

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO
ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y
METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



TESIS

“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN
GASIFICADA EN LA VOLADURA DE ROCAS DE LA MINERA
LAS BAMBAS – COTABAMBAS, APURÍMAC”

TESIS PRESENTADA POR:

Bach. JULIO CESAR QUISPE ARQUE

PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

ASESOR:

MGT. FLORENTINO YANA JAHUIRA

“TESIS FINANCIADA POR LA UNIVERSIDAD”

CUSCO – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A las grandes motivaciones de mi vida mi familia, en especial a mi **MADRE** María Arqque M. por su apoyo incondicional y sacrificio constante de hacer lo imposible posible, fuente de esperanzas de un futuro mejor que acompañan las decisiones de mi vida, a mi **PADRE** Felipe Quispe Huamán, por sus sabios consejos; y a mi **HERMANA** Irma, quien estuvo presente cuanto más lo necesitaba.

AGRADECIMIENTO

A Dios todo poderoso que siempre estuvo presente, guiándome por buenos caminos de la vida y abriéndome oportunidades de seguir con este gran reto de la vida; a mi Madre que con sus bendiciones iluminan mi camino y por su apoyo incondicional, hacen posible el logro de mis objetivos y metas.

A la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco por ser el centro de mis conocimientos y formación adquirida, a toda la plana de docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas por sus sabias enseñanzas; Mgt. Florentino Yana Jahuirá por su orientación en la realización de este trabajo como asesor que sin su ayuda no hubiera sido posible el desarrollo de ésta Tesis.

Agradecer al personal de la minera las Bambas que labora en las operaciones de perforación y voladura; quienes me brindaron el apoyo y explicación sobre la situación real y la problemática que afronta más específicamente la actividad unitaria de voladura.

Del mismo modo un agradecimiento muy especial al Ing. Michael A. Cano Calderón un gran amigo quien en todo momento me ha tenido su apoyo y colaboración.

PRESENTACIÓN

Por lo dispuesto en el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Pongo a consideración de los señores miembros del Jurado el presente trabajo de Tesis intitulado. **“EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN LA VOLADURA DE ROCAS DE LA MINERA LAS BAMBAS – COTABAMBAS, APURÍMAC”**

El cual fue desarrollado como investigación propia, de ser observado, corregido y aprobado me permitirá optar al Título de Profesional de Ingeniero de Minas.

INTRODUCCIÓN

La investigación se basa del desempeño de la energía explosiva para lograr una óptima fragmentación y ver el efecto que genera en las operaciones unitarias de minado a través de la emulsión energética Fortis Extra (65/35), componente principal de Fortis Advantage (65/35, 70/30) matriz explosivo en comparación. La principal ventaja y motivo de investigación es su capacidad de gasificar a través de una reacción química, mayor poder energético y un mayor volumen de gases que las emulsiones actualmente utilizadas; poder analizar las ventajas operativas, utilidad y beneficios de su uso, sin necesidad de hacer los cambios reales, ahorrando dinero, recursos y tiempos operativos.

El presente trabajo de investigación está conformado por 5 capítulos. El primer capítulo presenta el diseño de la investigación; (1.1) tema de investigación / (1.2) problema objeto de investigación / (1.3) objetivos de la investigación / (1.4) justificación y delimitación de la investigación / (1.5), hipótesis / (1.6) diseño metodológico de la investigación.

En el segundo capítulo se describe el marco teórico y la revisión bibliográfica; (2.1) definición de los explosivos / (2.2) características de desempeño de la emulsión gasificable / (2.3) calidad de los humos / (2.4) doble primado / (2.5) detonador electrónico I-kon / (2.6) detonador no eléctrico Excel / (2.7) fuentes de la energía de los explosivos.

El tercer capítulo describe la situación actual del sistema, es decir se detalla; (3.1) descripción de MMG Limit – las Bambas Mining Company S.A / (3.2) la geología / (3.3) planeamiento mina / (3.4) gerencia de operaciones mina / (3.5) diseño de

parámetros para la voladura / (3.6) los procesos metalúrgicos que se tendrá para el tratamiento de los minerales.

El cuarto capítulo está referido a la metodología de evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada; (4.1) parámetros de evaluación / (4.2) evaluación de resultados línea base Fortis Advantage 65/35 y 70/30 / (4.3) evaluación de pruebas – Fortis Extra Gasificable 65/35 / (4.4) fragmentación y tasa de excavación (DIG-RATE).

El quinto capítulo desarrolla la evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas de la Cia. Minera las Bambas. Se detalla el análisis y procesamiento de los datos de los resultados del estudio; (5.1) descripción de la evaluación / (5.2) velocidad de detonación y densidad / (5.3) análisis de la fragmentación / (5.4) tasa de excavación (DIG-RATE) / (5.5) análisis económico / (5.6) implementación de Fortis Extra 65/35 gasificable / (5.7) proyección de ahorro / (5.8) medidas de control en la implementación y resultados.

Finalmente se detallan las conclusiones y recomendaciones. Así mismo las referencias bibliográficas y anexos luego del desarrollo del trabajo.

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el rendimiento de la emulsión gasificada Fortis Extra 65/35 y operativa de un nuevo tipo de emulsión en las operaciones de voladura primaria en la Minera Las Bambas, en comparación con el explosivo en actual uso Fortis Advantage (65/35 y 70/30) a base de emulsión matriz.

El explosivo Fortis Extra 65/35, posee una emulsión gasificable de mejor calidad en comparación con la emulsión matriz de Fortis Advantage (65/35 y 70/30) que se utiliza actualmente. La principal ventaja y motivo de investigación es su presión de detonación y capacidad de gasificar por la adición de un agente químico. Ello permite variar su densidad y como consecuencia variar la velocidad de detonación, poder rompedor y otras propiedades, dependiendo de las características del material.

Con este propósito, en el área de Perforación y Voladura se diseña un plan para determinar y cuantificar las posibles ventajas que presenta el nuevo producto. Se inicia con la calibración de los camiones fábrica, posteriormente se transporta los componentes principales en los diferentes compartimientos del camión para la mezcla óptima de la emulsión gasificable a la mina y finalmente se realiza las pruebas in situ para evaluar mediante los parámetros de estudio antes (propiedades del explosivo), durante (desempeño del explosivo) y después de la voladura (fragmentación y tasa de excavación). Estas pruebas son motivo del presente estudio.

El parámetro que se mide antes de la voladura es la densidad, un aspecto crítico para determinar los costos y la calidad del explosivo. Durante la voladura, se mide la velocidad de detonación que es el mejor parámetro que representa la calidad del explosivo en cuanto a poder rompedor. Finalmente, post voladura se analiza la fragmentación del mineral, presencia de gases (NO_x, CO) y lo más importante la tasa de excavación de los equipos de minado.

Tras realizar el análisis correspondiente se determina que el producto tiene ventajas desde el punto de vista económico y operativo. Se logra un ahorro importante sin afectar la tasa de excavación de los equipos de minado, además de eliminar la generación de gases nitrosos. En base a estos resultados, se implementa el uso de Frotis Extra 65/35 Gasificable en la Minera Las Bambas.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTO	3
PRESENTACIÓN	4
INTRODUCCIÓN	5
RESUMEN	7
CAPÍTULO I	24
DISEÑO DE LA INVESTIGACION	24
1.1. INTRODUCCIÓN	24
1.2. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN	25
1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	25
1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.2.2.1. PROBLEMA GENERAL	26
1.2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS	27
1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.3.1. OBJETIVO GENERAL	27
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	27
1.4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.4.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.4.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	28
1.5. HIPÓTESIS	28
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL	28
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	28
1.6. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	29
1.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	29
1.6.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	29
1.6.3. VARIABLES E INDICADORES	29
1.6.4. POBLACIÓN Y MUESTRA	30

CAPÍTULO II	33
MARCO TEORICO	33
2.1. EXPLOSIVOS	33
2.1.1. AGENTES DE VOLADURA	34
2.1.2. ANFO	34
2.1.3. EMULSIÓN EXPLOSIVA	39
2.1.4. ANFO PESADO	40
2.1.5. MEZCLA EXPLOSIVA GASIFICADO	43
2.1.5.1. SENSIBILIZANTES DE LAS MEZCLA AGRANEL	45
2.1.5.2. FABRICACIÓN DE FORTIS EXTRA GASIFICABLE	47
2.2. CARACTERISTICAS DEL DESEMPEÑO DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE	49
2.2.1. DENSIDAD DEL EXPLOSIVO	50
2.2.2. VELOCIDAD DE ONDA DETONACIÓN (VOD)	52
2.2.2.1. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN (VOD)	53
2.2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN MICROTRAP.	54
2.3. CALIDAD DE LOS HUMOS	55
2.4. DOBLE PRIMADO	56
2.5. DETONADOR ELECTRONICO I-KON	58
2.6. DETONADOR NO ELECTRICO EXCEL	60
2.7. FUENTES DE LA ENERGÍA DE LOS EXPLOSIVOS	61
2.7.1. ENERGÍA DE CHOQUE	61
2.7.2. ENERGÍA DE GAS	62
CAPÍTULO III	63
DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES DE LA MINERA LAS BAMBAS	63
3.1. ACERCA DE MMG LIMITED	62
3.1.1. DETALLLES DE LA TRANSACCIÓN	64

3.1.2. LA ORGANIZACIÓN DE LAS BAMBAS	66
3.1.3. HISTORIA	67
3.1.4. UBICACIÓN	68
3.1.5. ACCESIBILIDAD	68
3.1.6. CLIMA	69
3.2. GEOLOGÍA	69
3.2.1. GEOLOGÍA LOCAL	69
3.2.2. GEOLOGÍA REGIONAL	70
3.2.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA	72
3.3. PLANEAMIENTO MINA	74
3.4. GERENCIA DE OPERACIONES MINA	76
3.4.1. OPERACIONES MINA	77
3.5. DISEÑO DE PARÁMETROS PARA LA VOLADURA	84
3.5.1. CALCULO DE LOS PARAMETROS GEOMETRICOS DE DISEÑO	84
3.5.1.1. BURDEN (B)	83
3.5.1.2. ESPACIAMIENTO (S)	83
3.5.1.3. SOBRE PERFORACIÓN (J)	84
3.5.1.4. TAMAÑO ÓPTIMO DE MATERIAL DEL TACO (μ)	85
3.5.1.5. TACO (T)	85
3.5.1.6. LONGITUD DE PERFORACIÓN (L)	85
3.5.2. DISEÑO DE CARGAS	87
3.5.2.1. LONGITUD DE CARGA (LC)	87
3.5.2.2. DENSIDAD DE CARGA LINEAL (DCL)	87
3.5.2.3. CARGA TOTAL DE EXPLOSIVO (Q_i)	87
3.5.2.4. VOLUMEN ROTO (V)	87
3.5.2.5. TONELAJE ROTO (TN)	87
3.5.2.6. FACTOR DE CARGA (FC)	88

3.5.2.7.	FACTOR DE POTENCIA (FP)	88
3.5.2.8.	FACTOR DE ESPONJAMIENTO (FE)	88
3.5.2.9.	TOTAL, DE CARGA FINAL (Qf)	88
3.5.3.	DISEÑO DE VOLADURA CON SHOT PLUS	88
3.5.3.4.	CONSTRUCCIÓN Y DRENAJE	97
3.5.3.4.1.	CONSTRUCCIÓN	97
3.5.3.4.2.	DRENAJE DE PISTAS MINERAS	99
3.6.	PROCESOS METALÚRGICOS	99
	CAPÍTULO IV	101
	METODOLOGIA DE EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA	101
4.1.	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN	101
4.1.1.	MEDICIÓN DE DENSIDAD	102
4.1.2.	MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN (VOD)	106
4.1.3.	MEDICIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL	109
4.1.4.	MEDICION TASA DE EXCAVACIÓN (DIG – RATE)	113
4.2.	EVALUACIÓN DE RESULTADOS LINEA BASE FORTIS ADVANTAGE 65/35 Y 70/30	115
4.2.1.	LÍNEA BASE – FORTIS ADVANTAGE (65/35, 70/30)	116
4.2.2.	DENSIDAD Y VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN CON FA	116
4.2.3.	FRAGMENTACIÓN CON FA (65/35, 70/30)	116
4.2.4.	RESULTADOS DE TASA DE EXCAVACIÓN CON FA (65/35, 70/30)	117
4.3.	EVALUACIÓN DE PRUEBAS – FORTIS EXTRA GASIFICADO 65/35	118
4.3.1.	VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACION CON FEG (65/35)	121
4.3.1.1.	REGISTRO DE MEDICIONES DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACION CON FEG (65/35)	122
4.4.	FRAGMENTACIÓN Y TASA DE EXCAVACIÓN (DIG – RATE)	125
4.4.1.	FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL CON FEG (65/35)	126

4.4.2. RESULTADOS DE TASA DE EXCAVACIÓN CON FEG (65/35)	129
CAPÍTULO V	132
EVALUACIÓN DE RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN LA VOLADURA DE ROCAS DE LA MINERA LAS BAMBAS – COTABAMBAS, APURÍMAC	132
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACION	132
5.2. VELOCIDAD DE DETONACIÓN Y DENSIDAD	133
5.3. ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN	135
5.4. TASA DE EXCAVACIÓN (DIG – RATE)	144
5.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	147
5.6. IMLEMENTACION DE FORTIS EXTRA 65/35 GASIFICABLE	153
5.6.1. IMPACTO ECONOMICO DE MEJORAS	153
5.6.1.1. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO	153
5.7. PROYECCIÓN DE AHORRO	154
5.8. MEDIDAS DE CONTROL EN LA IMPLEMENTACIÓN	159
5.8.1. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	160
5.8.2. CONTRÓL DE LA CALIDAD	161
5.9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	163
CONCLUSIONES	163
RECOMENDACIONES	164
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	165
ANEXOS:	168

ÍNDICE DE TABLAS

0.1 Definición operacional de variables	30
0.2. Evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas de la minera las Bambas, Cotabambas - Apurímac.	32
2.1. Principales variantes de la mezcla explosiva ANFO pesado a base de emulsión matriz	40
2.2. Flujo de dosificación de nitrito de sodio para gasificar la mezcla explosiva energética Fortis Extra gasificable (asistencia técnica – OMS Las Bambas)	46
2.3. Rango de densidades para diferentes agentes de voladura (Konya, 1998)	52
2.4. Velocidad de detonación (VOD) para diferentes agentes de voladura (Konya, 1998)	53
3.1 Rutas de acceso a la mina las bambas	69
3.2 Equipos de perforación	79
3.3 Malla de perforación en mineral	80
3.4 Malla de perforación en desmonte (caliza)	80
3.5 Malla de perforación en desmonte (monzonita)	81
3.6 Diseño de carga explosiva para taladros de producción	83
3.7 Diseño de carga explosiva para taladros de pre corte, piloto y buffer	83
3.8 Capacidades de operación, pesos y dimensiones (Letourneau I2350)	95
3.9 Capacidades de operación, pesos y dimensiones (pala CAT 6060 FS)	95
3.10 Equipos de acarreo	96
3.11 Capacidades de operación, pesos y dimensiones (komat'su 930 E – 4SE)	97
3.12 Equipos auxiliares	98
4.1 Resultado de pruebas con Fortis Advantage (65/35, 70/30) a base de emulsión matriz, en densidad y vod para taladros con diámetros de 12 ¼"	116
4.2. Resultados de tasa de excavación en los diferentes proyectos detonados con Fortis Advantage a base de emulsión matriz	117
4.3. Densidad gasificada de fortis extra 65/35 a similitud de Fortis Advantage en base al rango de velocidad de detonación (VOD)	121

4.4. Resumen de resultados de VOD para taladros de diámetro 12 ¼ pulg. cargados con Fortis Extra 65/35 gasificable	125
4.5. Datos generales de los proyectos de voladura realizados y resultados de fragmentación de las pruebas obtenidas	129
4.6. Resultados de la tasa de excavación en proyectos detonados con el explosivo en prueba Fortis Extra 65/35 gasificable	130
5.1 Resumen de análisis de fragmentación en función de factor de carga	139
5.2 Evaluación de reporte humos en proyectos detonados con Fortis Advantage matriz y Fortis Extra Gasificable	143
5.3. Comparación del nivel de tasa de excavación de los equipos de minado en polígonos detonados con diferentes mezclas explosivas	144
5.4 Diferencia de tasa de excavación en porcentajes, proyectos detonados con las mismas condiciones operativas	146
5.5 Dimensiones geométricas de los taladros por zonas	148
5.6. Comparación económica entre Fortis Extra (65/35) gasificable versus Fortis Advantage (65/35, 70/30) matriz para taladros de Jahuaypalla baja	149
5.7. Ahorro determinado por taladro tras análisis económico para cada zona de la Mina - Tajo Ferrobamba	152
5.8. Numero de taladros proyectados de marzo a diciembre del 2017	156
5.9. Proyección de ahorro en el reemplazo de fa 65/35 y 70/30 matriz por el FE 65/35 gasificado, de marzo a diciembre del 2017 en el tajo Ferrobamba	156
5.10 Resumen del ahorro por taladro y proyección de taladros en diferentes condiciones de material	158

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Influencia del diámetro del taladro en la VOD	36
2.2. Efectos del contenido de FO en el ANFO	38
2.3. Incremento del nivel de energía en adición de aluminio	39
2.4. Composición básica de una emulsión	40
2.5. Estructura del ANFO pesado	41
2.6. Variación de la potencia, densidad y sensibilidad del ANFO pesado en base al porcentaje de emulsión	42
2.7. Velocidades de detonación con respecto al incremento del diámetro de carga Explosiva	43
2.8. Diseño de carga de taladros con ANFO pesado matriz y Fortis Extra gasificable 65/35	45
2.9. Sensibilización química catalizada por la generación de burbujas de N ₂	46
2.10. Cabina del operador con automatización del Software Problast (b1) y la unidad de fabricación móvil MMU (b2)	49
2.11. Equipo Microtrap	54
2.12. Escala visual de nivel de gases nitrosos Orica	56
2.13. Mecanismo de iniciación en el primado simple y doble	57
2.14. Análisis estructural de daño provocado por la interacción de primas dentro del taladro	58
2.15 Elementos que componen el sistema de iniciación electrónico de voladura i- kon	59
2.16 Detonador no eléctrico Excel	60
2.17 Transmisión de la señal de iniciación en el interior del tubo Excel	61
3.1 MMG Limited en el mundo	64
3.2 Los valores de MMG Limited	66

3.3 Gerencias de la minera las Bambas	66
3.4 Ubicación geográfica de la minera las Bambas	68
3.5 Cronoestratigrafía generalizada del distrito minero las Bambas	71
3.6 Etapas de la planificación minera	75
3.7 Ancho de rampas minera las Bambas	75
3.8 Ancho mínimo de minado de palas	76
3.9 Diagrama de flujo en etapa de construcción	77
3.10 Diagrama de flujo en fase de producción	78
3.11. Equipos de perforación eléctrica marca P&H 320XPC y CAT 6640 md	81
3.12 Perforadoras primarias 12 ¼" de diámetro de taladro	82
3.13 Diseño de carga planeada y ejecutado, doble iniciación electrónico con booster de 2 lb	86
3.14 Diseño de secuencia de voladura	89
3.15 Distribución de la energía explosiva por taladro.	90
3.16 Cálculo de la carga máxima instantánea o carga operante.	91
3.17. Reporte de blaster 2400r	91
3.18 Imagen pre voladura	92
3.19. Secuencia de salida	92
3.20. Imagen post voladura	93
3.21 Camión fábrica para el carguío de explosivos a los taladros	94
3.22 Carguío: cargador Letourneau al camión komat'su 930E – 4SE	96
3.23 Equipos de acarreo: camión komat'su 930E – 4SE	98
3.24 Mantenimiento de vías y accesos	99
3.25 Pendiente transversal para un fácil drenado en superficies con reducida resistencia a la rodadura adecuada de 2cm/m	99

4.1. Fotografía de Fortis Advantage a base de emulsión matriz	102
4.2. Se aprecia un escurrimiento aceptable, formación de cristales nula y valores de medición aceptables	103
4.3. Medición de densidad in-situ y ph de Fortis Extra gasificable	104
4.4. Materiales necesarios para la medición de densidad, viscosidad y grado de acides	105
4.5 Método de medición de vod (modificado de Orica)	106
4.6 Instalación del probecable resistivo (verde) junto al booster de 2lb y sistema de iniciación	1068
4.7. Resultados de una medición de vod (operaciones mina P&V – minera las Bambas)	107
4.8. Portametricstm, para el análisis de la fragmentación	108
4.9. Interfaz de toma de imagen intuitiva en 3d	111
4.10. Cuadros de visor de imágenes, ajuste de región, edición de fragmentación y resultados de análisis de la fragmentación	112
4.11. Registro de medición vod data Microtrap	122
4.12. Registro de medición vod data Microtrap	123
4.13. Registro de medición vod data Microtrap	123
4.14. Registro de medición vod data Microtrap	124
4.15. Registro de medición vod data Microtrap	124
4.16. Resumen de análisis granulométrico data Portametrics	126
4.17. Resumen de análisis granulométrico data Portametrics	127
4.18. Resumen de análisis granulométrico data Portametrics	128
4.19. Resumen de análisis granulométrico data Portametrics	128
5.1. Fragmentación línea base con Fortis Advantage matriz	136

5.2. Frente de minado pala 2 – Jahuypalla baja, fragmentación con Fortis Extra gasificable	137
5.3. Perfil de fragmentación garantizando el índice de confianza del P80	137
5.4. Parámetros a controlar en el aseguramiento de la calidad	161
5.15. Parámetros a controlar en el control de calidad	162

ÍNDICE DE GRÁFICOS

3.1. Tipos de materiales en Las Bambas	73
4.1. Medida del tiempo de gasificación del explosivo Fortis Extra 65/35, para diferentes camiones fábrica	119
4.2. Variación de la densidad vs tiempo de gasificado, antes de tapan el taladro con el material de taco	120
5.1. Pruebas de mediciones de VOD y densidad para Fortis Advantage (65/35) y Fortis Extra gasificable (65/35)	134
5.2 Pruebas de mediciones de VOD y densidad para Fortis Advantage (70/30) y Fortis Extra gasificable 65/35	135
5.3. Análisis económico en base a la calidad de la fragmentación	138
5.4 Porcentaje de finos pre y post Fortis Extra gasificable	140
5.5. Evaluación de taladros con presencia de humos naranja	141
5.6 Análisis estadístico porcentual de la tasa de excavación de los equipos de minado	146
5.7 Análisis de costo por metro lineal (\$/m) para diseño operativo de taladros de la zona de Jahuaypalla baja	150
5.8 Análisis de costo por taladro (\$/tal) para la zona de Jahuaypalla baja	151
5.9 Proyección de ahorro por el remplazo de FA 65/35 y 70/30, para cada zona de La Mina – Tajo Ferrobamba	157
5.10 Distribución del ahorro total en porcentaje según el material duro sin agua y con agua	157

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

2.1. Clasificación de los explosivos industriales	34
3.1 Organigrama de la gerencia de Operaciones Mina	77

ÍNDICE DE CUADROS

4.1 Descripción de las partes principales del equipo Portametrics	110
4.2 Descripción de la pantalla visor de imágenes	111

DEFINICIÓN DE ABREVIATURAS

KPI: Indicador clave de desempeño

MMG: Minmetals Global

MMU: Móvil Manufacturing Unity (unidad de fabricación móvil)

tn/hra: Toneladas por hora

ANE: Emulsión de Nitrato de Amonio

AN: Nitrato de Amonio

APD: Alta presión de detonación

TNT: Tri Nitro Tolueno

VOD: Velocidad de onda de detonación

FC: Factor de carga (Kg/m^3)

FP: Factor de potencia (Kg/tn)

FEG/ FA: Fortis Extra Gasificable/ Fortis Advantage.

IIMP: Instituto de Ingenieros de Minas del Perú

DIG-RATE: Tasa de excavación

P80: Pasante del 80% de una malla.

Target: Pronostico

Q-34: Equipo Quadra-34.

Stakeholders: Grupos de interés.

ANFO: (Ammonium Nitrate + Fuel Oil)

Fly rock: Proyección aérea de roca.

ETEEG: Estudio técnico económico de emulsión gasificada – tesis UNI.

BUCK UP: Detonador no eléctrico de respaldo.

PERVOL: Perforación y voladura.

HSDM: Hoja de datos de seguridad de materiales.

CAPÍTULO I

DISEÑO DE LA INVESTIGACION

1.1. INTRODUCCIÓN

La voladura en las minas se simplifica normalmente a un ciclo de diseño, medición y comparación. Sin embargo, actualmente este es un proceso reiterativo e interactivo, con constantes evaluaciones a través de indicadores de gestión y medición del desempeño.

Si bien es cierto existen parámetros que están fuera de nuestro control, como son los precios de los metales, existen otros que, si podemos manejarlos, y en este sentido la optimización de nuestras operaciones está regido por el manejo de nuestros costos, por lo que el presente trabajo de investigación trata de minimizar los costos que se presentan en voladura los cuales son usados día a día en la industria minera.

El presente estudio busca evaluar el rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas, mediante las pruebas industriales realizadas por asistencia técnica en la minera Las Bambas. Para tal efecto se despacha camiones fabrica y contenedores de solución Gasificable.

1.2. PROBLEMA OBJETO DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fragmentación de la roca, hoy en día debido a los elevados costos de energía eléctrica, así como el incremento de las materias primas como el petróleo, nitrato de amonio, emulsión y nitrito de sodio nos obliga a que sea un punto crítico del ciclo minero. Así mismo el incremento de los costos en minería y caída de los precios de los minerales metálicos nos exige aprovechar los recursos con los que contamos. Para alcanzar el mineral es necesario remover grandes cantidades de desmonte, material estéril o mineral de baja ley, para lo que se destina usualmente mucha mayor cantidad de recursos, en especial palas y camiones.

La misión específica de la voladura de rocas es utilizar explosivos apropiados de acuerdo a la calidad de la roca, y la de precondicionar la roca, sea mineral o estéril, para su posterior tratamiento, de la forma más económica para el negocio global de la compañía.

Por otro lado, la calidad de fragmentación y uniformidad del material volado se relaciona con el DIG-RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado, lo cual es un indicador representativo del performance de la voladura.

Minera las Bambas en la búsqueda de optimizar sus operaciones unitarias e innovar su voladura con la aplicación de nuevas tecnologías en explosivos viene realizando diversas pruebas de campo con la mezcla explosiva Gasificable Fortis Extra 65/35 para optimizar la voladura y lograr una calidad en fragmentación y ahorro energético en los procesos de chancado y molienda.

1.2.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿En qué medida el rendimiento de la Emulsión Gasificada mejorará los resultados de la voladura de rocas en la Minera las Bambas?

1.2.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

1. ¿Cómo evaluar el rendimiento de la Emulsión Gasificada para obtener los mejores resultados en la voladura?
2. ¿Qué medidas de mejora se generará con la utilización de la Emulsión Gasificada para no alterar el DIG-RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado?
3. ¿Cuán determinante es la presencia de agua estática y dinámica en los taladros de perforación para evaluar el comportamiento de la Emulsión Gasificada?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el rendimiento en la utilización de la Emulsión Gasificada para obtener mejores resultados en el proceso de voladura de rocas en la Minera las Bambas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar el rendimiento de la Emulsión Gasificada a través de pruebas de asistencia técnica que permitan generar resultados óptimos en el proceso de voladura.
2. Mejorar el grado de fragmentación de material disparado a fin de incrementar DIG – RATE (Tasa de excavación) de los equipos de minado.
3. Emplear la Emulsión Gasificada a fin de encontrar el equilibrio en balance de oxígeno para eliminar los gases nitrosos en taladros con agua.

1.4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Evaluar el rendimiento de la emulsión gasificada para el análisis y mejoramiento de los resultados de la voladura de rocas atribuidas a una calidad en la fragmentación, será un apoyo en la toma de las decisiones futuras.

De acuerdo a las pruebas y recolección de la información de resultados se podrá analizar, que al emplear la emulsión gasificada Fortis Extra 65/35 se reducen los

gases nitrosos en taladros con agua, lo cual será un gran aporte para los aspectos Medio Ambiental y Social.

Las personas encargadas de la toma de decisiones, generalmente se basan en la experiencia y la intuición. La utilización del software SHOTplus II y PortaMetrics™ como herramienta de simulación y análisis de fragmentación respectivamente, se muestra como apoyo que auxilie a los encargados a la toma de decisiones.

1.4.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio de la investigación se circunscribe en la evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada en la voladura de rocas que se realiza en minería a cielo abierto, más específicamente para la Minera las Bambas.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Evaluando el rendimiento en la utilización de la Emulsión Gasificada se logrará obtener mejores resultados en la voladura de rocas de la Minera las Bambas.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. A través de pruebas de asistencia técnica permitirán entender el comportamiento de la Emulsión Gasificada en los resultados de la voladura.
2. Utilizando la Emulsión Gasificada se logrará desarrollar alternativas de mejora en el DIG – RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado.

3. La utilización de la Emulsión Gasificada en taladros con agua, permitirá identificar puntos críticos y establecer controles de calidad para asegurar el desempeño del explosivo en la voladura.

1.6. DISEÑO METODOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que caracteriza al presente proyecto es el Descriptivo y Analítico, pues se hará un diagnóstico del proceso de voladura en la Minera las Bambas, a través de la evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada y desarrollar pruebas técnicas que permitirán mejorar las operaciones de carguío de explosivos a los taladros.

1.6.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación empleado para el presente trabajo de investigación es el Método de Modelos Cuantitativos – Analíticos, porque en la explicación y desarrollo del estudio se requiere revisar ordenadamente cada uno de los elementos del problema por separado, para luego identificar la relación existente entre las mismas.

1.6.3. VARIABLES E INDICADORES

Las variables del trabajo se identifican en la **Tabla n°01**.

TABLA N°01. Definición operacional de variables

VARIABLES	INDICADORES
<p>Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rendimiento de la Emulsión Gasificada. 	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de fragmentación (P80).
<p>Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de agua en los taladros - Velocidad de detonación (VOD) - Características de la emulsión gasificada - Características geomecánicas de la roca 	<ul style="list-style-type: none"> - Metros de agua por taladro (m/tal) - Metros por segundo (m/s) - Densidad, viscosidad y temperatura. - Dureza, abrasión, densidad.

Fuente: Elaboración propia

1.6.4. POBLACIÓN Y MUESTRA

POBLACION

Se ha elegido a la Minera las Bambas (Cotabambas - Apurímac) como población absoluta de datos para la información correspondiente, más específicamente la operación unitaria de voladura, siendo N=100 proyectos a disparar.

MUESTRA

la recolección de la información se realiza a través de las diferentes fuentes y datos proporcionados de operación actual, datos históricos provenientes de reportes de producción, informes y ensayos técnicos realizados por la Empresa ORICA MINING SERVICES PERÚ S.A., ejecutor de la voladura. La muestra se tomará de proyectos disparados con sistema de iniciación electrónico para taladros cargados y disparados con el explosivo Fortis Extra 65/35 Gasificable.

Dentro de la recolección de datos un aspecto a tomar en cuenta es la determinación de tamaño de muestra mínimo a recolectar para proporciones $N \leq 1500$, el cual nos asegure un cierto nivel de confiabilidad y certeza.

Para determinar el tamaño de muestra “n” necesario para estimar los proyectos disparados podemos utilizar la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 N p (1 - p)}{E^2 (N - 1) + Z^2 p (1 - p)}$$

Siendo, Z=Nivel de confianza de 2.576, N=población, P=Probabilidad de éxito que varía de 0.5 – 0.95 y el error permisible E= 5% - 10%, para el presente trabajo de investigación se trabaja con 99% de nivel de confianza, con una significancia de 0.01.

Para N=100 proyectos por disparar con Fortis Extra 65/35. E=10%, Z=2.576 y p=0.99, obtenemos un tamaño de la muestra n=6 proyectos disparados.

De acuerdo al cálculo realizado se determinó que el número mínimo de muestra es de 6 proyectos de voladura disparados, es decir se analizara aquellos proyectos disparados con el explosivo Fortis Extra 65/35 Gasificable para obtener los resultados de calidad en fragmentación.

TABLA N° 02. Evaluación del rendimiento de la Emulsión Gasificada en la Voladura de Rocas de la Minera las Bambas, Cotabambas - Apurímac.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	HIPOTESIS DE LA INVESTIGACION	VARIABLES	INDICADORES
<p>A.- PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿En qué medida el rendimiento de la Emulsión Gasificada mejorará los resultados de la voladura de rocas en la Minera las Bambas?</p> <p>B.- PROBLEMAS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo evaluar el rendimiento de la Emulsión Gasificada para obtener los mejores resultados en la voladura? - ¿Qué medidas de mejora se generará con la utilización de la Emulsión Gasificada para no alterar el DIG-RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado? - ¿Cuán determinante es la presencia de agua estática y dinámica en los taladros de perforación para evaluar el comportamiento de la Emulsión Gasificada? 	<p>A.- OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar el rendimiento en la utilización de la Emulsión Gasificada para obtener mejores resultados en el proceso de voladura de rocas de la Minera las Bambas.</p> <p>B.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar el rendimiento de la Emulsión Gasificada a través de pruebas de asistencia técnica que permitan generar resultados óptimos en el proceso de voladura. - Mejorar el grado de fragmentación de material disparado a fin de incrementar DIG – RATE (Tasa de excavación) de los equipos de minado. - Emplear Emulsión Gasificada a fin de encontrar el equilibrio en balance de oxígeno para eliminar los gases nitrosos en taladros con agua. 	<p>A.- HIPOTESIS GENERAL</p> <p>Evaluando el rendimiento en la utilización de la Emulsión Gasificada se logrará obtener mejores resultados en la voladura de rocas de la Minera las Bambas.</p> <p>B. HIPOTESIS ESPECÍFICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> - A través de pruebas de asistencia técnicas permitirá entender el comportamiento de la Emulsión Gasificada en los resultados de la voladura. - Utilizando la Emulsión Gasificada se logrará desarrollar alternativas de mejora en el DIG – RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado. - La utilización de la Emulsión Gasificada en taladros con agua permitirá identificar puntos críticos y establecer controles de calidad para asegurar el desempeño de explosivo en la voladura. 	<p>A.- VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Rendimiento de la Emulsión Gasificada.</p> <p>B.- VARIABLES INDEPENDIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Presencia de agua en los taladros - Velocidad de detonación (VOD) - Características de la emulsión gasificada - Características físicas de la roca 	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de Fragmentación P80 - Metros de agua por taladro (m/tal) - Metros por segundo (m/s) - densidad, viscosidad, temperatura. - Dureza, abrasión, densidad.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. EXPLOSIVOS

Los explosivos son compuestos o mezclas de sustancias en estado sólido, líquido o gaseoso, que mediante una reacción química exotérmica en un instante de tiempo (microsegundos), libera toda la energía que contiene en forma de gases, sonido y calor de una manera violenta, transformándose en otras sustancias más estables generalmente en gases y vapor de agua.

