor de Potencia	0.23		

El diseño de la columna explosiva para el Tajo Yanacocha, teniendo la en cuenta la mezcla explosiva de HA46, quedaría de la siguiente manera

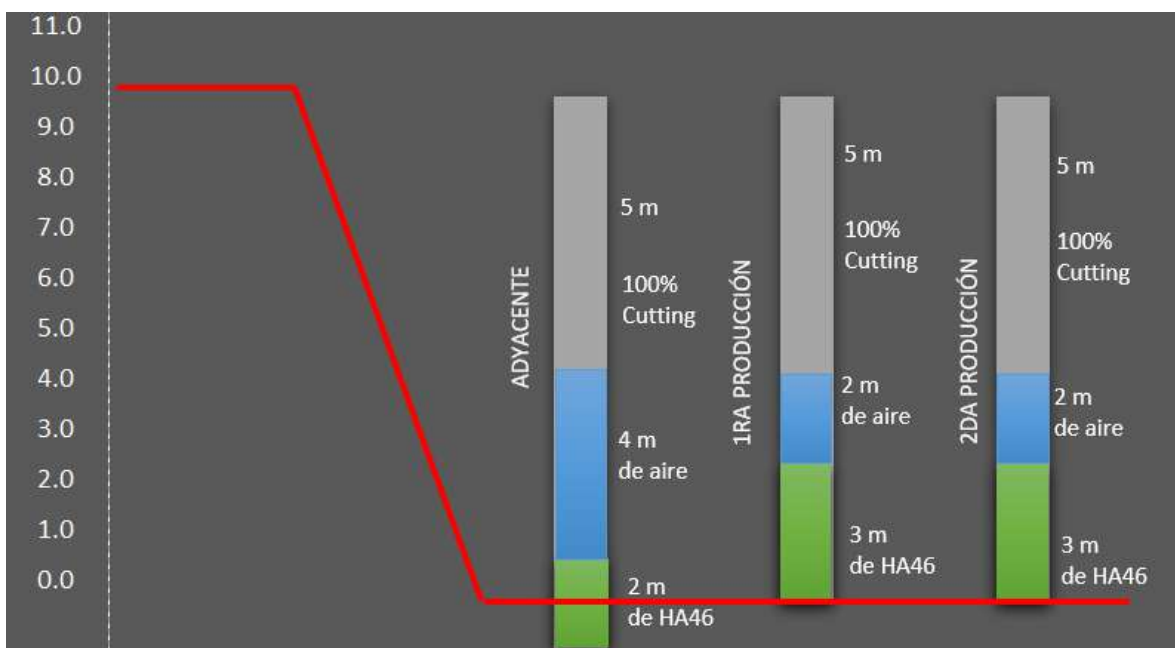


Figura 28: Diseño de columnas explosivas según taladro, HA46

3. Propuesta para el tajo Quecher Mine

Para el diseño de carga explosiva de este tajo se tuvo en cuenta los parámetros necesarios como el tipo de roca y la presencia de agua, aquí se tiene roca relativamente suave y suave, y no se tuvo presencia de agua, por lo tanto, se utilizó las mezclas explosivas de HA 28 Y HA37.

- **Propuesta con HA 28**

Tabla 25: Configuración de carga para roca suave y sin presencia de agua HA 28, taladro de Producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA SUAVE			
		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Suave	
Densidad de Roca	2.17	0 - 25 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	ARG	
Burden (m)	8	FC=0.26	
Espaciamiento (m)	9		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)	1		
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)			
Carga de Fondo (m)	5.5	Explosivo	HA-28
Kg. Carga de Fondo	308		
Carga de Columna (m)		Explosivo	
Kg. Carga de Columna			
Taco (m)	5.5		
Tonelaje	1719		
Factor de Potencia	0.18		

Tabla 26: Diseño teórico de carga para roca dura HA 28, con diferente altura de banco

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA SUAVE								
Longitud Taladro (m)	Taco Final Cutting (m)	Carga Superior Final (m)	Carga Inferior Final (m)	Aire hacia el taco (m)	Aire en el fondo (m)	FC (kg/Ton)	Kg de explosivo	Ton/Tal
9.5	5.0	0.0	4.5	0.0	0.0	0.17	252.4	1484.3
10.0	5.0	0.0	5.0	0.0	0.0	0.18	280.5	1562.4
10.5	5.5	0.0	5.0	0.0	0.0	0.17	280.5	1640.5
11.0	5.5	0.0	5.5	0.0	0.0	0.18	308.5	1718.6
11.5	5.5	0.0	5.5	0.0	0.5	0.17	308.5	1796.8
12.0	5.5	0.0	6.0	0.0	0.5	0.18	336.5	1874.9
12.5	5.5	0.0	6.0	0.0	1.0	0.17	336.5	1953.0
13.0	6.0	0.0	6.0	0.0	1.0	0.17	336.5	2031.1
13.5	6.0	0.0	6.5	0.0	1.0	0.17	364.6	2109.2
14.0	6.5	0.0	6.5	0.0	1.0	0.17	364.6	2187.4

- **Propuesta con HA 37**

Tabla 27: Configuración de carga para roca suave y sin presencia de agua HA 37, taladro de producción

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA SUAVE			
		Tipo de Roca	
PRODUCCIÓN MINERAL		Suave	
Densidad de Roca	2.13	0 - 25 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	ARG	
Burden (m)	8	FC=0.26	
Espaciamiento (m)	9		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)	1		
Aire Superior (m)			
Aire Inferior (m)			
Carga de Fondo (m)	5.5	Explosivo	HA-37
Kg. Carga de Fondo	346		
Carga de Columna (m)		Explosivo	
Kg. Carga de Columna			
Taco (m)	5.5		
Tonelaje	1687		
Factor de Potencia	0.21		

Tabla 28: Configuración de carga para roca suave y sin presencia de agua HA 37, taladro adyacente

CONFIGURACIÓN DE CARGA ROCA SUAVE			
		Tipo de Roca	
ADYACENTE		Suave	
Densidad de Roca	2.13	0 - 25 Mpa	
Diámetro (Pulg.)	10 5/8	ARG	
Burden (m)	3.5	FC=0.26	
Espaciamiento (m)	5		
Altura de banco (m)	10		
Sobreperforación (m)	1		
Aire Superior (m)	4		
Aire Inferior (m)			
Carga de Fondo (m)	2	Explosivo	HA-37
Kg. Carga de Fondo	378		
Carga de Columna (m)		Explosivo	
Kg. Carga de Columna	0		
Taco (m)	5		
Tonelaje	1914		
Factor de Potencia	0.20		

- **Cámaras de aire**

Estas cámaras de aire se crean en la profundidad del taladro, según el diseño que se requiera, con la función principal de generar una cara libre al explosivo y tener una mejor distribución de la energía que se desplaza para romper la roca de una manera más uniforme.

En el proyecto se utilizó unas bolsas de aire autoinflables sistematizadas, al manipular un dispositivo en dicha bolsa se activaba un cronometro de 20 segundos, para soltar la bolsa en la profundidad requerida, llegado ese tiempo la bolsa se auto inflaba creando presión en las paredes del taladro y así se generaba la cámara de aire diseñada en ese taladro.

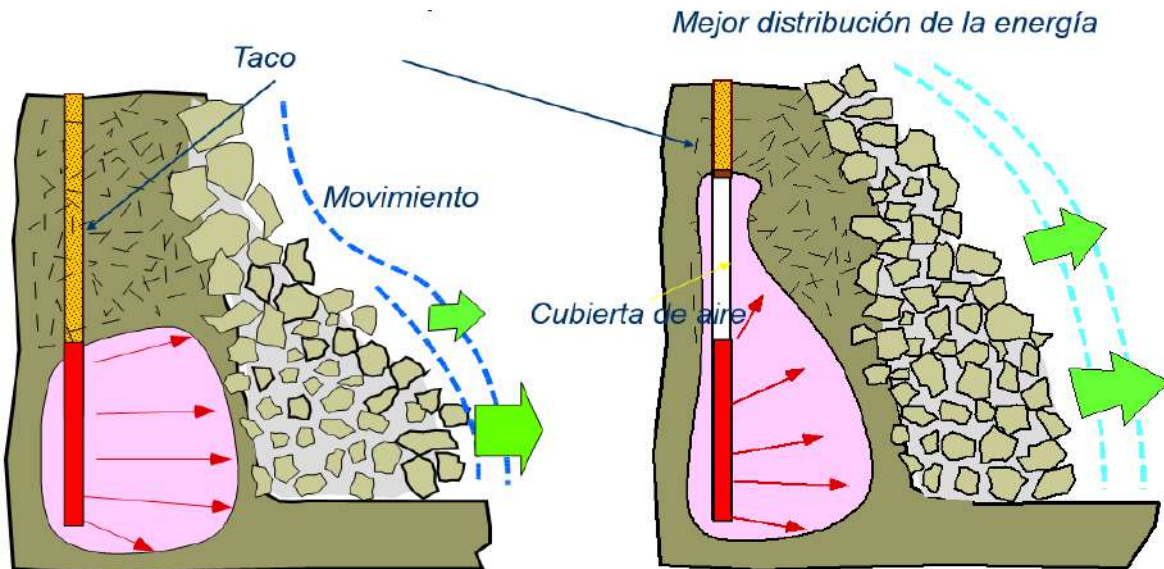


Figura 29: Función de las cámaras de aire. (Orica, 2014)

3.10.2.2. Preparación y traslado de Equipos de Carguío

Los equipos de carguío antes de proceder al traslado hacia el área a la que hayan sido asignados, el chofer operador y su ayudante, deberán cerciorarse de las condiciones generales en que se encuentra la unidad que les corresponderá operar. Especialmente constatará, por medio de una lista de comprobación, todo lo relacionado con las partidas de revisión diaria, tanto del camión como del equipo de fabricación, con la del abastecimiento de materias primas, los elementos de seguridad con que contará, y los accesorios para su más eficiente desempeño, los camiones fabrica se trasladan desde la cancha de Nitrato en donde se abastecen de los agentes de voladura.



Figura 30: Silo de emulsión matriz, Minera Yanacocha

Así mismo el traslado de los accesorios de voladura se realiza mediante una camioneta equipada según los protocolos en el que no deben interactuar, en este caso los boosters y los cables detonadores.

3.10.2.2.3. Acceso y demarcación del área de voladura

Principalmente esta área se encuentra a cargo del supervisor de Perforación, por lo tanto, antes de ingresar se solicita el permiso respectivo, luego procedemos a demarcar con conos y letreros de acuerdo a las normas específicas vigentes en minera Yanacocha, principalmente para limitar el movimiento indiscriminado de personas y equipos ajenos a las actividades propias de la operación de carga.

3.10.2.2.4. Revisión del área de voladura

Es la revisión de todos los taladros a cargar, con el fin de determinar las condiciones para ser cargados, verificando los que están cortos, parcialmente obstruidos, con agua, en peligro de taparse, etc. Deberán quedar perfectamente identificados mediante un rotulado que se presenta al costado de cada taladro.

Cada vez que se encuentre un taladro tapado, se debe intentar destaparlo, de no ser posible, si tiene menos de 5 metros no debe primarse, en caso de aparecer un taladro sobreperforado fuera del diseño, debe ser tapado con el mismo detrito.

Luego procedemos a distribuir los accesorios de voladura en cada taladro, boosters y los cables detonadores, para luego realizar el primado de éstos.



Figura 31: ID de taladro, y distribución de accesorios de voladura

3.10.2.2.5. Primado o cebado

Consiste en insertar el iniciador o Booster juntamente con los cables de choque, al cebar el taladro, debe ser desplazado hasta su posición correcta, la distancia desde el piso del taladro hacia el Booster es de aproximadamente un metro de altura para que tenga interacción directa con la mezcla explosiva, y ya que en caso de derrames de detritus, antes del carguío del explosivo el iniciador no deba ser tapado por este. Al cebo de los taladros que contienen agua, se debe amarrar una roca (a una distancia del iniciador que dependerá de la ubicación de éste en el taladro) lo suficientemente pesada como para evitar que sea arrastrado hacia la superficie del explosivo bombeable, por efectos de la alta densidad de este último.



Figura 32: Primado de taladros

3.10.2.2.6. Carguío de Mezcla explosiva

El carguío de la mezcla explosiva se realiza mediante los camiones fábrica, en donde se prepara la mezcla según el requerimiento del diseño de dicho taladro. Para el servicio integral de Voladura en Minera Yanacocha, se contó con equipos que cumplen con las necesidades de los proyectos en mina, al brindarles camiones fábricas que tengan la capacidad de aumentar la productividad de sus procesos.

Los camiones fábrica que se emplean tienen la tecnología de programación capaz de obtener la mezcla explosiva deseada, las mezclas explosivas empleadas en el proyecto son las siguientes:

CAMIONES FÁBRICA		
CÓDIGO	CAMIÓN	CAPACIDADES
		t
PEQ 06	MILODÓN	30
PEQ 08	CUADRA	20



Figura 33: Camiones fábrica utilizados. (Enaex, 2018)



Figura 34: Camión fábrica (Milodón), cargando con Anfo Pesado al taladro.



Figura 35: Camión fábrica (Cuadra), cargando con Anfo Pesado al taladro.

3.10.2.2.7. Verificación de densidades de las mezclas explosivas

Para medir las densidades de los Anfos Pesados, se tiene que realizar las mezclas de acuerdo a los porcentajes por cada tipo de explosivo, para posteriormente extraer una muestra y poder comprobar que la densidad del explosivo empleado es semejante a la que se indica en teoría.

Para realizar este procedimiento se toma diferentes muestras en el transcurso del carguío de los taladros 4 o 5 muestras y se promedian los resultados.

En el siguiente ejemplo se mide las densidades de las mezclas explosivas de Anfo pesado 55 y 73.



Figura 36: Toma y pesado de muestra de la mezcla explosiva para verificar su densidad

Tabla 29: Verificación de la densidad del HA 55

HA55				
MUESTRAS	PESO (gr)	PESO VASO (gr)	VOLUMEN VASO (cc)	DENSIDAD (gr/cc)
1	1885	630	1000	1.26
2	1875	630	1000	1.25
3	1870	630	1000	1.24
4	1877	630	1000	1.25
				1.25

Tabla 30: Verificación de la densidad del HA 73

HA73				
MUESTRAS	PESO (gr)	PESO VASO (gr)	VOLUMEN VASO (cc)	DENSIDAD (gr/cc)
1	1966	630	1000	1.34
2	1934	630	1000	1.30
3	1930	630	1000	1.30
4	1938	630	1000	1.31
				1.31

Se puede observar que la densidad de estas mezclas explosivas está dentro del rango de las densidades teóricas, esto nos sirve para poder estar seguros que los resultados de la voladura serán los adecuados y prevenir los humos naranjas los cuales se generan por un mal balance de oxígeno en la mezcla explosiva utilizada.

3.10.2.2.8. Tapado de taladros

Para el taco de cada taladro se utilizaba el mismo detritus generado por la perforación, utilizando minicargadores, este procedimiento se realiza con el cuidado necesario de no cortar los cordones detonantes.

En la siguiente imagen se muestra los minicargadores ingresando a la malla de perforación a proceder con el tapado de taladros, los cuales ya han sido cargados, los ayudantes sostienen los cordones de choque, para asegurarse que no sean dañados en el proceso de tapado y no se sumerjan en el taladro.

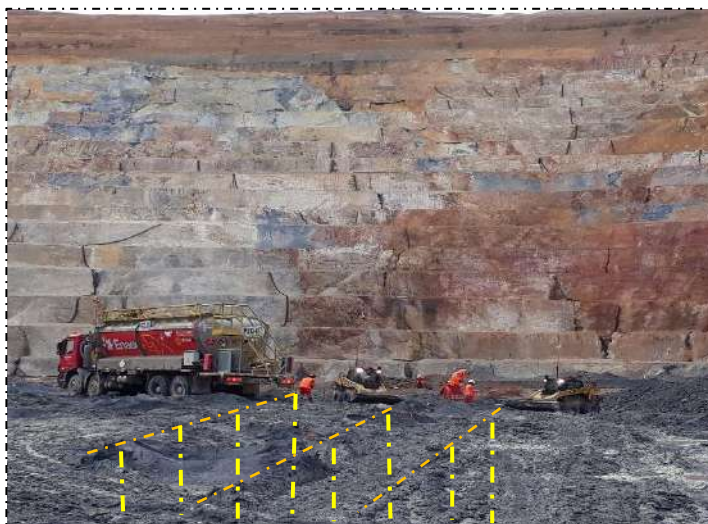


Figura 37: Tapado de taladros, mediante minicargadores.