Los productos de la reacción son predominantemente gases a gran presión, los que, al expandirse por altas temperaturas producidas, efectúan un trabajo mecánico. En la industria minera, la voladura es un método más productivo para la excavación en roca dura.

Los explosivos químicos se clasifican en base a sus distintas características o aplicaciones. Para esta investigación se tiene el siguiente **Diagrama n°2.1** que muestra la clasificación de explosivos de uso industrial, los cuales son de aplicación en minería.

DIAGRAMA N°2.1. Clasificación de los explosivos industriales



Fuente: Manual de voladura (EXSA).

2.1.1. AGENTES DE VOLADURA.

Los agentes de voladura son mezclas explosivas que tienen como ingrediente un oxidante y un combustible, estos agentes no son sensibles al fulminante N°8, por lo que necesitan un cebo reforzado o primer (Booster) para iniciar su detonación. No obstante que ninguno de sus ingredientes son explosivos, cuando ellos no han sido mezclados; pueden ser sensibilizados lo suficiente para poder convertirse en altos explosivos desarrollando un trabajo útil, en el estricto sentido de arranque y fragmentación de la roca. Es por ello que los agentes de voladura son ampliamente utilizados en minería a tajo abierto por su gran poder rompedor y su bajo costo.

2.1.2. ANFO.

En 1947 tuvo lugar una desastrosa explosión de Nitrato Amónico en Texas City (Estados Unidos), ya que esa sustancia se había intentado proteger con parafinas, y sólo el 1 % de ésta ya constituía un buen combustible sensibilizante

del Nitrato de Amonio. El contenido de combustible juega un papel importantísimo sobre las diferentes propiedades del ANFO. La reacción de descomposición del sistema equilibrado en balance de oxígeno se puede expresar por:



El ANFO es una mezcla balanceada entre nitrato de amonio poroso y combustible diésel N°2, el nitrato de amonio es una sal inorgánica formado por iones de nitrato y amonio. Se obtiene por neutralización de ácido nítrico con amoniaco, tras la evaporación del agua.

Entre sus aplicaciones, el nitrato de amonio se utiliza como fertilizante de larga duración, por su buen contenido en nitrógeno. El nitrato es aprovechado por las plantas, mientras que el amonio es oxidado por los microorganismos en el suelo. Se emplea además como explosivo, al mezclarse con petróleo (mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos y aromáticos de fórmula química CH_2), mezcla denominada ANFO (Ammonium Nitrate + Fuel Oil). Actúa como oxidante, aportando el oxígeno necesario para la reacción de detonación. La densidad media es 0.735 a 0.744 gr/cm^3 ; los prills deben absorber al menos un 6% de FO en peso, siendo las mejores calidades en absorción consistente mayores al 11.5% de FO, propiedades importantes como la porosidad presente del 10 a 15%, concentración película fina de Nitrato de Amonio en solución 95.8 – 96.20%, agente antiaglomerante (Lilamin AC 83P) como recubrimiento interno y externo de 0.18 – 0.20 %, fragilidad mínima de 450 - 530 $gr/fuerza$, humedad 0.08 – 0.18%, etc. El ANFO tiene una energía efectiva relativa de 2.30 MJ/kg a una densidad de 0.80 gr/cm^3 tomando en consideración factores que influyen en el desempeño en

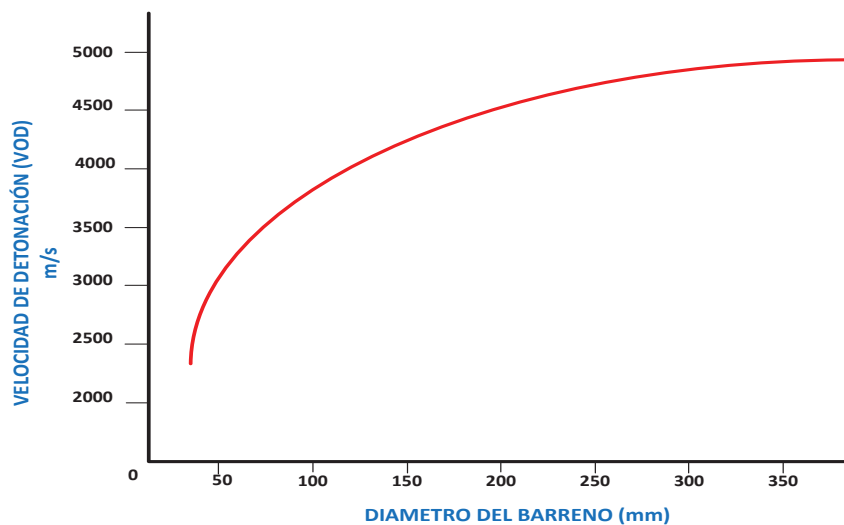
un taladro, tales como diámetro de barreno, tipo de roca y características de comportamiento de la reacción del explosivo y cálculos que usan una presión de corte de 100Mpa.

El ANFO es un agente de voladura muy eficiente y económico (Konya, 1998) de alta energía de gas, mezcla de una composición de 94% de nitrato de amonio y 6% combustible diésel N°2, su principal desventaja es su nula resistencia al agua e higroscópico frente a la humedad del medio ambiente, por lo que su almacenamiento debe ser en lugares apropiados.

Una de las propiedades del ANFO es su densidad, al incrementar su densidad se produce un aumento de su velocidad y una disminución de su sensibilidad hasta llegar a ser insensible a los 1.20 gr/cm³, indica su densidad crítica. El diámetro de la columna explosiva afecta sensiblemente la velocidad de detonación, incrementándose a partir de su diámetro crítico hasta tomar una velocidad constante más allá de los 12", lo cual se ve representada en el siguiente **Figura**

2.1.

FIGURA N°2.1. Influencia del diámetro del taladro en la VOD.



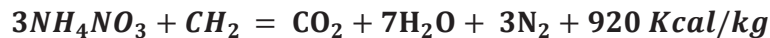
Fuente: López Jimeno 2003.

El contenido de FO (diésel) es un ingrediente importante en el ANFO, la **Figura n°2.2** se ilustra el impacto del porcentaje de FO en el rendimiento de la energía del ANFO. La energía óptima y máxima se alcanza cuando el NA y FO están en “balance de oxígeno cero”. Si el volumen de FO se desvía del óptimo, la energía decae, la detonación también y produce una mayor cantidad de gases tóxicos.

Todo explosivo debe tener como resultado lo siguiente:



La siguiente ecuación representa la proporción óptima de los componentes del ANFO.



Se consideran los pesos atómicos de:

N: 14.00; O: 15.99; H: 1.00; C: 12.01

Se obtendrá los siguientes pesos moleculares:

$$3\text{NH}_4\text{NO}_3 = 3(2 \times 15.99 + 4 \times 1.00 + 3 \times 15.99) = 240.13 \text{ gr/mol}$$

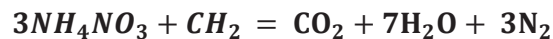
$$\text{CH}_2 = 12.01 + 2 \times 1.00 = 14.03 \text{ gr/mol}$$

$$\text{CO}_2 = 12.01 + 2 \times 15.99 = 44.01 \text{ gr/mol}$$

$$7\text{H}_2\text{O} = 7 \times (2 \times 1.00 + 15.99) = 126.11 \text{ gr/mol}$$

$$3\text{N}_2 = 3 \times (2 \times 14.00) = 84.04 \text{ gr/mol}$$

Ingredientes/Explosivo = Producto



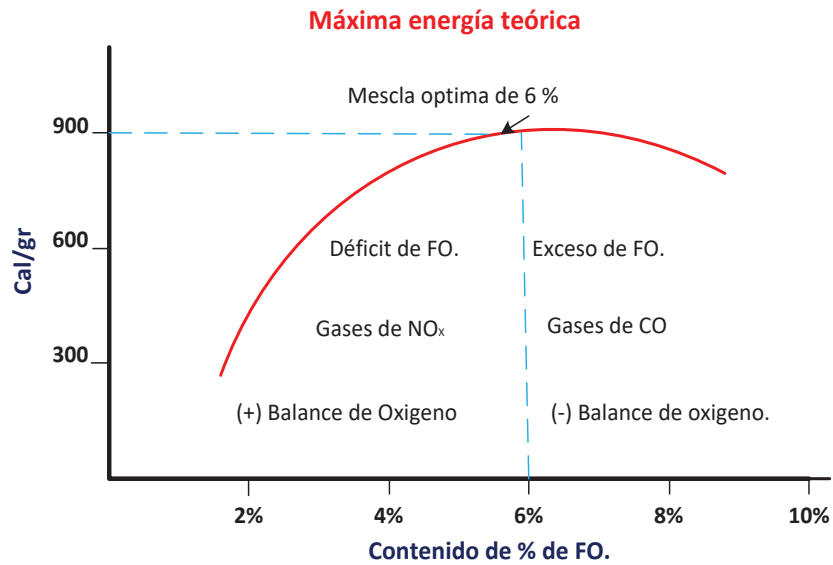
$$254.16 \text{ gr/mol} = 254.16 \text{ gr/mol}$$

Entonces se tendrá que:

$$3\text{NH}_4\text{NO}_3 = \frac{240.13 \frac{\text{gr}}{\text{mol}} \times 100\%}{254.16 \text{ gr/mol}} = 94\%$$

$$\text{CH}_2 = 6\%$$

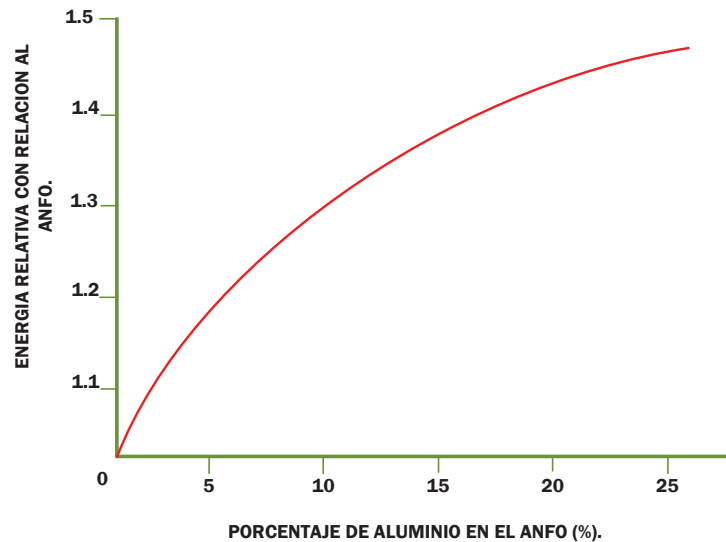
FIGURA N°2.2. Efectos del contenido de FO en el ANFO



Fuente: López Jimeno, 2003.

Debido a que el ANFO tiene características tanto en velocidad de detonación, poder rompedor, energía y densidad baja, son mezclados con pequeños porcentajes de ALUMINIO en polvo para dar al explosivo una mayor potencia; los porcentajes de ALUMINIO van desde los valores de 5, 10, 15, 20 hasta un máximo de 25% en peso, a partir de la cual la energía comienza a decaer, debido a la formación de trióxido de dialuminio sólido que adsorbe cierta cantidad de energía disponible. Lográndose una mezcla llamada ANFO ALUMINIZADO, este tipo de explosivo es utilizado en cargas de fondo donde se necesita una mayor potencia de la carga explosiva en el pozo. Siendo el aluminio un combustible altamente energético que incrementa la liberación de energía, en forma de temperatura y presión de detonación. En la siguiente **Figura n°2.3** se muestra la relación de la energía desarrollada a efecto de la adición del porcentaje de ALUMINIO en la mezcla de ANFO.

FIGURA N°2.3. Incremento del nivel de energía en adición de aluminio.



Fuente: Manual de voladura de López Jimeno 2003.

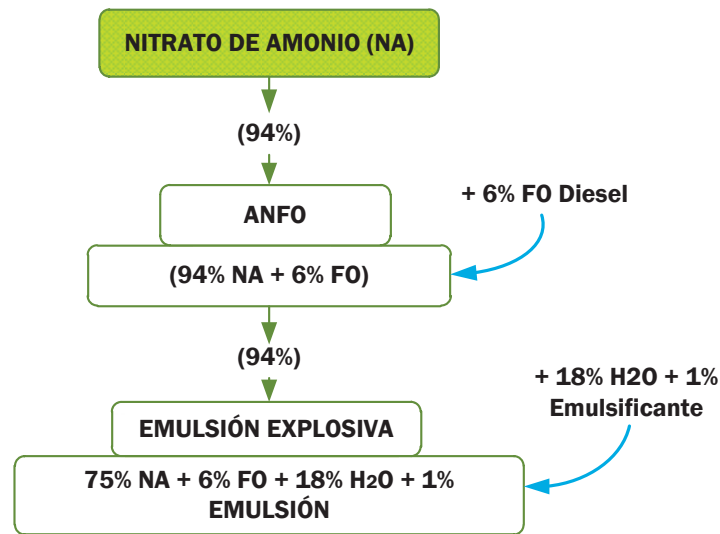
2.1.3. EMULSIÓN EXPLOSIVA

Las emulsiones explosivas son mezclas estables de un líquido inmisible disperso en otro denominado “Agua en aceite” en la que la fase aceitosa está compuesta por un combustible líquido inmisible con el agua del tipo hidrocarbonado, comúnmente diésel n°2 y una fase acuosa de sales inorgánicas oxidantes disueltas en agua. No pierden sus propiedades en contacto con el agua.

Carecen de un elemento explosivo en su composición y deben ser sensibilizadas mediante 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. Siendo estos agentes (microesferas de vidrio, Nitrito de Sodio, ANFO, etc.). Para detonar, requieren ser iniciadas con un cebo de alta presión de detonación (Booster, emulsión sensibilizada encartuchada)

La dificultad de fabricación de las emulsiones se encuentra en la fase aceitosa, pues, por imperativo del balance final de oxígeno, el 6 % en peso de la emulsión, que es el aceite, debe englobar al 94 % restante que se encuentra en forma de microgotas.

FIGURA N°2.4. Composición básica de una emulsión

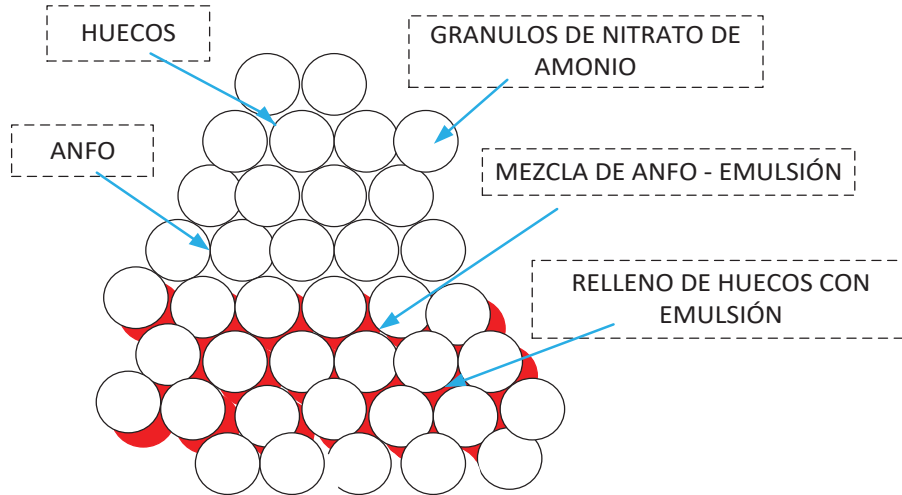


Fuente: ETEEG

2.1.4. ANFO PESADO

El ANFO pesado es una combinación de perlas de Nitrato de amonio, diésel y cuyos intersticios están rellenos por una emulsión matriz. La ventaja de las mezclas de ANFO pesado es que se puede hacer y cargar fácilmente a los taladros. La proporción en las cantidades en suspensión y ANFO puede ser cambiada y obtener ya sea un explosivo con mayor energía o uno que sea resistente al agua. La **Figura n°2.5** muestra la estructura del ANFO pesado en donde la emulsión envuelve los prills de ANFO, formando una matriz energética.

FIGURA N°2.5. Estructura del ANFO Pesado



Fuente: ETEEG.

Existen diversas mezclas de ANFO pesado utilizados en diversas faenas mineras, se describe en la siguiente **Tabla n°2.1**, incluyendo su densidad, VOD y capacidad de resistencia al agua cargado dentro del taladro.

TABLA N°2.1. Principales variantes de la mezcla explosiva ANFO pesado a base de emulsión matriz.

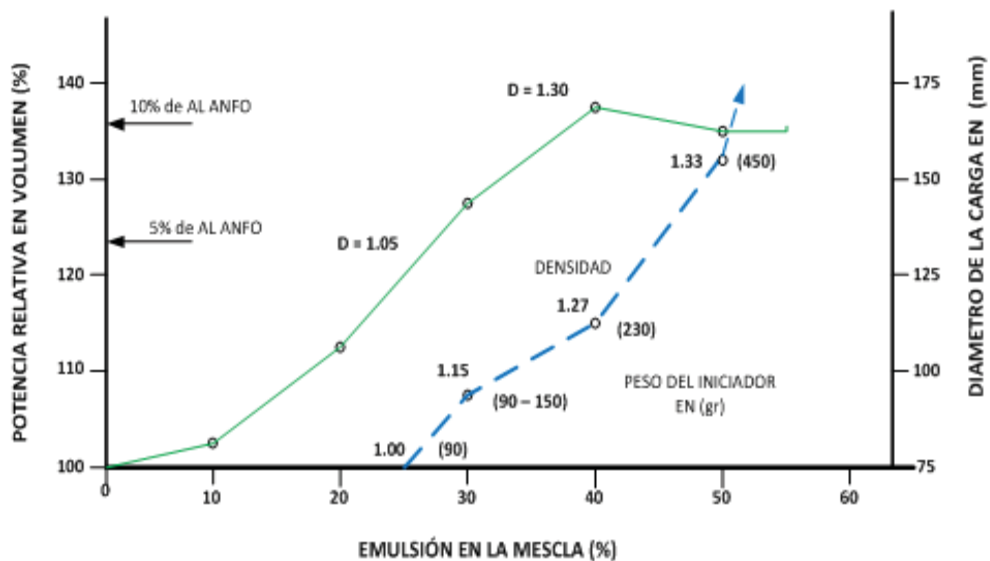
MEZCLA EXPLOSIVA	DENSIDAD (gr/cc)	VOD (m/s)	RESISTENCIA AL AGUA
HA – 45/55	1.06 (± 0.01)	5100 - 5300	baja
HA – 60/40	1.27 (± 0.01)	5200 - 5400	Buena
HA – 70/30	1.30 (± 0.01)	4400 - 4800	Excelente

Fuente: Manual de voladura EXSA SA.

Los rangos de velocidades operacionales son para taladros de 12 ¼" de diámetro.

Las diferentes mezclas del ANFO pesado son preparadas in-situ mediante las unidades de fabricación móvil (MMU), a medida que aumenta la proporción de emulsión (y disminuye la proporción de ANFO) se reduce la sensibilidad de la mezcla, debido a que los puntos calientes “hot spots” se encuentran en el nitrato poroso del ANFO, en cuanto a la energía relativa en volumen (ANFO=100) se llegó a determinar que a un nivel del 40% de emulsión y una densidad equivalente de 1.30 gr/cm³ la potencia deja de aumentar creando un punto de declive, en donde la sensibilidad disminuye siendo necesario cada vez un iniciador de mayor peso. Para una mezcla explosiva cuya densidad promedio de 1.34 gr/cm³ se necesita un BOOSTER de 450gr (1Lb) como iniciador de alto poder PENTOLITA (pentrita + TNT).

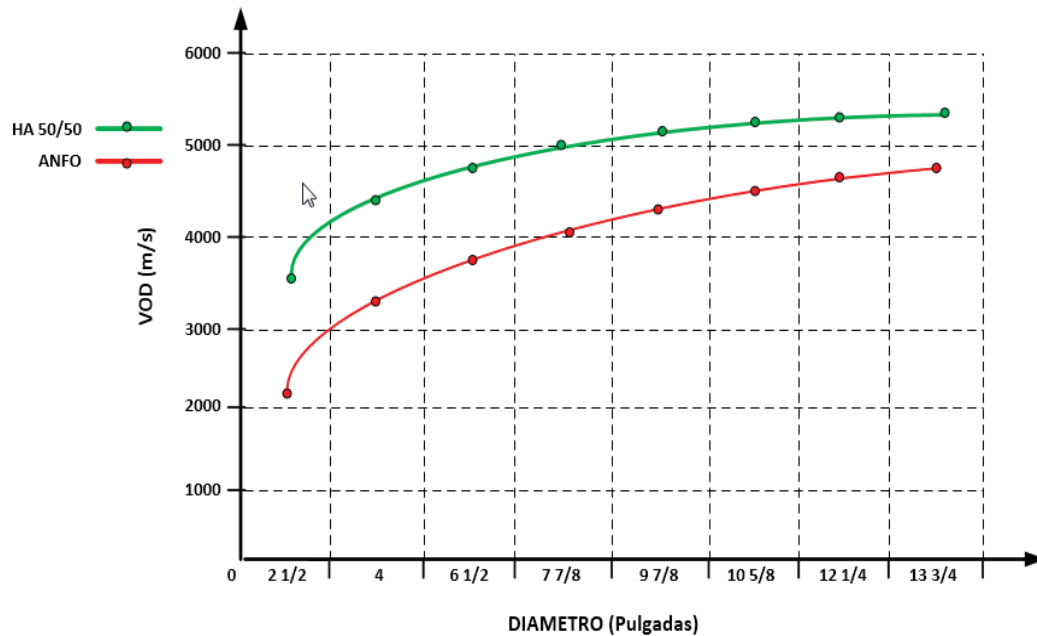
FIGURA N°2.6. Variación de la potencia, densidad y sensibilidad del ANFO pesado en base al porcentaje de emulsión.



Fuente: Bampfield y Morrey, 1984.

En la **Figura n°2.7** nos muestra las velocidades de detonación desarrolladas por los siguientes agentes de voladura con respecto al diámetro del taladro, de un ANFO normal y un Heavy ANFO, lográndose las mejores velocidades a medida que aumenta el diámetro a partir de un diámetro crítico hasta las máximas velocidades alcanzadas en diámetros de 12 ¼”

FIGURA N°2.7. Velocidades de detonación con respecto al incremento del Diámetro de carga.



Fuente: Manual de voladura, R. Ash, 1977.

2.1.5. MEZCLA EXPLOSIVA GASIFICADO

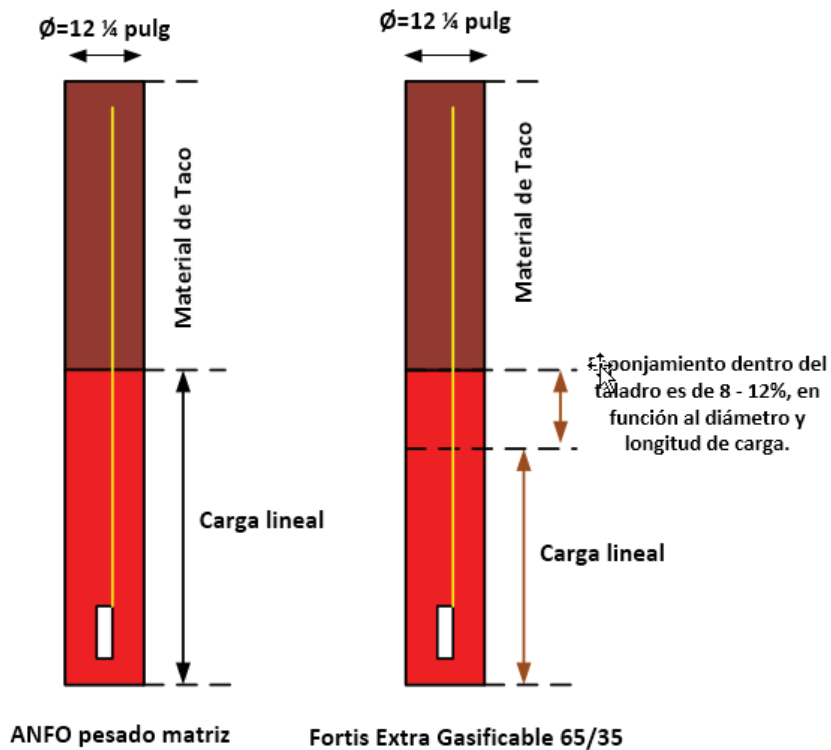
El proceso de fabricación de los principales productos explosivos a granel, consta de dos ingredientes; de gránulos de Nitrato de Amonio (AN) y Emulsión de Nitrato de Amonio (ANE), que son usados uno de estos productos a una combinación de ellos con el fin de sensibilizar el producto. También se pueden utilizar otros

ingredientes como es el combustible derivado del petróleo (diésel), solución gasificadora, solución complementaria, poliestireno y Aluminio.

En las operaciones de superficie, los gránulos de nitrato de amonio y la emulsión de nitrato de amonio se mezclan en proporciones diferentes para crear explosivos a granel que son resistentes al agua y mucho más potentes que el ANFO. Se pueden añadir sensibilizante, a base de Nitrito de sodio siendo una solución complementaria o solución gasificadora, reaccionando los Nitritos con los Nitratos (sales) gracias a la adición de un catalizador ácido acético (favorece la reacción química) y así formar pequeñas burbujas de gas nitrógeno en la matriz, las cuales actúan en forma de hot spots. Ello permite modificar su densidad según la cantidad del agente gasificante que se dosifique en la mezcla explosiva.

Esta evaluación solo se enfocará en la mezcla explosiva Fortis Extra Gasificable (65/35), utilizado en barrenos de superficie secos, con agua o desaguados (bombeo) con intervalo de potencia relativa en volumen o en sus siglas en inglés Relative bulk strength (RBS) de 189 – 200% y Fortis Advantage (65/35, 70/30) utilizado en barrenos de superficie secos, con agua y desaguados, con Intervalo de potencia relativa en volumen (RBS) de 156 – 182%. La siguiente **Figura n°2.8** muestra un taladro cargado con ANFO pesado (70/30) a base de emulsión matriz, cuya carga lineal no varía debido a que su densidad es constante y Fortis Extra Gasificable 65/35 (65% emulsión, 35% ANFO) a base de emulsión Gasificable, cuya densidad de la carga lineal varía en función al porcentaje de nitrito de sodio que se adiciona.

FIGURA N°2.8. Diseño de carga de taladros con ANFO pesado matriz y Fortis Extra Gasificable 65/35.



Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa OMS.

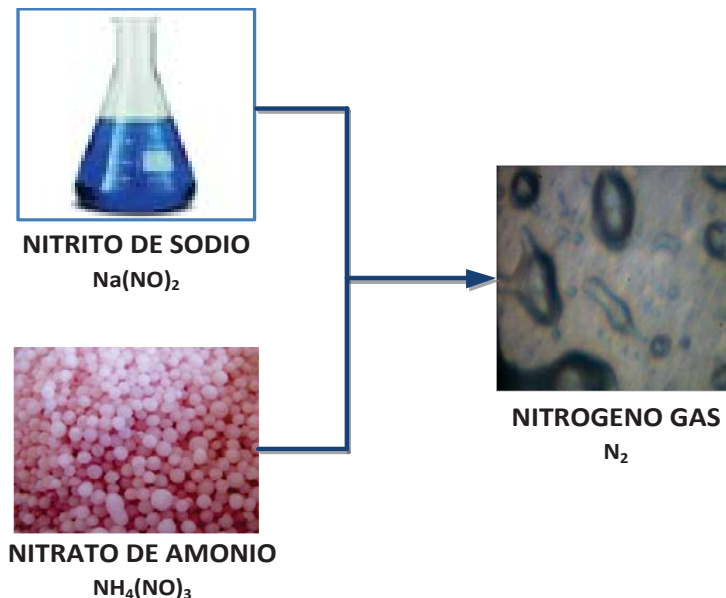
Nunca se debe mezclar un nitrito (NO_2) con un nitrato (NO_3), excepto como parte del proceso y los procedimientos de fabricación de los productos a granel. (Puede ocurrir una reacción grave y hacer necesaria la evacuación inmediata del área).

2.1.5.1. SENSIBILIZANTES DE LA MEZCLA A GRANEL.

El estudio de evaluación del rendimiento de la emulsión gasificada, se basa en la sensibilización de la mezcla mediante la incorporación de micro burbujas de gas generadas in-situ en la masa de emulsión denominados puntos calientes (hot spots), gracias a la incorporación del ácido acético que hace posible la reacción entre el nitrato de amonio y nitrito de sodio, a temperatura ambiente del agente gasificador en proporciones sumamente controladas y velocidades de carga, lo

cual confiere al explosivo un aumento en volumen normalmente llamada densidad esponjada, debido a que el nitrito de sodio (NaNO_2) y el nitrato de amonio (NH_4NO_3) son sales y no es posible su reacción, necesitan un catalizador para alcanzar dicha reacción, gracias a la adición del ácido acético permite romper las microgotas de la solución concentrada envueltas por un interfaz emulsificante y de esta manera lograr la liberación de ese medio, permitiendo su reacción química y formación de pequeñas burbujas de gas nitrógeno (N_2), lo cual confiere al explosivo la sensibilidad necesaria para su propagación a través de la masa explosiva. A continuación, se muestra la reacción química que ocurre durante su mezcla.

FIGURA N°2.9. Sensibilización química catalizada por la generación de burbujas de N_2 .



Fuente: Elaboración en base datos de la Empresa OMS.

La reacción (1) se lleva a cabo entre el Nitrato de amonio y Nitrito de sodio (sales) y con la finalidad de buscar su reacción química se agrega ácido acético, el cual cumple la función de romper algunas microgotas de emulsión y liberar el nitrato de amonio en su interior para que reaccione con el nitrito de sodio, además también cumple la función de acelerar la reacción de formación del gas nitrógeno.

La siguiente **Tabla n°2.2** muestra el porcentaje de nitrito de sodio que se dosifica a la mezcla explosiva Fortis Extra Gasificable para lograr densidades finales de copa deseada, partiendo de una densidad inicial gasificada de 1.33 gr/cm³. Cabe indicar que el tiempo que dura el proceso de gasificado de un taladro es aproximadamente entre 15 – 20 minutos, frente a los parámetros de densidad manejados por MMG las Bombas antes de tapar el taladro.

TABLA N°2.2. Flujo de dosificación de Nitrito de Sodio para gasificar la mezcla explosiva energética Fortis Extra Gasificable en (kg/min).

Densidad final de copa (gr/cm ³)	Nitrito de Sodio (%)	Flujo de Inyección del Explosivo (kg/min)		
		350	300	250
		Flujo de dosificación de Nitrito de Sodio (kg/min)		
1.20	0.22	0.771	0.661	0.551
1.15	0.29	0.999	0.856	0.714
1.10	0.37	1.296	1.111	1.126

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS.

2.1.5.2. FABRICACIÓN DE FORTIS EXTRA GASIFICABLE.

Las unidades de fabricación móvil MMU cuentan con un Software ProBlast con estaciones de control, una de estas pantallas es la “maestra” y la otra “esclava”.

La pantalla maestra es donde las formulas, calibraciones y la información de calibración son almacenadas, y así mismo mediante este medio se transmite la información hacia la pantalla esclava y lograr un nexo entre las dos pantallas (Respaldo). El ProBlast ofrece una opción de fábrica que ayuda a garantizar que el camión produzca productos de calidad.

En la industria minera los dos métodos más populares de reducción de la densidad de la emulsión implican el uso de microesferas o lo que comúnmente se conoce como “gasificado químico”. El gasificado químico puede reducir la densidad del producto cuando la reacción química produce pequeñas burbujas de gas que se forman en el producto. El software ProBlast permite personalizar la gasificación química y evitar incurrir en problemas relacionadas de temperatura. Mediante el uso de gráficos que se proporciona a la pantalla maestra, a través de los comandos del sistema se puede personalizar ProBlast para que pueda controlar automáticamente la tasa de gasificado, basado en un sensor de temperatura (o manualmente - ingresar la temperatura). Con las características de auto - gasificado se logra minimizar los problemas de gasificado y maximizar la calidad del producto.

El operador puede realizar las sincronizaciones para controlar los diferentes flujos de caudal y asegurarse de que todo esté funcionando correctamente. Algunos camiones pueden tener la capacidad de agregar aluminio o algún otro aditivo al producto, logrando alcanzar resultados satisfactorios en terreno y así alcanzar un óptimo rendimiento en voladura. En la **Figura n°2.10** se aprecia las dos pantallas del software ProBlast (B1) utilizado para la calibración que consiste en la regulación de las cantidades de las materias primas componentes de una mezcla

de explosivo para su preparación y elaboración. El carguío de los taladros en proyecto siempre se realiza mediante la asistencia de un operador de piso, quien da las indicaciones para direccionar los movimientos del equipo MMU e iniciar la descarga del explosivo al taladro (B2).

FIGURA N°2.10. Cabina del operador con automatización del software proBlast (B1) y la unidad de fabricación móvil MMU (B2).



Fuente: Archivo personal.

2.2. CARACTERISTICAS DEL DESEMPEÑO DE LA EMULSIÓN GASIFICABLE.

El objeto del presente trabajo es evaluar el desempeño durante las voladuras realizadas con el nuevo producto emulsión energética Fortis Extra (65/35) gasificado, en materia de evaluación en donde se han analizado mediante los

parámetros de evaluación del rendimiento en la operación y afecte directamente en la calidad de la fragmentación del macizo rocoso previas a su acondicionamiento, lo que a su vez relaciona en la productividad del cliente (Pala), lo cual no pueden ser afectado de manera negativa en el rendimiento de los equipos de minado.