3.10.2.2.9. Programación y secuenciación de disparos

El diseño de programación y la secuenciación de disparo se convierte en una fase muy importante ya que es un complemento al buen funcionamiento de los factores anteriormente estudiados (diseño de carga, malla, etc.), para una buena voladura, ya que la optimización del resultado es el objetivo. La secuencia de iniciación de la voladura influye fuertemente en la orientación del movimiento, y la selección de retardos influye en el grado de ese mismo. Es muy factible programar la iniciación de una voladura de tajo abierto de tal forma que se consigue distintas formas de pila a raíz de un solo evento, volar mineral con estéril puede realizarse con razonable facilidad que permite la separación eficiente de éstos.

El control de la dirección del desplazamiento de la pila volada puede ser fundamental para garantizar que la extracción del mineral en su totalidad en vez de perder una fracción importante por el borde del banco.

Las unidades de programación, nos permiten programar los retardos y la secuencia en que nuestros taladros iniciarán su detonación, luego, el Blas Driver es el equipo que se sitúa aproximadamente a unos 100 metros de la malla de perforación que recoge el cordón detonante, éste emite una señal por medio de una antena, esta señal es recepcionada mediante el Daveytronic Remote Blaster, situado en el lugar donde se procederá a iniciar la voladura.

En la siguiente imagen se puede mostrar los implementos del sistema de programación de una voladura, los cuales son los siguientes:



Figura 38: Sistema de programación de voladuras (DaveyTronic, 2021)

3.10.2.2.10. Disparo

El proceso de disparo requiere cumplir con varios estándares de seguridad, después de haber programado cada retardo según el diseño secuenciación y también de haber instalado el repetidor aproximadamente a unos 100 metros de la malla de perforación, con la finalidad de darnos un alcance necesario hacia el lugar de donde se procederá a disparar, informamos a supervisión que se iniciara con la evacuación del área a disparar, nos ubicamos a una distancia prudente, y teniendo la autorización de supervisión se realiza el conteo regresivo desde 10 hasta 0, se graba la voladura para luego analizar el fly rock y los humos generados.

Las distancias de seguridad para evacuación son las siguientes:

- Radio de 200 metros, para palas y perforadoras.
- Radio de 300 metros, para retroexcavadoras, tractores de ruedas y orugas, cargadores frontales.
- Radio de 500 metros, para personal.

3.10.2.2.11. Medición de vibraciones

Los sensores más comunmente utilizados para detectar y medir vibraciones son geófonos (midiendo velocidad de la partícula).

Se realizaron los monitoreos de vibraciones en las voladuras durante las pruebas de ENAEX, en los 03 tajos: Quecher Main, Yanacocha y Tapado Oeste. Se coordinaron los puntos de

monitoreo con el área de P y V de Minera Yanacocha. Todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro del campo lejano. Para una evaluación del potencial de daños generados por vibraciones. Se utilizan normas internacionales que relacionan características de estructuras, el tipo de suelo de cimentación, con los niveles de vibración (VPP, frecuencias, etc). Para nuestros datos utilizaremos la DIN 4150 – 3 (norma alemana, que tienen que ver los efectos en estructuras), la norma utilizada en Minera Yanacocha.

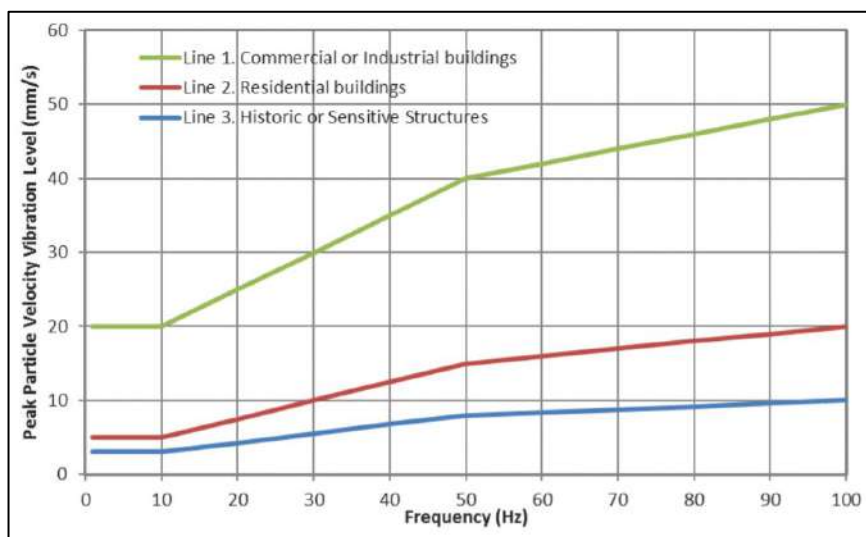


Figura 39: Vibración límite, Norma alemana DIN 4150-3. (Bonisch, 2018)

3.10.2.2.12. Medición de la Fragmentación

Medir la fragmentación de la roca tiene como finalidad verificar la calidad de la voladura, en otras palabras, si los resultados obtenidos cumplen con el tamaño máximo permitido y así los procesos que se realizan posteriormente puedan funcionar de una manera más eficiente, en el caso que esto no suceda, tomar las medidas correctivas ya sea en el diseño de perforación, diseño de carga o en la implementación de estos.

El método de medición utilizado en el proyecto de Minera Yanacocha, es el fotográfico, el cual se destaca por que el tiempo empleado en la adquisición y análisis de sus imágenes es significativamente menor en comparación a métodos físicos como el uso de harneros, además el costo asociado es relativamente bajo.

El procesamiento digital de imágenes es uno de los métodos más utilizados debido a su rapidez y bajo costo. Este método consiste en fotografiar distintos sectores de la pila para posteriormente procesar las imágenes con un software especializado.

Se utiliza un objeto escalador, en este caso unas esferas, con una dimensión conocida (10 pulg de diámetro). Se debe tomar una cantidad de fotografías tal que asegure una buena representatividad de la fragmentación en la pila, (DB GTS software utilizado) recomienda tomar al menos de 30 a 40 fotografías por voladura.

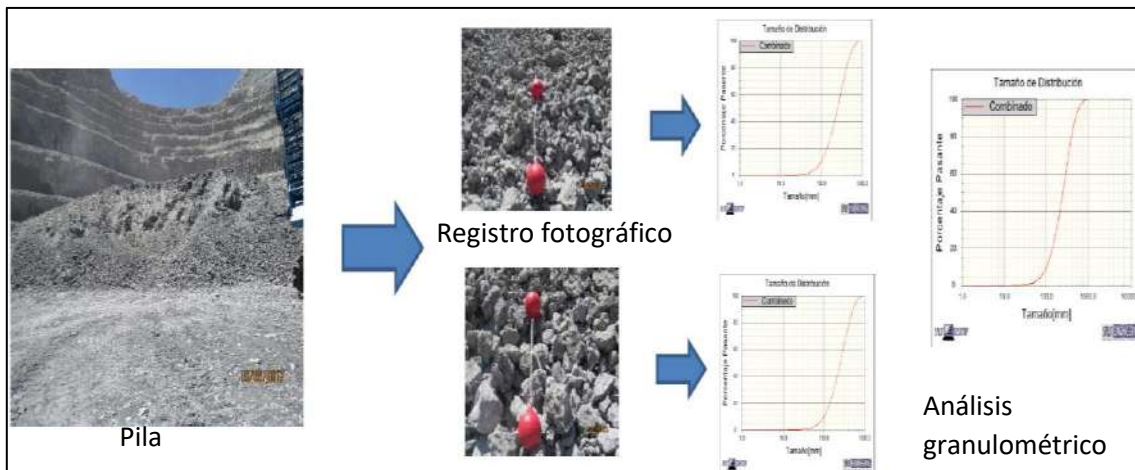


Figura 40: Secuencia de medición de fragmentación. (DaveyBickford, 2017)



Figura 41: Sistema de medición de fragmentación. (DaveyBickford, 2017)

3.10.2.3. Carguío y Acarreo

El carguío de material volado se realiza mediante, la pala Hitachi quien tarda en cargar su cuchara en un promedio de 10 a 12 segundos y demora en cargar al camión de 250 Tn en un promedio de tiempo de 3 a 4 minutos lo que permite tener un procedimiento exacto en lo que concierne a carguío, también se está utilizando el cargador frontal Cat 994f, de una capacidad de su pala frontal de 19 ton. El acarreo se realiza mediante camiones gigantes como los CAT 793C y 793D de 250 Tn de capacidad.



Figura 42: Pala cargando material a un camión gigante



Figura 43: Cargador frontal cargando material a un camión gigante

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resumen de voladuras

4.1.1. Tajo Quecher Main

Para el desarrollo de las voladuras en el tajo Quecher Main, se han utilizado un total de 209.01 t de explosivos, de HA28/HA37, se han removido 858,176.92 t de material, obteniendo un factor de potencia promedio, F.P (kg/t) = 0.24 kg/t.

Tabla 30: Promedio de factor de potencia en tajo Quecher Main

TAJO QUECHER MAIN			
MES	Tonelaje roto (t)	Explosivo consumido (Kg)	Factor de Potencia (Kg/t)
ABRIL	313,404.90	73,483.0	0.23
MAYO	544,772.02	135,531.0	0.25
	858,176.92	209,014.00	0.24

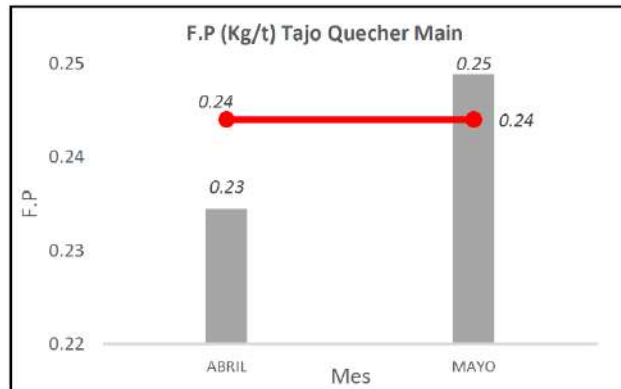


Figura 44: Gráfico de factor de potencia en el tajo Quecher Main

Tabla 31: Explosivo utilizado en tajo Quecher Main

TAJO QUECHER MAIN				
MES	Explosivo consumido (Kg)	Emulsión (Kg)	Nitrato (Kg)	Diésel (Kg)
ABRIL	73,483.0	21,856.8	48,528.6	3,097.6
MAYO	135,531.0	42,859.3	87,111.4	5,560.3
	209,014.00	64,716.10	135,640.03	8,657.87

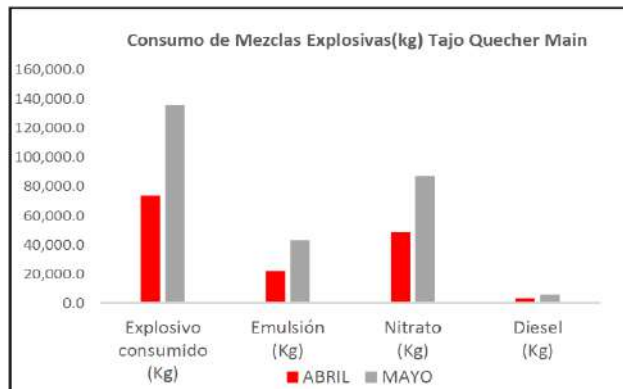


Figura 45: Gráfico de consumo de explosivo en el tajo Quecher Main

Durante el mes de abril y mayo, se realizaron 06 voladuras en tajo Quecher Main, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 32: Resumen de voladuras en el tajo Qucher Main







Nro V.	PROYECTO	FECHA	UBICACIÓN	TAJO	TIPO DE TALADRO	DISEÑO MALLA							FACTORES		
						Diametro (in)	Burden(m)	Espaciamiento(m)	Vol. Roto (m3)	Densid. roca (gr/cc)	Ton Roto (t)	T. Explosivo (kg)	F. CARGA (Kg/m3)	F. POTENCIA (kg/Tn)	F. ENERGÍA (MJ/Tn)
1	QM_4040_057	12/04/2018	YANACOCHA	QM	Producción	10 5/8	7.5	8.5	39,525.00	2.30	90,907.50	22,400.00	0.57	0.25	0.848
2	QM_4070_209	18/04/2018	YANACOCHA	QM	Producción	10 5/8	7.5	8.5	25,500.00	2.17	55,335.00	12,381.00	0.49	0.22	0.773
4	QM_4100_001	24/04/2018	YANACOCHA	QM	Producción	10 5/8	8.0	9.0	78,480.00	2.13	167,162.40	38,702.00	0.49	0.23	0.796
6	QM_4100_4_5_6	1/05/2018	YANACOCHA	QM	Produccion	10 5/8	8.0	9.0	41,423.00	1.85	76,632.55	22,756.00	0.55	0.30	0.98
	QM_4100_4_5_6	1/05/2018	YANACOCHA	QM	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
	QM_4100_4_5_6	1/05/2018	YANACOCHA	QM	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5							
	QM_4100	1/05/2018	YANACOCHA	QM	secundario	10 5/8	8.0	9.0							
7	QM_4100_1_2_4	3/05/2018	YANACOCHA	QM	Procedimiento Ady	10 5/8	8.0	9.0	147,919.00	2.13	315,067.47	77,060.00	0.52	0.24	0.84
	QM_4100_1_2_4	3/05/2018	YANACOCHA	QM	Procedimiento Prod	10 5/8	8.0	9.0							
	QM_4100_1_2_4	3/05/2018	YANACOCHA	QM	Producción	10 5/8	8.0	9.0							
	QM_4100_1_2_4	3/05/2018	YANACOCHA	QM	secundario	9 7/8	5.0	5.0							
10	QM_4110_108	15/05/2018	YANACOCHA	QM	Producción	10 5/8	8.0	9.0	77,701.52	1.97	153,072.00	35,715.00	0.46	0.23	0.81
									410,548.52		858,176.92	209,014.00	0.51	0.24	0.84

4.1.2. Tajo Tapado Oeste – La Quinua

Durante el mes de abril, mayo y junio, se realizaron 11 voladuras en tajo Tapado Oeste, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 33: Resumen de voladuras en el tajo Tapado Oeste

Nro V.	PROYECTO	FECHA	UBICACIÓN	TAJO	TIPO DE TALADRO	DISEÑO MALLA			   				FACTORES		
						Diametro (in)	Burden(m)	Espaciamiento(m)	Vol. Roto (m3)	Densid. roca (gr/cc)	Ton Roto (t)	T. Explosivo (kg)	F. CARGA (Kg/m3)	F. POTENCIA (kg/t)	F. ENERGÍA (MJ/t)
3	TO_3312_16	19/04/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	80,353.80	2.26	181,599.59	49,163.00	0.61	0.27	0.80
	TO_3312_16	19/04/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento ADY	9 7/8	3.5	5.0							
	TO_3312_16	19/04/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	9 7/8	5.2	6.5							
5	TO_3312_16	26/04/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	54,315.00	2.26	122,751.90	35,863.00	0.66	0.29	0.91
8	TO_3300_22_635	9/05/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	91,689.73	2.22	203,551.20	58,170.00	0.63	0.29	0.86
11	TO_3288_637_638	16/05/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	37,263.60	2.10	78,253.56	18,720.00	0.50	0.24	0.76
	TO_3288_637_638	16/05/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5							
	TO_3288_637_638	16/05/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
16	TO_3288_641_642	30/05/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	32,895.00	2.10	69,079.50	17,011.00	0.52	0.25	0.82
19	TO_3288_645_648	5/06/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.0	8.0	55,287.62	2.10	116,104.00	31,019.00	0.56	0.27	0.85
	TO_3288_645_648	5/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5							
	TO_3288_645_648	5/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
20	TO_3300_020	6/06/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	48,202.79	2.26	108,938.30	27,562.00	0.57	0.25	0.80
	TO_3300_020	6/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5							
	TO_3300_020	6/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
21	TO_3288_010	8/06/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5	33,660.00	2.10	70,686.00	19,772.00	0.59	0.28	0.89
22	TO_3288_645_647_648	12/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5	44,662.81	2.10	93,791.90	25,299.00	0.57	0.27	0.86
	TO_3288_645_647_648	12/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
	TO_3288_645_647_648	12/06/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.0	8.0							
23	TO_3300_022	13/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5	49,750.80	2.26	112,436.80	29,354.00	0.59	0.26	0.77
	TO_3300_022	13/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
	TO_3300_022	13/06/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	7.5	8.5							
24	TO_3276_640_641	14/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Prod	10 5/8	5.2	6.5	35,718.00	2.10	75,007.80	27,697.99	0.78	0.37	1.27
	TO_3276_640_641	14/06/2018	YANACOCHA	TO	Procedimiento Ady	10 5/8	3.5	5.0							
	TO_3276_640_641	14/06/2018	YANACOCHA	TO	Producción	10 5/8	8.0	9.0							
	TO_3276_640_641	14/06/2018	YANACOCHA	TO	Rampa	10 5/8	4.5	5.5							
									563,799.14		1,232,200.55	339,630.99	0.59	0.27	0.83

Para el desarrollo de las voladuras en el tajo Tapado Oeste, se han utilizado un total de 339,630.99 t de explosivos, de HA46 / HA55 y HA73, se han removido 1'232,200.55 t de material, obteniendo un factor de potencia promedio, F.P (kg/t) = 0.27 kg/t.

Tabla 34: Promedio de factor de potencia en el tajo Tapado Oeste

TAJO TAPADO OESTE			
MES	Tonelaje roto (t)	Explosivo consumido (Kg)	Factor de Potencia (Kg/t)
ABRIL	304,351.49	85,026.00	0.28
MAYO	350,884.26	93,901.00	0.27
JUNIO	576,964.80	160,703.99	0.26
	1,232,200.55	339,630.99	0.27

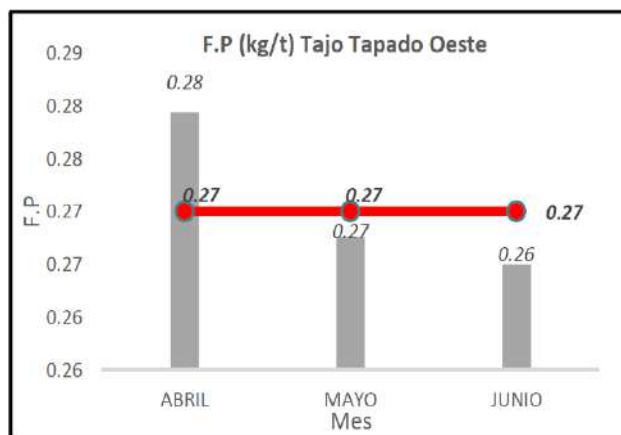


Figura 46: Gráfico de factor de potencia en el tajo tapado oeste

Tabla 35: Explosivo utilizado en el tajo Tapado Oeste

TAJO TAPADO OESTE				
MES	Explosivo consumido (Kg)	Emulsión (Kg)	Nitrato (kg)	Diésel (Kg)
ABRIL	85,026	54,003.4	29,161.2	1,861.4
MAYO	93,901	53,586.7	37,898.0	2,431.3
JUNIO	160,704	81,663.4	74,298.2	4,742.4
	339,630.99	189,253.50	141,357.42	9,035.07

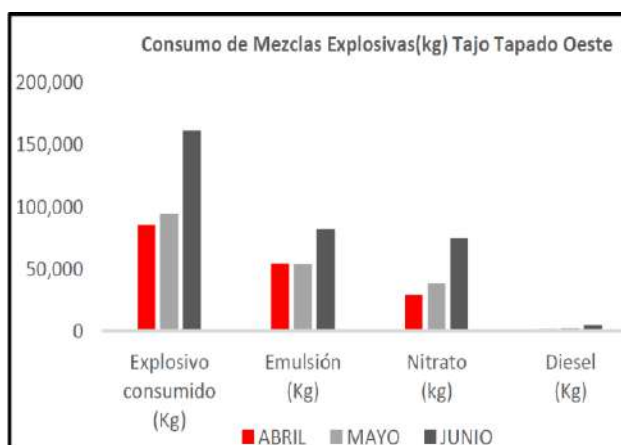



Figura 47: Gráfico de consumo de explosivos en el tajo tapado oeste

4.1.3. Tajo Yanacocha

Durante el mes de abril, mayo y junio, se realizaron 07 voladuras en tajo Yanacocha, las cuales se detallan a continuación:

Tabla 36: Resumen de voladuras en tajo Tapado Yanacocha



Nro V.	PROYECTO	FECHA	UBICACIÓN	TAJO	TIPO DE TALADRO	DISEÑO MALLA			FACTORES						
						Diametro (in)	Burden(m)	Espaciamiento(m)	Vol. Roto (m3)	Densid. roca (gr/cc)	Ton Roto (t)	T. Explosivo (kg)	F. CARGA (Kg/m3)	F. POTENCIA (Kg/t)	F. ENERGÍA (Mj/t)
9	YA_3822_289	10/05/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	29,680.00	2.45	72,716.00	17,496.00	0.59	0.24	0.77
12	YA_3832_332	22/05/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	39,131.00	2.45	95,870.95	25,176.00	0.64	0.26	0.87
	YA_3832_332	22/05/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Prod	9 7/8	5.2	6.5							
	YA_3832_332	22/05/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Ady	9 7/8	3.5	5.0							
13	YA_3832_332	24/05/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	26,642.00	2.45	65,272.90	18,193.00	0.68	0.28	0.89
	YA_3832_332	24/05/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Prod	9 7/8	5.2	6.5							
	YA_3832_332	24/05/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Ady	9 7/8	3.5	5.0							
14	YA_3842_300_301	29/05/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	7,323.00	2.45	17,941.35	4,008.00	0.55	0.22	0.71
	YA_3842_300_301	29/05/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Prod	9 7/8	5.2	6.5							
	YA_3842_300_301	29/05/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Ady	9 7/8	3.5	5.0							
15	YA_3852_239_241	29/05/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	11,680.00	2.45	28,616.00	7,653.00	0.66	0.27	0.85
17	YA_3832_339_340	4/06/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	10,412.00	2.45	25,509.40	6,970.00	0.67	0.27	0.87
	YA_3832_339_340	4/06/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Prod	9 7/8	4.5	6.5							
	YA_3832_339_340	4/06/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Ady	9 7/8	3.3	4.8							
18	YA_3842_302_303	4/06/2018	YANACOCHA	YA	Producción	9 7/8	7.0	8.0	28,554.90	2.45	69,959.50	17,601.00	0.62	0.25	0.80
	YA_3842_302_303	4/06/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Prod	9 7/8	4.5	6.5							
	YA_3842_302_303	4/06/2018	YANACOCHA	YA	Procedimiento Ady	9 7/8	3.3	4.8							
									153,422.90		375,886.10	97,097.00	0.63	0.26	0.82

Para el desarrollo de las voladuras en el tajo Yanacocha, se han utilizado un total de 97,097.0 t de explosivos, de HA46 / HA55, se han removido 375,886.10 t de material, obteniendo un factor de potencia promedio, F.P (kg/t) = 0.26 kg/t.

Tabla 37: Factor de carga en el tajo Yanacocha

TAJO YANACOCHA			
MES	Tonelaje roto (t)	Explosivo consumido (Kg)	Factor de Potencia (Kg/t)
MAYO	280,417.20	72,526.0	0.259
JUNIO	95,468.90	24,571.0	0.257
	375,886.10	97,097.00	0.258

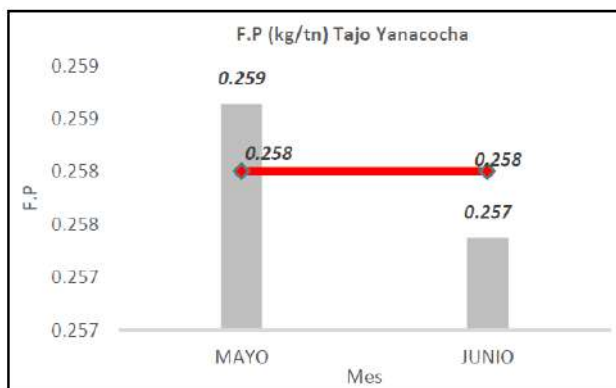


Figura 48: Gráfico de factor de carga en el tajo Yanacocha.

Tabla 38: Consumo de explosivos en el tajo Yanacocha

TAJO YANACOCHA				
MES	Explosivo consumido (Kg)	Emulsión (Kg)	Nitrato (Kg)	Diésel (Kg)
MAYO	72,526.0	33,745.4	36,453.8	2,326.8
JUNIO	24,571.0	12,285.5	11,548.4	737.1
	97,097.00	46,030.90	48,002.13	3,063.97

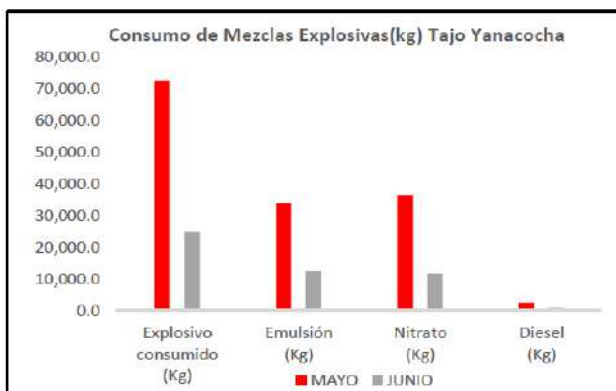


Figura 49: Gráfico de consumo de explosivos en el tajo Yanacocha

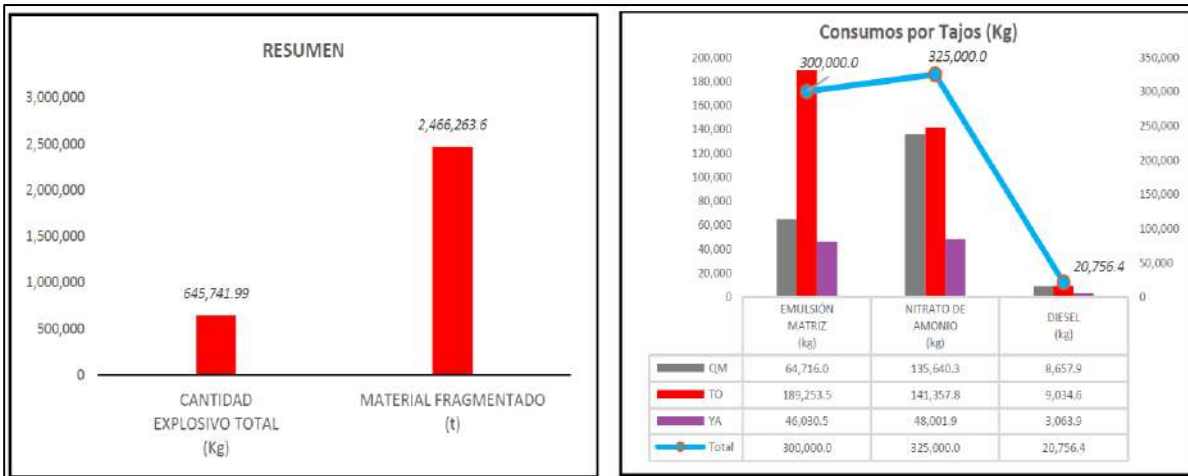


Figura 50: Resumen de consumo de explosivos por tajos

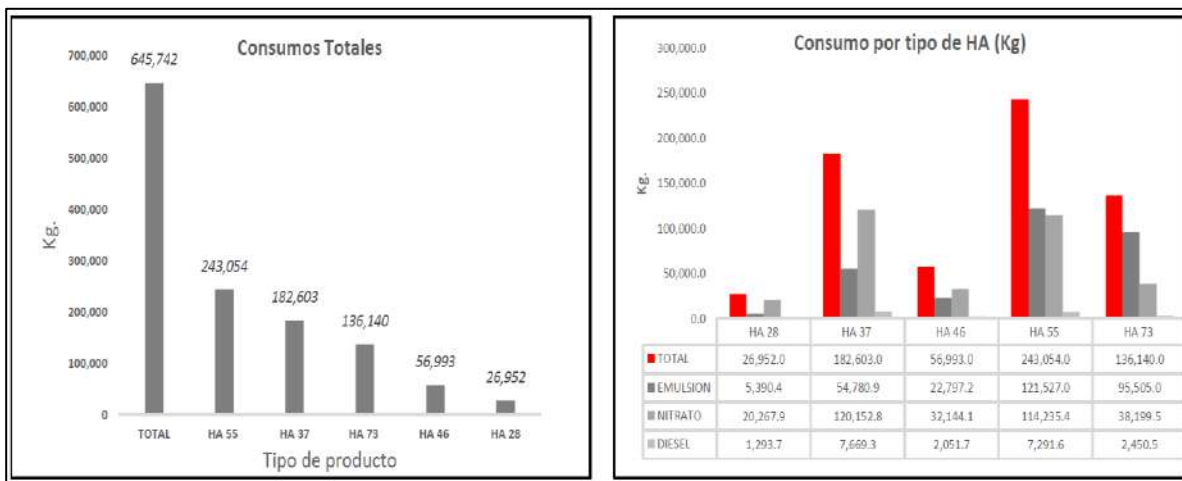


Figura 51: Consumo de explosivos por tipo de HA

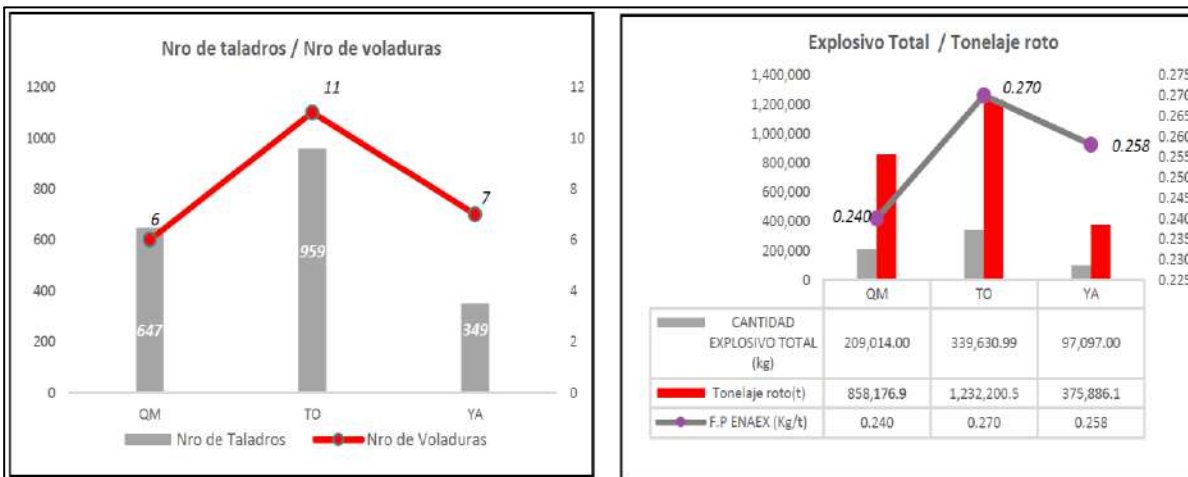


Figura 52: Consumo de explosivo total vs tonelaje roto

4.2. Kpis del proceso de prueba

4.2.1. Medición de Velocidad de Detonación (Vod)

Las mediciones se realizan con el objetivo de evaluar la performance de la mezcla explosiva que actualmente se está utilizando en Minera Yanacocha.

A continuación, un resumen de las mediciones realizadas a las mezclas explosivas utilizadas, en donde se puede observar que estas cifras están dentro del rango teórico de Vod, lo cual nos indica que los agentes que componen estas mezclas han sido calibrados adecuadamente para así generar buenos resultados.

Tabla 39: Vod de mezclas explosivas utilizadas

TIPO DE MEZCLA	VOD (m/s)	Rangos de medición
HA28	4429.0	4200-4600
HA37	4831.0	4600-5000
HA46	5279.0	4800-5300
HA55	5302.0	5100-5500
HA73	5062.0	4400-5100

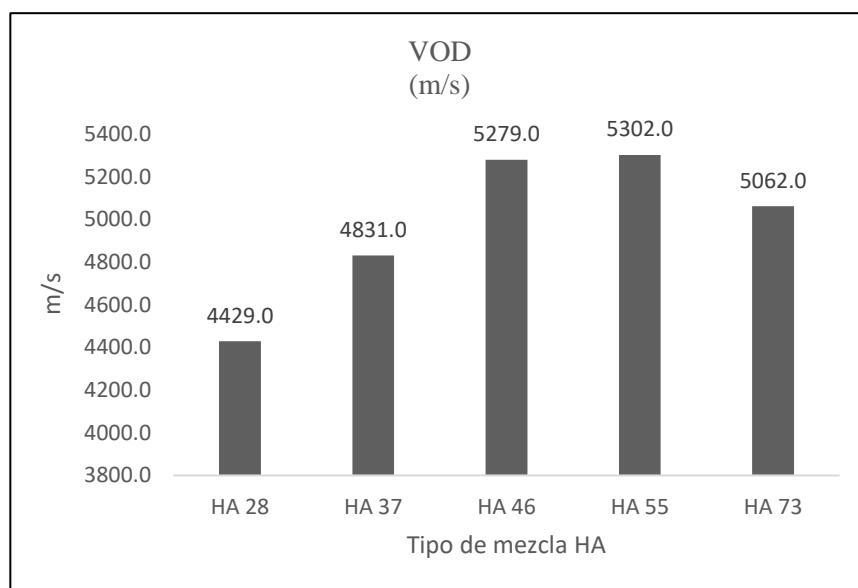


Figura 53: Vod de mezclas explosivas utilizadas.