En tal sentido, es importante mencionar que los agentes de voladura descritos en el presente desarrollo, son fabricados mediante camiones fabrica (MMU) y sensibilizados in-situ, esto gracias al Software ProBlast que incorpora el sistema, para lograr la calidad de mezcla mediante la calibración de los equipos y capacidad del operador. La selección de los explosivos debe ser ventajosa ante las características geomecánicas del terreno como; presencia de agua estática o dinámica, acidez del agua, fracturamiento de la roca, temperatura del taladro, frentes duros, etc. Esto nos impulsa a tener un avance en la tecnología de los explosivos y no mantener el uso de explosivos en cuyas características sean puras o homogéneas debido a su rendimiento, sensibilidad y demás características puedan ser afectadas (Konya, 1998).

2.2.1. DENSIDAD DEL EXPLOSIVO

La densidad en los agentes explosivos viene a ser un factor crítico dentro del taladro, debido a que si es muy baja se vuelven sensibles, de disminuir considerablemente la densidad estos agentes pueden sensibilizarse ante el cordón detonante axial, que los comienza a iniciar en régimen de deflagración antes que arranque el APD (Booster), en el caso contrario, si aumenta demasiado la densidad, podría hacerse insensibles y no detonar. Dicha densidad por

cualquier razón quede fuera de estos límites es denominada “Densidad de muerte o crítica” (López Jimeno, 2003).

La densidad es un elemento muy importante para efectos del cálculo de la cantidad de carga necesaria para una voladura y usualmente varía entre 0.80 gr/cm³ a 1.20 gr/cm³ en los agentes de voladura granulares; y entre 1.2 gr/cm³ a 1.6 gr/cm³ en las emulsiones y explosivos primarios como el TNT. Por regla general, en el fondo de los taladros, que es donde se necesita mayor concentración de energía para el arranque de la roca, se utilizan explosivos más densos, mientras que en las cargas de columna se requieren explosivos menos densos. La cantidad de carga lineal “Q_l” en un taladro de diámetro “D_p” y una densidad “ρ_e”, se calcula partir de la siguiente expresión:

$$Q_l = 0.507 \times D_p^2 \times \rho_e$$

Dónde:

Q_l: Densidad lineal de carga, Kg. expl/m

ρ_e: Densidad de explosivo, g/cc

D_p: Diámetro de perforación, pulg

0.507: Factor de conversión.

Debido a las condiciones imperantes del terreno, es necesario hacer uso de explosivos cuyas densidades sean manejadas de acuerdo a los requerimientos y parámetros que exige la geomecánica del macizo rocoso, y presencia de agua estática y dinámica en la zona condiciona a hacer uso de explosivos resistentes al agua y por consiguiente altas velocidades de detonación (VOD). En la siguiente tabla se muestra densidades referenciales para los agentes de voladura.

TABLA N°2.3. Rango de densidades para diferentes agentes de voladura (Konya, 1998).

TIPO DE EXPLOSIVO	RANGO DE DENSIDADES (gr/cc)
ANFO Vaciado	(0.8 – 0.9)
ANFO Cargado Neumáticamente	(0.8 – 1.0)
ANFO Encartuchado	(1.1 – 1.2)
ANFO Pesado	(1.1 – 1.4)
Emulsión a Granel	(1.1 – 1.6)

Fuente: Manual de voladura Konya, 1998.

2.2.2. VELOCIDAD DE ONDA DETONACIÓN (VOD)

Konya (1998), describe la velocidad de detonación como: “la velocidad a la cual la reacción se mueve a lo largo de la columna explosiva”, López Jimeno (2003), define la velocidad de detonación como: “La velocidad a la que la onda de detonación se propaga a través del explosivo y, por lo tanto, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía”. Dicha velocidad es supersónica y puede ser tan alta como 8000 m/s o a más, y es uno de los principales métodos para determinar las prestaciones de los explosivos, y esta expresado en metros por segundo.

El trabajo útil efectuada por un explosivo cargado dentro de un taladro, está ligado a la onda de choque durante la detonación, la densidad y la velocidad de detonación, cuanto más rápida sea la velocidad de explosión, tanto más grande será el choque. Por este motivo se puede utilizar la velocidad de detonación para determinar la eficiencia de una reacción explosiva (Konya, 1998). Si el producto esta detonando a una velocidad significativamente menor a lo especificado,

significa que el desempeño del explosivo no está cumpliendo con las especificaciones técnicas y por ende su performance está siendo afectado.

Debido a dichos postulados se considera a la velocidad de detonación como un factor crítico en el rendimiento de un explosivo, vinculado a dicho postulado afectan diversos factores como la densidad confinada, diámetro del taladro, sistema de iniciación, poder rompedor, temperatura y naturaleza química del explosivo. En la siguiente **Tabla n°2.4** se muestra los rangos aproximados de VOD que va de 1,524 a 7,620 m/s en los productos explosivos comerciales (Konya, 1998).

TABLA N°2.4. Velocidad de detonación (VOD) para diferentes agentes de voladura (Konya, 1998)

AGENTES DE VOLADURA	VOD (m/s) Para Diámetros de taladro:		
	32mm	76 mm	229 mm
Emulsión Encartuchada	(3600 – 7600)	-	-
Emulsión Granel	(4000 – 4600)	(4300 – 4900)	(3700 – 5800)
ANFO Cargado Neumáticamente	(2100 – 3000)	(3700 – 4300)	(4300 – 4600)
ANFO Vaciado	(1800 – 2100)	(3000 – 3400)	(4300 – 4600)
ANFO Encartuchado	-	(3000 – 3700)	(4300 – 4600)
ANFO Pesado	-	-	(4300 – 5800)

Fuente: Manual de voladura Konya, 1998.

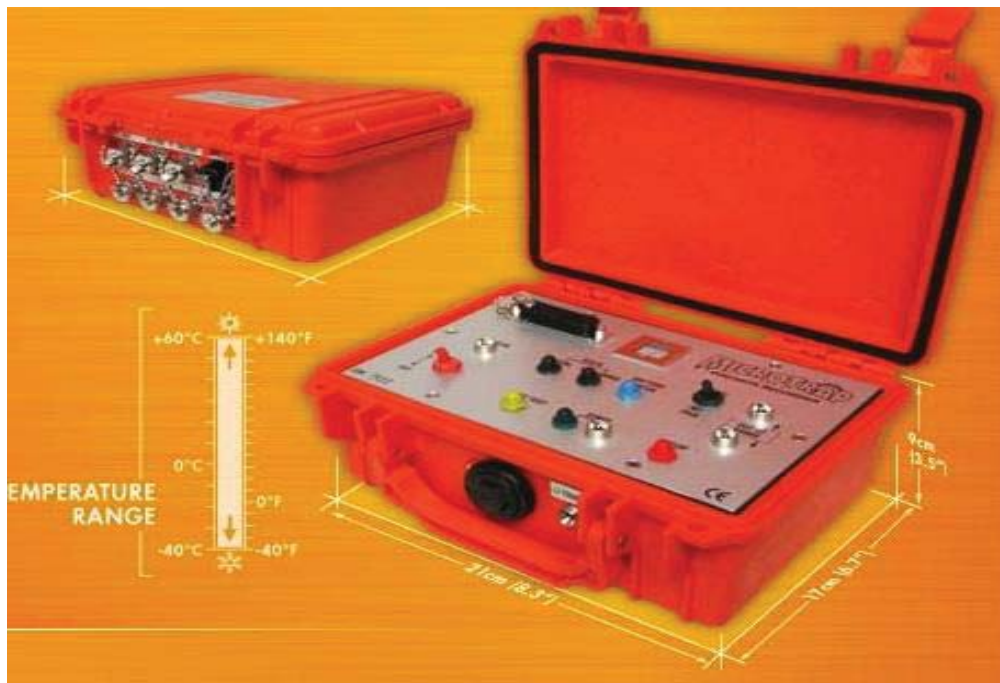
2.2.2.1. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN (VOD)

La medición de la Velocidad de detonación es evaluar la performance de los diferentes agentes explosivos, ya que la velocidad de detonación es una de las propiedades más representativas de los explosivos.

2.2.2.2. CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO DE MEDICIÓN MICROTRAP

El equipo de medición de VOD; el MicroTrap para medición de la velocidad de detonación continuo en taladros; este equipo de medición es capaz de medir con una frecuencia de 2 MHz, es decir, que colecta un punto cada $0,5\mu\text{s} = 0,0005\text{ms}$; el mismo cuenta con un canal con capacidad de medir en uno o varios taladros ya que trabaja con una resistencia que va entre los 50 a 3,000 ohmios. El Método Continuo nos permite monitorear la velocidad de detonación en forma continua a lo largo de la columna de explosivo. Ello hará posible evaluar los efectos del iniciador, los efectos de material contaminante dentro del explosivo (agua, atacado, etc.), la propagación de la detonación, etc. Es decir, el método continuo nos proporcionará una información más detallada de lo que sucede dentro del taladro.

FIGURA N°2.11. Equipo MicroTrap









Fuente: Archivo personal.

2.3. CALIDAD DE LOS HUMOS

En minería a cielo abierto, lo más usual es un mal balance de oxígeno del explosivo, típicamente causado por una mezcla errónea de nitrato de amonio y petróleo en el ANFO, por lo que se tiende a “culpar” al explosivo. La causa principal puede estar en el explosivo mismo, en algún fenómeno físico o químico asociado al macizo rocoso o en la interacción entre ambos, puesto que la aparición de humos distinto al blanco luego de una voladura es señal de alguna anomalía en el proceso de la detonación pero también existen otras ajenas a la detonación como: la presencia de agua dinámica que daña físicamente al explosivo, presencia de agua ácida que afecta químicamente, enfriamiento de los gases de detonación por agua muy fría, presencia de piritas activas en el mineral.

En el proceso de detonación del ANFO un “Agente de voladura”, su detonación es provocada mediante un tren que lo forman un detonador y un “Booster” o multiplicador, de la misma manera el proceso de propagación de la detonación de compresión adiabática se infiere al explosivo estudiado Fortis Extra Gasificable por la adición de las microburbujas (químicamente generados o por adición de microesferas), aumenta la eficiencia de la reacción, genera una mayor temperatura resultante y una mayor expansión de los gases, que disminuye la posibilidad de la formación de gases nitrosos NO_x , según la escala de gases nitrosos se tiene la **Figura n°2.12**.

FIGURA N°2.12. Escala visual de nivel de gases nitrosos.

NIVEL	APARIENCIA TIPICA
<p>Nivel 0 No Humos</p>	
<p>Nivel 1 Leve. Humos color amarillo</p>	
<p>Nivel 2 Menor. Humos color amarillo/anaranjado</p>	
<p>Nivel 3 Moderado. Humos color anaranjado</p>	
<p>Nivel 4 Significante. Humos color anaranjado</p>	
<p>Nivel 5 Mayor. Humos color rojo</p>	

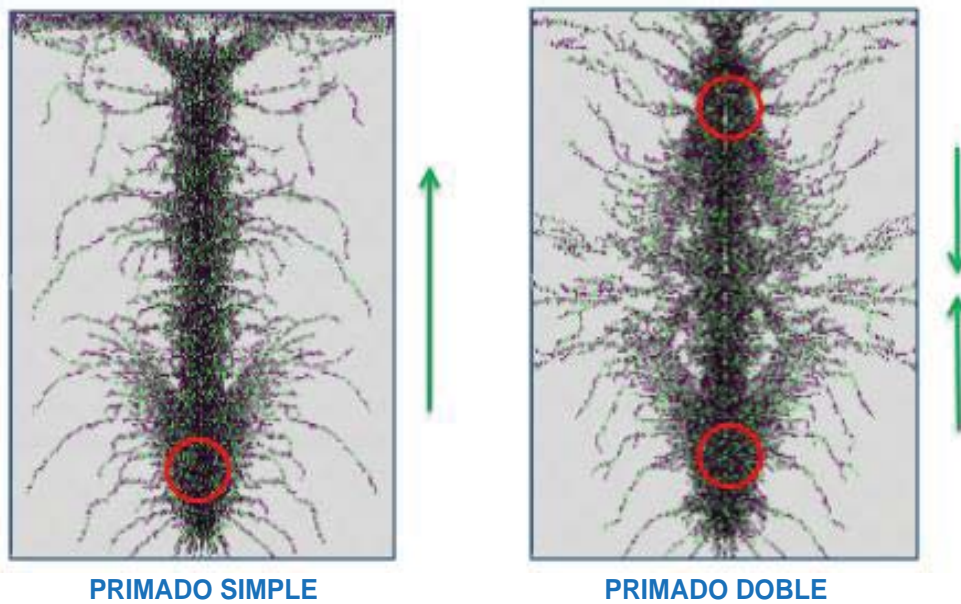
Fuente: Manual de voladura de Orica.

2.4. DOBLE PRIMADO

La prima doble es uno de los factores importantes sobre la seguridad de los objetivos en la fragmentación, siendo necesario concentrar la energía de reacción en instantes de milisegundos para lograr una fragmentación óptima, esta configuración es aplicada en zonas de mineral de alta dureza, con el propósito de aumentar la fragmentación y el porcentaje de finos. En el doble primado la energía está concentrada en la mitad de la carga de la columna, en donde las ondas colisionan creando una zona de alta rotura por tracción, favorecidas por la

detonación por simpatía que son provocadas por el iniciador o Booster. El doble primado tiene ventajas operativas en la reducción del taco, además se reduce el nivel de proyección y flyrock, mientras en el primado simple el nivel más alto de energía se da en la zona de taco, creando la posibilidad de producir proyecciones y flyrock.

FIGURA N°2.13. Mecanismo de iniciación en el primado simple y doble

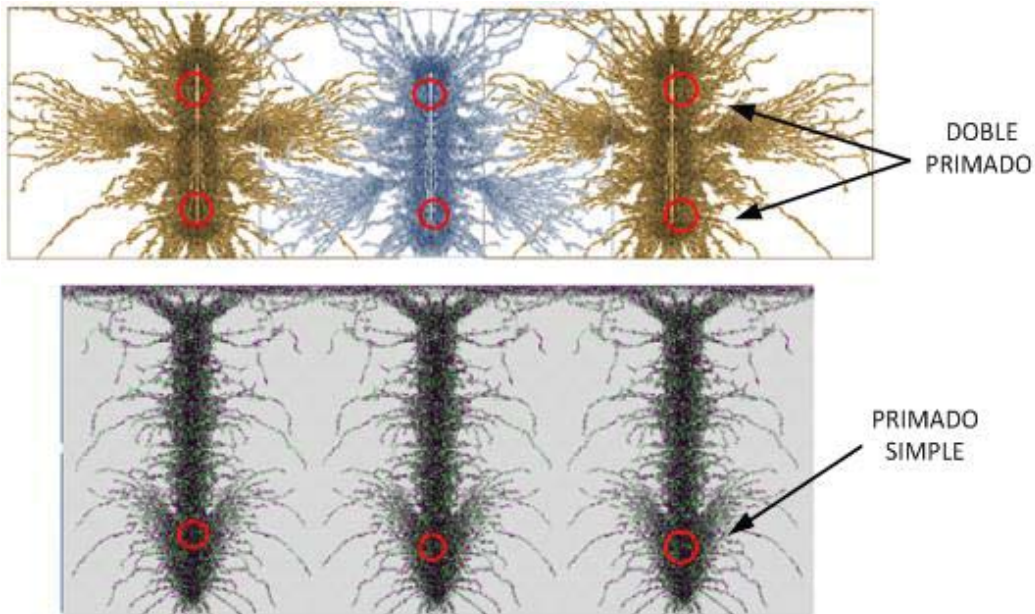


Fuente: Manual de voladura Orica.

El análisis estructural del daño provocado por la interacción entre las primas al interior del taladro y halos de energía entre taladros, genera mayor área de fragmentación entre taladros en comparación con el primado simple. El detonador I-Kon entrega una mayor probabilidad de que las ondas colisionen en el lugar deseado y permitiendo un confinamiento efectivo de la energía al interior del taladro, logrando disminuir la columna de taco, en relación al P80 con la

utilización del doble primado genera un incremento del 15% a 20% en fragmentación y aumentar el porcentaje de finos.

FIGURA N°2.14. Análisis estructural de daño provocado por la interacción de primas dentro del taladro.



Fuente: Manual de Voladura de Orica.

2.5. DETONADOR ELECTRONICO I-KON

Son detonadores electrónicos completamente programables, capaces de retardar desde 0 a 15.000 milisegundos con incrementos de 1 milisegundo. Los diseños de voladura para el sistema i-Kon, pueden ser generados utilizando el software SHOT Plus-i. La voladura es iniciada usando el i-Kon Blaster 1600, que tiene la capacidad para controlar hasta 8 Loggers, dando al sistema una capacidad de hasta 1600 detonadores.

El sistema también puede ser iniciado con i-Kon Blaster 400, de menor capacidad, que puede controlar hasta 2 Loggers, dando al sistema una capacidad de hasta 400 detonadores.

Cada retardo del detonador es registrado usando el i-Kon Logger, el cual maneja hasta 200 detonadores, cada uno con un único retardo. El sistema completo tiene una comunicación bidireccional para programar y verificar la funcionalidad del sistema antes de la voladura.

Se conecta el detonador electrónico I-Kon de cada pozo de la malla al cable de conexión, identificando y verificando con el equipo logger, el que le asigna el tiempo de retardo respectivo. En caso de no réplica del detonador electrónico en cierto pozo, se procede a usar el detonador no eléctrico Excel. A esto se le llama el uso de Back up.

Se conecta el equipo logger al equipo Blaster para luego iniciar la voladura de forma remota.

FIGURA N°2.15 Elementos que componen el sistema de iniciación electrónico de voladura i-kon.



i-kon™ Logger



i-kon™ Detonador



i-kon™ Blaster 400



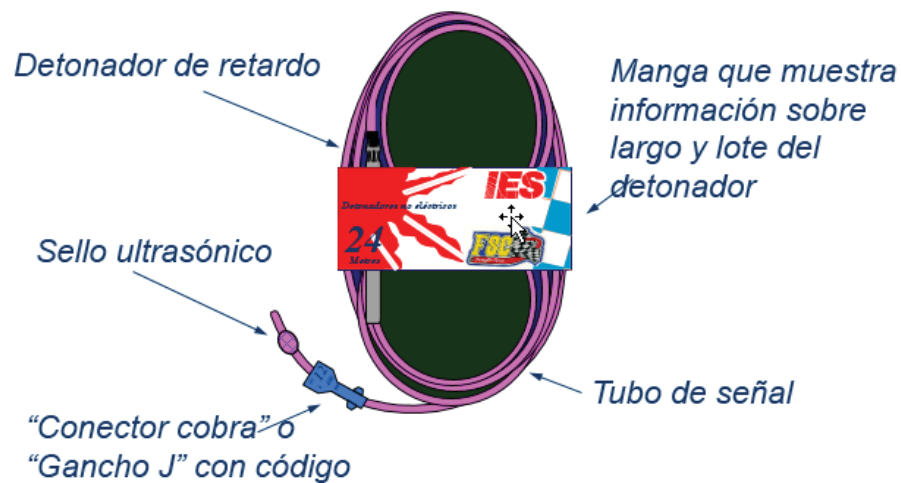
i-kon™ Blaster 1600S

Fuente: Manual de operaciones Orica.

2.6. DETONADOR NO ELECTRICO EXCEL

Se trata de un producto no eléctrico, compuesto por: un tubo de choque que transmite una onda deflagrante, un detonador de potencia 12 y un conector plástico tipo “J”, de potencia 1, con el cual se acopla el tubo de choque con la troncal de cordón detonante. Permiten conectar, transmitir e iniciar los explosivos secundarios a través de cargas controladas, secuenciadas y seguras.

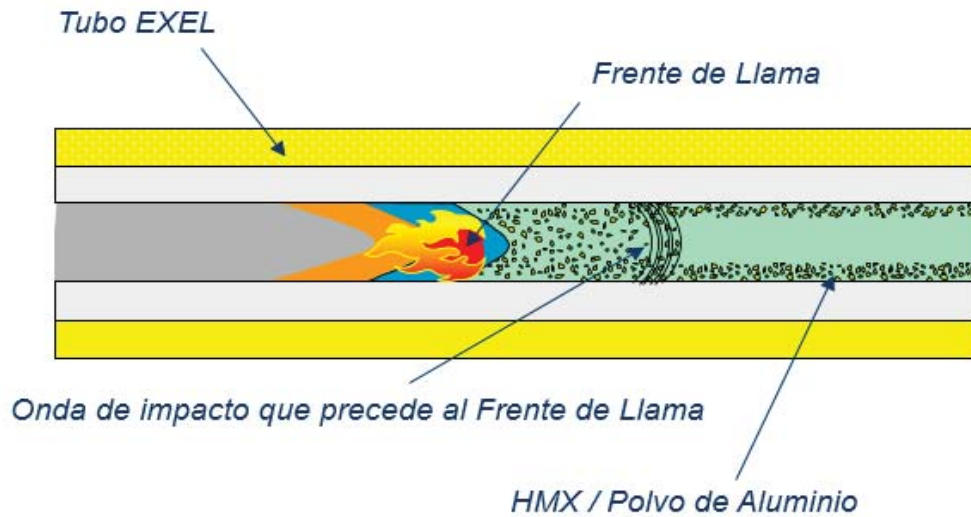
FIGURA N°2.16 Detonador no eléctrico EXCEL.



Fuente: Archivo personal.

El detonador no eléctrico EXCEL es tricapa; la capa externa brinda resistencia a la tracción y protege de los rayos ultra violeta, la capa intermedia; protege de los agentes químicos y esfuerzos a la elongación y la capa interna; sostiene confiablemente la mezcla reactiva en su lugar (propiedades iónicas). La composición de la mezcla explosiva es 92% de HMX y 8% de aluminio en polvo fino, adherida a la pared interna del tubo. El HMX se conoce como octógeno de nombre químico ciclo tetra metileno tetra nitramina, con una carga en el núcleo de 18 mg/m. La velocidad de transmisión de la onda de choque al interior del tubo es de 2000 m/seg. La **Figura n°2.17** muestra la reacción en el interior del tubo Excel.

FIGURA N°2.17 Transmisión de la señal de iniciación en el interior del tubo Excel.



Fuente: Web de Orica.

2.7. FUENTES DE LA ENERGÍA DE LOS EXPLOSIVOS

Cuando los explosivos reaccionan químicamente, se liberan dos tipos principales de energía. El primero se llama energía de choque y el segundo energía de gas. Ambos tipos de energía se liberan durante el proceso de detonación.

2.7.1. ENERGÍA DE CHOQUE

La presión de choque es una presión transitoria que viaja a través del explosivo a la velocidad de reacción y es seguida de la presión de gas. La energía de choque resulta de la presión de detonación de la explosión; la presión de detonación está en función directa de la densidad del explosivo y la velocidad de detonación. Se calcula multiplicando la densidad del explosivo por la velocidad de detonación al cuadrado y es una forma de energía cinética.

$$PD = \rho_e x VOD x W x 10^{-5} \dots\dots\dots (1)$$

PD: Presión de detonación, en Kbar

ρ_e : Densidad del explosivo, en gr/cm³

VOD: Velocidad de detonación, m/seg

W: Velocidad de partícula (productos explosivos), m/seg

10^{-5} : Factor de conversión

El movimiento de los productos de explosión (W) sólo alcanza un valor de $W = \frac{VOD}{4}$, entonces, reemplazando en (1) tendremos la formula práctica siguiente:

$$PD = \rho_{ex} \frac{(VOD)^2}{4} \times 10^{-5}$$

2.7.2. ENERGÍA DE GAS

La energía de gas liberada durante el proceso de detonación, es la causa de la mayor parte de la fragmentación de la roca durante una voladura con cargas confinadas a los taladros. La presión de gas frecuentemente llamada presión de explosión, es la presión que los gases de expansión que oponen contra las paredes del taladro después de la reacción química ha terminado.

La presión de explosión resulta de la cantidad de gases liberados por unidad de peso del explosivo y de la cantidad de calor liberada durante la reacción. Entre más alta sea la temperatura producida, mayor será la presión del gas. Si se libera mayor cantidad de gas a la misma temperatura, la presión también se incrementará. La presión de explosión (PE) máxima disponible equivale la mitad de la presión de detonación (PD), o sea:

$$PE = \rho_{ex} \frac{(VOD)^2}{8} \times 10^{-5}$$

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN DE OPERACIONES DE LA MINERA LAS BAMBAS

3.1. ACERCA DE MMG LIMITED

MMG Limited es una empresa global de recursos que explora, desarrolla y explota yacimientos metálicos alrededor del mundo, sus principales productos incluyen: cobre, zinc, oro, plata y plomo. Con operaciones mineras en Australia, Asia y África sede principal en Melbourne, Australia. Comprometida con estándares de clase internacional en términos de seguridad, salud, medio ambiente y comunidades.

Cuenta con un experimentado equipo de gestión internacional, cotiza en la bolsa de valores de Hong Kong, su accionista mayoritario es China Minmetals Corporation, una compañía Fortune 500.

FIGURA N°3.1 MMG Limited en el mundo



Fuente: página web de MMG

3.1.1. DETALLES DE LA TRANSACCIÓN

3.1.1.1. TRANSACCIÓN

MMG Limited lidera el consorcio Joint Venture (JV) que ha suscrito un contrato de compraventa de acciones con Glencore Xstrata para adquirir el 100% de Xstrata Perú S.A. (Las Bambas) por US\$ 5,850 millones.

3.1.1.2. FINANCIAMIENTO

Los costos de capital del proyecto están completamente financiados mediante facilidades de deuda a largo plazo por un sindicato de bancos chinos liderado por China Development Bank (CDB).

3.1.1.3. GOBIERNO CORPORATIVO

El consorcio (joint venture) está conformado por:

MMG, en calidad de operador (62,5 %); una subsidiaria propiedad de Guoxin International Investment Co. Ltd (22,5 %) CITIC Metal Co. Ltd (15 %).

MMG es el operador de Las Bambas y administrador del joint venture. El directorio del joint venture cuenta con un máximo de seis (6) directores siendo el presidente nombrado por MMG.

3.1.1.4. LA FILOSOFIA DE MMG

3.1.1.4.1. Visión

Construir la empresa diversificada de metales base más respetada del mundo.

3.1.1.4.2. Misión

Hacemos minería con el fin de generar riqueza para nuestra gente, las comunidades en las que desarrollamos nuestras operaciones y nuestros accionistas.

3.1.1.4.3. Objetivo

Ser valorados como una de las empresas mineras de nivel medio más importantes del mundo para el año 2020.

3.1.1.4.4. Estrategias

Generan valor a través de cuatro ejes estratégicos

- **Crecimiento:** Adquiriremos y descubriremos activos de metales base que transformen nuestro negocio. Daremos rienda suelta al valor potencial de nuestra cartera de proyectos.
- **Transformación de las Operaciones:** Desarrollamos planes eficaces para generar oportunidades innovadoras de crecimiento y mejorar la productividad.
- **Nuestra Gente y Organización:** Brindaremos un lugar de trabajo saludable, seguro y con la protección necesaria, y fomentaremos una cultura que valore la colaboración, la responsabilidad y el respeto.
- **Reputación:** Somos valorados por nuestro compromiso con el progreso, alianzas de largo plazo y gestión internacional.

3.1.1.4.5. Valores

MMG limit es una empresa fortalecida en valores, que trabaja con una sólida idea de formar en valores a toda su gente y los Stakeholders.

FIGURA N°3.2 Los valores de MMG Limited



Fuente: página web de MMG

3.1.2. LA ORGANIZACIÓN DE LAS BAMBAS

MMG Limit está conformada por cuatro gerencias; que controlan la operación del proceso productivo mina, la operatividad de la flota de equipos, el proceso productivo de la planta concentradora y el consumo razonable de la riqueza mineral.

FIGURA N°3.3 Gerencias de la Minera Las Bambas



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.1.3. HISTORIA

1874: Raymondi hace una reseña de la mina de Cotabambas.

1911: Ferrobamba Ltd. Realiza varios trabajos exploratorios.

1941: William Jenks realiza trabajos de exploración con la finalidad de conocer el potencial de Ferrobamba y Chalcobamba.

1942 – 1969: La Cerro de Pasco Co., desarrolla programas de perforación en Ferrobamba y Chalcobamba, pruebas metalúrgicas y accesos.

1970: El gobierno peruano toma posesión de las concesiones y se crea Minero Perú.

2003: Las concesiones son transferidas a Centromín y a ProInversión.

01-Oct-04: Xstrata firma el contrato de opción y transferencia del Proyecto Las Bambas.

2005 – 2008: Perforación diamantina, 1,010 sondajes, 306,968 m.

2008 – 2010: Estudio de factibilidad.

04-Ago-2009: Xstrata anuncia que el recurso total de Las Bambas es 1,132 Mton @ 0.77% de Cu, 178 ppm Mo, 3.93 g/tn de Ag y 0.06 g/tn de Au).

2010: Campaña complementaria de perforación diamantina en Ferrobamba (28,000 m.).

15-Jul-2010: Presentación del EIA en audiencia pública (Challhuahuacho, Apurímac).

02-Ago-2010: El gobierno peruano entrega el ejercicio de opción del Proyecto Las Bambas a Xstrata.

2011: El estado aprueba el EIA, previo diálogo con las comunidades.

2012: Se desarrolló la ingeniería de caminos y componentes principales.

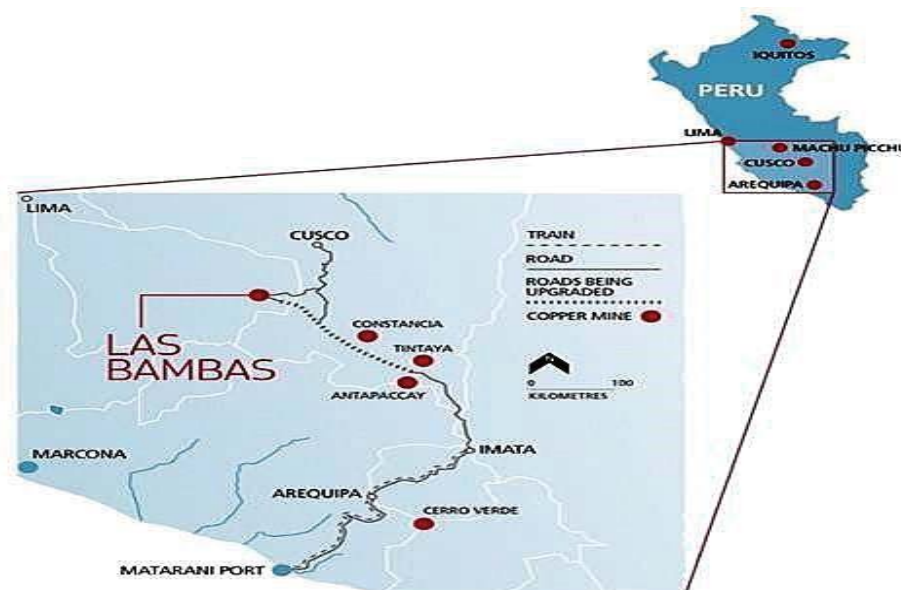
2013: Glencore adquiere Las Bambas en el marco de la adquisición de Xstrata.

2014: En agosto de 2014, el grupo Glencore vendió toda su participación en Las Bambas a un consorcio propiedad de MMG Limited, GUOXIN International Investment Corporation Limited y CITIC Metal Co., Limited.

3.1.4. UBICACIÓN

El Proyecto Las Bambas se localiza al Sur del Perú, aproximadamente a 75 km al Sur – Suroeste de la ciudad del Cusco, a 300 km al Norte – Noroeste de la ciudad de Arequipa. Está ubicado en las provincias de Cotabambas y Grau del departamento de Apurímac, y tiene una altitud que varía entre 3,700 y 4,600 msnm. Se llama Las Bambas por la terminación de los nombres de los yacimientos que comprende el proyecto: Ferrobamba, Chalcobamba – Charcas, Sulfobamba, con un área de concesión minera de 35,000 Ha.

FIGURA N°3.4 Ubicación geográfica de la minera Las Bambas



Fuente: página web de MMG

3.1.5. ACCESIBILIDAD

Existen dos rutas para acceder a la mina:

TABLA N°3.1 Rutas de acceso a la mina Las Bambas.

Acceso	Distancia Km	Tipo de Carretera
Cusco – Anta – Cotabambas – Tambobamba – Challhuahuacho – Mina Las Bambas	289	Carretera Asfaltada – Trocha Carrozable
Abancay – Grau – Challhuahuacho – Mina Las Bambas	200	Trocha Carrozable

Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. CLIMA

El clima de la región es variado. La presencia de la cadena central constituye un factor determinante en el modelamiento del clima, puesto que impide el paso de las nubes y genera su precipitación.

3.2. GEOLOGÍA

3.2.1. GEOLOGÍA LOCAL

En general, la geología del basamento en el área incluye rocas cretácicas carbonatadas y clásticas, moderada a fuertemente plegadas, que forman el techo de un batolito granodiorítico del Terciario (Eoceno). Las secuencias cretáceas en el área del Proyecto se presentan como grandes fragmentos de techo preservados en el batolito. Los estratos cretáceos y el batolito granodiorítico han aflorado a la superficie a través de una combinación de levantamientos regionales, fallas en bloque y erosión.

Los flujos volcánicos piroclásticos del Pleistoceno tardío se originaron desde los centros volcánicos hacia el Sur y formaron depósitos de tipo terraza, en las

secciones más bajas de los valles, yaciendo de manera profundamente discordante sobre las secuencias sedimentarias e intrusivas erosionadas.

La mineralización del yacimiento está asociadas a depósitos skarn controlados estructuralmente, relacionados a intrusiones ígneas del Eoceno tardío, con fallas y fluidos asociados desde el complejo batolito que entró en contacto con el techo de calizas y reaccionaron para formar skarns de magnetita – granate con mineralización de cobre en calcopirita y bornita predominantemente, presentando trazas de molibdenita y plata. Aparentemente, el mineral tiene bajo contenido de pirita, con poca o nada de pirrotita. La mineralización de plomo y zinc es insignificante y está relativamente libre de arsénico y mercurio.