4.2.2. Nivel de Humos Naranjas

Al tener un balance de oxígeno adecuado, en la composición de una mezcla explosiva se obtiene resultados favorables en todas las voladuras realizadas en el periodo de pruebas. El análisis de humos naranjas se dio a través de videos y fotografías, evidenciándose que no se emitieron este tipo de humos en las voladuras realizadas en las pruebas.



Figura 54: Proceso de análisis sobre la emisión de humos naranjas.

A continuación, se muestra una gráfica de humos naranjas post-voladura, en total 24 voladuras, con diferentes números de taladros cada una, de los cuales el nivel de gases nitrosos / humos naranjas, el promedio es CERO, por lo tanto, se cumplió el objetivo corporativo que es Zero Harm, con respecto a los incidentes de medio ambiente.



Figura 55: Resultado de emisión de humos naranjas en voladuras.

4.2.3. Análisis de Fragmentación

Para realizar el análisis de fragmentación del material volado se estudiaron 41 imágenes, de las voladuras realizadas en el periodo de pruebas para así poder obtener el P80.



Figura 56: Fotografías de la fragmentación después de la voladura.

También se ejecutó una comparación con promedios de los datos históricos obtenidos por Minera Yanacocha.

Fragmentación Minera Yanacocha	P80 - in	Mineral de alta ley 4'' Mineral de baja ley 5'' Desmorte 6'' a 8''
-----------------------------------	----------	--------------------------------------------------------------------------

Figura 57: Datos históricos de fragmentación en Minera Yanacocha.

En el proyecto, el material analizado fue desmorte y mineral para Gold Mill, teniendo los siguientes resultados:

- Mineral de alta ley: $3.74 / 2.48 < 4''$
- Desmorte: $4.14 / 3.8 / 4.46 < 6''$

Por lo tanto, se cumple adecuadamente con el target definido por Minera Yanacocha.

Tabla 40: Analisis de fragmentación en diferentes frentes de minado

 MINERA YANACOCHA - ANALISIS DE FRAGMENTACION												
FECHA DE ANALISIS	DATOS DE DE PROYECTO									ANALISIS Y FRAGMENTACION		
	PALA	TIPO MATERIAL	TAJO	NIVEL	Poligono	ALTERACION	MALLA	EXPLOSIVO	FACTOR CARGA (KG/TM)	N° Fotos Analizadas	Target (in)	P80 (in)
9/05/2018	5	OGW	TO	3288	C352	Propilítica	7.5 X 8.5	HA73	0.27	7	6	4.01
10/05/2018	5	OGW	TO	3288	C352	Propilítica	7.5 X 8.5	HA73	0.27	6	6	4.27
6/06/2018	5	AGWa	TO	3300	C384	Propilítica	7.5 X 8.5	HA73	0.26	5	6	2.86
7/06/2018	5	AGWa	TO	3300	C385	Propilítica	7.5 X 8.5	HA55	0.26	5	6	4.90
9/06/2018	5	OHMa	TO	3288	C306	Silice Masiva	7.5 X 8.5	HA55	0.26	5	4	3.74
10/06/2018	5	OHMa	TO	3289	C307	Silice Masiva	7.5 X 8.5	HA55	0.26	4	4	2.48
18/06/2018	5	AGWa	TO	3300	C387	Silice Masiva	7.5 X 8.5	HA73	0.26	5	6	4.36
19/06/2018	5	AGWa	TO	3300	C387	Silice Masiva	7.5 X 8.5	HA73	0.26	4	6	4.56

4.2.4. Análisis de Vibraciones

Se realizaron los monitoreos de vibraciones en las voladuras durante las pruebas de ENAEX, en los 03 tajos: Quecher Main, Yanacocha y Tapado Oeste. Se coordinaron los puntos de monitoreo con el área de P y V de Minera Yanacocha. Todos los puntos de monitoreo se encuentran dentro del campo lejano, Los resultados de estas mediciones se muestran a continuación:

Tabla 41: Cuadro de análisis de vibraciones de las voladuras

#	FECHA	TAJO	TIPO DE MEZCLA	Punto de Monitoreo	Vibración (mm/s)			Frecuencia (Hz)			VPP PREDOMINANTE (mm/s)	FRCUENCIA PREDOMINANTE (HZ)	VPS (mm/s)	Distancia (m)
					Trans	Vert	Long	Trans	Vert	Long				
1	12/04/2018	QM	HA37	Mirador QM	5.19	5.69	8.28	5.90	6.10	5.70	8.28	5.70	8.73	734.00
2	18/04/2018	QM	HA28 / HA73	Mirador QM	4.13	3.45	5.16	2.60	6.60	2.50	5.16	2.50	5.25	758.50
3	19/04/2018	TO	HA73	Mirador TO	2.63	1.83	3.25	6.20	7.10	8.40	3.25	8.40	3.40	858.20
4	24/04/2018	QM	HA37	Mirador QM	8.79	8.02	7.73	5.80	5.00	3.40	8.79	5.80	11.01	226.20
5	26/04/2018	TO	HA55 / HA73	Mirador TO	2.64	1.35	3.01	5.90	13.30	5.90	3.01	5.90	3.55	875.48
6	1/05/2018	QM	HA46	Pto Geotécnia	4.95	4.30	5.23	5.40	6.20	2.90	5.23	2.90	6.25	427.70
11	16/05/2018	TO	HA55	Poza Chino	2.55	2.00	2.09	4.90	7.90	5.60	2.55	4.90	3.01	731.70
12	22/05/2018	YA	HA46	Falla Paola	3.00	2.86	3.74	3.20	13.00	8.20	3.74	8.20	4.23	856.40
13	24/05/2018	YA	HA55	Falla Paola	1.66	1.79	3.24	12.80	17.70	9.80	3.24	9.80	3.37	843.20
14	29/05/2018	YA	HA55	Falla Paola	10.32	15.68	18.65	9.70	12.20	11.80	18.65	11.80	20.12	325.00
16	30/05/2018	TO	HA28/HA55	Mirador Grabas	1.94	1.57	1.90	3.20	6.40	3.20	1.94	3.20	2.06	1042.60
17	4/06/2018	YA	HA55	Falla Paola	4.09	3.15	4.13	13.50	8.10	8.60	4.13	8.60	5.57	586.20
19	5/06/2018	TO	HA55	Mirador Cajon	1.02	0.96	1.09	5.20	4.60	4.30	1.09	4.30	1.42	904.93
20	6/06/2018	TO	HA55 / HA73	Mirador Cajon	1.38	1.48	2.00	8.70	8.30	5.60	2.00	5.60	2.09	774.50
22	12/06/2018	TO	HA55	Mirador Cajon	0.98	0.65	0.95	4.80	6.40	6.00	0.98	4.80	1.26	1007.11
23	13/06/2018	TO	HA73	Mirador Cajon	3.32	1.77	3.35	6.60	9.90	3.60	3.35	3.60	4.26	698.26

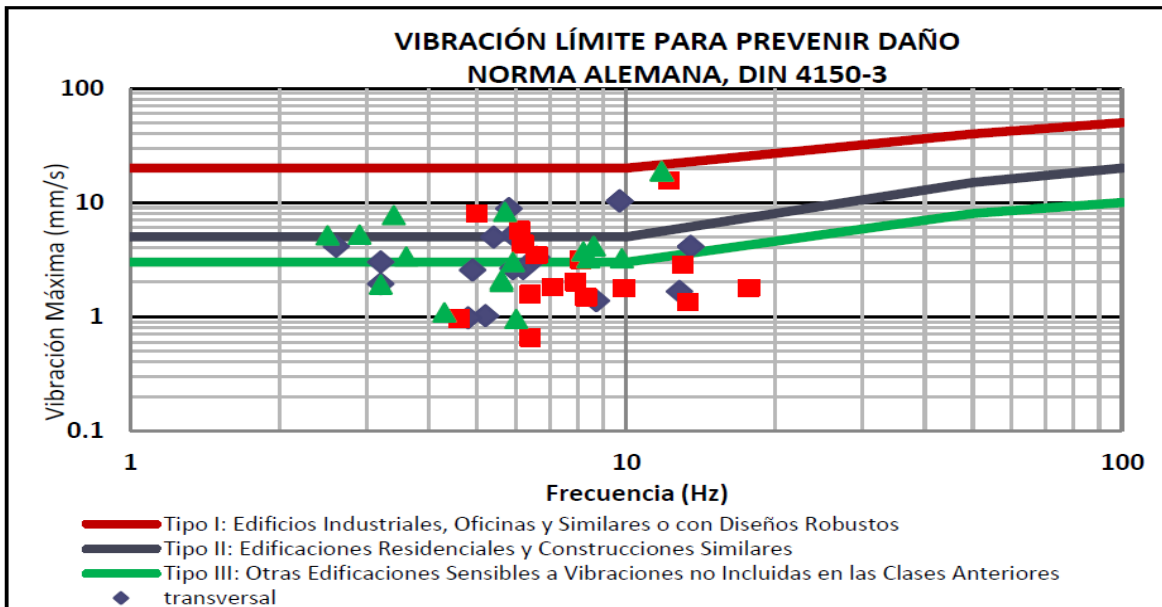


Figura 58: Análisis de vibraciones según norma alemana DIN 4150-3.

Adicionalmente a la norma DIN 4150-3, con el objetivo de diferenciar los efectos que pueden producir las vibraciones y sus valores aceptables, existen criterios de percepción de vibraciones en personas, es parte de los criterios psicológicos, en la siguiente gráfica de acuerdo al criterio de Steffens, todas las voladuras de realizadas en la investigación, se encuentran bajo el umbral de fácilmente perceptible, y varias de ellas bajo el umbral de apenas perceptible (comienza a percibirse).

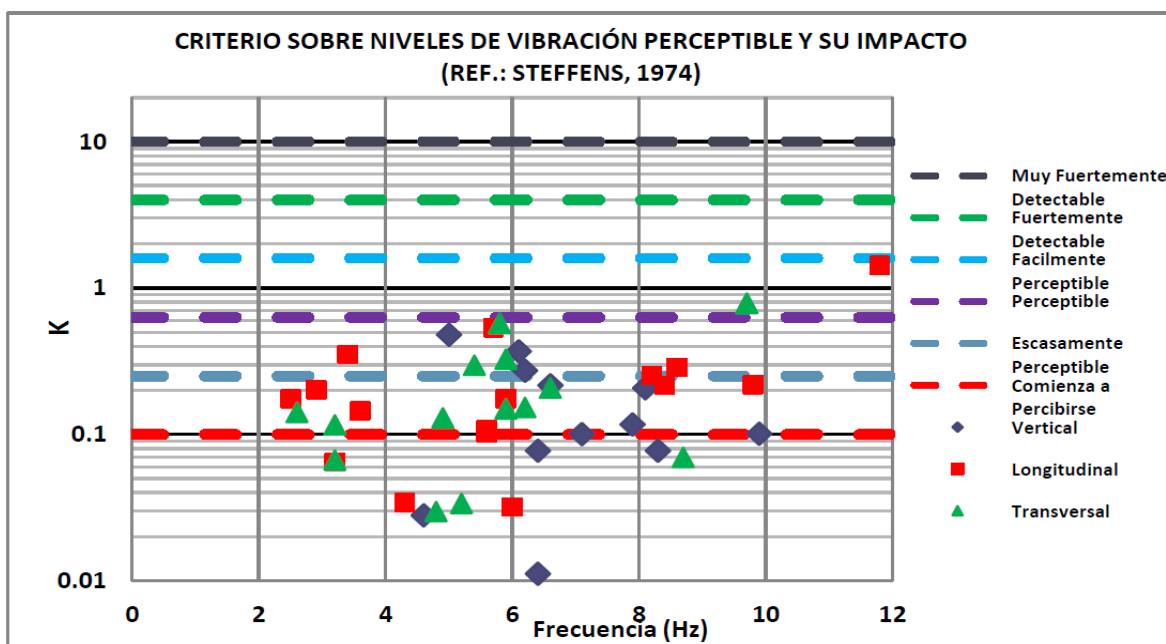


Figura 59: Criterio de niveles de vibración perceptible y su impacto, según Steffens - 1974.

Goldman, publicó un trabajo en el que presentan gráficos en función de la frecuencia e intensidad de la vibración y se establecen distintos niveles de percepción. Según este criterio de la respuesta humana a la percepción, todos los registros se encuentran en el rango de sólo perceptible y 03 puntos que generan molestias. Esos 03 puntos (indicados en el círculo rojo del gráfico, son de la voladura del día 29-05-18), los datos del proyecto son los siguientes:

- Proyecto Ya_3852_239_241.
- Se tuvieron 21 taladros de producción y se cargaron los taladros con HA55 (330Kg).
- El punto se monitoreo fue en la Falla Paola a 325 m.

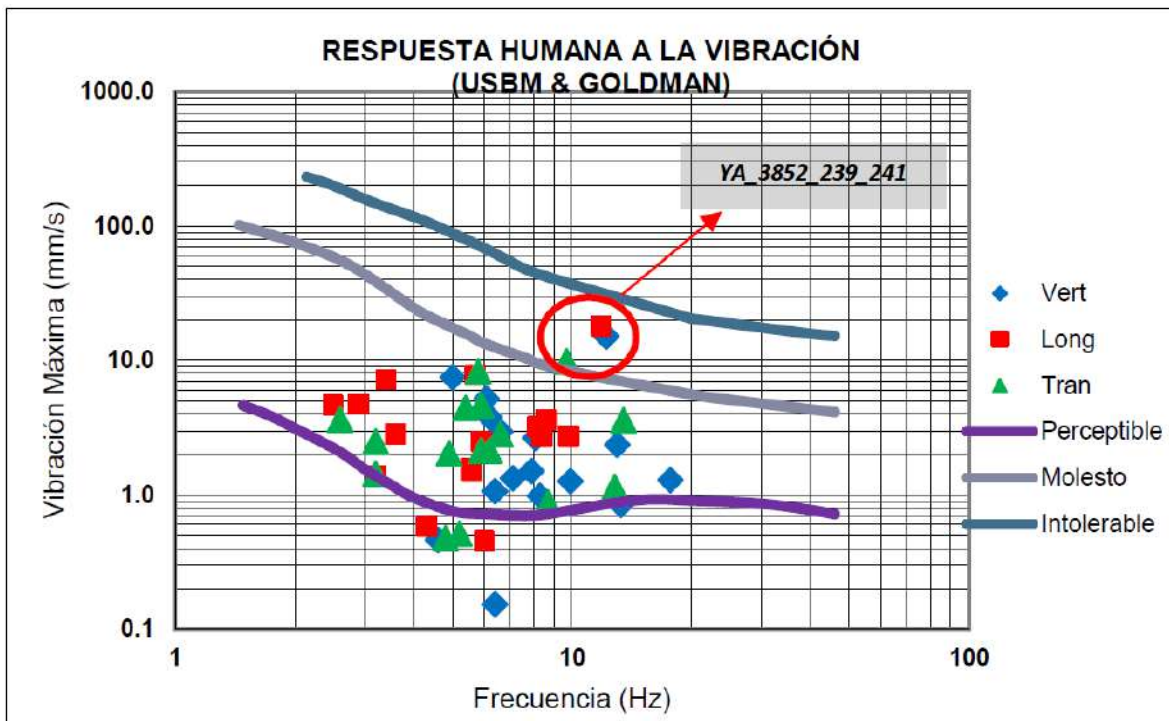


Figura 60: Análisis de vibraciones según respuesta humana a la vibración.

Del resumen de monitoreos de vibraciones, el proyecto Ya_3852_239_241 está a una distancia 325m de punto de monitoreo, siendo una de las distancias más bajas de monitoreo hacia las voladuras.

En promedio, según estos tres tipos de análisis, se tiene que las vibraciones producidas por las voladuras realizadas, están dentro del rango de perceptible a molesto, que se considera aceptable para voladuras de esta gran magnitud.