3.2.2. GEOLOGÍA REGIONAL

En el área sobreyacen secuencias sedimentarias fuertemente plegadas y falladas del periodo Cretácico inferior. Las secuencias cretáceas, desde la más antigua hasta la más reciente, incluyen en la base la Formación Soraya, que está conformada por cuarcitas, la sobreyacente Formación Mara está compuesta de lutitas rojas y calizas y también por las calizas de la secuencia superior de la Formación Ferrobamba. Estas secuencias se deformaron y levantaron en el Cretácico tardío al Terciario temprano. Las secuencias clásticas continentales del Grupo de Puno, se depositaron sobre la secuencia cretácica deformada y levantada hacia el noreste del área del Proyecto.

La mineralización de cobre está principalmente emplazada en los contactos de calizas de la formación Ferrobamba y las rocas intrusivas de la Era Terciaria (granodiorita, cuarzo monzonita y cuarzo diorita). Las calizas corresponden a la Era Cretácea, similar a los depósitos de Skarn en Tintaya, Antamina y Magistral.

FIGURA N°3.5 Cronoestratigrafía generalizada del distrito minero Las Bambas

ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES LITOESTRATIGRAFICAS		MAGMATISMO	MINERALIZACION	OROGENIA	
CENOZOICO	CUATERNARIO	Reciente			Morena, aluvial			
		Pleistoceno	Gpo Barroso	Vol. Vilcarani	Tufos dacíticos		Quechua 4 1.5 Ma	
	TERCIARIO	Plioceno						Quechua 3 5 - 4 Ma
		Mioceno						Quechua 1, 2 17 - 4 Ma
		Oligoceno						Incaica 3, 4 30 - 22 Ma
		Eoceno						Incaica 2 43 - 42 Ma
	Paleoceno						Incaica 1 59 - 55 Ma	
	MESOZOICO	SUPERIOR				Limo-luifitas rojizas		Peruana 84 - 79 Ma
		MEDIO				Calizas masivas, elásticas, bioclásticas, chert		
INFERIOR				Clásticos clacáreos limoluitas areniscas				
		Gpo Yura	Fm Soraya	Areniscas				

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.2.3. GEOLOGÍA ECONÓMICA.

Las Bambas es un yacimiento de cobre en sulfuro del tipo pórfido – skarn (poco volumen y alta ley) con una mineralización pórfida en sulfuros, óxidos y hierro. El proyecto contempla la explotación de tres (3) depósitos: Ferrobamba, Chalcobamba – Charcas y Sulfobamba. Las Bambas tienen Reservas Minerales de 6,9 millones de toneladas de cobre (ley de cobre de 0,73 %) y Recursos Minerales de 10,5 millones de toneladas de cobre (ley de cobre de 0,61 %), usando una ley de corte de 0.3% (de acuerdo a los resultados obtenidos a través de 329,000 metros de perforación). Se espera que produzca más de 2 millones de toneladas de cobre en concentrado en sus primeros cinco (5) años.

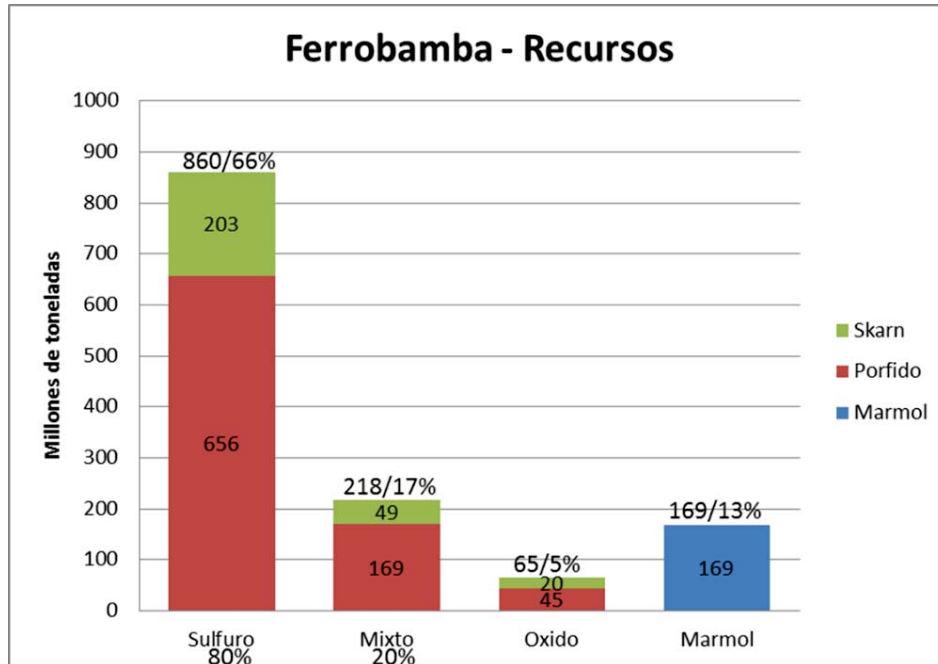
Como resultado del programa de exploraciones y perforaciones, se ha confirmado que efectivamente Las Bambas tiene un gran potencial que lo convierte un yacimiento de cobre y oro de clase mundial, ubicado en lo que podría ser una continuación geológica del denominado “Copper Belt del Sur”, en donde se encuentran importantes yacimientos cupríferos como Tintaya – Antapaccay, Quechuas en el Perú y la Escondida, Chuquicamata en Chile.

La forma de mineralización más común es la calcopirita, que contiene oro y plata, asociados con cobre. La mineralización se distribuye en bloques fallados de granate y magnetita en skarn.

Las rocas con alteración potásica y silicificación presentan calcopirita diseminada. La mineralización de enriquecimiento secundario es ligera, debido a la erosión glacial intensa y a la densidad de skarn. Aunque varios minerales metálicos se

han encontrado, solamente algunos minerales ocurren en cantidades económicas y casi exclusivamente en el cuerpo skarn.

GRÁFICA N°3.1 Tipos de materiales en Las Bambas



Fuente: Geología Mina – Las Bambas

3.2.3.1. MINERALES METÁLICOS CON VALOR ECONÓMICO

Principales Minerales:

- Sulfuros: Calcopirita, bornita, piritita, molibdenita.
- Óxidos: Magnetita, hematita.

Minerales Escasos:

- Sulfuros: Digenita, calcosita, pirrotita, cubanita.
- Óxidos: Limonita, ilmenita, rutilo.
- Carbonatos: Malaquita, azurita.

3.3. PLANEAMIENTO MINA

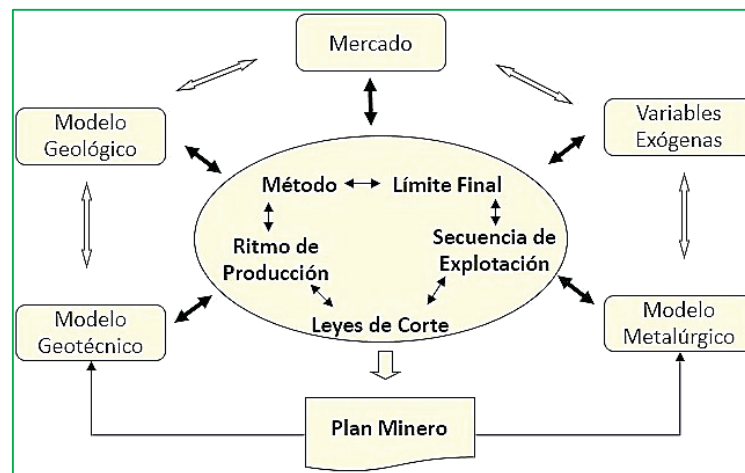
El área de planeamiento mina, cumple un rol determinante en las actividades de productividad, dando lineamientos técnicos y económicos en la explotación del mineral.

Las principales decisiones técnicas a las cuales la planificación se ve enfrentada, son las siguientes:

- Método de explotación
- El ritmo de extracción
- La secuencia de explotación
- Leyes de corte

El producto de la planificación, queda plasmado en un plan minero.

FIGURA N°3.6 Etapas de la planificación minera



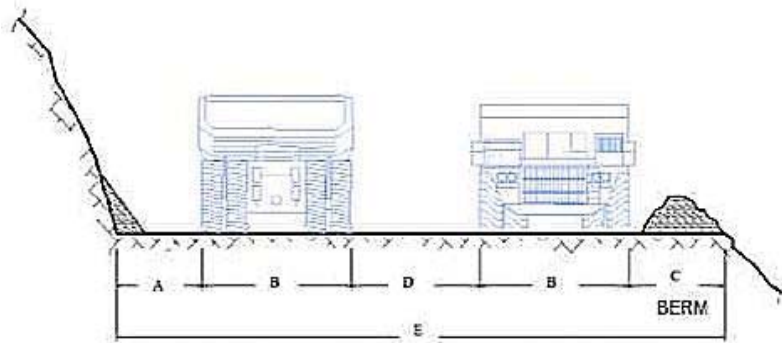
Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

El diseño de minado en Las Bambas presenta las siguientes características:

- Los Ángulos de talud de banco varían entre 37° a 63°.

- Taludes Inter - rampa (IRA) varían entre 40° y 47°, dependiendo la geometría del talud, propiedades físicas y geomecánicas de la zona.
- Las bermas (cash bench) que dependen de la altura de banco para conseguir los IRAS correspondientes varían desde 6 a 7.6 m.
- Anchos de Rampa 30 – 35 m.
- Altura de muro de seguridad $\frac{3}{4}$ de la altura de la llanta más grande.
- Pendiente 8 – 10%.
- Radio de Curvatura Promedio 30 m.
- Ancho mínimo para trabajo de una pala es de 70 m.
- Altura banco a una altura mayor de 3,910 m.s.n.m. es de 10 m.
- Altura banco a una altura menor de 3,910 m.s.n.m. es de 15 m.

FIGURA N°3.7 Ancho de rampas minera Las Bambas



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

Donde:

A: Distancia de seguridad: 5 m

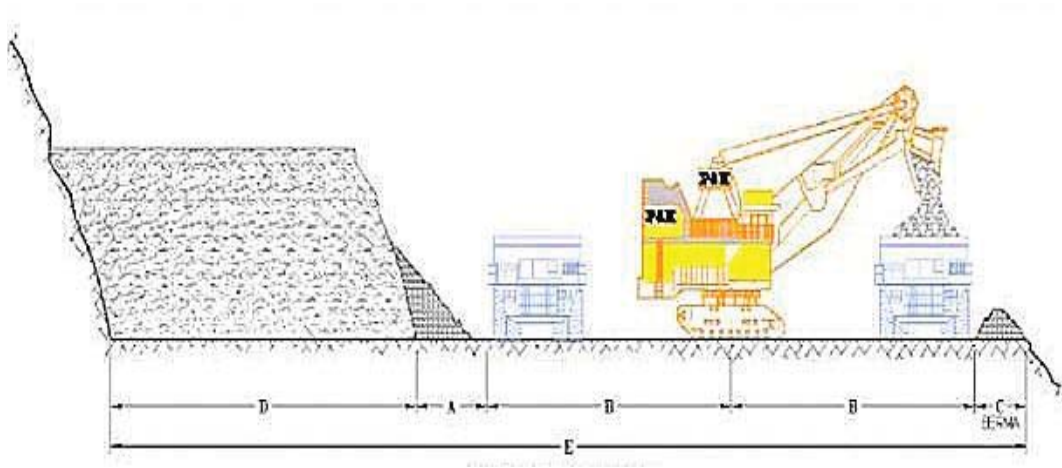
B: Ancho del Camión: 8.70 m

C: Berma: 5 m

D: Distancia entre camiones: 7.60 m

E: Ancho de vía/camino $(A+2*B+D+C)$: 35 m

FIGURA N°3.8 Ancho mínimo de minado de palas



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

Donde:

A: Distancia de Seguridad: 5 m

B: Ancho de carguío para un camión: 30 m

C: Berma: 5 m

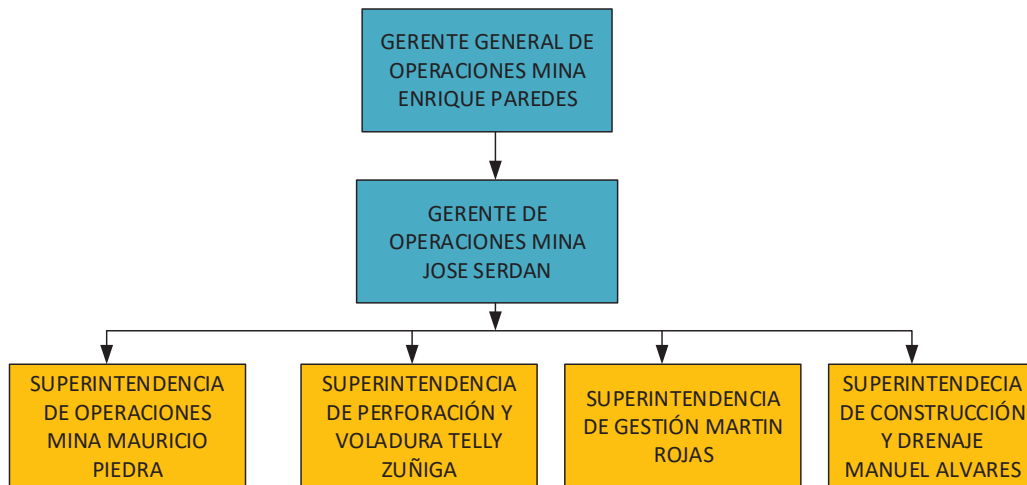
D: Ancho de material disparado

E: Ancho mínimo de minado ($A+2*B+C$): 70 m

3.4. GERENCIA DE OPERACIONES MINA

Equipo que genera valor a través de la formación de personal altamente calificado, que tiene el compromiso de lograr las metas proyectadas de producción, entregando un material adecuado a la planta concentradora; trabajando con altos estándares de seguridad, preservando el medio ambiente y teniendo una relación inclusiva con las comunidades del entorno

DIAGRAMA N°3.1 Organigrama de la gerencia de operaciones mina



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.4.1. OPERACIONES MINA

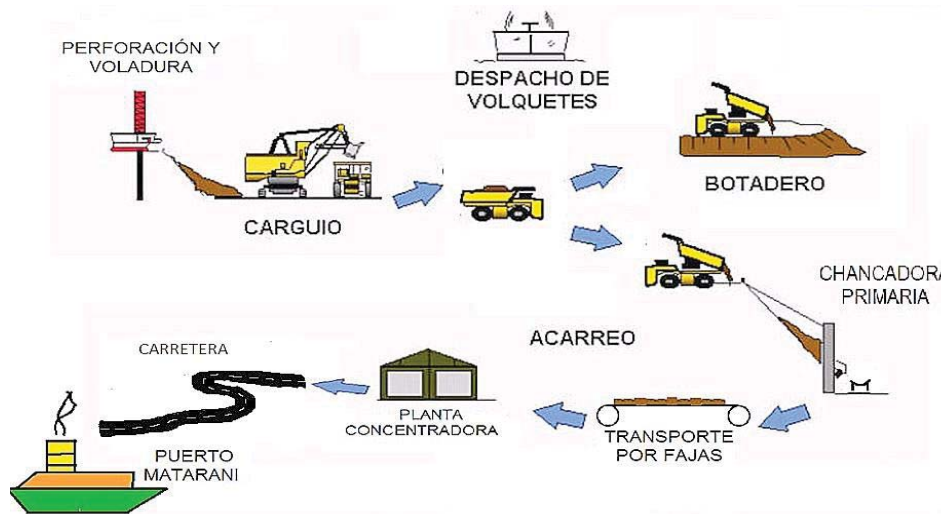
La gerencia de operaciones de MMG las Bambas, lleva el control del proceso productivo de las diferentes actividades unitarias; perforación, voladura, carguío, acarreo de mineral y desmonte tanto en las etapas de construcción **Figura n°3.9** y etapa de producción **Figura n°3.10**.

FIGURA N°3.9 Diagrama de flujo en etapa de construcción



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

FIGURA N°3.10 Diagrama de flujo en fase de producción



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.4.1.1. PERFORACIÓN

Primera actividad dentro del ciclo de la explotación minera que consiste en realizar un hueco sobre una superficie con la finalidad de alojar en él los explosivos que servirán para llevar a cabo la voladura.

3.4.1.1.1. EQUIPOS DE PERFORACIÓN

La perforación en Las Bambas, se realiza con ocho (8) perforadoras primarias, 5 de ellas Eléctricas de la marca P&H y CAT y 3 Diésel de la marca P&H y Atlas Copco, que son utilizadas para realizar la perforación primaria, con una velocidad de perforación de 65 m/hra, un diámetro de broca 12 ¼" y una rotación de 90 RPM en promedio. Para perforaciones secundarias se cuenta con dos (2) perforadoras, marca SANDVIK (DR 560) de 5" de diámetro de broca.

TABLA N°3.2 Equipos de perforación

N°	Código	Marca	Modelo	Sistema	Ø Taladro
1	TD-01	P&H	250 XP – ST	Diésel	12 ¼”
2	TD-02	P&H	250 XPC	Diésel	12 ¼”
3	TD-03	P&H	320 XP – ST	Eléctrica	12 ¼”
4	TD-04	P&H	320 XPC	Eléctrica	12 ¼”
5	TD-05	CATERPILLAR	6640 MD	Eléctrica	12 ¼”
6	TD-06	CATERPILLAR	6640 MD	Eléctrica	12 ¼”
7	TD-07	CATERPILLAR	6640 MD	Eléctrica	12 ¼”
8	TD-09	ATLAS COPCO	PIT VIPER 351	Diésel	12 ¼”
9	TD-11	SANDVIK	DR 560	Diésel	5”
10	TD-12	SANDVIK	DR 560	Diésel	5”

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

Actualmente, el tipo de mallas usadas son de acuerdo al tipo de material o roca. Cabe indicar que las mallas presentadas a continuación pueden sufrir modificaciones de acuerdo al tipo de material y la profundidad del tajo Ferrobomba.

3.4.1.1.2. MALLA EN MINERAL.

Parámetros de malla de perforación en tipo de roca monzonita skarn (MZ/SKARN), de resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de (120 - 160) Mpa. para diámetro de taladro $\varnothing = 12 \frac{1}{4}$ pulg.

La codificación de la dureza R3, R4 es atribuido en esfuerzos de compresión uniaxial USC (100 - 140) Mpa, y R5, R6 para esfuerzos de USC (120 - 160) Mpa del material emplazada en la formación.

TABLA N°3.3 Malla de perforación en mineral

Tipo de taladro	Diámetro (pulg)	E (m)	B (m)	Sub drill (m)	Roca	Dureza
Producción	12 ¼	7	6	1.5	Sk	R5, R6
	12 ¼	6	5.2	1.5	Sk	R6
Amortiguado	12 ¼	5.5	5	0	Sk	R5, R6
Pre corte	5	1.5	0	0	Sk	R5, R6

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.4.1.1.3. MALLA EN CALIZA.

Parámetros de malla de perforación en tipo de roca caliza (Cz), de resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de (100 - 140) Mpa. para diámetro de taladro $\varnothing = 12 \frac{1}{4}$ pulg.

TABLA N°3.4 Malla de perforación en desmonte (caliza)

Tipo de taladro	Diámetro (pulg)	E (m)	B (m)	Sub drill (m)	Roca	Dureza
Producción	12 ¼	9.5	8.3	1	Cz	R4
Amortiguado	12 ¼	5.5	5	0	Cz	R4
Pre corte	5	1.5	0	0	Cz	R4

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.4.1.1.4. MALLA EN MONZONITA

Parámetros de malla de perforación en tipo de roca monzonita (Mz), de resistencia a la compresión uniaxial (UCS) de (100 - 140) Mpa. para diámetro de taladro $\varnothing = 12 \frac{1}{4}$ pulg.

TABLA N°3.5 Malla de perforación en desmonte (monzonita)

Tipo de taladro	Diámetro (pulg)	E (m)	B (m)	Sub drill (m)	Roca	Dureza
Producción	12 ¼	10	8.7	1.5	Mz	R3
	12 ¼	9.5	8.3	1.5	Mz	R4
Amortiguado	12 ¼	5.5	5	0	Mz	R3, R4
Pre corte	5	1.5	0	0	Mz	R3

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

FIGURA N°3.11. Equipos de perforación eléctrica marca P&H 320XPC y CAT 6640 MD.



Fuente: Archivo personal.

En la **Figura n°3.11 y 3.12** se aprecia la serie Pit Viper 271 (PV271) de 75 000 libras de Pull Down (fuerza de empuje) sobre la broca, profundidad de perforación en pasada única de 16 a 20 metros de profundidad de taladro.

FIGURA N°3.12 Perforadoras primarias 12 ¼" de diámetro de taladro



Fuente: Archivo personal.

3.4.1.2. VOLADURA

Actividad que consiste en hacer reaccionar los explosivos contenidos en los taladros con la finalidad de fragmentar el material para que pueda ser cargado, transportado y procesado.

El carguío de los taladros está a cargo de la empresa Orica Mining Services Perú S.A.

- Explosivo Utilizado: ANFO, Fortis Advantage - Heavy ANFO, mezcla: 65/35, 70/30 y 100% emulsión.
- Explosivo Utilizado: Fortis Extra 65/35 Gasificable (Agente en prueba)
- Anfo = Nitrato de Amonio (NH_4NO_3) + Petróleo Diésel Nro. 2, en la proporción de 94% y 6% respectivamente.

3.4.1.2.1. DISEÑO DE CARGA EXPLOSIVA POR TIPO DE ROCA

El diseño de carga explosiva para taladros de producción que se aprecia en la **Tabla n°3.6**, es en base al explosivo Fortis Advantage (65/35, 70/30) y Fortis Extra 65/35 para diámetro de taladro $\varnothing = 12 \frac{1}{4}$ pulg.

TABLA N°3.6 Diseño de carga explosiva para taladros de producción

Tipo de Roca	Taladros Secos			Taladros con Agua		
	Carga FA 65/35 (m)	Taco (m)	FP (kg/tn)	Carga FA 70/30 (m)	Taco (m)	FP (kg/tn)
Monzonita	9.5	7	0.45	10	6.5	0.49
Skarn	9.5	7	0.50	10	6.5	0.53
Caliza	9.5	7	0.43	10	6.5	0.48
Mármol	9.5	7	0.50	10	6.5	0.51

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

El diseño de carga explosiva para taladros de pre-corte, piloto y buffer que se aprecia en la **Tabla n°3.7**, es en base al explosivo Fortis Advantage (65/35, 70/30) y Fortis Extra 65/35 para diámetro de taladro $\varnothing = 12 \frac{1}{4}$ pulg.

TABLA N°3.7 Diseño de carga explosiva para taladros de pre – corte, piloto y buffer

Tipo de Roca	Buffer		Piloto		Pre-corte	
	Carga (m)	Taco (m)	Carga (m)	Taco (m)	Carga (m)	FC (Kg/m ³)
Monzonita	9,5	6,5	1,9	4,4	13.5	0,47
Caliza	9,5	6,5	1,9	4,4	13.5	0,63

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

3.5. DISEÑO DE PARÁMETROS PARA LA VOLADURA

3.5.1. CÁLCULO DE LOS PARÁMETROS GEOMÉTRICOS DE DISEÑO

En la Minera Las Bambas la malla de perforación es de patrón triangular y se utiliza el modelo matemático de R. ASH, por lo que se tiene los siguientes parámetros.

3.5.1.1. BURDEN (B)

$$B = D \times 0.0254 \times K_b$$

Donde:

B = Expresado en metros.

k_b = Varía entre los valores de 20 a 40, depende de la clase de roca y del tipo de explosivo empleado.

D = Diámetro del explosivo en pulgadas (es igual al diámetro de la broca debido al explosivo a granel).

Por lo que se tiene,

$$B = 12.25 \times 0.0254 \times 20$$

$$B = 6.223m \rightarrow B = 6.0m$$

3.5.1.2. ESPACIAMIENTO (S)

$$S = K_s \times B$$

Donde:

Tipo de Roca	Valor de K_s
Roca suave	1.35
Roca media	1.20
Roca dura	1.15

Por consiguiente,

$$S = 1.15 \times 6$$

$$S = 6.9m \cong S = 7.0m$$

3.5.1.3. SOBRE PERFORACIÓN (J)

$$J = K_j \times B$$

Donde:

Tipo de Roca	Valor de K_j
Roca suave	0.20
Roca media	0.25
Roca dura	0.30

Reemplazando,

$$J = 0.30 \times 6$$

$$J = 1.8m$$

3.5.1.4. TAMAÑO ÓPTIMO DE MATERIAL DEL TACO (μ)

$$\mu = \left(\frac{1}{10} \text{ a } \frac{1}{15} \right) \times D_t$$

Donde:

D_t = Diámetro del taladro

Para el caso de la Minera Las Bambas, donde el diámetro del taladro es de 12 ¼", la granulometría del material de taco es;

$$\mu = \frac{1}{10} \times 12.25$$

$$\mu = 1.225 \text{ pulg} \cong 3.1115 \text{ cm}$$

3.5.1.5. TACO (T)

$$T = K_t \times B$$

$$T = 1.2 \times 6 \quad T = 7.2 \text{ m} \rightarrow T = 7m$$

K_t : Valor de $K_t > 1$ para evitar un sobre rompimiento del banco.

3.5.1.6. LONGITUD DE PERFORACIÓN (L)

$$L = K_l \times B$$

Donde:

Rangos L	Valor de K_l
Long. mín.	1.50
Long. prom.	2.75
Long. máx.	4

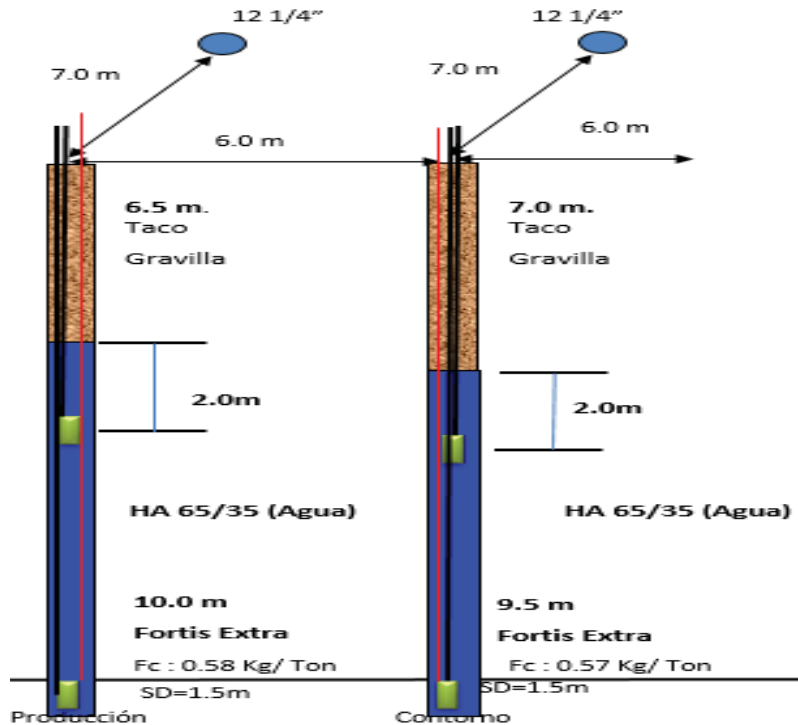
a) $L > B$

b) L debe estar entre los valores $L - \text{mínimo}$ y $L - \text{máximo}$

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

$$L = 2.75 \times 6; \quad L = 16.5\text{m}$$

FIGURA N°3.13. Diseño de carga planeado y ejecutado, doble iniciación electrónica con booster de 2 Libras.



Fuente: Asistencia técnica – OMS Las Bambas.

3.5.2. DISEÑO DE CARGAS

3.5.2.1. LONGITUD DE CARGA (LC)

$$LC = L - T = H + J - T$$

$$L = H + J$$

Reemplazando,

$$LC = 16.5 - 7 \qquad LC = 9.5m$$

3.5.2.2. DENSIDAD DE CARGA LINEAL (DCL)

$$DCL = 0.507 \times (D_t)^2 \times \rho_e ; Kg/m$$

Donde:

D_t = Diámetro del taladro en pulg.

ρ_e = Densidad del explosivo en gr/cc

0.507: Factor de conversión.

Si consideramos un explosivo Fortis Extra 65/35 cuya densidad inicial es de 1.33gr/cc, entonces tendríamos;

$$DCL = 0.507 \times (12.25)^2 \times 1.33$$

$$DCL = 101.19 kg/m$$

3.5.2.3. CARGA TOTAL DE EXPLOSIVO (Q_i)

$$Q_i = DCL \times LC ; Kg$$

$$Q_i = 101.19 \times 9.5$$

$$Q_i = 961.305Kg$$

3.5.2.4. VOLUMEN ROTO (V)

$$V = B \times S \times H ; m^3$$

$$V = 6 \times 7 \times 15 \qquad V = 630 m^3$$

3.5.2.5. TONELAJE ROTO (TN)

$$TN = V \times \rho_r ; Ton$$

Para una densidad de roca (ρ_r) de 2.7 tn/m^3

$$TN = 630 \times 2.7$$

$$TN = 1,701 \text{ Ton}$$

3.5.2.6. FACTOR DE CARGA (FC)

$$FC = \frac{Q}{V}; \text{ Kg/m}^3$$

$$FC = \frac{961.305}{630} = 1.526 \text{ kg/m}^3$$

3.5.2.7. FACTOR DE POTENCIA (FP)

$$FP = \frac{Q}{TN}; \text{ Kg/Ton}$$

$$FP = \frac{961.305}{1,701} = 0.565 \cong 0.57 \text{ Kg/Ton}$$

Para el desarrollo de la tesis se considera un explosivo gasificable Fortis Extra 65/35 cuya densidad final es de $(1.15 - 1.20) \text{ gr/cc}$.

3.5.2.8. FACTOR DE ESPONJAMIENTO (FE)

$$FE = \frac{\rho_i}{\rho_f} = \frac{1.33}{1.15} = 1.157$$

3.5.2.9. TOTAL, DE CARGA FINAL (Q_f)

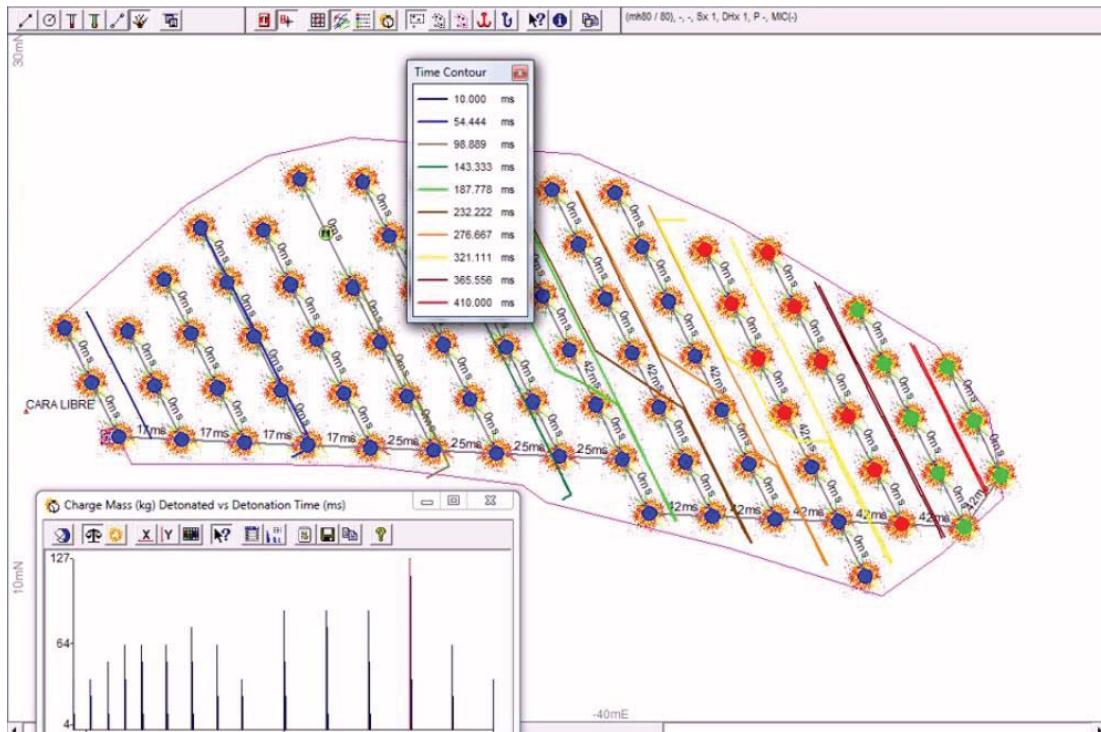
$$Q_f = \frac{Q_i}{FE} = \frac{961.305}{1.157} = 831.204 \text{ Kg}$$

3.5.3. DISEÑO DE VOLADURA CON SHOT PLUS

Orica Mining Services Perú S.A., cuenta con un software de diseño y simulación denominado SHOTPlus II, esta herramienta permite trabajar con los planos de diseño y programar los tiempos, simular voladuras, simular los tiempos de detonación y permite diseñar voladuras y descargarla la información directamente

al logger para codificar a cada detonador. La simulación permite apreciar la secuencia de detonación de cada taladro, la cantidad de carga operante por retardo, la distribución de la energía del explosivo, las isocronas de tiempo, la predicción de fragmentación y proporciona información sobre los parámetros de diseño antes de realizar la voladura, de tal manera que se puede anticipar los resultados y realizar modificaciones a fin de optimizar los parámetros de simulación y ejecutar la programación de los detonadores electrónicos mediante el I-kon Logger. En la **Figura n°3.14** se aprecia el diseño de la secuencia de voladura de corte lateral o echelon.