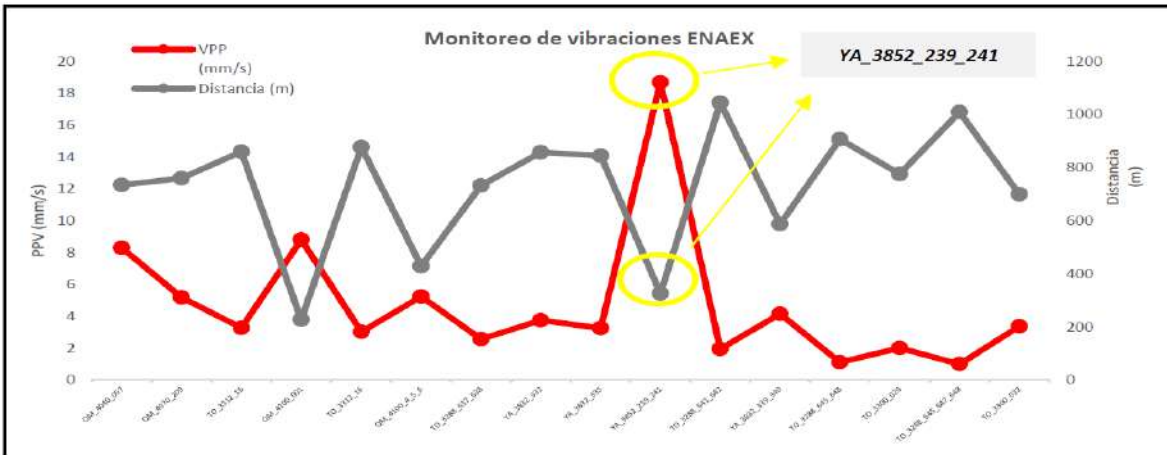


Figura 61: Monitoreo de vibraciones Enaex, en Minera Yanacocha

4.2.5. Análisis de Factor de Potencia

De las voladuras de las Pruebas de ENAEX en Minera Yanacocha, se tiene lo siguientes promedios de factores de potencia asociados a las alteraciones presentes y tipo de mezcla explosiva utilizada. De las 24 voladuras realizadas en Minera Yanacocha: 11 en TO, 07 en YA y 06 en QM. Se realizaron las comparaciones de F.P por Tajos vs. Budget de Yanacocha.

Del target de Minera Yanacocha, se logró disminuir el factor de potencia, para el Tajo Quecher Main, Tajo Tapado Oeste y Tajo Yanacocha, en - 4 %, -7 % y - 18 % respectivamente.

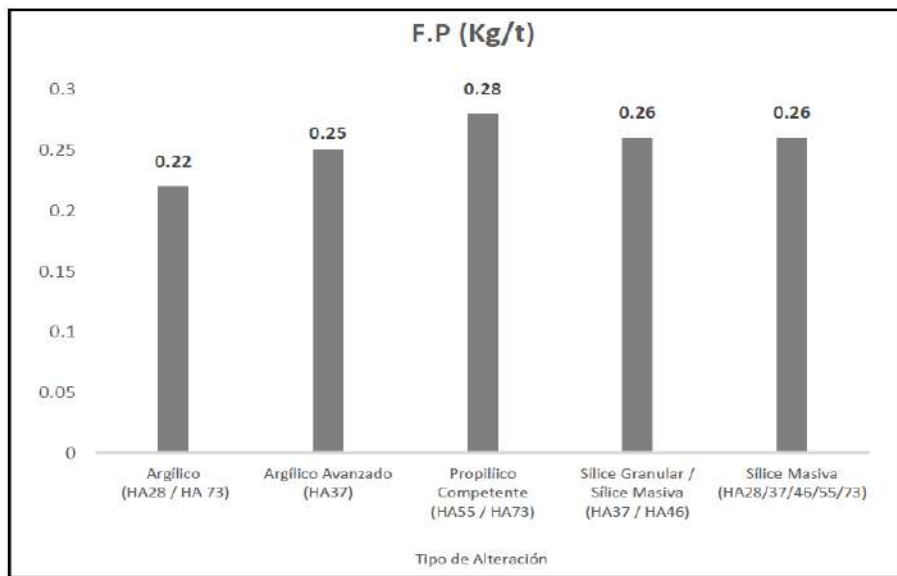


Figura 62: Factor de Potencia según el tipo de roca

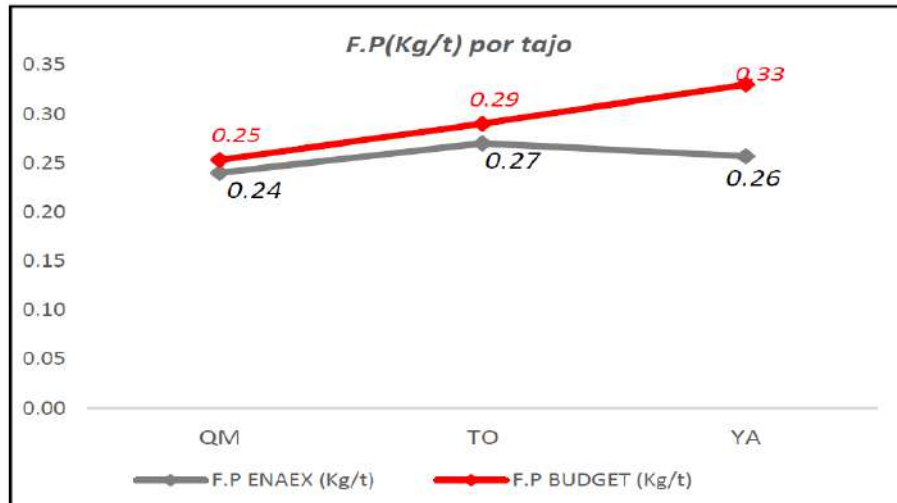


Figura 63: Factor de Potencia por el tajo

4.2.5.1. Configuraciones de Carga

Se analizaron escenarios para cada Tajo, considerando el tipo de alteración y dureza para definir las propuestas. Se tuvieron para los tajos Quecher Main, Tapado Oeste y Yanacocha; las propuestas realizadas, aquellos diseños con los que se trabajaron durante las pruebas y las propuestas a implementarse que son diseños que se han propuesto para seguir con la mejora continua y que no fueron realizadas por el corto tiempo de pruebas, a continuación, las propuestas definidas.

- **Propuestas realizadas:**

Tabla 42: Propuesta técnica en el tajo Quecher Main

TAJO QUECHER MAIN							
PROPUESTAS INICIALES			PROPUESTAS REALIZADAS				
TIPO DE ALTERACION / DUREZA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA		CONFIGURACION DE CARGA		
ARGÍLICO - ARG. AVANZADO / BAJA	7.5	8.5	HA37		8.0	9.0	Cambiar tipo de mezcla / Taco = 5m y aumentar 0.50m B y E
SÍLICE MASIVA / DURA	8.0	9.0	HA46		8.0	9.0	Cambiar tipo de mezcla / Taco = 5m / poner cámara de aire fondo 1.0 m

Tabla 43: Propuesta técnica en el tajo Yanacocha

TAJO YANACOCHA							
PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA REALIZADAS				
TIPO DE ALTERACION / DUREZA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA		CONFIGURACION DE CARGA		
Sílice Masiva / DURA / Taladros secos	7.0	8.0	HA55		7.0	8.0	Mantener la mezcla, Taco = 5m y tener cámara de aire inferior 1.0 m

Tabla 44: Propuesta técnica en el tajo Tapado Oeste

TAJO TAPADO OESTE							
PROPUESTAS INICIALES			PROPUESTAS REALIZADAS				
TIPO DE ALTERACION / DUREZA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	CONFIGURACION DE CARGA
Prop. Competente / DURA / Taladros secos	7.5	8.5	HA55	7.5	8.5	HA55	Mantener la mezcla, Taco final = 6 m / tener cámara de aire inferior y superior 1.0 m
Prop. Competente / DURA / Taladros con agua	7.5	8.5	HA73	7.5	8.5	HA73	Mantener la mezcla, Taco final = 7.5m

- **Propuestas a Implementarse:**

Tabla 45: Propuesta técnica a implementarse en el tajo Quecher Main

TAJO QUECHER MAIN							
PROPUESTAS INICIALES			PROPUESTA A IMPLEMENTARSE				
TIPO DE ALTERACION / DUREZA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	CONFIGURACION DE CARGA
ARGÍLICO - ARG. AVANZADO / BAJA	7.5	8.5	HA28	8.0	9.0	ANFO	Cambiar tipo de mezcla / Taco = 5m y aumentar 0.50m B y E
SÍLICE GRANULAR 2 / BAJA-MEDIA	8.0	9.0	HA37	8.2	9.2	HA28	Cambiar tipo de mezcla / Taco = 5.5m y aumentar 0.20m B y E

Tabla 46: Propuesta técnica a implementarse en el tajo Tapado Oeste

TAJO YANACOCHA							
PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA A IMPLEMENTARSE				
TIPO DE ALTERACION / DUREZA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	CONFIGURACION DE CARGA
Silice Masiva / DURA / Taladros secos	7.0	8.0	HA55	7.2	8.2	HA55	Mantener la mezcla, Taco final 5.5 m y aumentar 0.20m B y E.

Tabla 47: Propuesta técnica a implementarse en el tajo Yanacocha

TAJO TAPADO OESTE							
PROPUESTA INICIAL			PROPUESTA A IMPLEMENTARSE				
TIPO DE ALTERACION / DUREZA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	MALLA		MEZCLA EXPLOSIVA	CONFIGURACION DE CARGA
Prop. Competente / DURA / Taladros	7.5	8.5	HA55	7.7	8.7	HA45/55	Cambiar tipo de mezcla, Taco final = 5.5 m y tener cámara de aire inferior 1.0 m y aumentar 0.20m B y E.

4.2.6. Rendimiento de Equipos de Carguío – Palas (T/H)

Primero, se consideró realizar un promedio de dig- rate (t/h), por tipo de envío de material (Leach PAD, Gold Mill y Waste), para el Tajo Tapado Oeste, para las voladuras de ENAEX y los datos históricos de Minera Yanacocha (ene 2017 – mar 2018). Se logró incrementar el Dig Rate en 0.5% en la pala (SH005) y 3.1 % en la pala (SH007).

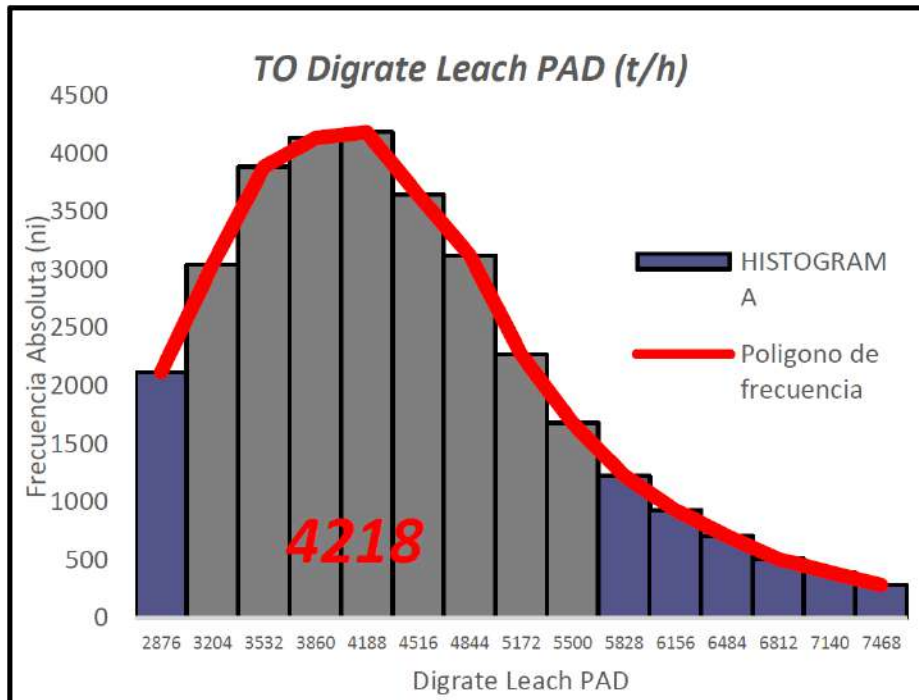


Figura 64: Dig rate Leach PAD

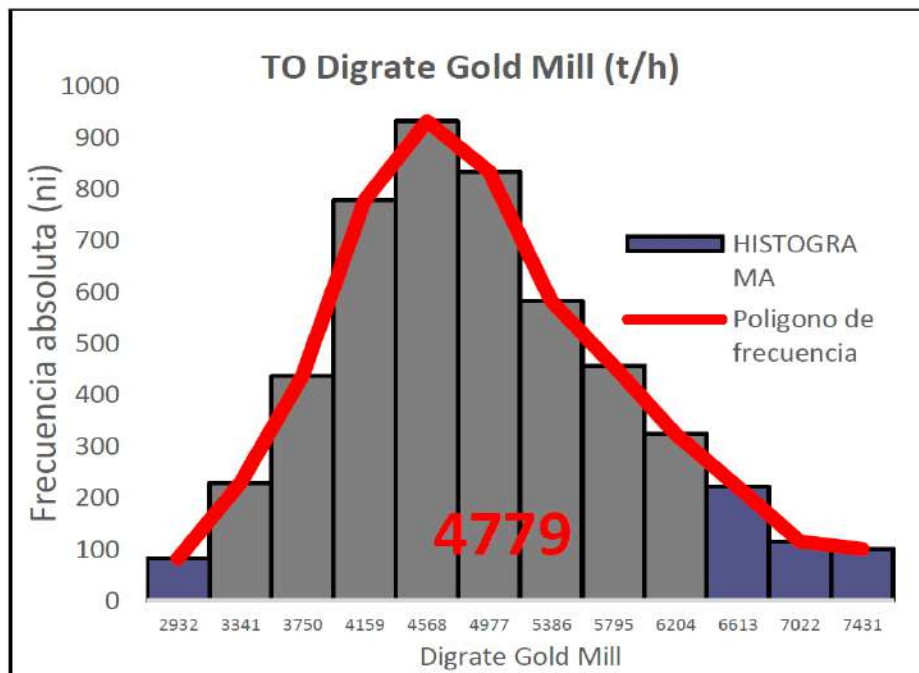


Figura 65: Dig rate Gold Mill TO

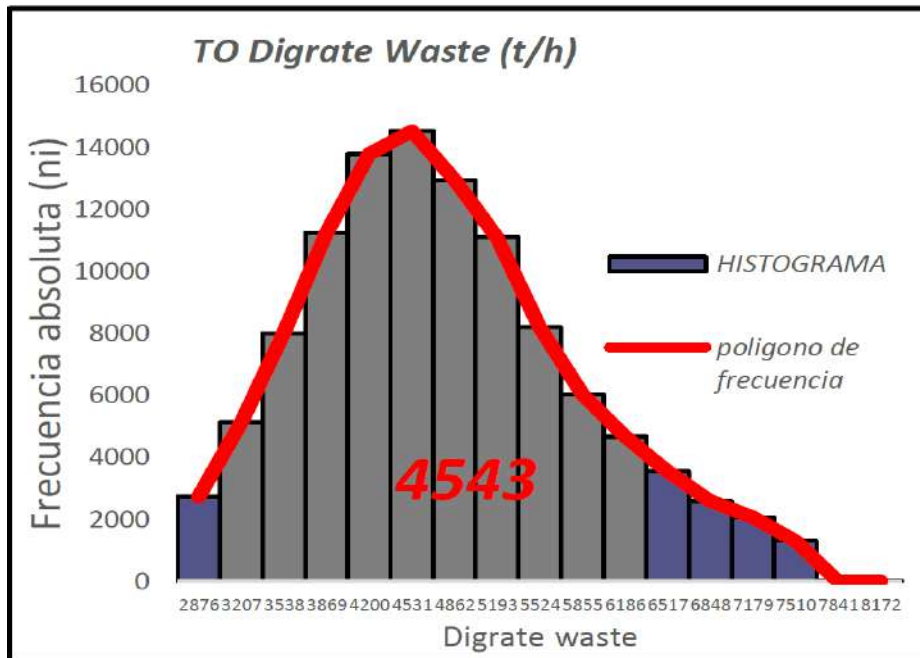


Figura 66: Dig rate Waste TO

Se hizo igual análisis para los datos de las voladuras de ENAEX en Tapado Oeste, en total 11 voladuras, detalladas a continuación:

			VOLADURAS TAPADO OESTE		
FECHA	#	TAJO	PROYECTO	TALADROS	TIPO DE VOLADURA
19/04/2018	3	TO	TO_3312_16	126	PRODUCCION
26/04/2018	5	TO	TO_3312_16	71	PRODUCCION
9/05/2018	8	TO	TO_3300_22_635	120	PRODUCCION
16/05/2018	11	TO	TO_3288_637_638	64	RAMPA
30/05/2018	16	TO	TO_3288_641_642	43	RECORTE
5/06/2018	19	TO	TO_3288_645_648	109	PRODUCCION
6/06/2018	20	TO	TO_3300_020	99	CONTORNO
8/06/2018	21	TO	TO_3288_010	44	PRODUCCION
12/06/2018	22	TO	TO_3288_645_647_648	92	PRODUCCION
13/06/2018	23	TO	TO_3300_022	107	CONTORNO
14/06/2018	24	TO	TO_3276_640_641	84	RAMPA / CONTORNO

Tabla 48: Voladuras en Tapado Oeste para analizar el Dig Rate

A continuación, los análisis de datos realizados para las voladuras de ENAEX en Tajo Tapado Oeste, por tipo de destino de material minado. Dando como resultado un promedio de Dig Rate por tipo de envío.