FIGURA N°3.14 Diseño de secuencia de voladura

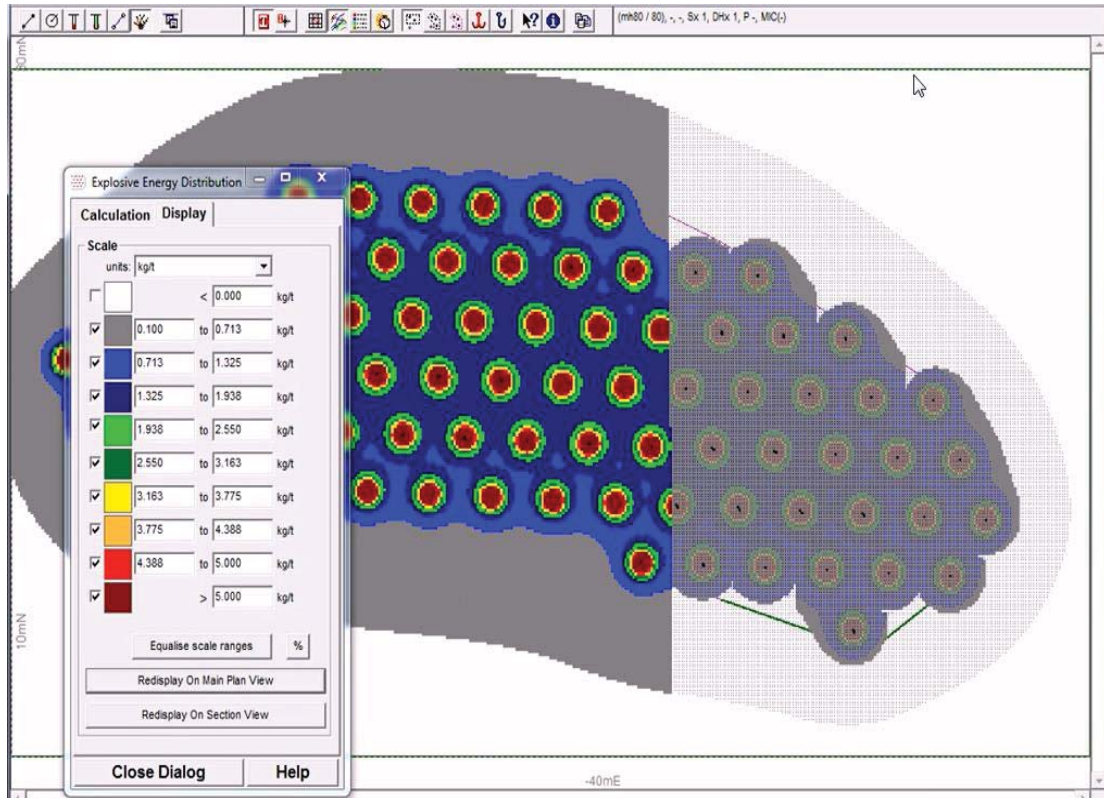


Fuente: Diseño con SHOTPLUS II.

En la **Figura n°3.15** se aprecia la distribución de la energía por taladros programados con el sistema de iniciación electrónico I-kon y un Back up, es decir

un I-kon mas el Excel (prima). Se debe evitar la cantidad de carga operante por retardo en milisegundos, para evitar daños en las estructuras cercanas a la operación y al macizo rocoso remanente.

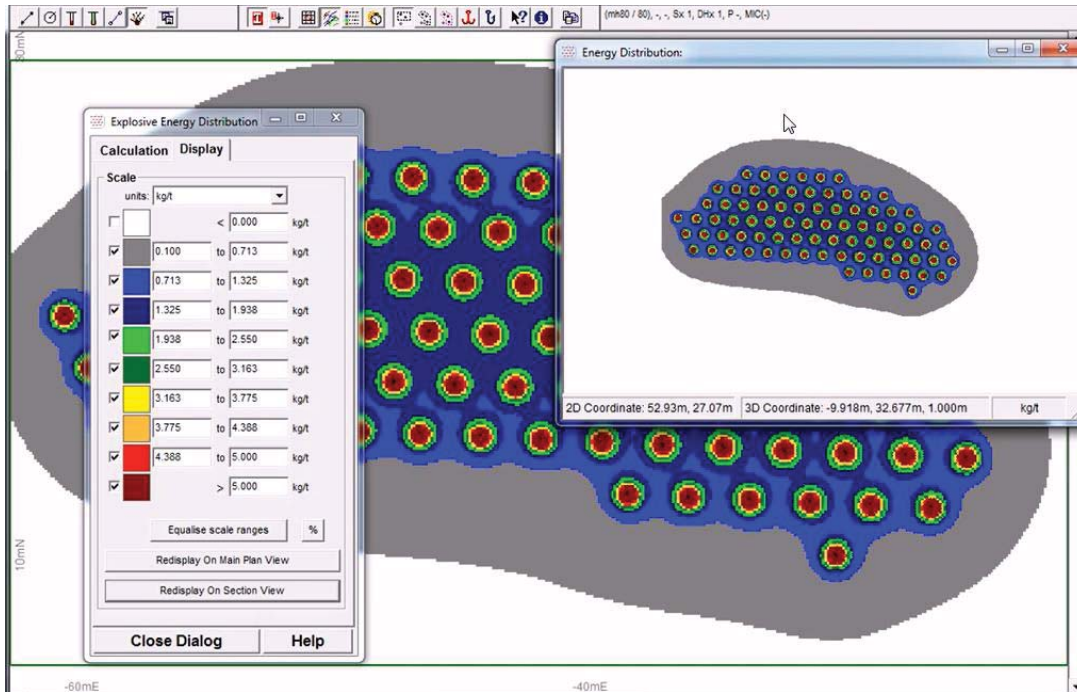
FIGURA N°3.15 Distribución de la energía explosiva por taladro.



Fuente: Diseño con SHOTPlus II.


Uno de los propósitos de la voladura es apilonar adecuadamente el material, para un mejor aprovechamiento del cliente (Equipos de minado). La **Figura n°3.16** se calcula el factor operante para evitar daños al macizo rocoso remanente.

FIGURA N°3.16. Cálculo de la carga máxima instantánea o carga operante.



Fuente: Diseño con SHOTPlus II.

FIGURA N°3.17. Reporte de blaster 2400R



Printer Summary

Mine Site	Blast Date
Blast Location	Blast Time

SHOTPlus file reference 3840-028electronic 2.spf (Rev. 54)
 SHOTPlus title 3840-028

Started upload

Blast Report i-konII BLASTER 2400R SN: 00517 Version: 5.03a

Radio communication
 Operation Frequency: 469.30000 MHz
 Power: 1000 mWatt
 RX/TX: 100 %

Abort always

Fired: 02.Sep.16 pm 4:32:30
 Loggers: 2 Total dets: 245

LOGGER ID: 1	DETS: 130	ERRORS: 0	Current: 1.0 mA	SN: 003750	Version: 05.22k
LOGGER ID: 2	DETS: 115	ERRORS: 0	Current: 1.0 mA	SN: 003757	Version: 05.22k

by ORICA

Finished upload

Fuente: Reporte SHOTPlus II.

La **figura n°3.18** muestra el proyecto de voladura y evacuación de los equipos a la zona segura.

FIGURA N°3.18 Imagen pre voladura



Fuente: Archivo personal.

En las **Figuras n°3.19 y 3.20** se puede apreciar la secuencia de salida de los taladros y un buen apilamiento del material disparado y mínima dispersión.

FIGURA N°3.19. Secuencia de salida



Fuente: Archivo personal

FIGURA N°3.20. Imagen post voladura



Fuente: Archivo personal.

3.5.3.1.1. EQUIPOS DE VOLADURA

- 6 Camiones fábrica
- 5 BodCat (minicargador)
- 1 Telehandler

3.5.3.1.2. AGENTES Y ACCESORIOS DE VOLADURA

- Nitrato de Amonio Industrias Cachimayo S.A.
- Petróleo Diésel Nro. 2
- Emulsión Matriz Orica.
- Booster de ½, 1 y 2lb
- Cordón Detonante 5G
- Detonador no Eléctrico de 400, 500, 600 y 700 ms. (Exel)
- Detonador electrónico I-Kon II
- Retardos Superficiales de 17, 42, 65 y 100 ms
- Línea Silenciosa Excel.
- Fulminante

En la **Figura n°3.21** se aprecia la preparación y abastecimiento de nitrito de sodio (NaNO_2) a la unidad de fabricación móvil MMU.

FIGURA N°3.21 Camión fábrica para el carguío de explosivos a los taladros



Fuente: Archivo personal.

3.5.3.2. CARGUÍO

El objetivo del carguío es cargar de forma eficiente y segura el material disparado desde el frente de carguío en camiones, con el fin de generar los espacios suficientes para la perforación y voladura.

Dependiendo del diseño de las expansiones que se cargan, los requerimientos de productividad y eficiencia y las condiciones operacionales que se presentan, las palas serán dispuestas en dos modalidades de carguío: **Cancha Simple**, en donde la pala tiene habilitado solo uno de sus costados para cargar o bien **Cancha Doble**, donde se tiene habilitado ambos costados del equipo para cargar

- 01 cargador Frontal Letourneau L2350
- 01 cargador Frontal CAT 994C

- 03 Palas CAT 6060 FS
- 02 Palas CAT 7495 HR
- 02 Palas P&H 4100 XPC

TABLA N°3.8 Capacidades de operación, pesos y dimensiones (Letourneau L2350)

L – 2350	Estándar
Capacidad del balde	40 m ³
	72.6 TM
Peso operacional	266.6 TM
Ancho	7.58 m
Largo	20.30 m
Altura	6.71 m
Marcha adelante y reversa	19.31 KPH
Consumo de combustible	45 – 58 gal/hr

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

TABLA N°3.9 Capacidades de operación, pesos y dimensiones (Pala CAT 6060FS)

CAT 6060 FS	Estándar
Capacidad del balde	34 m ³
	61.0 TM
Peso operacional	570.3 TM
Ancho	8.71/12.45 m
Largo	28.07 m
Altura	17.22 m
Marcha adelante y reversa	2.0 KPH
Consumo de combustible	100 – 110 gal/hr

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

FIGURA N°3.22 Carguío: Cargador Letourneau al Camión Komat'su 930E – 4SE



Fuente: Archivo Personal.

3.5.3.3. ACARREO

El objetivo del proceso es retirar el material volado y transportarlo hacia los distintos puntos de descarga (chancadora, botadero, stock) para cumplir con los requerimientos de desarrollo y producción. En la **Figura 3.23** se muestra la flota de equipos Komat'su 930 E – 4SE para el acarreo tanto de mineral y desmonte.

TABLA N°3.10 Equipos de acarreo

Cantidad	Características	¹ Carga Nominal
45	Komat'su 930E – 4SE	320 TM
6	CAT 797F	400 TM

Fuente: Datos de la empresa MMG Las Bambas.

¹ La carga nominal se denomina también carga indicada, es la capacidad máxima de carga de una unidad de carga o acarreo que puede llevar sin imponer esfuerzos excesivos sobre los neumáticos o sobre la propia máquina, por este motivo los fabricantes de equipos señalan una capacidad indicada en los camiones para evitar la sobrecarga especialmente cuando se trabaja con materiales de mucha densidad.

TABLA N°3.11 Capacidades, pesos y dimensiones (Komat'su 930 E – 4SE)

Komat'su 930 E – 4SE	Estándar
Capacidad del balde	211 m ³
	290.30 TM
Peso operacional	720.90 TM
Ancho	9.10 m
Largo	15.30 m
Altura	7.60 m
Velocidad continua y corto plazo	35 – 45 KPH
Consumo de combustible	45 – 50 gal/hr

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

FIGURA N°3.23 Equipos de acarreo: Camión Komat'su 930E – 4SE



Fuente: Archivo personal.

3.5.3.4. CONSTRUCCIÓN Y DRENAJE EN PISTAS MINERAS

3.5.3.4.1. CONSTRUCCIÓN

Dentro de las actividades permanentes en una explotación minera como es las Bambas se encuentra la construcción o habilitación de accesos. Se requiere ir coordinando la ejecución de las actividades productivas diarias con la ejecución de las actividades que hacen relación con esta construcción mediante los equipos

auxiliares descritas en la siguiente **Tabla 3.12.** y la mantención de las pistas mineras.

TABLA N°3.12 Equipos auxiliares.

Cantidad	Características
7	Tractores de ruedas CAT 844H
7	Tractores de orugas Komat'su D475A – 5EO
4	Motoniveladoras CAT 24M
3	Excavadoras: 01 CAT 374DL y 02 CAT 390DL
1	Rodillo CAT CS56
4	Cisternas Komat'su HD1500

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la empresa MMG.

Las principales labores de construcción que se realizan en Las Bambas son:

- Mantenimiento de vías, accesos y limpieza de pisos de carguío.
- Mantenimiento de los botaderos y conformación de cunetas.
- Conformación de bermas en las vías de acceso y botaderos.
- Construcción de rampas de diseño y temporales.
- Regadío con cisterna de agua en todas las vías de tránsito.
- Colocación y Reubicación de Señalizaciones en Mina.

FIGURA N°3.24 Mantenimiento de vías y accesos



Fuente: Archivo personal.

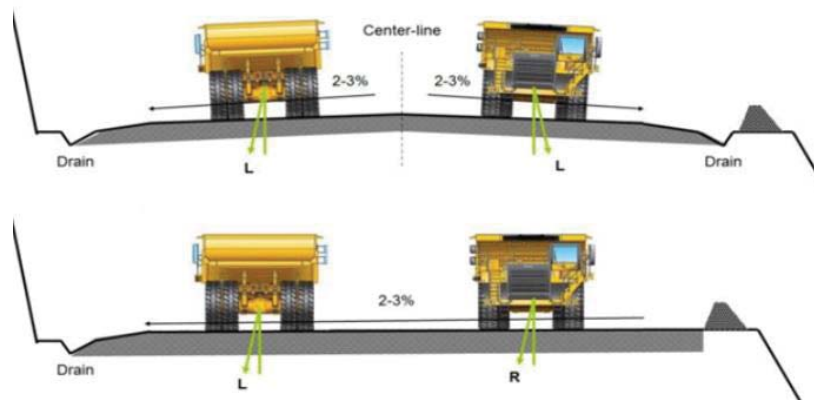
3.5.3.4.2. DRENAJE EN PISTAS MINERAS

La pendiente debe desplazar las precipitaciones máximas esperadas de manera adecuada, con formación mínima de charcos, pozos o entradas de agua a la sub base del camino.

El drenaje de la mina es la gestión de las interferencias de la operación en la atmosfera. Esta gestión permite normalmente lo siguiente:

- Minimizar la cantidad de agua en circulación en áreas operativas.
- Reaprovechar el máximo de agua utilizada en el proceso industrial.
- Eliminar aguas con ciertas características para que no afecten negativamente la calidad del cuerpo de agua receptor.

FIGURA N°3.25 Pendiente transversal para un fácil drenado en superficies con reducida resistencia a la rodadura adecuada de 2cm/m.



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la empresa MMG.

3.6. PROCESOS METALÚRGICOS

En Las Bambas los minerales de cobre como se indicó pueden presentarse como sulfuros u óxidos, cada uno de ellos será tratado con un proceso metalúrgico diferenciado.

El producto de la Planta de Óxidos será el cobre metálico en forma de planchas (Cátodos) que se espera tener una pureza de 99.999% de cobre, no requiriendo de otros procesos adicionales, y en la planta de sulfuros se obtendrá el concentrado de cobre (subproductos de oro y plata) y concentrado de molibdeno a través de un proceso llamado flotación.

Se utiliza una planta concentradora convencional para el tratamiento de sulfuros de cobre y molibdeno provenientes de los tres (3) yacimientos (Ferrobamba, Chalcobamba – Charcas y Sulfobamba).

La planta tiene dos líneas de producción con un molino SAG y un molino de bolas por línea con una capacidad total de 140,000 toneladas métricas por día. El mineral de las chancadoras primarias (cercanas a la mina) son transportadas a la planta mediante dos fajas transportadoras accionadas por motores Gearless, que tienen una longitud total de 5,2 km.

Se utiliza tres molinos ISA Mills (M3000) en el circuito de remolienda para los productos de la flotación rougher y rougher – scavenger. A través de la selección de tres (3) filtros horizontales se espera obtener una humedad promedio de 9% en el concentrado de cobre.

El concentrado de cobre y molibdeno se transporta al puerto de Matarani mediante camiones y tren. El agua fresca provendrá del río Challhuahuacho (800 L/s) y se usará un reservorio de agua fresca (Chuspiri - 4,2MM m³) como respaldo durante la temporada seca.

CAPÍTULO IV
METODOLOGIA DE EVALUACION DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN
GASIFICADA

4.1. PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

Para el presente trabajo se establece cuatro parámetros de evaluación del rendimiento de la emulsión Gasificable, para lo cual se realiza un análisis comparativo con lo recopilado de la línea base, siendo el producto Fortis Advantage (65/35 y 70/30) a base de emulsión matriz, aspectos sumamente importantes que permitirá entender de fondo el desempeño del producto Fortis Extra Gasificable (65/35) en campaña de proyectos de voladura, y con ello evaluar rendimientos.

- Densidad
- Velocidad de Onda de detonación (VOD)
- Fragmentación
- Tasa de excavación (DIG – RATE)

En el desarrollo de cada parámetro a evaluar, se determina un procedimiento de medición específica diferente a cada uno de ellos, con la finalidad de que los datos sean representativos y confiables. A continuación, se describe el proceso del desarrollo que se siguió para cada criterio de análisis, así como el uso de equipos y recursos empleados en las campañas de prueba.

4.1.1. MEDICIÓN DE DENSIDAD

Esta propiedad viene a ser un factor crítico, por ello se realizan controles de viscosidad, densidad, temperatura y análisis visual de la emulsión, medidos dentro de un volumen conocido, siendo en el caso del explosivo que no gasifica (Fortis Advantage) su densidad es constante y basta con tomar una muestra durante la descarga al taladro.

FIGURA N°4.1. Fotografía de Fortis Advantage a base de emulsión matriz.

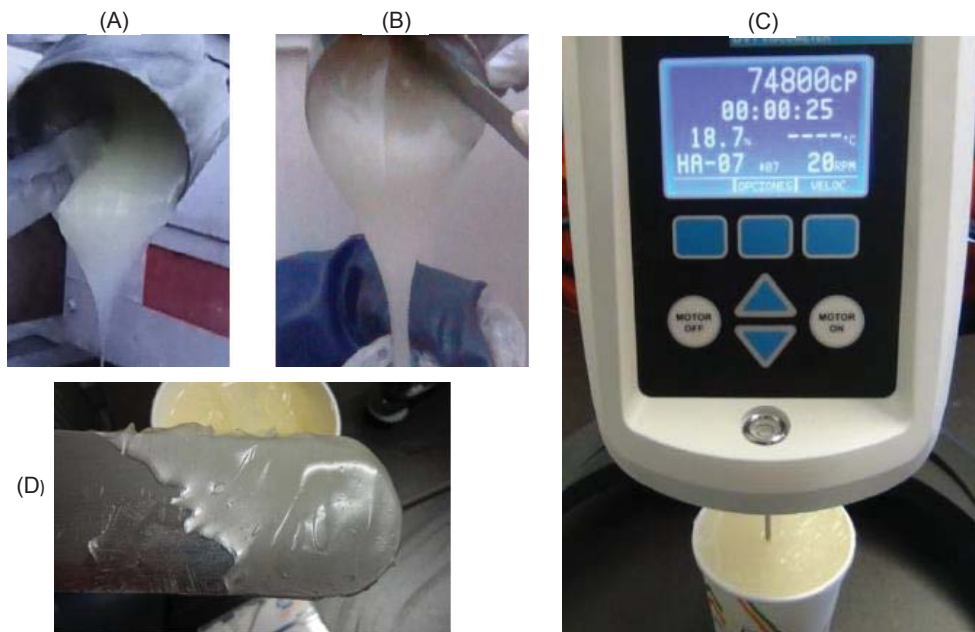


Fuente: Reporte de asistencia técnica OMS.

Para el caso de la mezcla explosiva Fortis Extra Gasificable, es importante determinar una adecuada calidad en viscosidad, densidad y temperatura. Las pruebas de laboratorio y calibración de camión fábrica fueron realizadas un día

antes de iniciar con las pruebas, se determina la calidad en la viscosidad cuyos valores aceptables deben registrar entre un rango de 72 000 – 74 800 centipoise a 20 RPM y a una temperatura de 15 a 18°C, se obtiene una densidad de 1.15 a 1.20 gr/cm³ dentro del rango de calidad de medición. En el caso de su cristalización debido a la presencia de finos en el nitrato de amonio sus aditivos pueden reaccionar con los surfactantes (aditivos químicos) de la emulsión produciendo cristalización, su viscosidad cambia debido a su formación en cristal y su vida útil el cual es considerablemente menor, debido a ello es necesario colocar anti-aglomerante, la **Figura n°4.2** muestra la escurrentía (A), fluidez (B), medición de la viscosidad (C) y una nula formación de cristal (D). Dichas mediciones se encuentran dentro de los parámetros manejados por Orica.

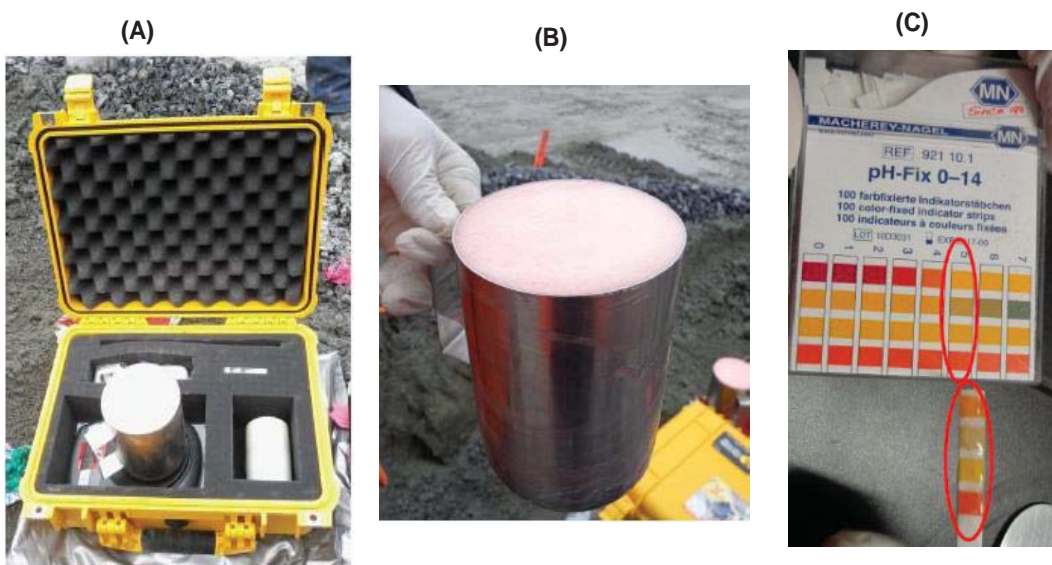
FIGURA N°4.2. Se aprecia un escurrimiento aceptable, formación de cristales nula y valores de medición aceptables.



Fuente: Reporte de asistencia técnica OMS.

Se realiza control de gasificación a las unidades de fabricación móvil MMU, cargados con la emulsión de prueba. Es importante medir la densidad inicial y final (tras 15 a 25 minutos de esponjamiento) a una temperatura de muestra de 20 a 25°C a partir de una densidad inicial de 1.32 y 1.33 gr/cm³; determinado valores iniciales se procede a ajustar la inyección de nitrito de sodio en 30% a una concentración del 10% de nitrito de sodio, de esta manera alcanzar rangos permitidos en densidad de acuerdo a la necesidad del terreno de (1.15 - 1.20) gr/cm³ de densidad de copa, rangos operacionales manejados por asistencia técnica las OMS, con un PH de 2 a 5 lo cual le confiere una consistencia acida a la emulsión. La **Figura n°4.3**, muestra el procedimiento de medición de la densidad al momento de la descarga a través de la línea de auger (A), espera del tiempo de gasificado (B) y determinación de PH de la mezcla explosiva (C).

FIGURA N°4.3. Procedimiento de medición de densidad y PH de Fortis Extra Gasificable.



Fuente: Reporte de asistencia técnica OMS.

A continuación, se detalla los materiales básicos para la determinación y medición de la densidad y cualidades propias en calidad, los cuales forman el kit obligatorio para las pruebas necesarias de toma de densidad, temperatura, viscosidad y PH de la emulsión.

- Viscosímetro
- Termómetro
- Espátula
- Balanza
- Vaso calibrado, de presencia de 1lt
- Baldes para toma de muestras.

FIGURA N°4.4. Materiales necesarios para la medición de densidad, viscosidad y grado de acides.

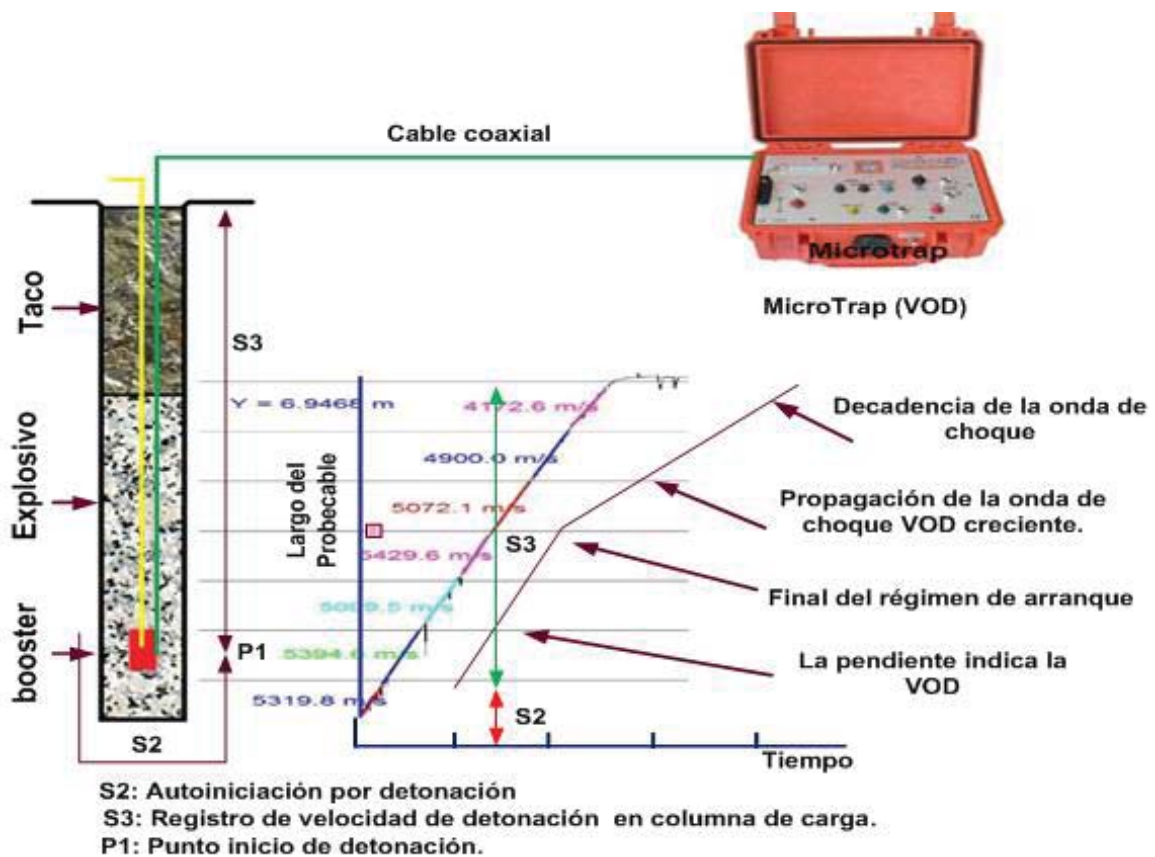


Fuente: Elaboración propia en base a datos de la empresa OMS.

4.1.2. MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN (VOD)

La velocidad a la que onda de detonación que se propaga a través de la columna explosiva, se realiza con el equipo de medición MicroTrap que permite medir la VOD (**Figura 4.5**) por proyecto de voladura por el método de corto circuito, siendo posible en este caso su instalación en un solo taladro debido a perturbaciones durante la medición o halos de energía compartida por taladros continuos y posibilidades de fallas en la medición o cortes.

FIGURA N°4.5 Método de medición de VOD (Modificado de Orica)



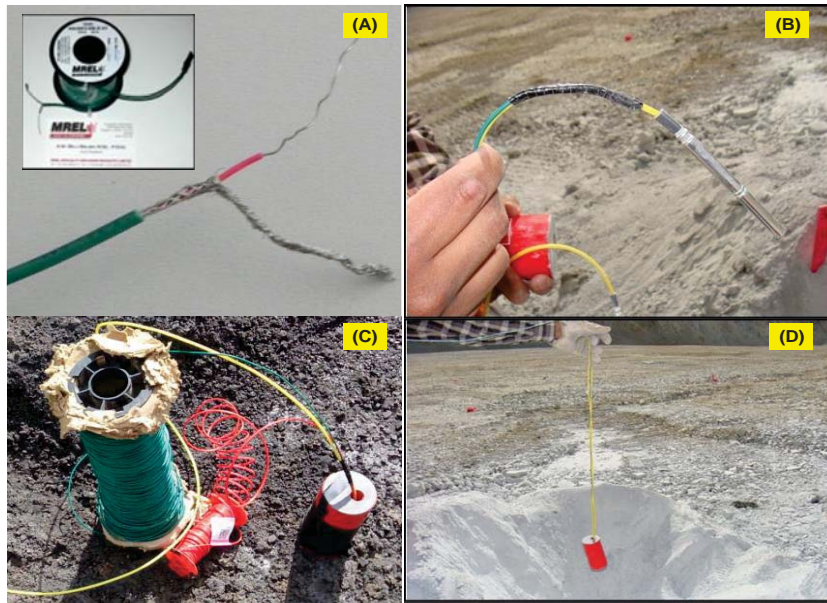
Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS.

El método de medición de la VOD consiste en medir la disminución de la resistencia de un circuito eléctrico, a medida que el frente de detonación consume

un cable resistivo. Esto se logra mediante la instalación de un Probecable con rango de resistencia permitido por el MicroTrap, de 50 a 3 000 ohms, y con una resistencia del Probecable es de 10.8 ohms/m, se necesitará 17 metros de Probecable para poder medir la VOD en un taladro de 16.50 metros de profundidad; de esta manera se logra unir con el cable coaxial que va unida al equipo MicroTrap ubicada a una distancia segura de 80m.

El Probecable al retirar la capa aislante de un extremo, se hace un cortocircuito conectando al cable de protección del cable conductor central (A), se une conjuntamente al detonador electrónico con cinta aislante (B), luego se enrosca junto al Booster o iniciador (C) y finalmente se introduce al taladro (D) y se extiende a lo largo de la columna explosiva **Figura 4.6**. A medida que el frente de detonación del explosivo consume el cable resistivo, la resistencia del corto circuito disminuirá en proporción a la reducción del largo del Probecable. De esta manera el equipo MicroTrap registra la disminución resultante en voltaje en comparación con el tiempo. El software convierte los datos en un gráfico de distancia versus tiempo, como se puede apreciar en la **figura 4.7**. El desarrollo de la velocidad de detonación se registra de manera continua hasta alcanzar el material de taco, posteriormente recae el registro de medición. El resultado de la medición es una gradiente que indica la velocidad obtenida.

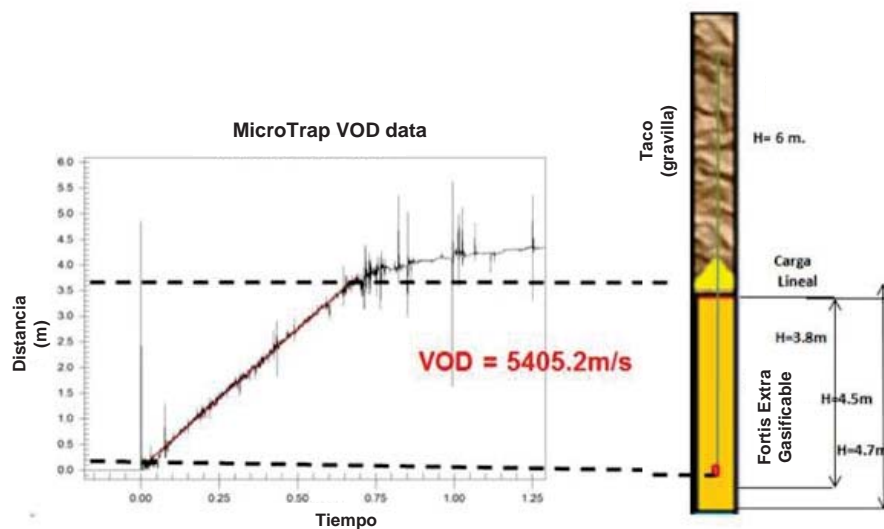
FIGURA N°4.6 Instalación del Probecable resistivo (verde) junto al Booster de 2Lb y sistema de iniciación.



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

En el siguiente **Figura n°4.7** se muestra el registro de medición, a través de las pruebas realizadas con el equipo MicroTrap.

FIGURA N°4.7. Resultado de medición de VOD (Modificado de Orica)



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

4.1.3. MEDICIÓN DE LA FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL

Para el análisis de la fragmentación post voladura, se usa el software PortaMetrics es un Tablet portátil para apuntar y disparar, la cual provee análisis de fragmentación de la escena deseada. Cuenta con un sensor de imagen 3D es combinado con una unidad poderosa de procesamiento para proveer exactitud en la información de la fragmentación, no se realizan supuestos acerca de la forma de la escena o el ángulo de la línea de vista de la cámara y la escena. La **Figura n°4.8** se muestra el equipo PortaMetrics.

FIGURA N°4.8. PortaMetrics™, para el análisis de la fragmentación



Fuente: Pagina web portametrics.

El **Cuadro n°4.1** hace una descripción de las partes principales del equipo, y las funciones de uso.

CUADRO N°4.1 Descripción de las partes principales del equipo PortaMetrics.

PARTE	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
A	PANTALLA TÁCTIL	Controlador de la edición y la selección de imágenes.
B	ANTENA GPS	Brinda las información de posicionamiento.
C	BOTÓN CAPTURADOR	Capturador de imagen a analizar
	BOTÓN ON/ OFF	Encendido y apagado del equipo
E	CÁMARAS	Lentes que crean la imagen a analizar en 3D
F	VENTILADOR	Enfría los componentes internos

Fuente: Elaboración en base a datos de Orica.