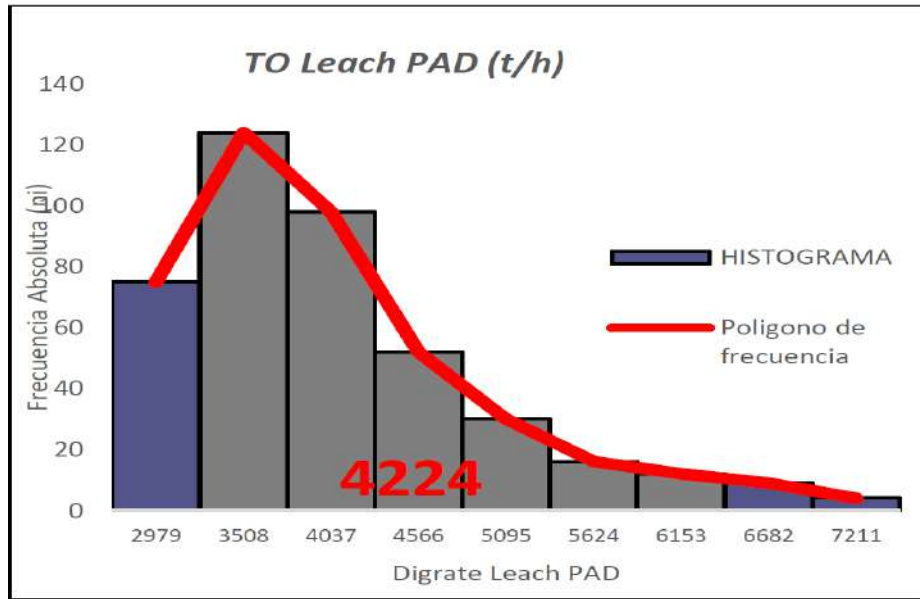


Figura 67: Dig rate Leach PAD

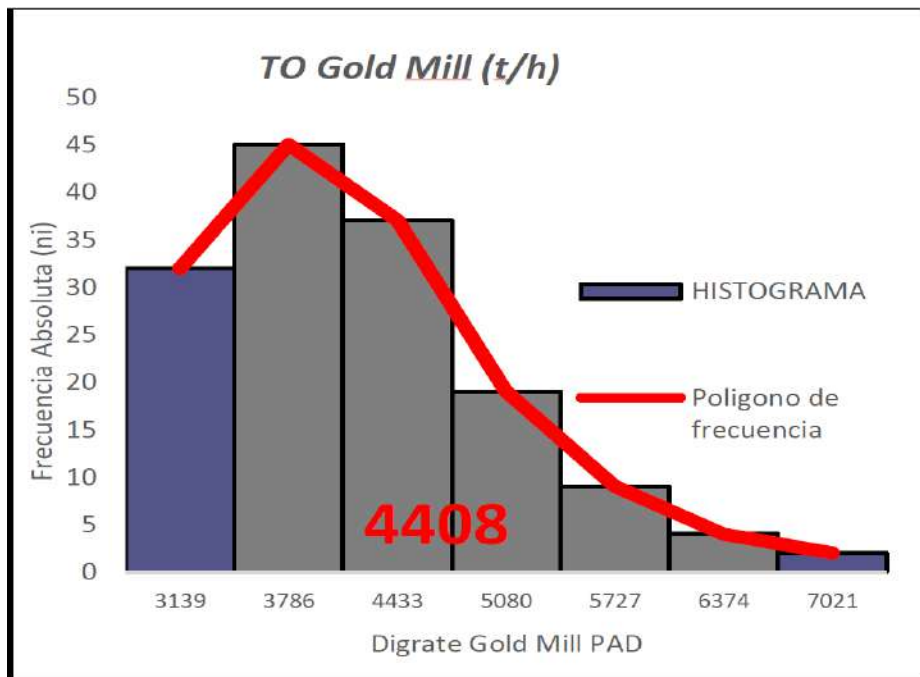


Figura 68: Dig rate Gold Mill

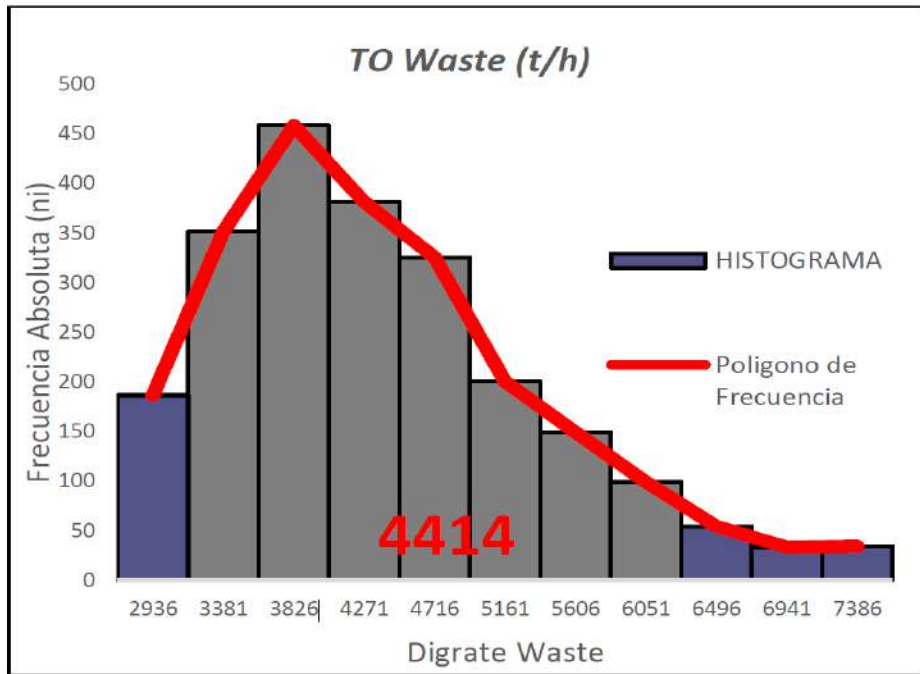


Figura 69: Dig rate Waste

En el gráfico se indica, la comparación de los promedios de Dig Rate (t/h), por tipo de envío

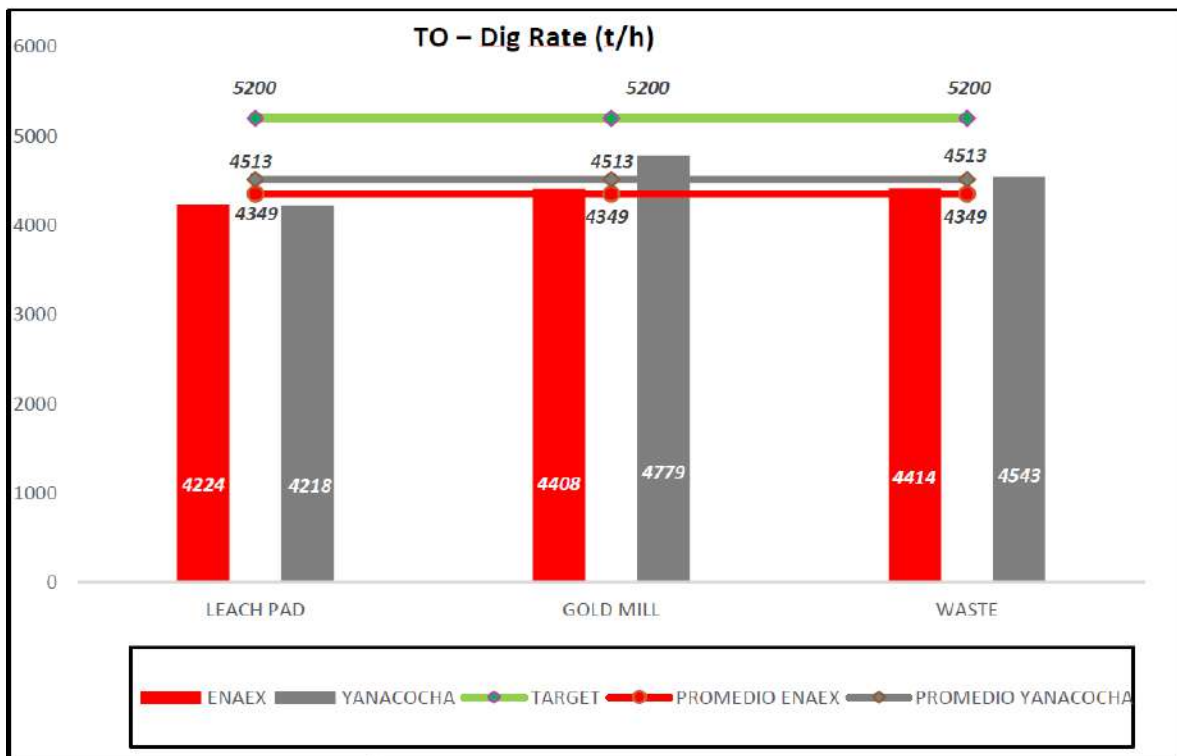


Figura 70: Análisis del Dig Rate en los 3 depósitos

Asimismo, se realizaron los análisis para el Dig Rate por tipo de Palas. En las voladuras de ENAEX sólo se tuvieron las Palas SH005 y SH007. Por lo tanto, se hicieron los análisis para las palas mencionadas en los datos históricos de Yanacocha 2017 (ene-dic) y 2018 (ene-marzo) y se obtiene el siguiente gráfico:

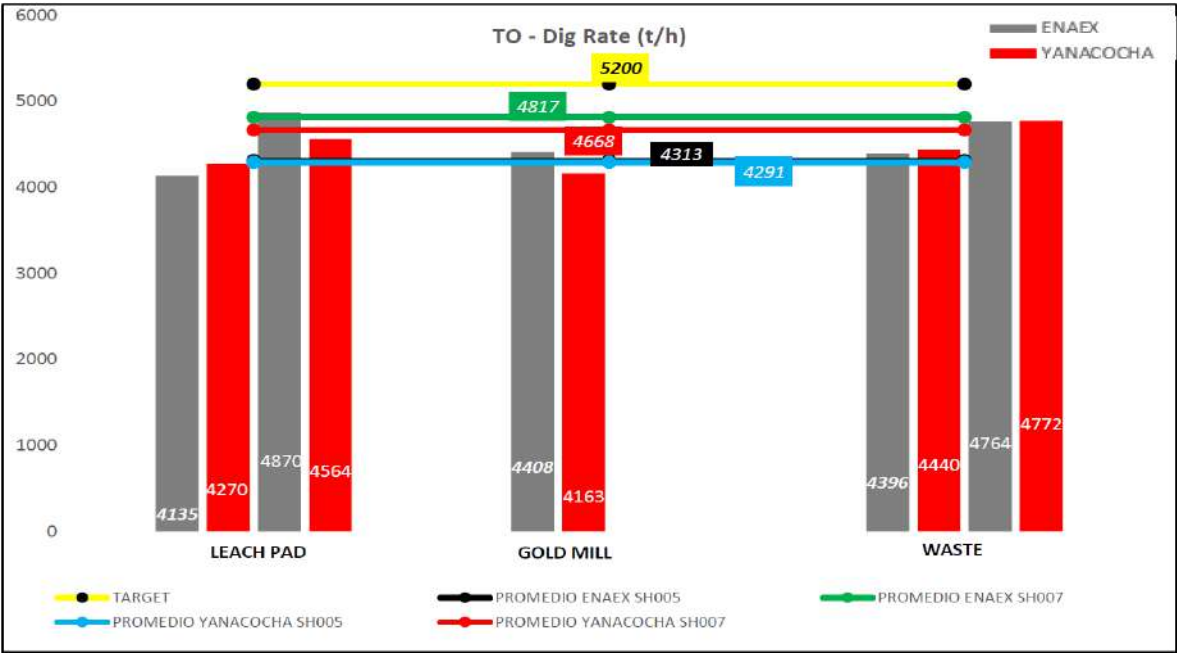


Figura 71: Análisis del Dig Rate en los 3 depósitos según el target

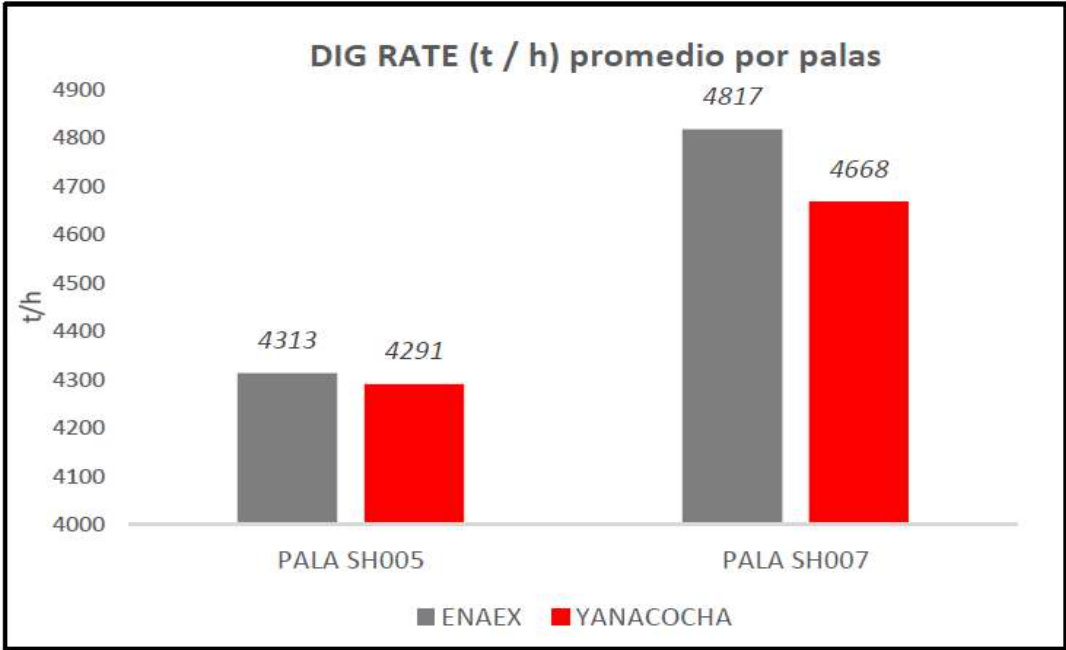


Figura 72: Análisis del Dig Rate promedio por palas

4.2.7. Costo de Perforación y Voladura (\$/T)

Para el cálculo del costo de perforación y voladura de los proyectos de ENAEX durante la etapa de pruebas en Minera Yanacocha, se tuvieron en cuenta los siguientes datos:

- Costo de Voladura (USD\$/t): costo de la mezcla explosiva (nitrato, emulsión y diésel), accesorios de voladura (bolsa de aire MTI), sistemas de iniciación (no eléctrico y electrónica, altos explosivos (booster).
- Costo de perforación (USD\$/t): se utilizó el dato de 9.0 \$/m (costo de metro perforado para las perforadoras con 9 7/8” y 10 5/8”).

Costo promedio de voladura USD\$/t por Tajo:



Figura 73: Costo promedio de voladura por tajo

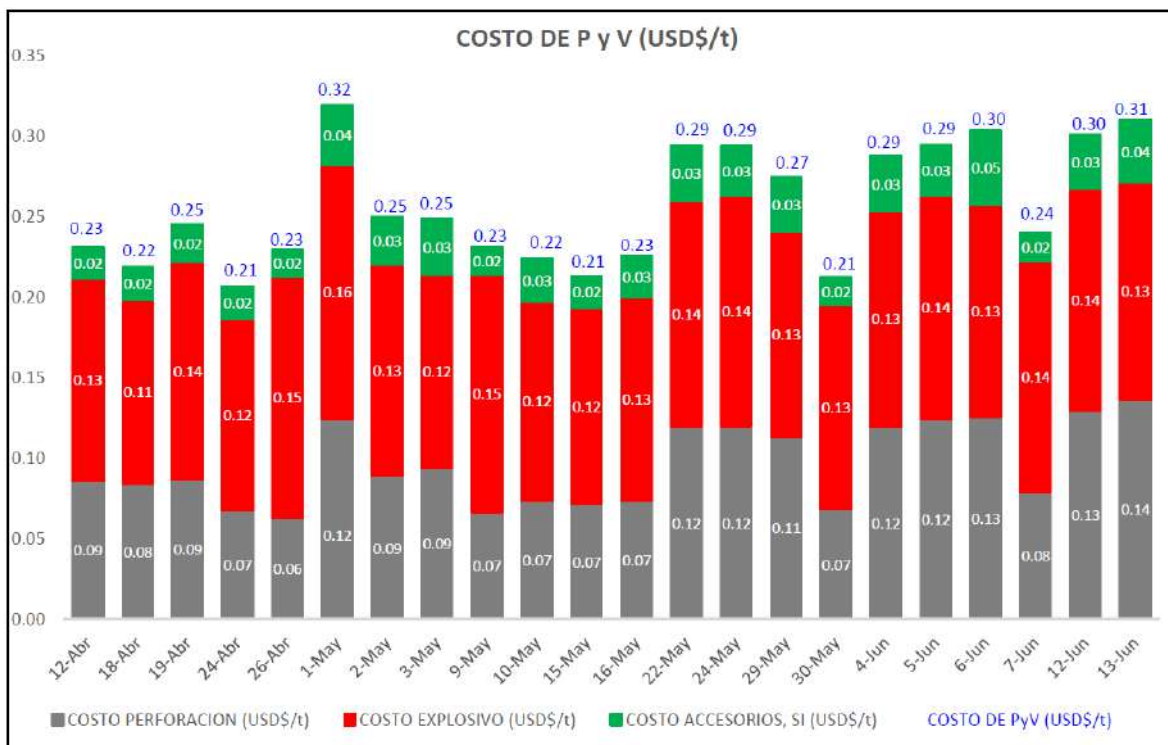


Figura 74: Costo de perforación y voladura por tonelada

En el siguiente gráfico, se tiene los costos por tajos. Para encontrar el costo de perforación y voladura, se analizaron los costos por proyectos en cada tajo.