Portametrics cuenta con un sensor instantáneo de pendiente, lo cual permite al operario tomar gran número de puntos 3D para estimar la pendiente de una escena deseada y mediante el procesamiento de datos, el sistema analizará las imágenes y presenta la información de un interfaz de un usuario grafico intuitivo. Es importante indicar las bondades que brinda el PortaMetrics que son: distancia de trabajo 0.5-30 m, vista de terreno a 10 m, medición de roca más pequeña 3 cm, precisión midiendo el tamaño de roca +/-1cm a 10m, precisión midiendo pendientes +/- 0.5 (deg), conexiones de red Wi-Fi y GPS y resolución de pantalla LCD 2560x2048 pixeles. Este último nos permite generar reportes de análisis de la fragmentación de manera instantánea y el rango de medición en tiempo real del pasante 80 (P80), registrando la fragmentación de manera cualitativa y dar mayor relevancia al DIG – RATE (tasa de excavación). La **Figura n°4.9** muestra la pantalla principal de edición de imágenes.

FIGURA N°4.9. Interfaz de toma de imagen en 3D.



Fuente: Asistencia técnica OMS.

El **Cuadro n°4.2** se describe los comandos de la pantalla visor de imágenes y la selección del área de interés a ser analizado.

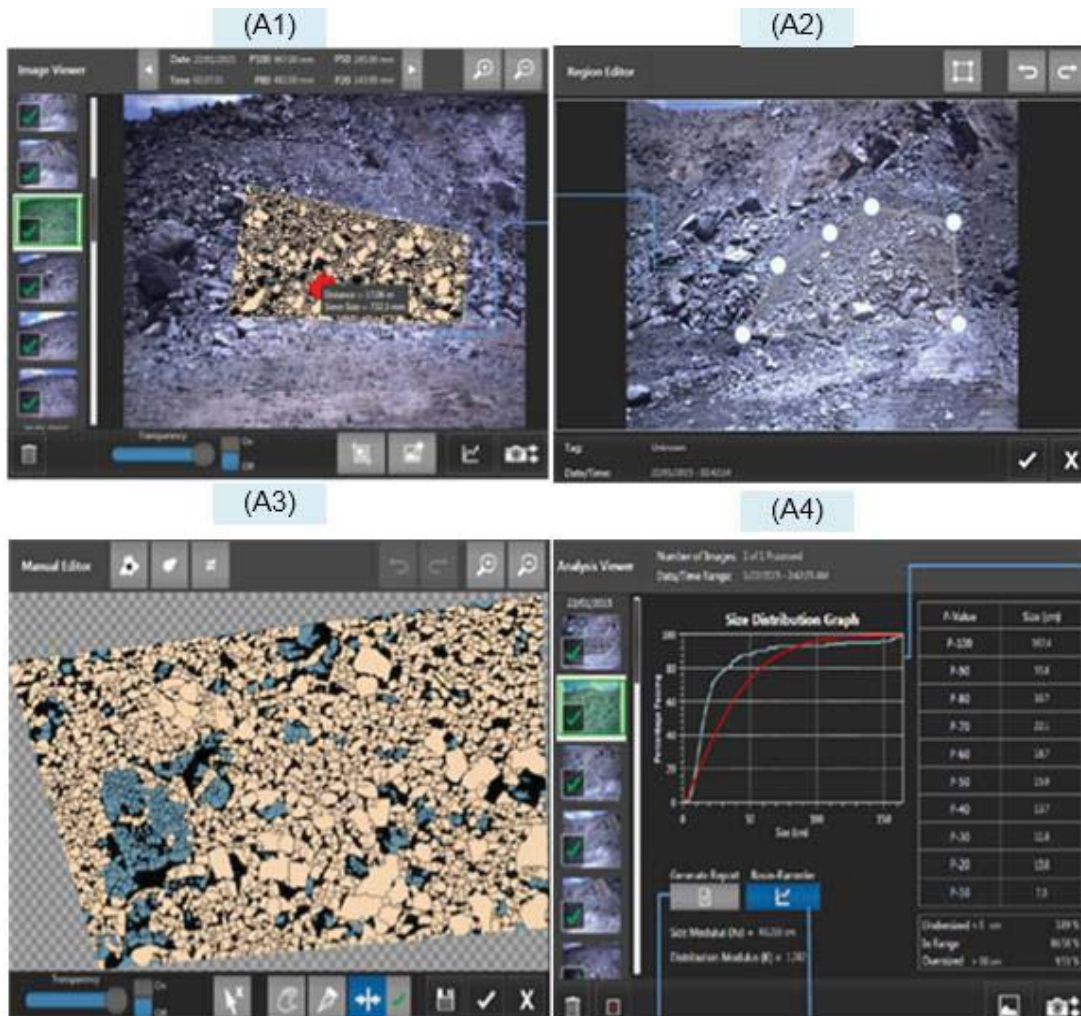
CUADRO N°4.2 Descripción de la pantalla visor de imágenes.

PARTE	NOMBRE	DESCRIPCION
A	botón visor de imágenes	Cumple 2 funciones, visor de imágenes anteriores y actuales
B	Cuadros estadísticos	Cuadros con las curvas de suavización del material
C	Editor de imagen	Botón de menú para la edición de la imagen
D	Pendiente	Pendiente presentada del área seleccionada a analizar
E	Nombre del área	Descripción del nombre del área a analizar
F	Rango de la cámara	Rango de buena resolución de la cámara
G	Factor de resolución	Rango permisible para una buena captura de imagen
H	Región de Interés	Área seleccionada para realizar el proceso de fragmentación

Fuente: Elaboración en base a datos de Orica.

López Jimeno (2010), en su investigación sobre la calidad de la fragmentación, menciona que un indicador representativo del performance de la voladura y la calidad de la misma, atribuye a niveles altos de DIG – RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado, para lo cual se decidirá relacionar calidad de la fragmentación con la tasa de excavación.

FIGURA N°4.10. Cuadros de visor de imágenes, ajuste de región, edición de fragmentación y resultados de análisis de la fragmentación.



Fuente: Evaluación del P80 a través del Portametrics.

La **Figura n°4.10** se aprecia el modo de trabajo que ofrece el software PortaMetrics, a través de una secuencia ordenada de pasos que se detalla; pantalla visor de imágenes (A1), ajuste de la región de interés (A2), edición de fragmentación (A3) y resultados del análisis de la fragmentación (A4).

4.1.4. MEDICIÓN DE LA TASA DE EXCAVACIÓN (DIG – RATE)

Para evaluar el DIG-RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado, también llamado el cliente o la Pala, se ha atribuido otros factores o elementos externos al minado, que afectan de manera directa o indirectamente al proceso productivo, como las condiciones climáticas, la calidad del material disparado, condición de las vías, medidas de seguridad en la zona de carguío, asignación de camiones mediante Dispatch.

Para el presente estudio de evaluación del DIG-RATE (tasa de excavación) de los equipos de minado, no se considera la data histórica para efectos de comparación y evaluación de la productividad de los equipos de minado, debido a la data que se maneja con los resultados obtenidos con Fortis Advantage (65/35, 70/30); lo cual representa datos para efectos de comparación y estudio con el agente de voladura en prueba Fortis Extra Gasificable 65/35 y resultados de tasa de excavación que se alcanza al momento de la campaña de pruebas con la nueva emulsión energética Fortis Extra 65/35.

La campaña de pruebas con la emulsión energética Fortis Extra Gasificable 65/35 se efectuó en los niveles 3780 - 3795 msnm, en los seis proyectos de voladura disparados que corresponden a la zona Jahuaypalla Baja. Los datos recabados como resultado de las pruebas a efectos de comparación con el DIG-RATE,

detonado en pruebas de polígonos continuos del nuevo explosivo en etapa de prueba y explosivo en actual uso, se considera que las mallas tengan el mismo diseño de burden y espaciamiento, cantidad de carga y principalmente que sea el mismo material. La compañía cuenta con un software de administración de flotas a tajo abierto (Dispatch), la misma que permite controlar los polígonos y geosegmentos cargados por el departamento de geología y divisar tipos de material, leyes, ubicación Pala – Camión, etc.

La operación de minado, se dio en las mismas condiciones de material en prueba, tanto proyectos detonados con Fortis Advantage Matriz, como aquellos detonados a base de Fortis Extra Gasificable.

La data de Productividad que representan los clientes durante el proceso productivo de minado, es controlada mediante el software de gestión Dispatch, quienes manejan dichos datos en reportes de tiempo real mediante sensores instalados en cada Camión que envía información Online para reportes estadísticos de cada unidad.

La tasa de excavación de los equipos de minado se calcula de la siguiente manera:

$$TASA DE EXCAVACIÓN \left(\frac{TM}{H} \right) = \frac{Tonelaje\ nominal}{Tiempo\ de\ carguio}$$

Para efectos de cálculo del tonelaje nominal de los camiones Komat'su 930E – 4SE, con capacidad de carga de 320 toneladas métricas y el tiempo de carguío

aproximado de la pala eléctrica CAT 7495 HR es de 3.65 minutos, mediante los cálculos realizados se determina el rendimiento horario de la Pala.

$$TASA DE EXCAVACIÓN \left(\frac{TM}{H} \right) = \frac{320}{3.65/60} = 5260 \frac{tm}{h} \approx 5200 \text{ tm/h}$$

Cabe señalar que la productividad del cliente (Pala) es afectado por diversos factores intrínseco a la operación como la densidad del material de minado, frentes duros, disponibilidad del equipo, habilidad del operador, calidad de material volado, condiciones climáticas adversas (tormentas eléctricas), pisos desnivelados y medidas de seguridad en la operación que afectan la Tasa de Excavación de los equipos de minado.

4.2. EVALUACIÓN DE RESULTADOS LINEA BASE FORTIS ADVANTAGE 65/35 Y 70/30

4.2.1. LÍNEA BASE – FORTIS ADVANTAGE (65/35, 70/30).

Los resultados del performance de los explosivos utilizados en aplicación actual, se procederá en su recolección de información referente a eventos pasados y actuales de Fortis Advantage a base de la emulsión matriz, en sus variantes de mezcla se tiene las siguientes proporciones; emulsión 65% y ANFO 35% (Fortis Advantage 65/35), emulsión 70% y ANFO 30% (Fortis Advantage 70/30). La información histórica propia de sus operaciones hasta la actualidad es de valiosa utilidad para efectos de comparación y evaluación; la cual será utilizado para elaborar la línea base cuya medición se realiza siguiendo los procedimientos a inicio del presente **Capítulo IV**.

4.2.2. DENSIDAD Y VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACIÓN CON FA

Debido a que el explosivo Fortis Advantage a base de emulsión matriz, tiene una densidad constante a partir de una mezcla variable en proporciones de (65/35, 70/30), el cual permite adaptar a las condiciones del terreno. Por tal motivo se tiene que la densidad es constante tanto inicial y final de su descarga a los taladros. Los resultados se muestran en la siguiente **Tabla n°4.1**.

TABLA N°4.1 Resultado de medición con Fortis Advantage (65/35, 70/30) a base de emulsión matriz, en densidad y VOD para taladros con diámetros de 12 ¼"

Proporciones mezcla Fortis Advantage matriz	Proyecto	Zona	Nivel (m.s.n.m)	Densidad (gr/cm ³)	VOD (m/s)	
Fortis Advantage (65/35)					Teórico	Real
Prueba 1	022	Jahuaypalla baja	3795	1.19	4800 - 5200	5102.8
Prueba 2	031	Jahuaypalla baja	3795	1.16		5160.2
Prueba 3	007	Jahuaypalla baja	3780	1.15		5145.5
Fortis Advantage (70/30)						
Prueba 1	011	Jahuaypalla baja	3780	1.27	4500 - 5000	4782.5
Prueba 2	010	Jahuaypalla baja	3780	1.23		4800.2
Prueba 3	036	Jahuaypalla baja	3900	1.20		4650.0

Fuente: Reporte de asistencia técnica OMS.

4.2.3. FRAGMENTACIÓN CON FA (65/35, 70/30)

Mediante el estudio, se ha podido recopilar información en cuanto a las pruebas realizadas de densidad, velocidad de detonación y análisis de fragmentación obtenidas con el explosivo línea base; así mismo se recabó información de los

proyectos detonados en base al porcentaje pasante (P80) del material fragmentado entre los rangos de (5.26 – 8.59) pulg, de material roto.

4.2.4. RESULTADOS DE TASA DE EXCAVACIÓN CON FA (65/35, 70/30)

Niveles altos de tasa de excavación de los equipos de minado (CAT 7495 HR, CAT 6060 FS y Letourneau L2350), es un indicador clave de la calidad en la fragmentación según el explosivo utilizado. Este argumento es respaldado por los estudios realizados por López Gimeno (2010), donde concluye que la tasa de excavación de los equipos de minado es un indicador clave de desempeño del performance de la voladura.

Los resultados de la tasa de excavación de los equipos de minado (método de medición se describe en la sección 4.1.4) es proporcionada por el departamento de operaciones mina (Dispatch), estos valores se muestran en la **Tabla n°4.2**, la misma que serán comparados y evaluados.

TABLA N°4.2. Resultados de Tasa de excavación con Fortis Advantage en función al porcentaje pasante (P80)

Zona de Minado	Equipo de Carguío	DIG-RATE (tn/hra)	% Disponibilidad	% Utilización
Jahuaypalla baja	CAT 6060 FS	2,382.55	88	63
Jahuaypalla baja	CAT 7495 HR	4,247.29	67	69
Jahuaypalla baja	Letourneau L2350	1,799.23	87	70

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

Nota. La información real en cuanto a dig-rate no es mostrada por motivos de confidencialidad de Minera Las Bambas.

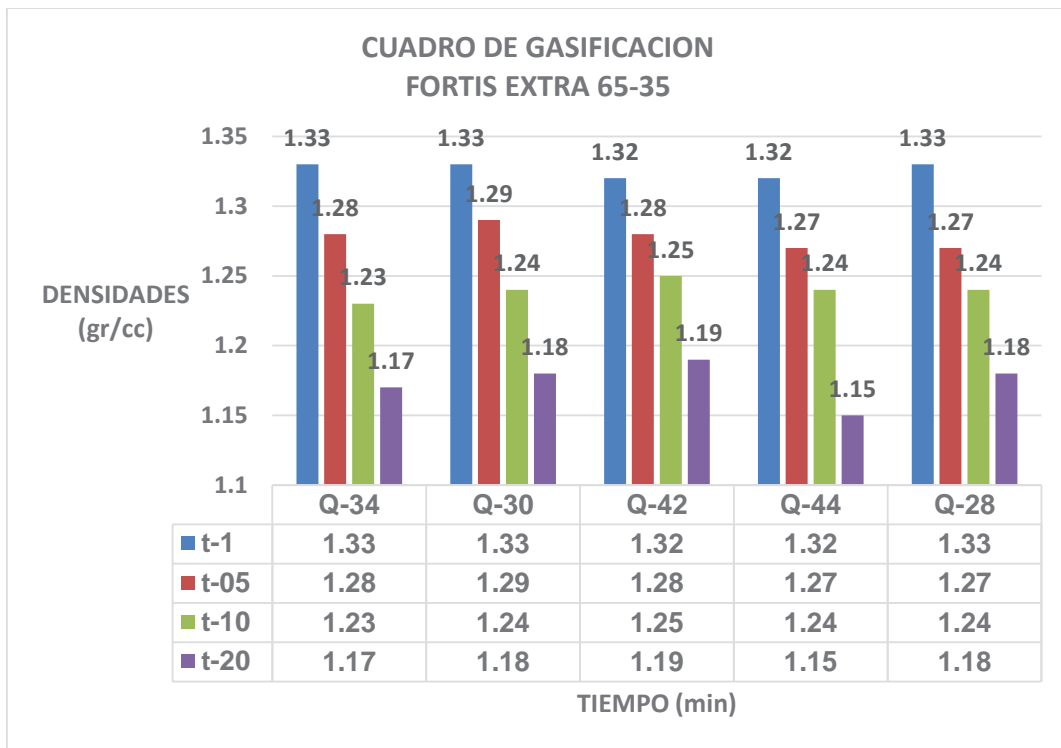
La flota de equipos de minado, para el presente estudio se cuenta con una pala hidráulica y una pala eléctrica ambos marca CAT, así como un cargador frontal de alto nivel de productividad Letourneau L2350.

4.3. EVALUACIÓN DE PRUEBAS – FORTIS EXTRA GASIFICADO 65/35.

Previo a los resultados establecidos a partir de la línea base, se procede al despacho de las unidades de fabricación móvil (MMU), debidamente calibrados y personalizados mediante el Software ProBlast, la cual ofrece una opción de fábrica de acuerdo a las necesidades del terreno.

La tasa de gasificación química es controlada mediante el software ProBlast de manera automática, evitando incurrir en problemas de gasificado y maximizar la calidad del producto Fortis Extra Gasificable. La **Gráfica n°4.1** muestra los valores de gasificación en base a un rango de densidad, para las condiciones geomecánicas de roca mineralizada dura; se trabaja con parámetros de gasificación final obtenidas a partir de una densidad inicial de 1.32 y 1.33 gr/cm³ y densidad final de gasificado que varía de 1.15 a 1.20 gr/cm³ en curva de gasificación de densidad de copa alcanzado. Asistencia técnica – las Bambas evalúa las curvas de gasificación con valores estandarizados en concentración de nitrito de sodio del 10% y porcentaje de inyección del 0.30%.

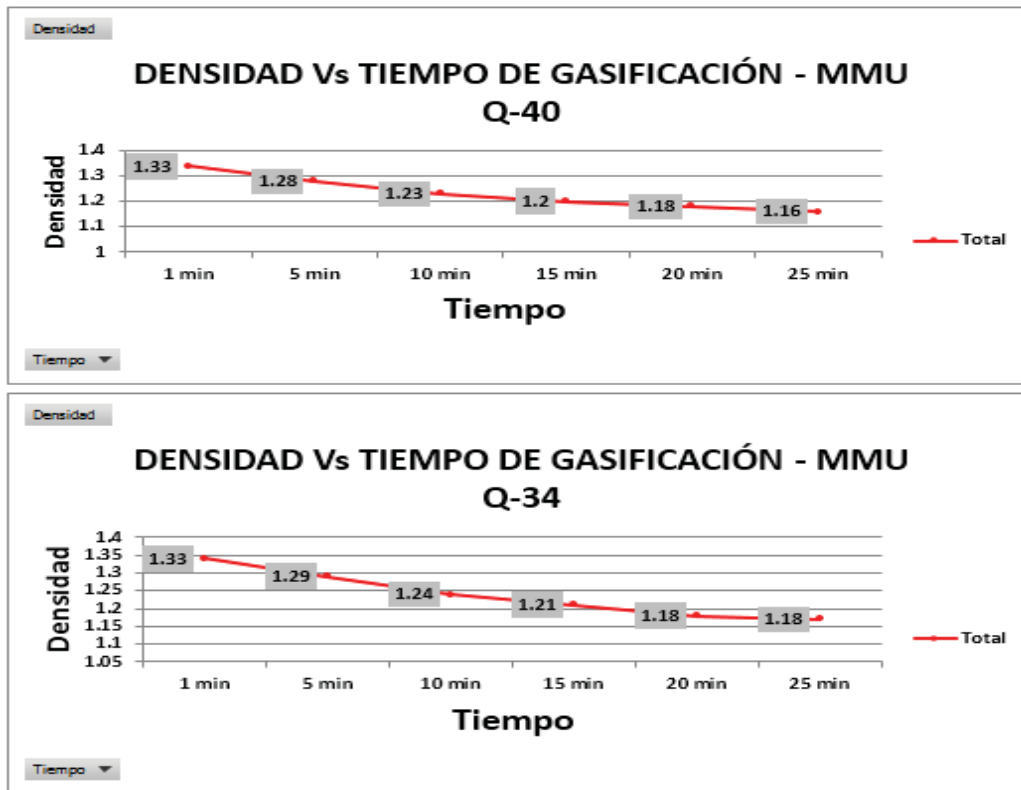
GRÁFICO N°4.1. Tiempo de gasificación para el explosivo Fortis Extra 65/35 para diferentes camiones fábrica.



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

La comparación de la línea base Fortis Advantage Matriz de densidad constante, ofrece una densidad referencial al explosivo en prueba Fortis Extra Gasificable, cuyo valor de densidad es aproximado a la densidad equivalente de Fortis Advantage Matriz. La densidad final de la curva de gasificación también denominada densidad operacional, permite analizar el desempeño de la mezcla explosiva gasificable, la **Gráfica n°4.2** muestra la curva de gasificación a partir de una densidad inicial en función al tiempo se obtendrá una densidad final de manejo operativo.

GRÁFICO N°4.2. Variación de la densidad vs tiempo de gasificado, antes de tapar el taladro con el material de taco.



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

Como parte del procedimiento de control de calidad, antes de realizar el procedimiento de carguío se tiene que realizar la medición de densidad, viscosidad, temperatura y evaluación de la curva de gasificación de la mezcla explosiva de cada camión fábrica.

TABLA N°4.3. Densidad gasificada de Fortis Extra 65/35 a similitud de Fortis Advantage en base al rango de velocidad de detonación (VOD).

Densidad (gr/cm ³) de Fortis Extra Gasificable (FE) 65/35 en el tiempo de 20 min			Valor equivalente en Fortis Advantage (FA) Matriz según VOD es.
Camión Fabrica	Densidad Inicial (gr/cm ³)	Densidad Final (gr/cm ³)	
Q – 34 FE	1.33	1.16	FA (65/35)
Q – 30 FE	1.33	1.2	FA (70/30)
Q – 42 FE	1.32	1.2	FA (70/30)
Q – 44 FE	1.32	1.15	FA (65/35)
Q – 28 FE	1.33	1.15	FA (65/35)

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

La **Tabla n°4.3** muestra la similitud en cuanto al VOD del explosivo en prueba Fortis Extra Gasificable 65/35, frente a su similar de las mismas variantes de mezcla no Gasificable Fortis Advantage Matriz (65/35, 70/30). La calibración constante de las unidades de fabricación móvil (MMU) es uno de los factores para mantener densidades finales entre el rango exigido por la minera Las Bambas de (1.15 – 1.20) gr/cm³; siendo de gran importancia para lograr un buen desempeño del explosivo.

4.3.1. VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACION CON FEG (65/35)

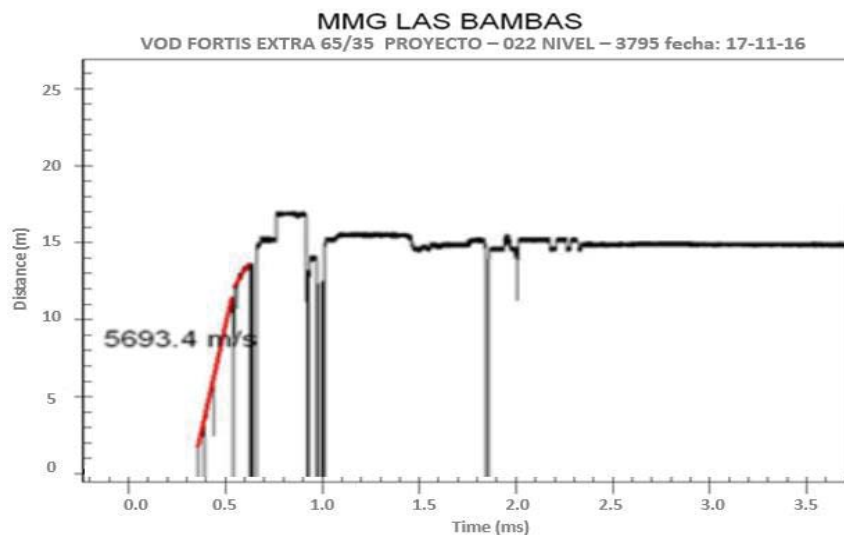
La velocidad de onda de detonación como una de las propiedades importantes del explosivo en cuanto a la energía entregada al momento de la detonación, tiene una amplia relación con los parámetros de carguío y propiedades del explosivo en cuanto a la densidad confinada, sensibilidad, simpatía o transmisión, tipo de iniciador, sistema de iniciación y la calidad de cada componente de la materia prima que forma parte de la mezcla explosiva.

4.3.1.1. REGISTRO DE MEDICIONES DE LA VELOCIDAD DE ONDA DE DETONACION CON FEG (65/35)

La información de proyectos disparados con el explosivo Fortis Extra Gasificable 65/35 se llevaron a cabo mediante la asistencia técnica de Orica – las Bambas, de esta manera se ejecutó el procesamiento de datos para el reporte de los resultados mostrados en la **Tabla n°4.4**. Cabe indicar que los proyectos evaluados se ejecutaron con diámetros de taladro de 12 ¼ pulgada.

En el proyecto 022 nivel 3795, se registró una VOD de 5693.4 m/s para una mezcla explosiva de Fortis Extra 65/35. El VOD se encuentra sobre el rango establecido para este producto (5400 – 5600) m/s.

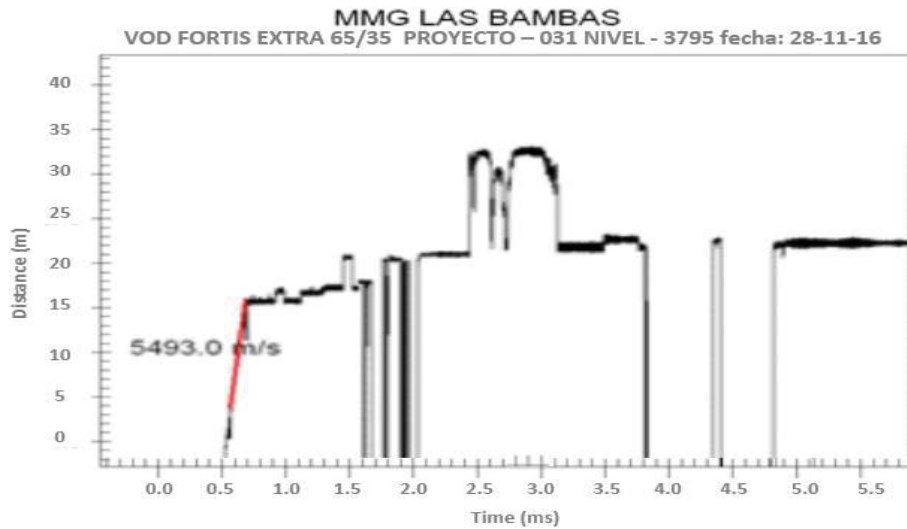
FIGURA N°4.11. Registro de medición VOD data MicroTrap.



Fuente: Asistencia Técnica - OMS.

En el proyecto 031 nivel 3795, se registró una VOD de 5493.0 m/s para una mezcla explosiva de Fortis Extra 65/35. El VOD se encuentra dentro del rango establecido para este producto (5400 – 5600) m/s.

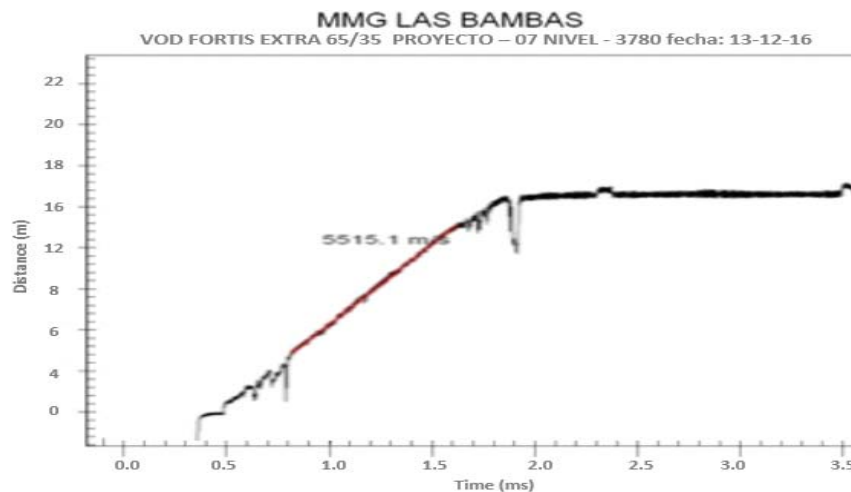
FIGURA N°4.12. Registro de medición VOD data MicroTrap.



Fuente: Asistencia Técnica - OMS.

En el proyecto 07 nivel 3780, se registró una VOD de 5515.10 m/s para una mezcla explosiva de Fortis Extra 65/35. El VOD se encuentra dentro del rango establecido para este producto (5400 – 5600) m/s.

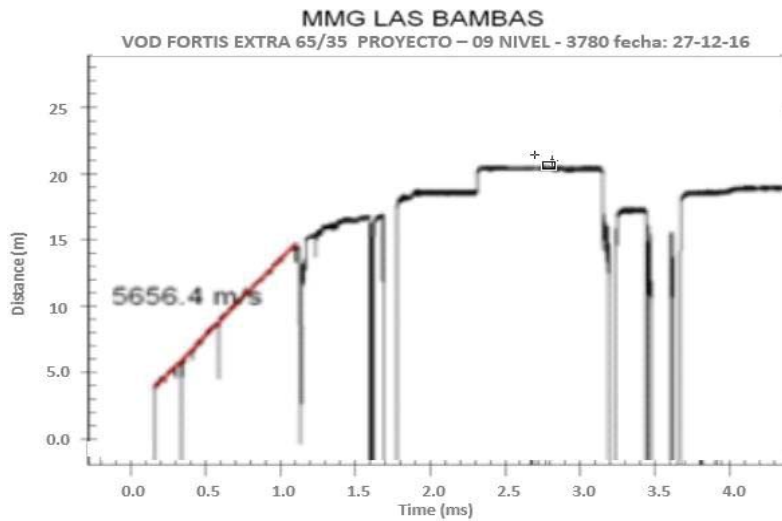
FIGURA N°4.13. Registro de medición VOD data MicroTrap.



Fuente: Asistencia Técnica - OMS.

En el proyecto 09 nivel 3780, se registró una VOD de 5656.40 m/s para una mezcla explosiva de Fortis Extra 65/35. El VOD se encuentra sobre el rango establecido para este producto (5400 – 5600) m/s.

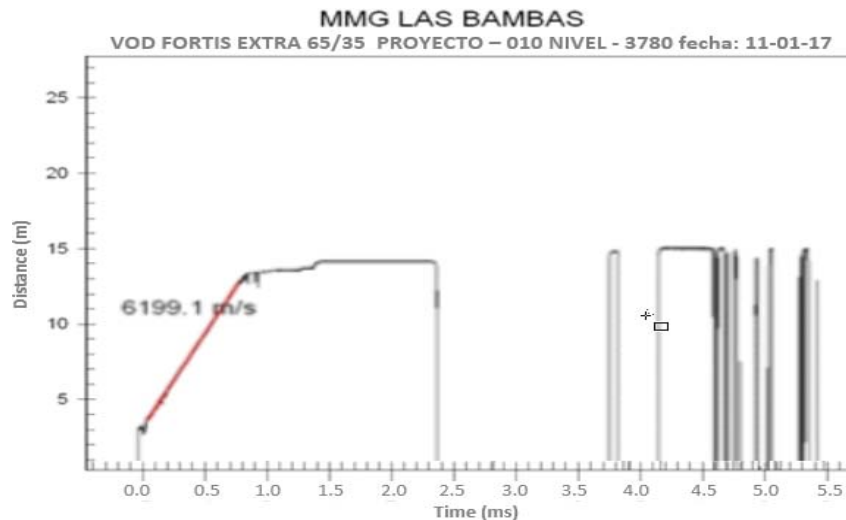
FIGURA N°4.14. Registro de medición VOD data MicroTrap.



Fuente: Asistencia Técnica - OMS.

En el proyecto 10 nivel 3780, se registró una VOD de 6119.10 m/s para una mezcla explosiva de Fortis Extra 65/35. El VOD se encuentra muy por encima del rango establecido para este producto (5400 – 5600) m/s.

FIGURA N°4.15. Registro de medición VOD data MicroTrap.



Fuente: Asistencia Técnica - OMS.

La evaluación de resultados de registros de medición de VOD es materia del presente análisis de Fortis Extra Gasificable; mostrándose cinco registros de medición y un archivo perdido, pudiéndose solo recabar resultados de su registro.

La evaluación de resultados de medición de VOD se encuentran en el rango de (5493 – 6199) m/s, sobre el promedio establecido para este producto de (5400 – 5600) m/s; demostrándose de este modo el alto performance del explosivo. La **Tabla n°4.4.** muestra el resumen de velocidades de detonación con la nueva emulsión energética Fortis Extra Gasificable.

TABLA N°4.4. Resumen de resultados de VOD para taladros de diámetro 12 ¼ pulg. Cargados con Fortis Extra 65/35 Gasificable.

VELOCIDAD DE DETONACION FORTIS EXTRA GASIFICABLE 65/35 - OMS LAS BAMBAS.						
Nivel (msnm)	3795	3795	3780	3780	3780	3900
Proyecto	22	31	7	9	10	36
VOD Fortis Advantage (m/s)	5102.8	5160.2	5145.5	4782.5	4800.2	4650
VOD promedio (m/s)	4940.2					
VOD Fortis Extra (m/s)	5 693.4	5,493.00	5,515.10	5.656.4	6,199.10	5,821.70
VOD promedio (m/s)	5757.23					

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

La velocidad de detonación de Fortis Extra 65/35 es 16% mayor al de Fortis Advantage (65/35 y 70/30), este indicador clave de rendimiento determina el buen desempeño del explosivo, debido a que la presión de detonación dentro del taladro también es mayor.

4.4. FRAGMENTACIÓN Y TASA DE EXCAVACIÓN (DIG – RATE)

Para evaluar la fragmentación y la Tasa de excavación se analizaron proyectos de voladura en polígonos cargados con el explosivo en prueba Fortis Extra

Gasificable, controlando la curva de gasificación según condiciones geomecánicas o requerimientos de material (Presencia de agua estática o dinámica, dureza, tipo y grado de fragmentación exigida).