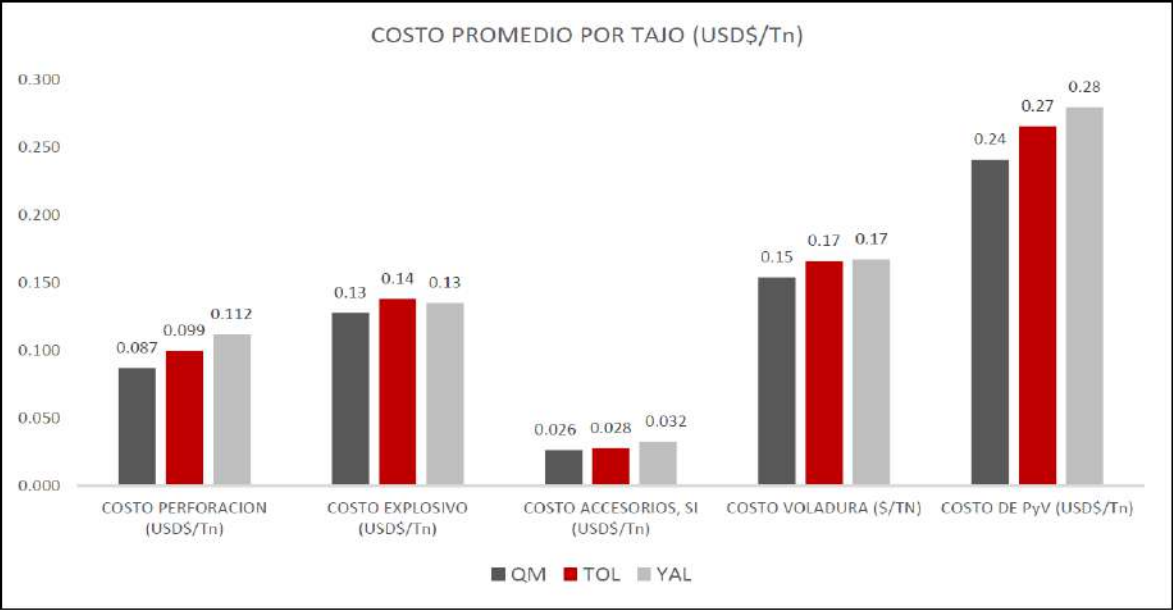


Figura 75: Costo promedio por tajo

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- El Anfo Pesado como mezcla explosiva en sus diferentes configuraciones (HA28, HA37, HA46, HA55, HA73), en el proceso de voladura, en Minera Yanacocha, en los tajos Tapado oeste, Yanacocha y Quecher Main, beneficia, principalmente en el grado de fragmentación de la roca, el cual disminuye considerablemente, por lo tanto, influye directamente en la productividad de los posteriores procesos.
- El proceso de voladura determinado, implica distintas etapas las cuales influyen directamente en el resultado, juntamente con la utilización del Anfo Pesado en sus diferentes presentaciones, según las características que se presentaron en los distintos frentes de trabajo.
- En los taladros adyacentes y de procedimiento, la longitud de carga de explosivo utilizado es menor con respecto a los taladros de producción, debido a que el burden y espaciamiento entre éstos es menos distante.
- El nivel de agua dentro de un taladro y la dureza de la roca, determinan principalmente la variación de las diferentes configuraciones del Anfo pesado, en un taladro seco y presencia de roca suave, se utilizó el HA28, que tiene nula resistencia al agua y factor de potencia suficiente para romper este tipo de roca, para los taladros con abundante presencia de agua, se utilizó HA73, que contiene mayor concentración de emulsión en su composición por lo tanto tiene mayor resistencia al agua.
- El costo que genera la utilización del Anfo Pesado en el proceso de voladura es de un promedio de entre 0.15, 0.17 y 0.17 USD\$/t, para los Tajos QM, TO y YA respectivamente, dando un promedio global de pruebas de 0.16 USD\$/t.

- Como resultado final en la productividad de las palas, en las voladuras realizadas durante el estudio se logró incrementar el Dig Rate en 0.5% (SH005) y 3.1 % (SH007), siendo muy beneficioso para la optimización en el carguío y acarreo.
- En las 24 voladuras realizadas, utilizando el Anfo Pesado como mezcla explosiva, no se generaron emisiones de humos naranjas, siendo beneficioso con el medio ambiente.
- Las vibraciones, según la norma DIN 4150-3, nuestras voladuras se encuentran debajo de las vibraciones límites para edificios industriales. Adicionalmente se presentó el criterio de percepción Steffens y respuesta humana a la vibración (Goldman), de las cuáles las voladuras están en el umbral de apenas perceptible a fácilmente perceptible y en la respuesta humana a la vibración nos encontramos en sólo perceptible.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización del Anfo Pesado como mezcla explosiva en el proceso de voladura en Minera Yanacocha, conociéndose los beneficios que genera.
- Se recomienda seguir el procedimiento exhaustivo que se mantiene en el diseño de la columna explosiva, siempre con el soporte ingenieril que permite adecuar el tipo de mezcla y el diseño que tendrá esta, de acuerdo a todos los parámetros que se nos presente en dicha malla.
- Para el proceso bombeable de la mezcla explosiva en los taladros los camiones fabrica deberían tener una secuencia más adecuada para evitar posibles atascamientos o cruces con los minicargadores que ingresan a realizar el tapado de los taladros.
- En el proceso de carguío de taladros se recomienda tener más cuidado cuando se traslada el camión fábrica de un taladro hacia otro, ya que la mezcla explosiva restante o dentro de la manga tiende a derramarse fuera del taladro, el ayudante del chofer del camión fabrica debe sostener la manga durante este traslado.

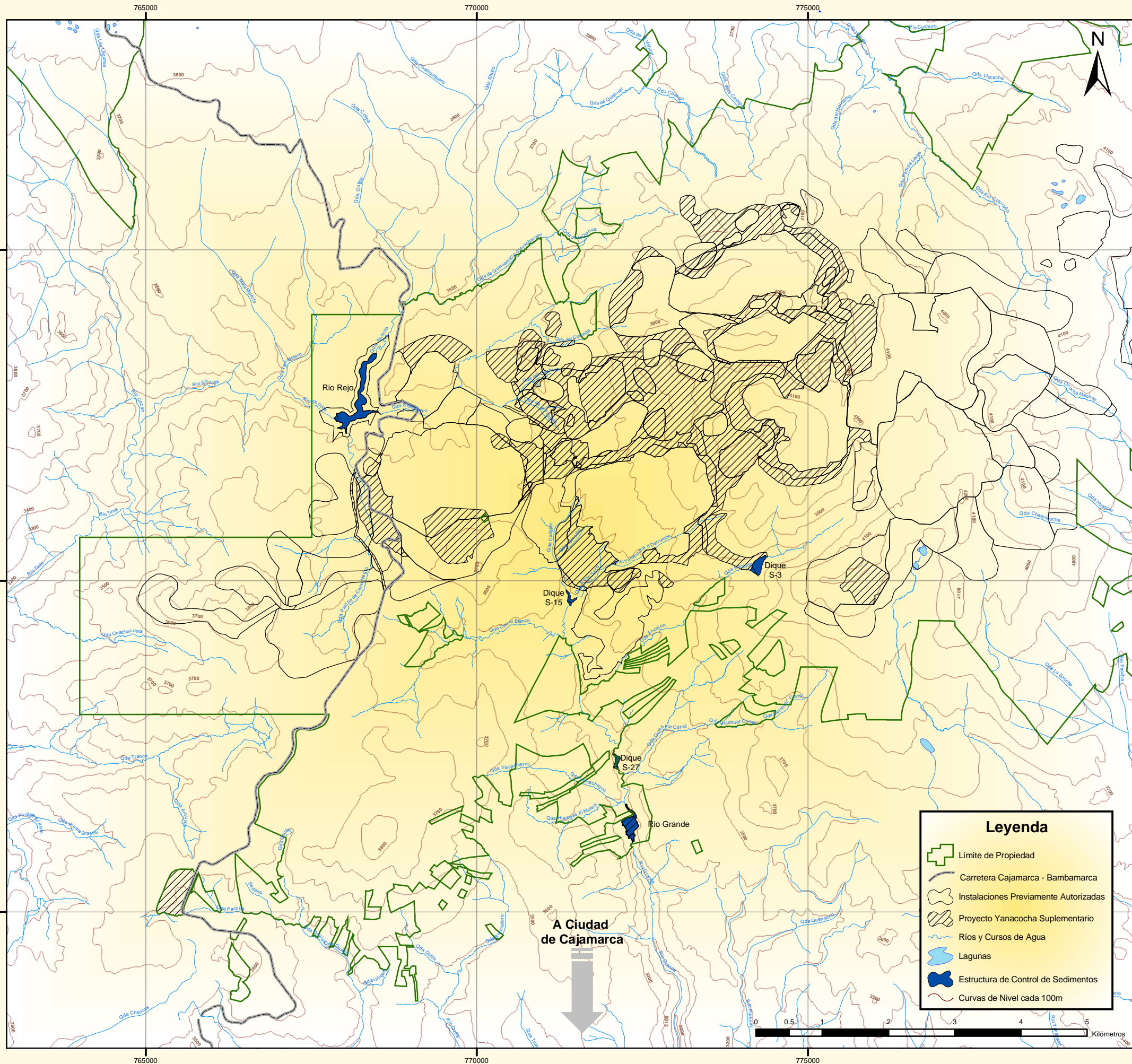
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bampfield, & Morrey. (1984). Emulsión, Explosivos.
- Bernaola, e. a. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de Recursos Minerales y Obras Subterráneas.
- Bonisch. (2018). HWCP Invercargill Central Demolition and Construction Noise And Vibration. Boston: Marshall Day Acoustics.
- Bury, J. (2004). Livelihoods in transition: transnational gold mining operations and local change in Cajamarca, Peru. Cajamarca, Perú: The Geographical Journal, Vol 170, No. 1, 78-91.
- DaveyBickford. (2017). Taller de optimización en voladuras y control de impacto geotécnico. Constancia, Perú,: HudBay Mining.
- DaveyTronic. (2021). Sistema de voladura digital, Minería a cielo abierto. DaveyTronic SP, 4.
- Díaz, E. (2008). Geología del proyecto Quecher, distrito minero Yanacocha, Cajamarca-Perú. Cajamarca, Perú.
- Elizalde, B. (2009). Reseña de las Relaciones de Newmont con la comunidad: Mina de Yanacocha, Perú. Lima: Minera Yanacocha SRL.
- Enaex. (2013). Manual de Tronadura Enaex SA. Santiago, Chile: Gerencia técnica de Enaex.
- Enaex. (2018). Informe de resultados de pruebas - Minera Yanacochaa. Cajamarca.
- Exsa. (2014). Manual Práctico de Voladura, 5ta Edición. Lima, Perú.
- Famesa. (2019). Manual de Perforación y Voladura.
- Farge, I. (2006). Criterios de selección de explosivos a utilizar en una mina de oro en roca sedimentaria con cobertura de roca volcánica. Lima, Perú: Universidad Nacional de San Marcos.
- Google Earth. (19 de Agosto de 2021).

- Ingenieros, C. y. (2013). Análisis de vibraciones por eventos de tronaduras. SCM Bullmine.
- Konya, C. J., & Albarrán, E. (1998). Diseño de Voladuras. México: Ediciones cautil.
- López, C. (1994). Manual de Perforación y Voladura de Rocas. Madrid, España.
- Merino. (2005). Geología del Perú.
- MINEM. (2006). Estudio de Impacto Ambiental Proyecto suplementario Yanacocha Oeste.
Lima: Ministerio de energía y Minas.
- Minera Yanacocha . (2015). Vibraciones en Voladura. Explosivos (pág. 40). Cajamarca,
Perú: Minera Yanacocha.
- Orica. (2014). Desarrollo de operaciones de voladura de superficie. Blasting Courses.
- Pulgar. (1987). Geografía del Perú. Lima, Perú: Universo.
- Scherpenisse, C., & Silva, G. (2015). Evaluación, Análisis y diseño de voladuras controladas.
Tacna, Perú: Geoblast, Mina Toquepala Southern Copper.
- Senace . (2019). Evaluación de la Modificación del Estudio de Impacto Ambiental
Yanacocha. El Perú Primero, Ministerio del Ambiente.
- Tantec. (2018). Modificación de estudio de impacto ambiental Yanacocha. Cajamarca,
PERÚ.
- Vilela, P. (2014). Análisis de factibilidad para el uso del Anfo Pesado a base de emulsión
gasificada en Minera Yanacocha. Cajamarca, Perú.
- Yanacocha, M. (2015). Curso de Perforación y voladura. Cajamarca, Perú.

ANEXOS

- Anexo I: Mapa de ubicación de Minera Yanacocha. (Minera Yanacocha, 2006)
- Anexo II: Mapa geológico Regional de Minera Yanacocha. (Minera Yanacocha, 2006)
- Anexo III: Mapa geológico Local de Minera Yanacocha. (Minera Yanacocha, 2006)
- Anexo IV: Mapa Hidrográfico de Minera Yanacocha. (Minera Yanacocha, 2006)
- Anexo V: Ficha técnica del Anfo Pesado Blendex. (Enaex, 2021)
- Anexo VI: Autorización de Empresa Enaex, para la utilización de datos.

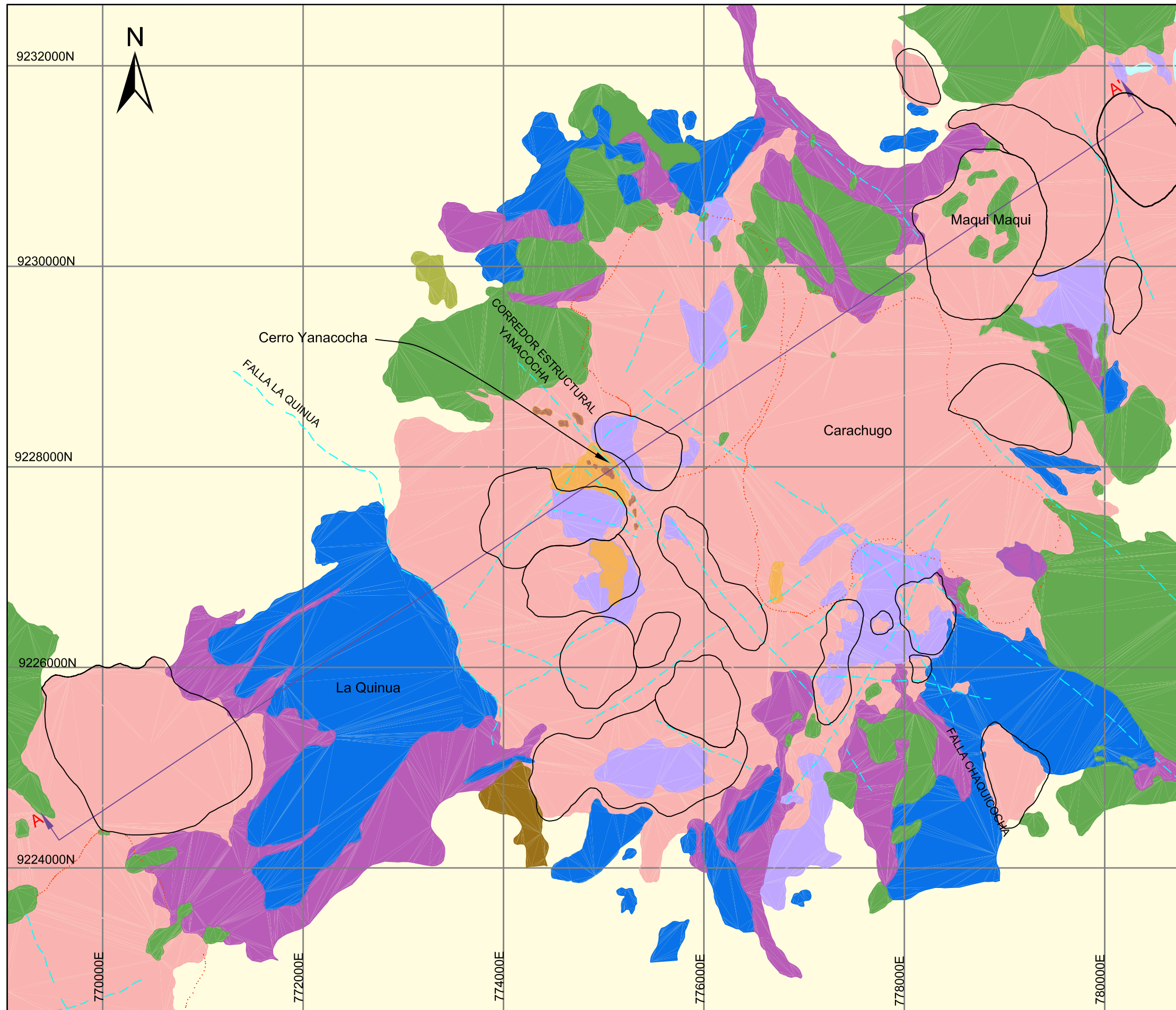


Leyenda

- Límite de Propiedad
- Carretera Cajamarca - Bambamarca
- Instalaciones Previamente Autorizadas
- Proyecto Yanacocha Suplementario
- Ríos y Cursos de Agua
- Lagunas
- Estructura de Control de Sedimentos
- Curvas de Nivel cada 100m

A Ciudad de Cajamarca

TÍTULO:	
MAPA DE UBICACIÓN DE MINERA YANACOCHA	
SISTEMA DE COORDENADAS: UTM	PROYECCIÓN: Provisional Sud-América 1956
FUENTE: Minera Yanacocha, 2006	
Escala: S/E	Plano: N° 1



LEYENDA

CUATERNARIO	ALUVIO-COLLUVIO
CUATERNARIO - PLEISTOCENO	TILL, SEDIMENTOS FLUVIO GLACIALES

TERCIARIA-MIOCENO	FORMACION HUAMBOS Principalmente Tobas de flujo de cenizas (Riodacíticas)
TERCIARIA-EOCENO	REGALADO VOLCANICOS Flujo de Lava, Rocas Piroclásticas (Dacíticas a Riodacíticas)

<i>SECUENCIA YANACOCHA</i>	
TERCIARIA-MIOCENO	PLUGS/DOMOS RIODACTICOS
TERCIARIA-MIOCENO	DIATREMAS
TERCIARIA-MIOCENO	ROCAS PIROCLASTICAS SEDIMENTOS TOBACEOS
TERCIARIA-MIOCENO	DOMOS, FLUJO DE LAVA (Andesíticos a Dacíticos)

TERCIARIA-EOCENO	LLAMA VOLCANICOS Volcanodásticos, flujo de lava piroclásticos (Andesíticos)

CRETACICO	CALIZA

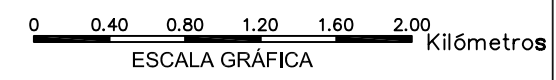
A A'

CORTE TRANSVERSAL
(Ver Figura 4.3)

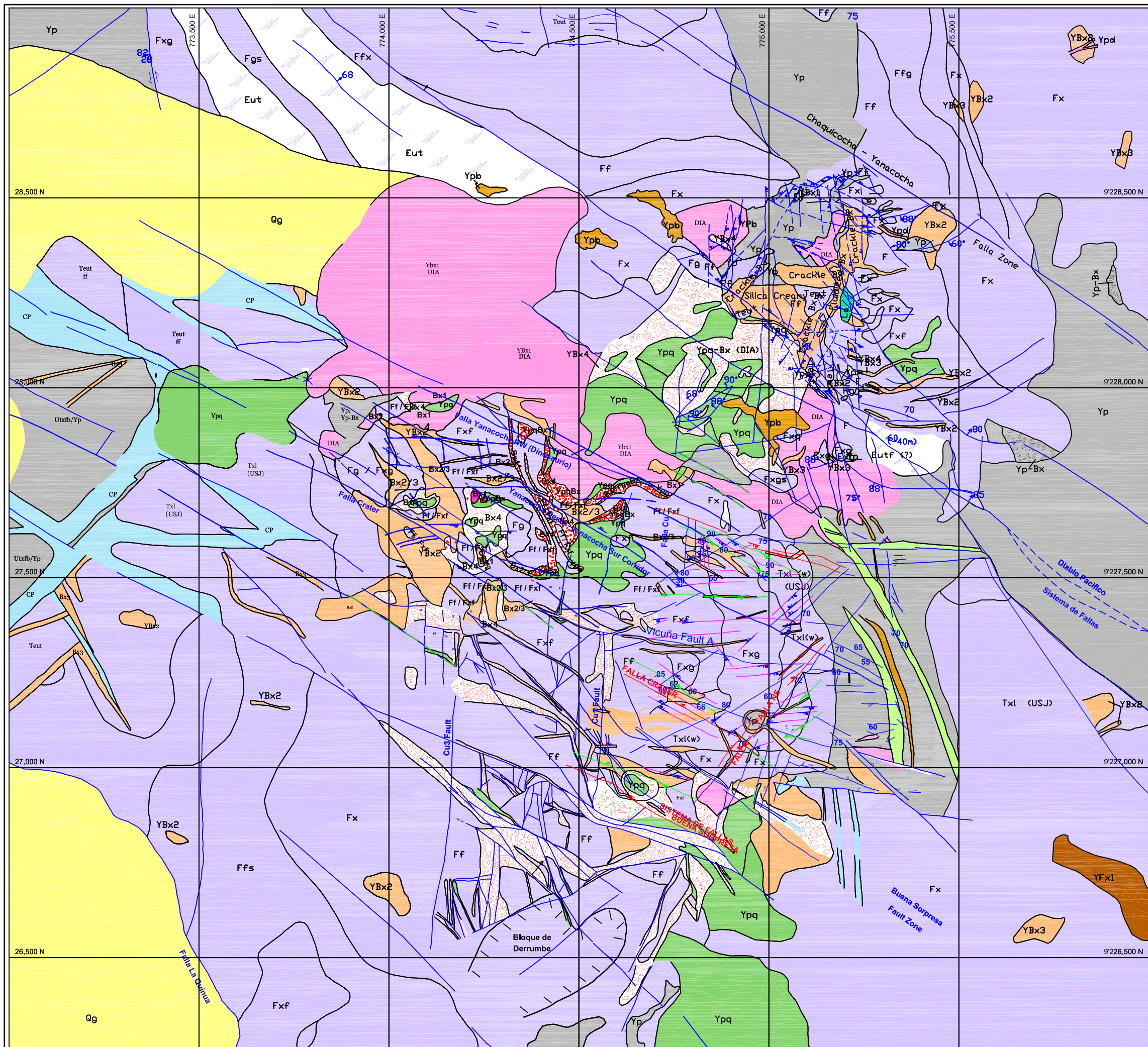
FALLA

DOMO

COMPLEJO DE DOMOS



Título:	
MAPA GEOLÓGICO REGIONAL DE MINERA YANACOCHA	
SISTEMA DE COORDENADAS: UTM	PROYECCIÓN: Provisional Sud-América 1956
Fuente: Minera Yanacocha, 2006	
Escala: 1:40,000	Plano N° 2



- UNIDADES VOLCANICAS**
- Eut
 - Usj - Ffs, Fxf, Fx (Txl, Txl (w))
 - Teut (Tx)
 - La - Andesita Baja
- ROCA INTRUSIVA**
- Yp - Pórfiro Yanacocha
 - Cp - Pórfiro Carachugo
 - Ypq - Tonalita Ojo de Cuarzo
 - Yph
 - Ypbq
 - Yfx1

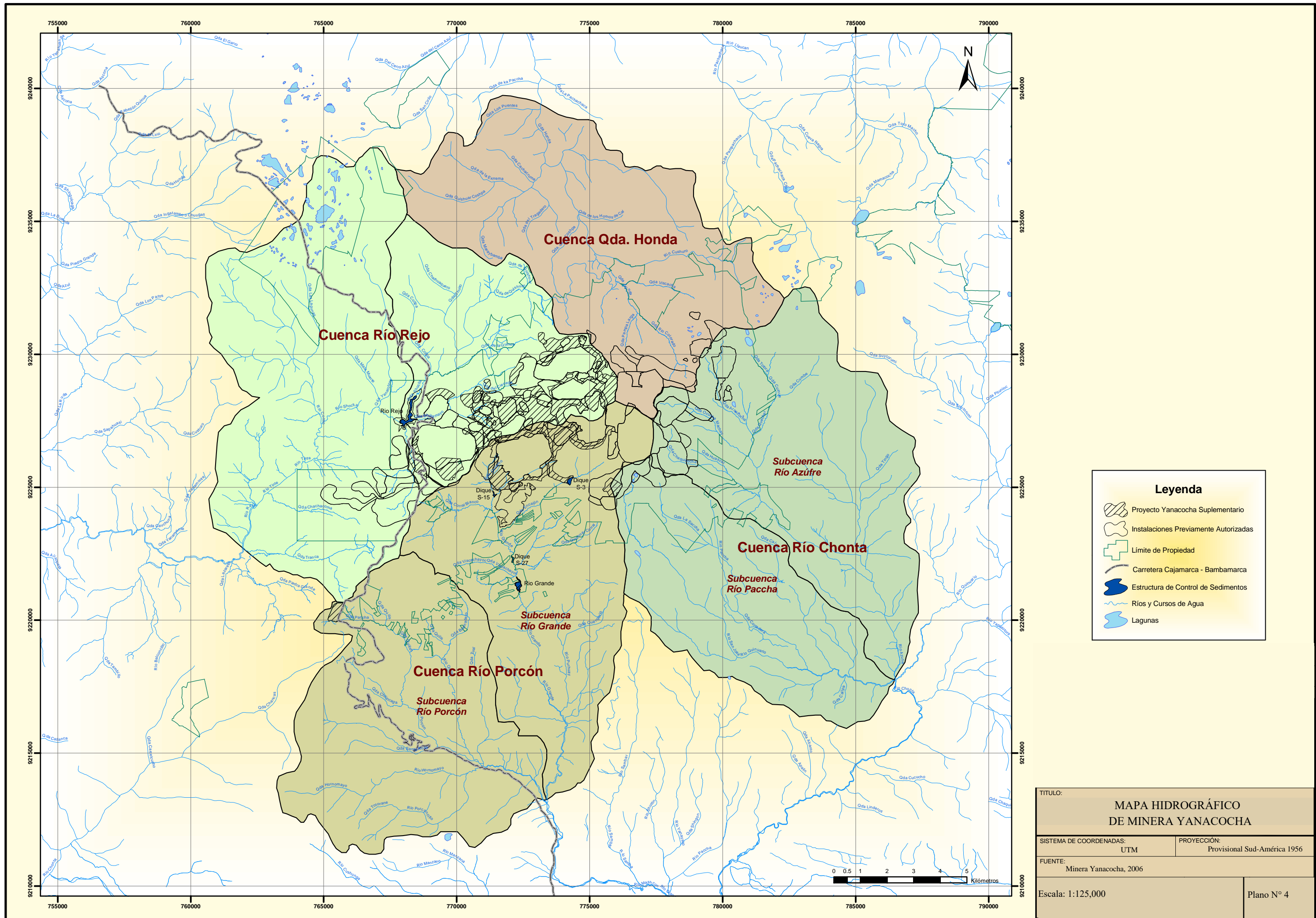
- COMPLEJO DE BRECHAS**
- Diametra-Ybx1
 - Brecha arenosa - Bx2/3, BXA
 - Bx4, Ypq-Bx, Ypq-Bx (DIA)
 - Conducto Brecha
 - Qg - Grava Cuaternaria
 - Fallas

TITULO:
MAPA GEOLÓGICO LOCAL DE MINERA YANACOA

SISTEMA DE COORDENADA: UTM
 PROYECCION: Provisional Sud-America 1956

Fuente: Minera Yanacocha, 2006

Escala: 1:10,000
 Plano N° 3



Legenda

- Proyecto Yanacocha Suplementario
- Instalaciones Previamente Autorizadas
- Límite de Propiedad
- Carretera Cajamarca - Bambamarca
- Estructura de Control de Sedimentos
- Ríos y Cursos de Agua
- Lagunas

TÍTULO:
MAPA HIDROGRÁFICO DE MINERA YANACOCHA

SISTEMA DE COORDENADAS: UTM PROYECCIÓN: Provisional Sud-América 1956

FUENTE: Minera Yanacocha, 2006

Escala: 1:125,000 Plano N° 4

◆ Blendex® MS



Document No:
TDS 0007_002

EMULSION / ANFO blends

DESCRIPTION

Blendex® MS is a blended blasting agent used in underground and openpit mining as well as quarries and construction. Blendex® MS is manufactured by mixing ANFO with Emultex® MS (microsphere sensitized emulsion). The final product can be augured or pumped, depending on the mixture ratio. For dry holes, the blend ratios will range from 10% Emulsion / 90% ANFO to 40% Emulsion / 60% ANFO. This range of blends is augured into dry or dewatered holes.

For pumpable blends, ANFO is mixed with Emultex® MS in ratios from 70% Emulsion / 30% ANFO to 100% Emulsion. This range of blends can be loaded into wet holes but should be pumped from the bottom of the hole to displace any water present to prevent contamination of the blend by the water.

TRANSPORT AND UN NUMBERS

UN 0332
Class 1 Division 5
1.5D



BLENDX MS TECHNICAL CHARACTERISTICS

	%Emulsion / %ANFO					
	100/0	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70
Nominal Density (g/cc)	1.32 ± 2%	1.28 ± 2%	1.28 ± 2%	1.28 ± 2%	1.27 ± 2%	1.15 ± 2%
* Detonation Velocity ft/s (ms)	15,000 - 21,500 (4,600 - 6,500)					
* Detonation Pressure (GPa)	11.9	12.8	13.2	12.4	11.8	10.2
* Energy (kj/kg)	3,907	4,291	4,429	4,512	4,611	4,663
* Gas Volume (l/kg)	1070	1066	1065	1066	1066	1066
Minimum Hole Diameter (mm)	75	75	75	75	75	75
Water Resistance	Excellent	Excellent	Good	Good	Moderate	Poor
* Relative Weight Strength	0.843	0.890	0.906	0.921	0.937	0.953
* Relative Bulk Strength	1.180	1.330	1.380	1.425	1.400	1.320

* Theoretical values from computational modelling of formulations using EXPLO 5

BLENDX MS RECOMMENDED USES

In wet conditions, the Blendex® MS products of 70% emulsion or greater should be pumped into the bottom of the hole to displace any water and minimize any mixing that may occur with the emulsion and ground water. Blendex® MS blends should not be top loaded into water.

BLENDX MS MANUFACTURING

Blendex® MS is manufactured on the truck at the blast site.
Emultex® MS is manufactured in Rush Valley, Utah near Salt Lake City, Utah.



**Do you want to get
in touch with one
of our experts?**

Local address: 428 East Winchester St, Suite 202
Salt Lake City, Utah 84107, USA
Email: contact-usa@enaex.com
Phone: +1 (801) 562-3045
www.enaex.com

WARNING

Products described herein are potentially hazardous and must be used in accordance with applicable health and safety standards federal and state laws, rules and other statutory or regulatory provisions. Personnel using Blendex® MS should undertake specific training in the use and handling, relevant to their application. The manufacturer cannot anticipate all of the possible applications for its products. The information is believed to be accurate, though no warranties are made, expressed or implied.



“AÑO DEL DIÁLOGO Y LA RECONCILIACIÓN NACIONAL”

Cajamarca, 17 de diciembre del 2018

Señores:
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Asunto:
AUTORIZACIÓN DE USO DE DATOS PERTENECIENTES A LA EMPRESA ENAEX PERÚ S.A.C. PARA LA REALIZACIÓN DE TESIS PROFESIONAL

Mediante el presente documento se le brinda a la señorita Otilia Patricia Mantilla Quispe, identificada con DNI: 47595557, **AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL ÁREA PROYECTOS DE LA EMPRESA ENAEX PERÚ S.A.C.** Para utilizar los datos recolectados en el periodo de pruebas realizadas en Minera Yanacocha, para la ejecución de su tesis profesional denominada: **“BENEFICIOS DEL USO DEL ANFO PESADO EN EL PROCESO DE VOLDAURA EN MINERÍA A CIELO ABIERTO CON LA EMPRESA ENAEX EN MINERA YANACOCCHA SRL. 2018”**, con el fin de aportar con la educación y la formación de nuevos profesionales en el rubro minero.

Atentamente;



York Chino Herrera
Jefe de Proyectos – Enaex Perú S.A.C.