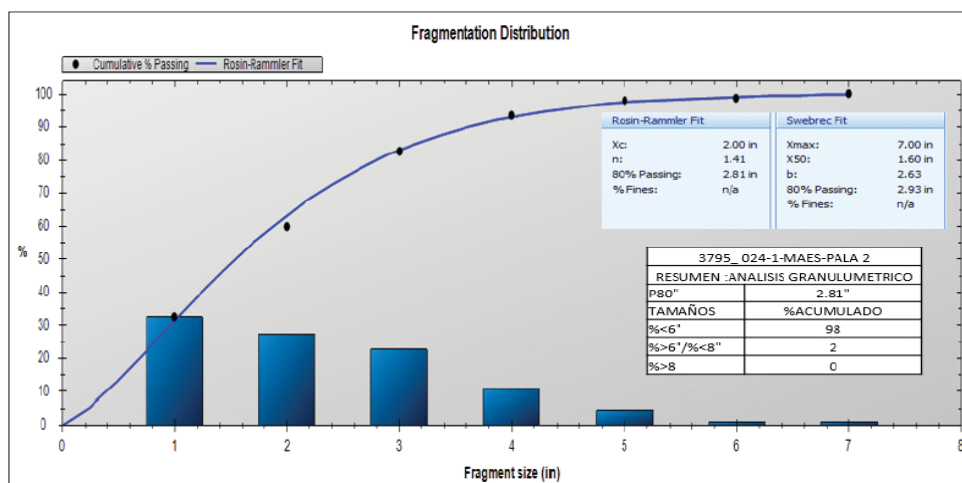
4.4.1. FRAGMENTACIÓN DEL MINERAL CON FEG (65/35)

Durante la voladura se realizaron foto análisis de fragmentación; gracias a la alta precisión que ofrece el software PortaMetrics el cual realiza un foto – análisis en base a un punto referencial y determina el P80 resultante.

Para medir los resultados de la fragmentación con el explosivo en prueba Fortis Extra Gasificable, se evaluó cuatro escenarios de voladura.

Proyecto de disparo 024 nivel 3795 – Equipo de minado Pala 2 (CAT 7495 HR), Zona cargado con Fortis Extra Gasificable, Malla: 6.0m X 7.0m, diámetro Ø = 12 ¼ pulg, el material mineralizado es de consistencia dura, USC (120 - 160) MPa, los taladros tienen presencia de agua. El análisis granulométrico del P80 es 2.81 pulg, el tamaño menor a 6 pulg es de 98% y 2% menor de 8 pulg.

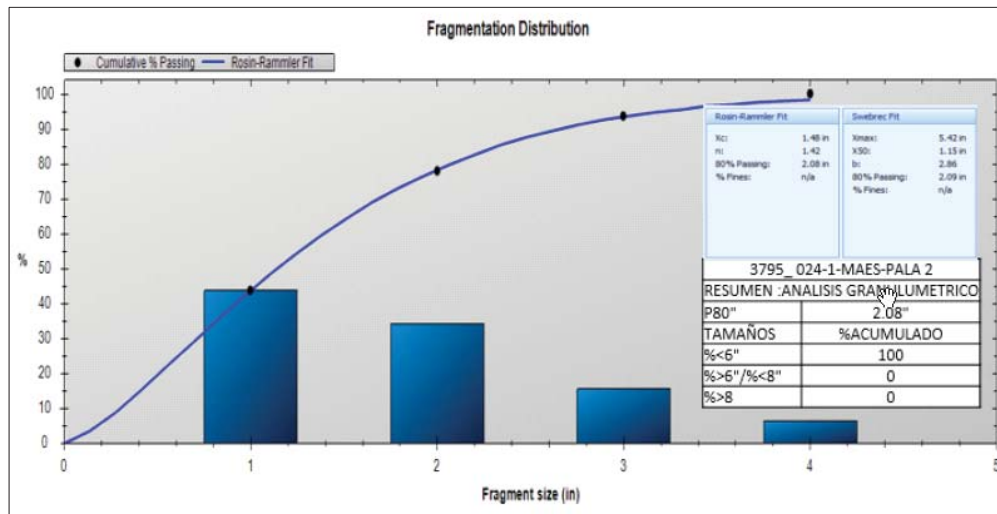
FIGURA N°4.16. Resumen de análisis granulométrico data PortaMetrics™.



Fuente: Asistencia técnica – OMS

Proyecto de disparo 024 nivel 3795 – Equipo de minado Pala 2 (CAT 7495 HR), Zona cargado con Fortis Extra Gasificable, Malla: 6.0m X 7.0m, diámetro Ø = 12 ¼ pulg, el material mineralizado es de consistencia dura, USC (120 - 160) MPa, los taladros tienen presencia de agua y taladros sin agua. El análisis granulométrico del P80 es 2.08 pulg, el tamaño menor a 6 pulg es de 100%.

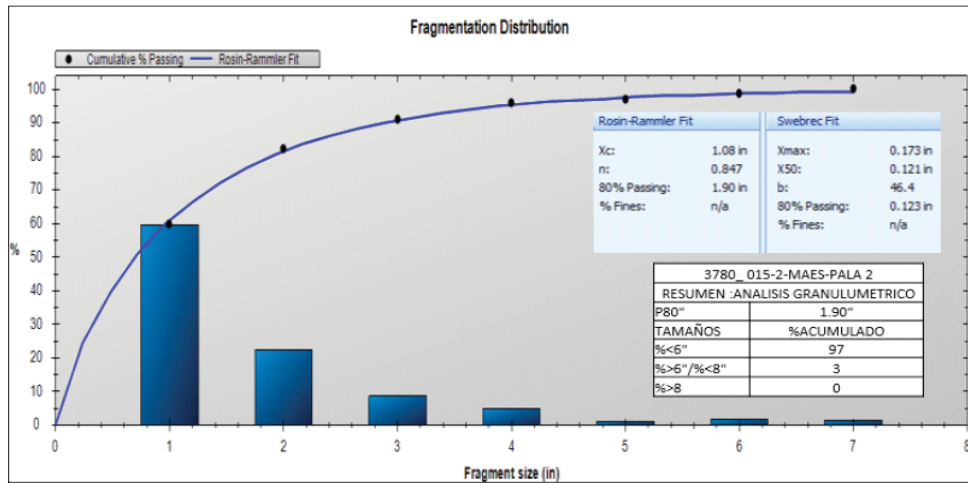
FIGURA N°4.17. Resumen de análisis granulométrico data PortaMetrics™.



Fuente: Asistencia técnica – OMS

Proyecto de disparo 015 nivel 3780 – Equipo de minado Pala 2 (CAT 7495 HR), Zona cargado con Fortis Extra Gasificable, Malla: 6.0m X 7.0m, diámetro Ø = 12 ¼ pulg, el material mineralizado es de consistencia dura, USC (120 - 160) MPa, los taladros tienen presencia de agua y taladros sin agua. El análisis granulométrico del P80 es 1.90 pulg, el tamaño menor a 6 pulg es de 97% y 3% menor de 8 pulg.

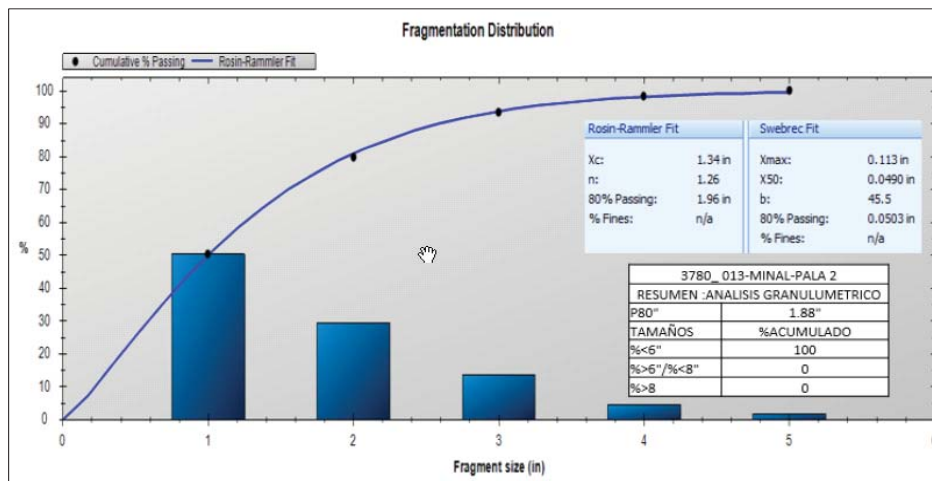
FIGURA N°4.18. Resumen de análisis granulométrico data portaMetrics™.



Fuente: Asistencia técnica – OMS

Proyecto de disparo 013 nivel 3780 – Equipo de minado Pala 2 (CAT 7495 HR), Zona cargado con Fortis Extra Gasificable, Malla: 6.0m X 7.0m, diámetro Ø = 12 ¼ pulg, el material mineralizado es de consistencia dura, USC (120 - 160) MPa, los taladros tienen presencia de agua y taladros sin agua. El análisis granulométrico del P80 es 1.88 pulg, el tamaño menor a 6 pulg es de 100%.

FIGURA N°4.19. Resumen de análisis granulométrico data PortaMetrics™.



Fuente: Asistencia técnica – OMS

En la **Tabla n°4.5** se muestra el resumen de cuatro proyectos evaluados con el explosivo en prueba Fortis Extra 65/35 Gasificable para evaluar el rendimiento de los equipos de minado (tn/hora), el porcentaje pasante del P80 se encuentra en el rango de (1.88 – 2.81) pulg. Se logró mejorar la fragmentación en un 67% con respecto a la línea base.

TABLA N°4.5. Datos generales de los proyectos de voladura realizados y resultados de fragmentación de las pruebas obtenidas.

Descripción	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Dureza Material	Duro	Duro	Duro	Duro
Nivel	3795	3795	3780	3780
Proyecto	24	24	9	13
Malla (m2)	6.0mX7.0m	6.0mX7.0m	6.0mX7.0m	6.0mX7.0m
Pala (CAT 7495 HR)	PL-2	PL-2	PL-2	PL-2
USC (Mpa)	100 – 160	100 – 160	100 – 160	100 – 160
Explosivo	FE – 65/35	FE – 65/35	FE – 65/35	FE – 65/35
Nivel de Gases Nitrosos	0%	0%	0%	0.50%
fragmentación línea base	(5.26 - 8.59) pulg.			
Fragmentación P80 (pulg)	2.81	2.08	1.9	1.88
Fragmentación cualitativa	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena

Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa – OMS.

4.4.2. RESULTADOS DE TASA DE EXCAVACION CON FEG (65/35)

Como se detalló en la sección 4.1.4, la tasa de excavación se obtuvo mediante pruebas en polígonos contiguos con el explosivo en estudio Fortis Extra Gasificable. La data correspondiente fue proporcionada por el departamento de operaciones Mina.

TABLA N°4.6. Resultados de la Tasa de Excavación en proyectos detonados con el explosivo en prueba Fortis Extra 65/35 Gasificable.

Zona – Mina	Equipo de Minado (Pala)	Tasa de Excavación (tn/hra)
Jahuaypalla Baja	CAT 6060 FS	2,889.06
Jahuaypalla Baja	CAT 7495 HR	5,521.48
Jahuaypalla Baja	Letourneau L2350	1,979.15

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

Nota. La información real en cuanto a dig-rate no es mostrada por motivos de confidencialidad de Minera Las Bambas.

La evaluación de la tasa de excavación ideal de la pala CAT 7495 HR es 5200 toneladas por hora, nivel de producción teórica alcanzado en condiciones normales de operación. Sin embargo, no siempre se cumple debido a factores externos a las condiciones operativas como las condiciones climáticas adversas (tormentas eléctricas), frentes duros, apoyo auxiliar de la pala, nivel de piso, calidad en la voladura (fragmentación), habilidad del operador, etc. Pese a ello se observa resultados bastante alentadores en cuanto al nivel de tasa de excavación del equipo de minado, lo que da buenos resultados de poder rompedor del Fortis Extra Gasificable.

El propósito de usar el Fortis Extra Gasificable en las Bambas es mejorar la fragmentación en zonas donde los explosivos estándares no alcanzan el desempeño requerido, siendo el principal parámetro que definirá el rendimiento y aceptación o no del nuevo producto; es la tasa de excavación de los equipos de

minado, cuya productividad no puede ser afectado de manera negativa, debido al alto costo que representa su operación.

Cabe mencionar que la calidad de la fragmentación está directamente relacionada con el mayor rendimiento de los equipos de minado, por lo que se asume que la tasa de excavación como principal indicador del performance del explosivo, teniendo como sustento el estudio realizado por López Jimeno (2010).

CAPÍTULO V

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO DE LA EMULSIÓN GASIFICADA EN LA
VOLADURA DE ROCAS DE LA MINERA LAS BAMBAS – COTABAMBAS,
APURÍMAC**

5.1. DESCRIPCIÓN DE LA EVALUACION

En esta sección se discuten las diferencias y similitudes que se encontraron en el desempeño de los explosivos en evaluación del rendimiento de un producto muy energético (Fortis Extra Gasificable). Se realizó el análisis de la información recopilada en la línea base y en la etapa de pruebas con el nuevo explosivo energético en las zonas de Jahuaypalla Baja, Minitajo y Cantera 1; se aplicó el mismo procedimiento y evaluación a través de los indicadores y parámetros para las zonas de Minitajo y cantera 1, para efectos de evaluación

nos centraremos en los resultados de Jahuaypalla baja zona de mineral de alta ley, donde se concentraron los disparos. Los puntos centrales de comparación son: velocidad de onda de detonación (VOD), densidad y tasa de excavación (DIG – RATE).

Es muy importante señalar que todas las pruebas se realizaron, incluyendo los resultados de la línea base, con el nitrato de amonio de Industrias Cachimayo S.A., principal componente del ANFO utilizado en emulsión energética Fortis Extra Gasificable, cuyas características y parámetros de fabricación se muestra en el anexo.

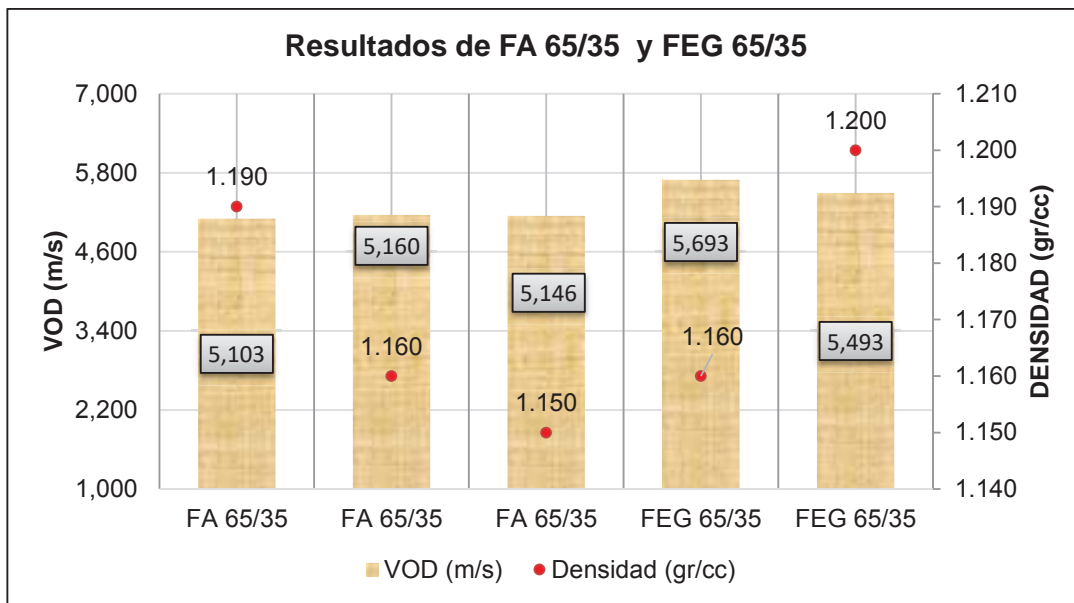
En la parte final del presente capítulo, se ha hecho un análisis económico comparativo del desempeño del explosivo energético Fortis Extra Gasificable llevado a diferentes densidades versus las diferentes mezclas de Fortis Advantage a base de emulsión matriz, según los costos de combustible, nitrato de Cachimayo, emulsión, nitrito de sodio y dimensiones del taladro, llegando a conclusiones que permitirán tomar decisiones positivas sin alterar el proceso productivo.

5.2. VELOCIDAD DE DETONACIÓN Y DENSIDAD.

La velocidad de detonación es uno de los parámetros evaluados en el presente trabajo de investigación lo cual está ligado a la densidad del explosivo, descripción realizada en el Marco teórico. Tales pruebas son evaluadas en proyectos detonados con el explosivo Fortis Extra Gasificable y medidas en el mismo taladro donde se obtuvo el registro de mediciones de VOD. Las pruebas de densidad corresponden a mediciones realizadas en el

mismo taladro donde se registró el VOD, dichas evaluaciones se realizaron de manera conjunta obteniendo resultados comparativos de la línea base y pruebas con el explosivo en prueba Fortis Extra Gasificable 65/35, evaluaciones que se muestran en los siguientes gráficos (**Grafico n°5.1 y 5.2**).

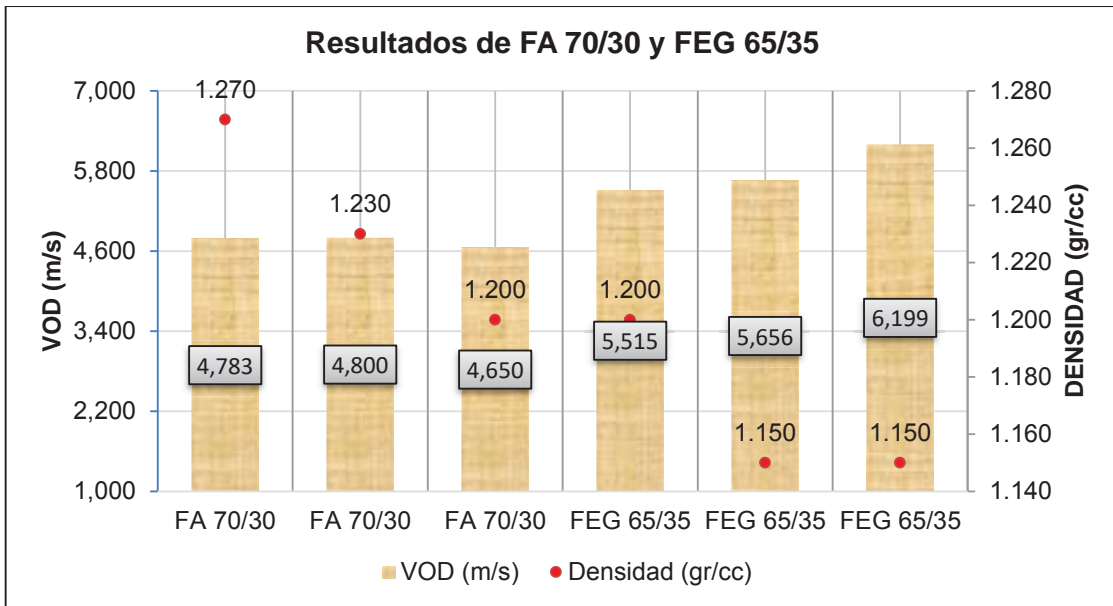
GRAFICO N°5.1. Pruebas de mediciones de VOD y densidad para Fortis Advantage (65/35) y Fortis Extra Gasificable (65/35).



Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa – OMS.

La evaluación de resultados para las pruebas del Fortis Advantage (FA) matriz a la izquierda y resultados con Fortis Extra Gasificable (FEG) a la derecha. Se observa un buen desempeño en VOD para las pruebas con Fortis Extra Gasificable, superando el rango teórico (5400 – 5600 m/s) e inclusive superando todas las pruebas del Fortis Advantage matriz (FA). Así mismo la densidad de FEG 65/35 es equivalente a una de las pruebas con FA 65/35.

GRÁFICO N°5.2 Pruebas de mediciones de VOD y densidad para Fortis Advantage (70/30) y Fortis Extra Gasificable 65/35.



Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa – OMS.

En el **Gráfico n°5.2** se evalúa los resultados para las pruebas con FA 70/30 matriz a la izquierda y con FEG 65/35 a la derecha. Se observa un buen desempeño en cuanto a VOD para las pruebas con FEG 65/35; pruebas registrados por encima del rango teórico (5400 – 5600 m/s). Además, se puede observar que la densidad para las pruebas de FA 70/30 matriz son mayores a la densidad de las pruebas del FEG 65/35.

5.3. ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN

Para poder comparar la evaluación de la fragmentación se tomó la línea base de los resultados de análisis de los últimos disparos y proyectos disparados con el nuevo explosivo en prueba. Previo al uso de Fortis Extra 65/35, la línea base de la fragmentación con el explosivo Fortis Advantage, el P80 estuvo en el rango

(5.26 - 8.59) pulg. La **Figura n°5.1** muestra los resultados de la fragmentación línea base.

FIGURA N°5.1. Fragmentación línea base con Fortis Advantage Matriz.



Fuente: Archivo personal.

Los resultados de las pruebas de medición con Fortis Extra 65/35, el P80 resultante osciló en el rango (1.88 – 2.81) pulg, lográndose de esta manera una mejora en la fragmentación en 67%. En la **Figura n°5.2** se muestra la calidad de la fragmentación y un excelente acoplamiento y distribución del material cargado en la tolva del camión.

FIGURA N°5.2. Frente de Minado PALA 2 – Jahuaypalla Baja, fragmentación con Fortis Extra Gasificable.



Fuente: Archivo personal.

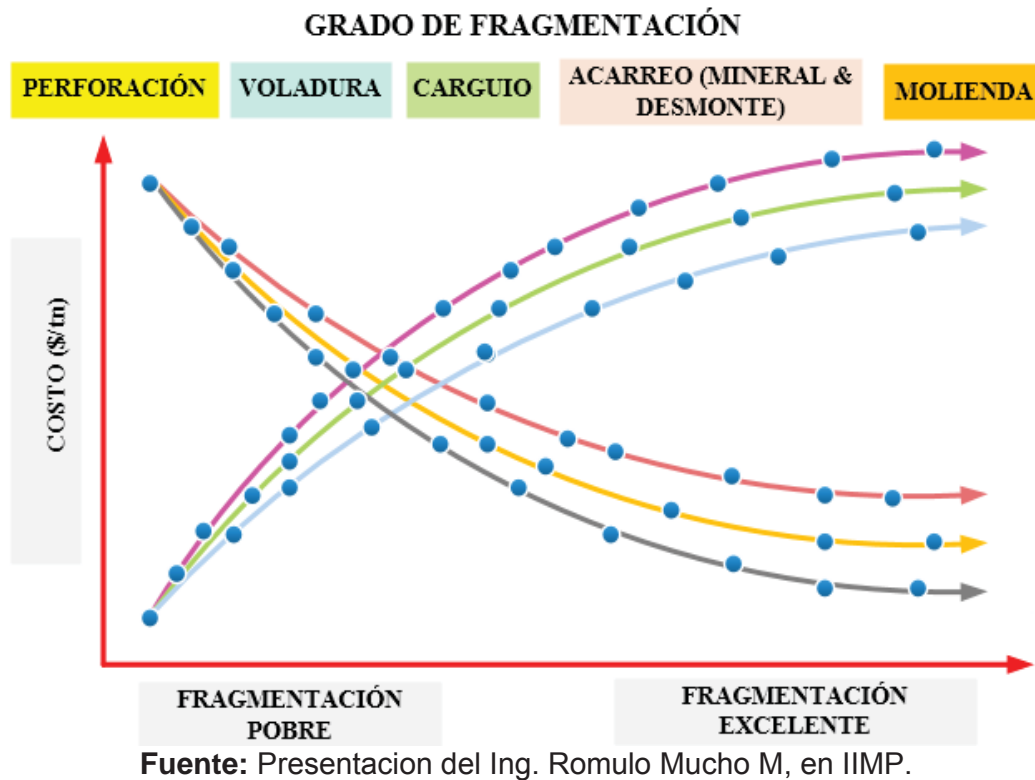
En la **Figura n°5.3** se observa la calidad de la fragmentación, lo cual atribuye niveles altos de productividad del equipo de minado pala 2 (CAT 7495 HR).

FIGURA N°5.3. Perfil de fragmentación garantizando el índice de confianza del P80.



Fuente: Archivo personal.

GRÁFICA N°5.3. Análisis económico en base a la calidad de la fragmentación



El grado de fragmentación es muy importante, siendo la perforación y voladura la primera actividad dentro de la cadena de valor de todas las operaciones. En la **Grafica n°5.3** se puede apreciar los costos combinados en las diferentes actividades unitarias del proceso productivo Mina. Cuando más pobre la fragmentación a la izquierda el costo de perforación y voladura va a ser menor aumentando conforme avanza para las de más actividades, y cuando el costo es alto en perforación y voladura (porque para un volumen adecuado se tiene que perforar más metros y más explosivo) la fragmentación es excelente a la derecha; lográndose reducir el costo en el carguío, excavación, acarreo y un ahorro energético en el chancado y molienda. La integración Mina – Planta se basa en la fragmentación en el mismo banco.

TABLA N°5.1 Resumen de análisis de Fragmentación en función de factor de potencia.

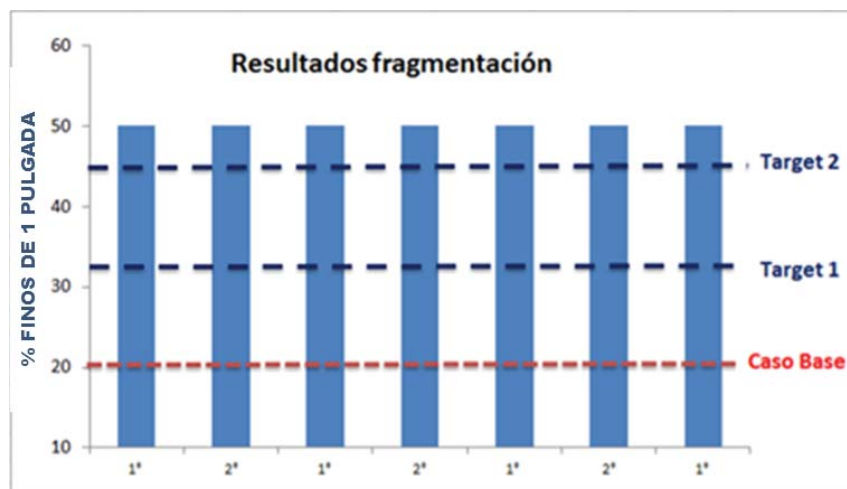
MMG - LAS BAMBAS - ANÁLISIS DE LA FRAGMENTACIÓN												
DATOS DE PROYECTO				MATERIAL Y FACTOR OBTENIDO				ANÁLISIS Y FRAGMENTACION OBTENIDA - PALA 2				
PALA	ZONA	NIVEL	PROYECTO	TIPO DE ROCA	MALLA	EXPLOSIVO	FACTOR POTENCIA (KG/MT)	N° Fotos Analizadas	P80 (Pulg.)	< 6"	6" < Tamaño < 10"	> 10"
1	MiniTajo	3900	25	MZB-ENDO	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.49	5	2.2	96.00%	3.00%	1.00%
2	Jauaypalla Baja	3795	27	MZB-ENDO	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.50	5	2.71	97.70%	0.90%	1.40%
2	Jauaypalla Baja	3795	22	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.50	5	2.61	88.30%	5.60%	6.10%
LT	Jauaypalla Baja	3795	22	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.51	5	1.88	97.70%	1.30%	1.00%
2	Jauaypalla Baja	3795	29	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.52	5	2.81	98.80%	1.20%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3795	22	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.50	5	1.94	100.00%	0.00%	0.00%
LT	Jauaypalla Baja	3795	32	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.51	5	2.3	100.00%	0.00%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	7	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.50	5	1.97	99.60%	0.40%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	8	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.54	5	2.81	97.20%	2.80%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	8	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.49	5	2.45	100.00%	0.00%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	9	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.56	5	2.04	100.00%	0.00%	0.00%
1	MiniTajo	3900	28	MZB-ENDO	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.57	5	1.85	100.00%	0.00%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	9 - 011	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.52	5	2.28	99.10%	0.90%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	9 - 011	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.56	5	1.91	100.00%	0.00%	0.00%
1	MiniTajo	3900	33	MZB-ENDO	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.53	5	2.6	94.10%	4.80%	1.10%
2	Jauaypalla Baja	3780	9	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.48	5	2.23	100.00%	0.00%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	10	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.56	5	2.19	100.00%	0.00%	0.00%
3	Cantera 01	3915	40	MZB	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.45	5	3.4	88.30%	7.50%	4.20%
2	Jauaypalla Baja	3780	12	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.53	5	1.98	98.40%	1.60%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3780	12	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.56	5	1.99	100.00%	0.00%	0.00%
2	Jauaypalla Baja	3795	24	MZI/SKARN	6.0X7	FORTIS EXTRA 65/35	0.58	5	2.81	98.00%	2.00%	0.00%

Fuente: Reporte asistencia técnica Orica.

En la **Tabla n°5.1** se muestra los resultados de evaluación en las tres zonas (Jahuaypalla baja, Minitajo y Cantera 1) con el explosivo Fortis Extra 65/35, el P80 obtenido oscilo en el rango (1.88 – 2.81) pulg, lográndose de esta manera una mejora en la fragmentación. Esta mejora en la fragmentación permitió incrementar la productividad de los equipos, al reducir significativamente el ciclo de carguío, mayor factor de llenado de la cuchara y la tasa de productividad de los equipos las tn/día. El cálculo del Factor de potencia real de los disparos evaluados se encuentra en el rango de (0.45 - 0.58) kg/tn.

El porcentaje de finos a principios de las pruebas, periodo que viene a ser nuestra línea base fue: 20% de 1 pulg, con el uso de Fortis Extra Gasificable como columna de carga de las voladuras realizadas, este porcentaje de finos sube a una tendencia a futuro o pronostico (Target 1) de (30 – 33) % de 1 pulg y como parte de la mejora continua OMS - LAS BAMBAS, y como segundo Target a alcanzar en el muy corto plazo es lograr un Target 2 de (40 – 45) % de 1 pulg. En la siguiente **Gráfica n°5.4** se muestra el Target del porcentaje de finos.

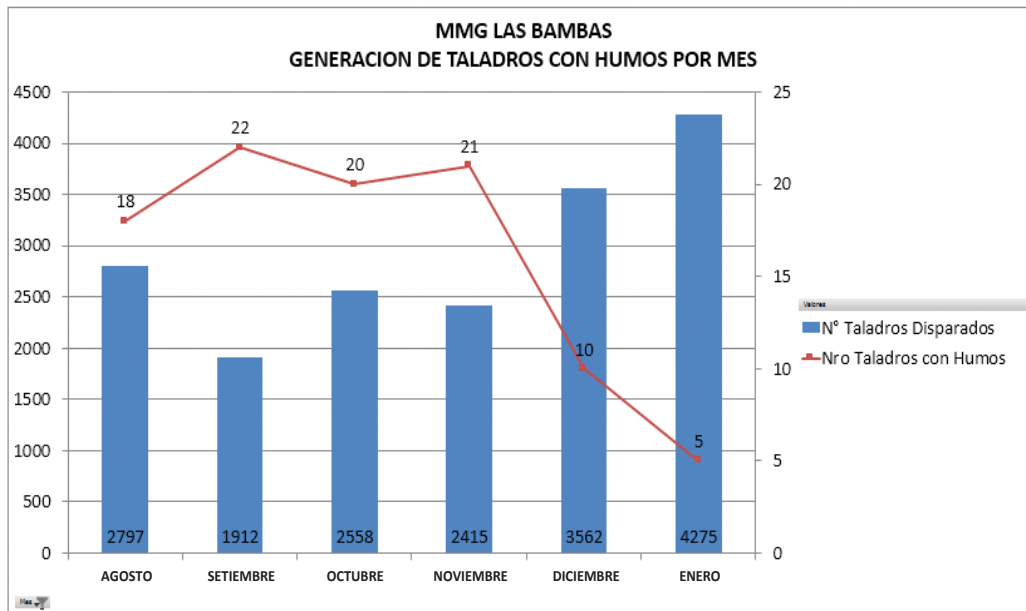
GRÁFICO N°5.4 Porcentaje de Finos Pre y Post Fortis Extra Gasificable.



Fuente: La Empresa OMS – Las Bambas.

Durante las pruebas se dispararon 4,275 taladros; registrándose 5 taladros con presencia de humos amarillo que representa el 0.12%, respecto a los proyectos disparados con el explosivo Fortis Extra 65/35. Los taladros con presencia de humos se debieron a factores ajenos a control de calidad del explosivo; se debió más específicamente a malas condiciones de pisos y accesos hacia los taladros de cresta, en dónde debido a las condiciones inseguras del piso fracturado a consecuencia de proyectos antes disparados, el camión fábrica no pudo acceder lo más próximo a la ubicación de los taladros de cresta, por razones de seguridad en la operación se respeta el margen de distancia, ejecutándose el carguío mediante la extensión de la manguera de manera vaciable en lugar de bombear. El siguiente **Gráfico n°5.5** se aprecia la mejora en la reducción de humos naranja en los últimos proyectos disparados.

GRÁFICO N°5.5. Evaluación de taladros con presencia de humos naranja.



Fuente: Reporte de asistencia técnica OMS.








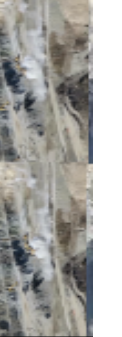
En la **Tabla n°5.2** se aprecia los resultados de los diferentes proyectos disparados con el uso del explosivo Fortis Extra 65/35, y los taladros que se reportaron con humos naranja corresponden a taladros ubicados en la cresta del banco.

Todos los proyectos se detonaron con el sistema de iniciación electrónico i-Kon y sistema de iniciación no eléctrico Excel, los taladros con agua, son primados colocando el cebo o prima dentro de una malla con piedras, en lo posible de tamaño regular, para que el peso permita mantener la prima en la zona deseada.

La aparición de gases es señal de alguna anomalía como:

- Presencia de agua dinámica que daña físicamente el explosivo
- Presencia de agua acida que daña químicamente al explosivo
- Enfriamiento de los gases de detonación por agua muy fría
- Presencia de piritas activas en el mineral

TABLA N°5.2 Evaluación de reporte humos en proyectos detonados con Fortis Extra Gasificable.

REPORTE DE HUMOS ENERO - 2017													
Nivel	Proy	Nro taladros	kilos	Zona	Explosivo	Densidad (gr/cm ³)	Nro taladros con humos	% de Humos	Escala Nivel Orica Humos	Presencia de agua	Ubicación de taladros con Humos Marañas	Observaciones	Evidencia Fotografica
3795	20_24	180	157,489	Jahuajpalla Baja	FE 65/35	1.15	2	1.11%	1	De 0.50 a 12 mt. En toda la malla.	Cresta	Se generó un taladro con humos amarillos en zona de cresta, donde el camión no tuvo acceso por las condiciones del terreno, se jaló la manguera y se vació en lugar de bombear.	
3795	09	65	24,498	Jahuajpalla Baja	FE 65/35	1.20	0	0.00%	0	Taladros inundados		YOLADURA ELECTRÓNICA	
3795	10	120	104,993	Jahuajpalla Baja	FE 65/35	1.17	0	0.00%	0	Taladros inundados		YOLADURA ELECTRÓNICA	
3780	13	36	31,497	Jahuajpalla Baja	FE 65/35	1.60	3	8.33%	1	Taladros inundados	Cresta	Se generó un taladro con humos amarillos en zona de cresta, donde el camión no tuvo acceso por las condiciones del terreno, se jaló la manguera y se vació en lugar de bombear.	
3795	29_22	98	33,247	Jahuajpalla Baja	FE 65/35	1.90	0	0.00%	0	Taladros inundados		YOLADURA ELECTRÓNICA	
3900	25	88	76,994	Mini Tajío	FE 65/35	1.80	0	0.00%	0	Presencia de agua de hasta 8 metros de agua		YOLADURA ELECTRÓNICA	
3795	31	97	84,869	Mini Tajío	FE 65/35	1.15	0	0.00%	0	Taladros inundados		YOLADURA ELECTRÓNICA	
3795	07	60	43,218	Cantera 1	FE 65/35	1.16	0	0.00%	0	Taladros inundados		YOLADURA ELECTRÓNICA	

Fuente: Asistencia Técnico OMS - las Bambas.

5.4. TASA DE EXCAVACIÓN (DIG – RATE)

La evaluación de la tasa de excavación de los equipos de minado como principal indicador de performance del explosivo, se analiza de una manera específica a los proyectos detonados con el objetivo de que las condiciones de minado sean las más similares posibles. Es así que los proyectos detonados en polígonos continuos y otros parámetros, se han ejecutado con las pruebas de ambos explosivos por separados con la finalidad de evaluar el nivel de productividad del cliente. En la siguiente **Tabla n°5.3** se aprecia la productividad de los equipos de minado (CAT 6060 FS, CAT 7495 HR y Letourneau L2350) post fragmentación con Fortis Extra 65/35.

TABLA N°5.3. Comparación del nivel de tasa de excavación de los equipos de minado en polígonos detonados con diferentes mezclas explosivas.

Zona - Mina	Equipo de minado (Pala)	Tasa de excavación (tn/hra)	
		Fortis Advantage Matriz	Fortis Extra Gasificado
Jahuypalla Baja	CAT 6060 FS	2,382.55	2,889.06
Jahuypalla Baja	CAT 7495 HR	4,247.29	5,521.48
Jahuypalla Baja	Letourneau L2350	1,799.23	1,979.15

Fuente: Datos de la Empresa MMG – Despacho Mina.

La evaluación de resultados en la **Tabla n°5.3** no se especifica la mezcla utilizada (65/35, 70/30) para el Fortis Advantage Matriz o la densidad de copa para Fortis Extra (65/35) gasificado, en ninguno de los resultados comparativos de la tasa de excavación. Esto debido a que los proyectos detonados se ejecutaron en polígonos continuos y en mallas del mismo material de roca mineraliza dura y

tuvieron las mismas condiciones operativas, por lo que se asume que el diseño de carga y sistema de iniciación para la voladura es la misma (ver sección 3.5). Siendo la zona de pruebas y en estudio Jahuaypalla Baja de características geomecánicas de roca mineralizada dura, para lo cual se requiere un Fortis Advantage (65/35 y 70/30), el polígono adyacente o continuo se cargó con Fortis Extra (65/35) gasificado llevado a densidades finales de copa muy similar a densidades de Fortis Advantage (70/30 y 65/35), valores manejados por OMS – Las Bambas en rangos de 1.5 – 1.2 gr/cm³ por mejoras operativas para este caso.

La información de producción proporcionada, se ha reservado el derecho de publicar la tasa de excavación real de los equipos de minado por ser de carácter confidencial. Por esta razón se ha modificado la data de manera proporcional, impidiendo efectuar la comparación de los datos reales debido a que no son exactos. Siendo posible su comparación a manera de porcentajes, debido a que la modificación proporcional no afecta la diferencia porcentual.

En la **Tabla n°5.4** se evalúa la diferencia porcentual de los valores de la Tasa de excavación obtenidas a partir de la **Tabla n°5.3**, estableciendo como base los resultados de la tasa de excavación de material fragmentado con Fortis Advantage Matriz, permitiendo mostrar un panorama de producción que tuvo el uso de Fortis Extra Gasificado en la productividad de los equipos de minado.

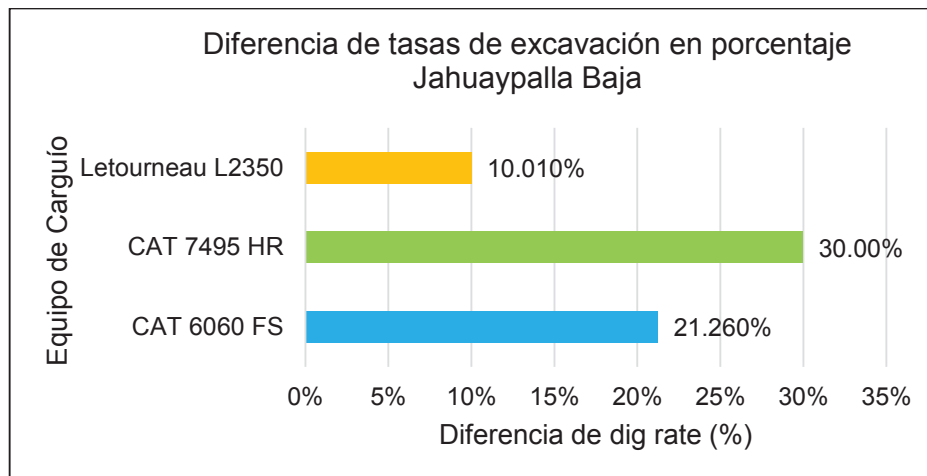
TABLA N°5.4 diferencia de tasa de excavación en porcentajes, proyectos detonados con las mismas condiciones operativas.

Zona – Mina	Equipo de minado (Pala)	Nivel de diferencia de Tasa de Excavación (%)
Jahuaypalla Baja	CAT 6060 FS	21.26
Jahuaypalla Baja	CAT 7495 HR	30
Jahuaypalla Baja	Letourneau L2350	10.01

Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa MMG.

Los resultados de la diferencia porcentual de la tasa de excavación, son mostrados gráficamente para un análisis amplio.

GRÁFICO N°5.6 Análisis estadístico porcentual de la tasa de excavación de los equipos de minado.



Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa MMG.

En el **Gráfico n°5.6** se muestra la diferencia en porcentaje de la tasa de excavación que obtuvieron cuando se minaron los polígonos contiguos, en las mismas condiciones del terreno y explosivos diferentes. La diferencia en porcentaje de la tasa de excavación (DIG-RATE) de los equipos que minaron material fragmentado con Fortis Extra Gasificable es lo que se está mostrando en el gráfico.

Se puede apreciar que la productividad de los equipos de minado ha sido superior, superando el 20% en caso de los equipos estacionarios (CAT 7495 HR y CAT 6060 FS), y en 10% del equipo móvil LT L2350. Esto representa que la utilización del Fortis Extra Gasificable ha permitido un incremento en la productividad del cliente (Pala), debido a la buena fragmentación del macizo rocoso, en donde se concluye que la tasa de excavación es un indicador útil de la calidad de la fragmentación según el tipo de explosivo utilizado, argumento de López Jimeno (2003).

5.5. ANÁLISIS ECONOMICO

La evaluación del rendimiento de la emulsión Gasificada tras haber realizado el análisis operativo in-situ y comparar las bondades de su desempeño de las dos diferentes mezclas explosivas, a continuación, se efectúa el estudio de las ventajas económicas que puede brindar el nuevo explosivo FEG 65/35 y FA (65/35 y 70/30). El presente análisis económico se ha realizado con información de voladura y proceso productivo mina y la verificación de datos correspondientes, en base a los precios de las materias primas (Diésel, Nitrato de Amonio (Cachimayo), Nitrito de Sodio), diseño de malla y diseño de carga, grado de esponjamiento de la mezcla, entre otros factores para poder efectuar la comparación del desempeño operativo desde un punto de vista económico.

Es importante mencionar que el análisis económico se ha determinado en base al costo de explosivo por metro lineal, costo por taladro, costo por tonelada volada y factor de potencia para este explosivo en prueba. Así mismo la cantidad de explosivo alojado dentro de un taladro, la misma que depende directamente de sus dimensiones geométricas (longitud de carga y diámetro). Esta variable define

el volumen de carga y la cantidad de explosivo que pueda contener en dicho espacio limitado y el nivel de esponjamiento que pueda adquirir de acuerdo a las condiciones dadas. Por tal motivo, este aspecto fue considerado y se hizo un cálculo para cada tipo de taladro de cada zona.

TABLA N°5.5 Dimensiones geométricas de los taladros por zonas

Zona - Mina	Dimensiones Geométricas		
	Altura de Banco (m)	Diámetro del taladro (pulg)	Profundidad de taladro (m)
Jahuaypalla Baja	15	12 ¼	16.50
Mini Tajo	15	12 ¼	16.50
Cantera 1	15	12 ¼	16.50

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa MMG.

El análisis económico muy aparte de los parámetros evaluados y características geométricas que para efectos del presente estudio es enfocada a la zona de Jahuaypalla Baja, la cual es agrupado en cuatro categorías: diseño de carga explosiva, evaluación de costos, diseño de carguío y energía explosiva.

Se realizó el análisis de tres escenarios de minado (Jahuaypalla Baja, Minitajo y Cantera 1), considerando la zona de Jahuaypalla baja que es materia de estudio detalladas en la **Tabla n°5.5**, de los cuales uno de ellos es mostrado de manera integral en la **Tabla n°5.6**, donde se comparan las diferentes mezclas de Fortis Advantage Matriz versus el Fortis Extra Gasificable llevado a densidades rango (1.15 – 1.20) gr/cm³, debido a la alta dureza de material mineralizado. Este análisis detallado se llevó a cabo para los taladros de Jahuaypalla Baja el cual es más representativo en términos de producción y mayor concentración de equipos de minado.

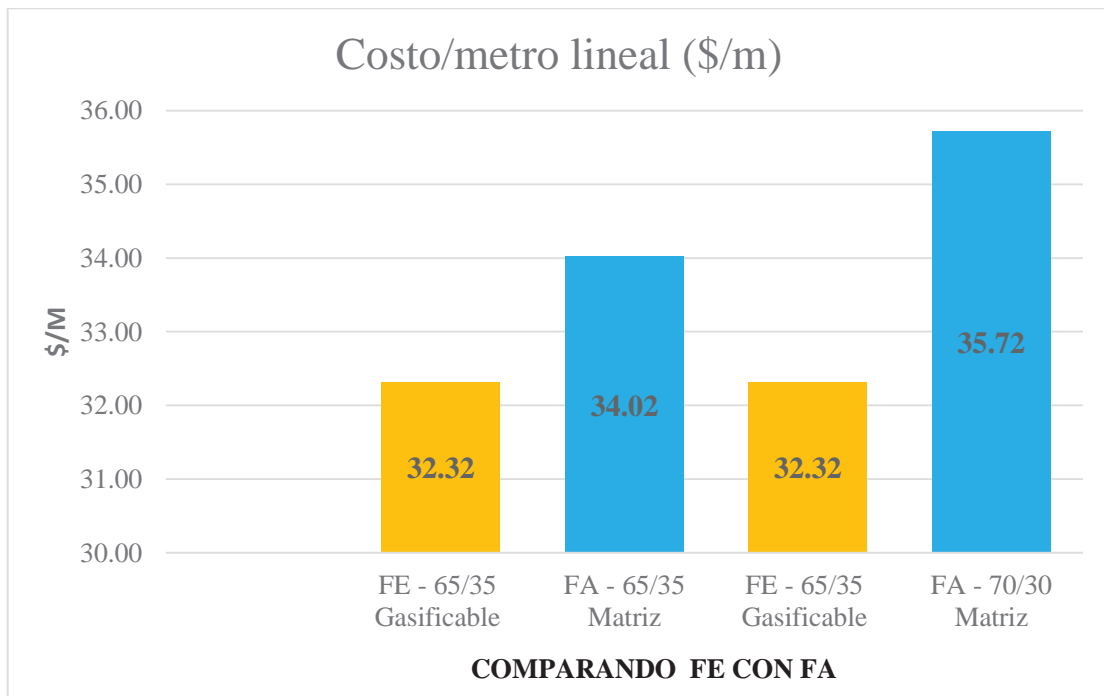
TABLA N°5.6. Comparación económica entre Fortis Extra (65/35) Gasificable versus Fortis Advantage (65/35, 70/30) Matriz para taladros de Jahuaypalla baja.

PARAMETROS EVALUADOS		FORTIS ADVANTAGE (65/35) Matriz		FORTIS ADVANTAGE (70/30) Matriz	
		COMPARACIÓN		COMPARACIÓN	
DISEÑO DE CARGA EXPLOSIVA	Tipo de mezcla explosiva	FE - 65/35 Gasificable	FA - 65/35 Matriz	FE - 65/35 Gasificable	FA - 70/30 Matriz
		densidad real	1.33	1.17	1.33
	Altura de carga	1.15	1.17	1.20	1.30
	Altura de carga sin esponjada (m)	10.00	10.00	10.00	10.00
	Altura de esponjamiento (m)	9.40	10.00	9.50	10.00
	Factor de potencia (kg/tn)	0.60	0.00	0.50	0.00
	Densidad de carga lineal DCL (kg/m)	0.51	0.52	0.54	0.58
	Cantidad de carga explosiva (kg/tal)	87.49	89.02	91.30	98.91
		874.94	890.16	912.98	989.06
	EVALUACION DE COSTOS	Costo/metro línea (\$/m)	32.32	34.02	32.32
Diferencia de costos (\$/m)		1.70		3.40	
Costo/taladro (\$/tal)		323.19	340.20	323.19	357.21
Diferencia de costo (\$/tal)		17.01		34.02	
Costo por tonelada (\$/tn)		0.19	0.20	0.19	0.21
Diferencia de costo (\$/tn)		0.01	0.01	0.02	
DISEÑO DE CARGUIO	Diámetro taladro (pulg)	12 ¼	12 ¼	12 ¼	12 ¼
	Burden (m)	6.00	6.00	6.00	6.00
	Espaciamiento (m)	7.00	7.00	7.00	7.00
	Relación (E/B)	1.15	1.15	1.15	1.15
	Sobre perforación (m)	1.50	1.50	1.50	1.50
	Densidad de la roca (gr/cm³)	2.70	2.70	2.70	2.70
	Altura de banco	15.0	15.0	15.0	15.0
	Volumen por taladro (m³/tal)	630	630	630	630
	Toneladas por taladro (tn/tal)	1701	1701	1701	1701
ENERGIA EXPLOSIVA	Energía efectiva del explosivo (MJ/kg)	2.86	2.58	2.86	2.58
	Energía efectiva por Taladro (MJ/tal)	2502.33	2296.60	2611.12	2551.78
	Energía efectiva por tonelada (MJ/tn)	1.47	1.35	1.54	1.50
	Energía total del explosivo (MJ/kg)	3.42	3.02	3.42	3.02
	Energía total por taladro (MJ/tal)	2992.29	2688.27	3122.39	2986.97
	Energía total por Tonelada (MJ/tn)	1.76	1.58	1.84	1.76

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa – OMS.

El análisis realizado perteneciente al diseño operativo de taladros para la zona de Jahuypalla Baja, descrito en la **Tabla n°5.6**, muestra resultados satisfactorios en cuanto al ahorro del explosivo por taladro. En el **Gráfico n°5.7** se aprecia el costo por metro lineal de explosivo por taladro, se logró un ahorro de 1.70 \$/m con el uso del explosivo en prueba Fortis Extra en la diferencia de costo de FA 65/35 con FE 65/35, y 3.40 \$/m de FA 70/30 con FE 65/35.

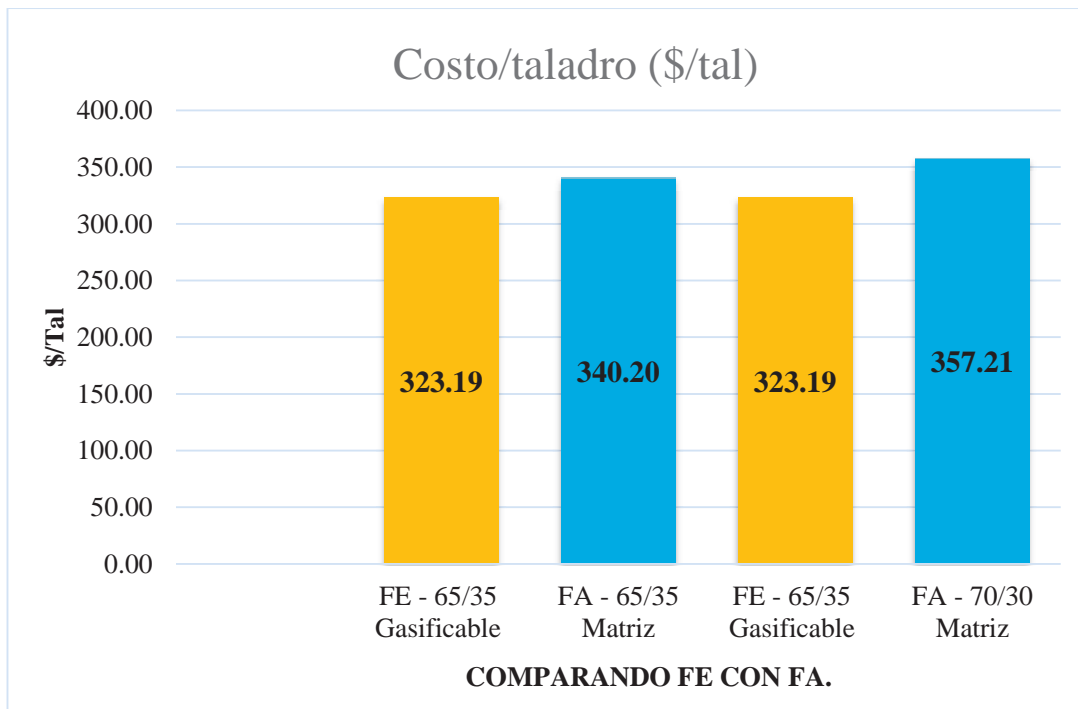
GRÁFICA N°5.7 Análisis de costo por metro lineal (\$/m) para diseño operativo de taladros de la zona de Jahuypalla Baja.



Fuente: Elaboración en base a datos de la Empresa OMS – Las Bambas.

En el **Gráfico n°5.8** se aprecia el costo de explosivo por taladro; se logró un ahorro de 17.01 \$/tal en la diferencia de costo de FA 65/35 con FE 65/35, y un ahorro de 34.02 \$/tal de FA 70/30 con FE 65/35.

GRÁFICA N°5.8 Análisis de costo por taladro (\$/Tal) para la zona de Jahuaypalla Baja.



Fuente: Elaboración en base a datos Orica.

En los **Gráficos 5.7 y 5.8** se puede apreciar la diferencia en cuanto a costos en relación al costo por metro lineal y el costo por taladro. Se observa que el Fortis Extra 65/35 es más barato en relación a costos en todos los casos evaluados, el cual resulta ser más económico.

La misma evaluación se aplicó para las demás zonas del proyecto (Mini Tajo y Cantera 1), cuyo diseño de los parámetros operacionales de cada taladro es como se indica en la **Tabla n°5.6** y propiedades geomecánicas de roca mineralizada dura, en la cual se obtuvieron los siguientes resultados.

TABLA N°5.7. Ahorro determinado por taladro tras análisis económico para cada zona de la Mina - Tajo Ferrobamba.

Zona - Mina	Ahorro en (\$/tal) al comparar Fortis Extra 65/35 Gasificado con:	
	Fortis Advantage 65/35	Fortis Advantage 70/30
Jahuypalla Baja	17.01	34.02
Minitajo	15.23	27.40
Cantera 1	14.70	28.65

Fuente: La empresa OMS.

Nota. La información real en cuanto a costos no es mostrada por motivos de confidencialidad de OMS - Las Bambas.

La evaluación en la zona de Jahuypalla Baja que aparece en la primera fila de la **Tabla n°5.7.** muestra los resultados obtenidos del análisis económico. El mismo procedimiento se realizó para los dos escenarios de las zonas de Minitajo y Cantera 1, cuyos resultados obtenidos se muestran en las posteriores filas.

En base a los resultados obtenidos, se puede apreciar un ahorro económico con la utilización del explosivo Fortis Extra 65/35, en las diferentes zonas del tajo Ferrobamba contempladas dentro del proyecto las Bambas. Siendo el principal en el caso del reemplazo de Fortis Advantage 70/30 por Fortis Extra 65/35 Gasificado debido a un mayor ahorro. En base a los resultados evaluados, Minera las Bambas decidió reemplazar el Fortis Advantage 65/35 Matriz para material duro y Fortis Advantage 70/30 Matriz para material con presencia de agua estática o dinámica, por el Fortis Extra 65/35 Gasificable.

5.6. IMLEMENTACION DE FORTIS EXTRA 65/35 GASIFICABLE

La evaluación de mejoras operativas que se determinó con el uso de Fortis Extra 65/35 Gasificable genera un impacto económico en la operación, lo cual impacta de manera positiva en el ahorro del consumo del explosivo. Este estudio permite la entrega de un porcentaje pasante P80 de menor tamaño y un mayor porcentaje de finos.

5.6.1. IMPACTO ECONOMICO DE MEJORAS

5.6.1.1. ANÁLISIS COSTO BENEFICIO

En base al análisis económico discutido en el presente capítulo, se llega a las siguientes conclusiones de costo beneficio, mediante la evaluación in-situ del nuevo explosivo Fortis Extra Gasificable y Fortis Advantage Matriz se decide cual explosivo debe ser utilizado previo a los resultados de los estudios realizados, según sus ventajas y desventajas que presentaron durante el estudio.

Mediante la toma de decisiones, es viable el reemplazo de las mezclas de Fortis Advantage 65/35 y 70/30 a base de emulsión matriz por el Fortis Extra 65/35 a base de emulsión Gasificable llevado a densidades similares y ventajas operativas que presentó durante la evaluación de rendimientos. Las ventajas que presentaron durante el estudio se enumeran:

1. Las pruebas demostraron una reducción sustancial en la generación de gases nitrosos y gases de monóxido de carbono, inclusive en terrenos con presencia de agua estática o dinámica tal como se muestra en la **Tabla n°5.2.**, siendo un aspecto muy importante de seguridad y cuidado medio ambiental y de productividad.

2. El porcentaje de emulsión de la mezcla del explosivo en prueba Fortis Extra 65/35 (65% emulsión), ofrece mayor resistencia a flujos de agua dinámica sin dañar sus propiedades físicas y energéticas. Permitiendo permanecer en estas condiciones hasta 72 horas dentro del taladro.
3. Es sumamente económico el remplazo de Fortis Advantage 65/35 Matriz lográndose un ahorro de 14.70 a \$/ 17.01 por taladro; y en el reemplazo de Fortis Advantage 70/30 matriz, se logró un ahorro de 27.40 a \$/ 34.02 por taladro.
4. Se logró un incremento en el rendimiento de los equipos de minado: Excavación, carguío, acarreo y una disminución en el consumo energético en los sub procesos de chancado y molienda debido a la calidad de la fragmentación que es entregado a planta.
5. La integración Mina – Planta ha permitido que la fragmentación parte desde la etapa de perforación y voladura, con P80 de (1.88 – 2.81 pulg) lográndose mejorar la fragmentación en un 67% con respecto a la línea base de P80 de (5.26 - 8.59 pulg) y un porcentaje de finos mayor al orden 30 – 35%.

5.7. PROYECCIÓN DE AHORRO

En base al estudio realizado y análisis mediante el tipo de evaluación razón Beneficio – Costo y las decisiones de los líderes del área (Superintendencia de perforación y voladura) que se vieron involucrados en la toma de decisiones, se ha proyectado un ahorro para las dos mezclas que serán reemplazadas debido que generan un beneficio económico de FA 65/35 y FA70/30.

El área de operaciones mina cuenta con sistema de control de información de Perforación y Voladura, en cuyo sistema vienen archivos que tienen los diferentes parámetros de diseños para cada sector y sistemas de iniciación debido a las condiciones geomecánicas cambiantes de la zona. El **archivo N.º 01** del sistema PERVOL del Software SHOT Plus brinda una proyección a futuro acerca de la ubicación, características geomecánicas, cantidad y presencia o ausencia de agua estática o dinámica en cada zona de la Mina; y en el **archivo N.º 02** se tiene los parámetros de diseño de carga explosiva y tipo de carga explosiva a utilizar en los diferentes sectores de la Mina. Esto permite al área de perforación y voladura a identificar sectores con roca dura o con presencia de agua, y determinar el tipo de explosivo a ser cargado y diseñar la carga con Fortis Extra 65/35 Gasificable durante el año 2017. Dichos resultados se muestran en la siguiente tabla.

Mediante el análisis económico efectuado a partir de la sección 5.5 de la evaluación del estudio, tanto en el costo y el respectivo ahorro en donde intervienen directamente las dimensiones de los taladros y el desempeño del explosivo. Por ese motivo se utiliza la **Tabla n°5.8** para proyectar el ahorro de marzo a diciembre del 2017. Esta proyección se efectúa en función al número de taladros con agua y taladros sin agua, ambas en material de roca dura.

TABLA N°5.8. Numero de taladros proyectados de marzo a diciembre del 2017.

Zona - Mina	Numero de taladros (Unidades).	
	Material duro sin agua	Material duro con agua
Jahuaypalla Baja	6,600	10,560
Minitajo	5,500	8,800
Cantera 1	1,540	2,464

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS – Las Bambas.

En la **Tabla n°5.9** se aprecia el ahorro que representa el reemplazo de Fortis Extra 65/35, este ahorro se obtiene de las **Tablas 5.7 y 5.8**, tras el producto del costo unitario por taladro con las proyecciones del número de taladros para diferentes escenarios.

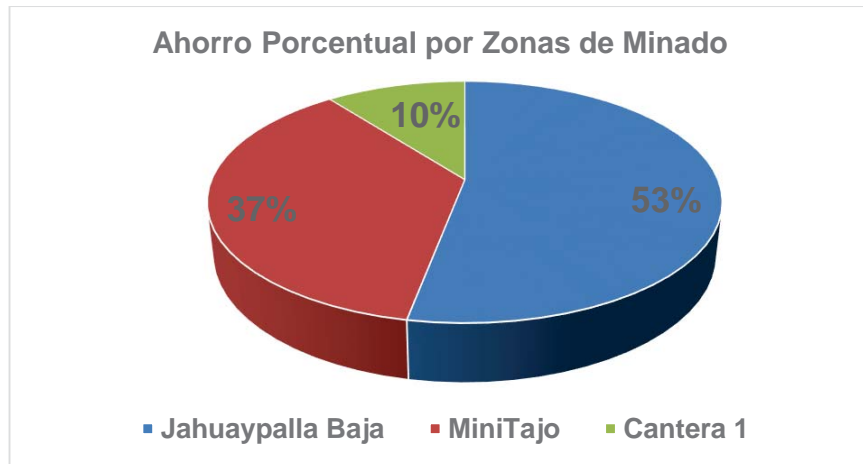
TABLA N°5.9. Proyección de ahorro en el reemplazo de FA 65/35 y 70/30 matriz por el FE 65/35 gasificado, de marzo a diciembre del 2017 en el tajo Ferrobamba.

Zona - Mina	Proyección de Ahorro (\$) por el reemplazo de:		
	FA - 65/35 Matriz	FA - 70/30 Matriz	Sub total
Jahuaypalla Baja	112,266.00	359,251.20	471,517.20
Minitajo	83,765.00	241,120.00	324,885.00
Cantera 1	22,638.00	70,593.60	93,231.60
SUBTOTAL	218,669.00	670,964.80	889,633.80
		TOTAL	889,000.00

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS – Las Bambas.

La distribución porcentual en la **Gráfica n°5.9**, se aprecia el ahorro proyectado de marzo a diciembre del 2017. Se observa que el 53% del ahorro que representa la zona de Jahuaypalla baja, es debido al mayor número de taladros proyectados durante el estudio, seguida por la zona de MiniTajo con 37% y finalmente la zona de Cantera 1 con un 10% de ahorro económico por el reemplazo de Fortis Advantage 65/35 y 70/30.

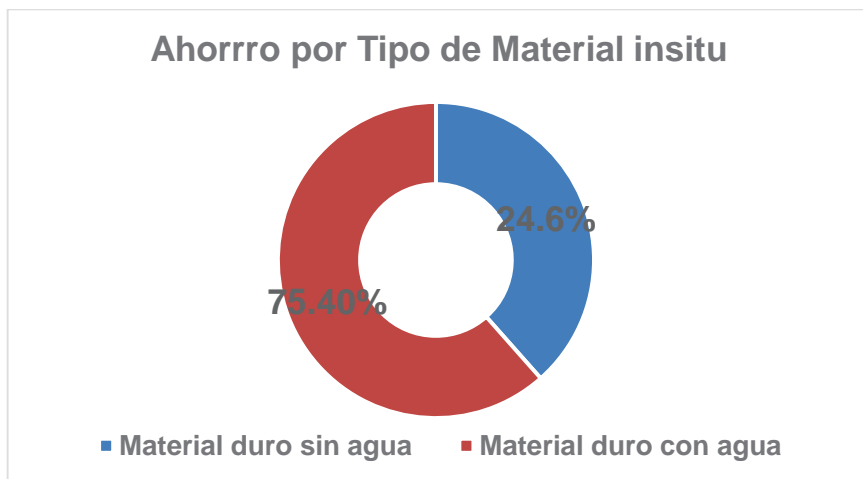
GRÁFICA N°5.9 Proyección de ahorro por el remplazo de FA 65/35 y 70/30, para cada zona de la Mina – Tajo Ferrobamba.



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS – Las Bambas.

En el **gráfico 5.10**, se aprecia el ahorro económico total en porcentaje de las tres zonas (Jahuaypalla Baja, Minitajo y Cantera 1), el 75.4% del ahorro representa a taladros que serán disparados con presencia de agua y el 24.6% a taladros que serán disparados sin presencia de agua.

GRÁFICO N°5.10 Distribución del ahorro total en porcentaje según el material duro sin agua y con agua.



Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS – Las Bambas.

El resumen de las **Tablas 5.7 y 5.8** se agrupa en la siguiente **Tabla n°5.10**, para calcular el promedio ponderado en la proyección de ahorro por taladro. Debido a las condiciones imperantes tanto de material mineralizado duro en donde se usa Fortis Advantage 65/35 matriz y para material con presencia de agua Fortis Advantage 70/30 matriz. El Fortis Extra 65/35 gasificable cumple un buen desempeño en ambas condiciones del terreno, logrando resultados satisfactorios durante las pruebas.

TABLA N°5.10 Resumen del ahorro por taladro y proyección de taladros en diferentes condiciones de material.

Zona - Mina	Ahorro en el costo por taladro (\$/Tal)		Numero de taladros (Unidades)	
	Reemplazo FA 65/35 Matriz	Reemplazo de FA 70/30 Matriz	Material duro sin agua	Material duro con agua
Jahuaypalla Baja	17.01	34.02	6,600	10,560
Minitajo	15.23	27.4	5,500	8,800
Cantera 1	14.7	28.65	1,540	2,464
	TOTAL		13,640	21,824

Fuente: Elaboración en base a datos de la empresa OMS – Las Bambas.

Promedio de ahorro ponderado por taladro.

- Para el reemplazo de FA – 65/35 Matriz (Material duro sin agua).

$$= \frac{17.01 \times 6600 + 15.23 \times 5500 + 14.70 \times 1540}{13640} = 16.03 \cong \$16.0/\text{Taladro}$$

- Para el reemplazo de FA – 70/30 Matriz (Material duro con agua)

$$= \frac{34.02 \times 10560 + 27.40 \times 8800 + 28.65 \times 2464}{21824} = 30.74 \cong \$30.0/\text{Taladro}$$

El promedio de ahorro ponderado por taladro para los dos escenarios (Material dura sin agua y con agua), y las tres zonas (Jahuaypalla Baja, Minitajo y Cantera 1), se obtiene a través de la operación matemática que mantiene proporcional el valor ponderado en base a su importancia real.

5.8. MEDIDAS DE CONTROL EN LA IMPLEMENTACION

Tras la evaluación de un eficiente desempeño de Fortis Extra 65/35 se ha decidido implementar la utilización del nuevo producto en el reemplazo de las dos mezclas de Fortis Advantage 65/35 y 70/30 a base de emulsión matriz, se propone medidas de control de calidad más eficientes que aseguren que los beneficios sean sostenibles en el tiempo y permitan lograr la mejora continua diaria.

La medida de control se orienta básicamente en el cumplimiento de los parámetros establecidos, medidas de control en la entrega de la calidad del producto, manejo adecuado de puntos críticos que tiene el nuevo explosivo, así como aspectos claves de supervisión durante la operación de carguío de los taladros.

Esto va orientado a ser más eficaces durante el carguío del explosivo y taladros correctamente ejecutados, siendo parte fundamental para lograr mejores resultados y poder aprovechar el explosivo en su real dimensión en la fragmentación de la roca.

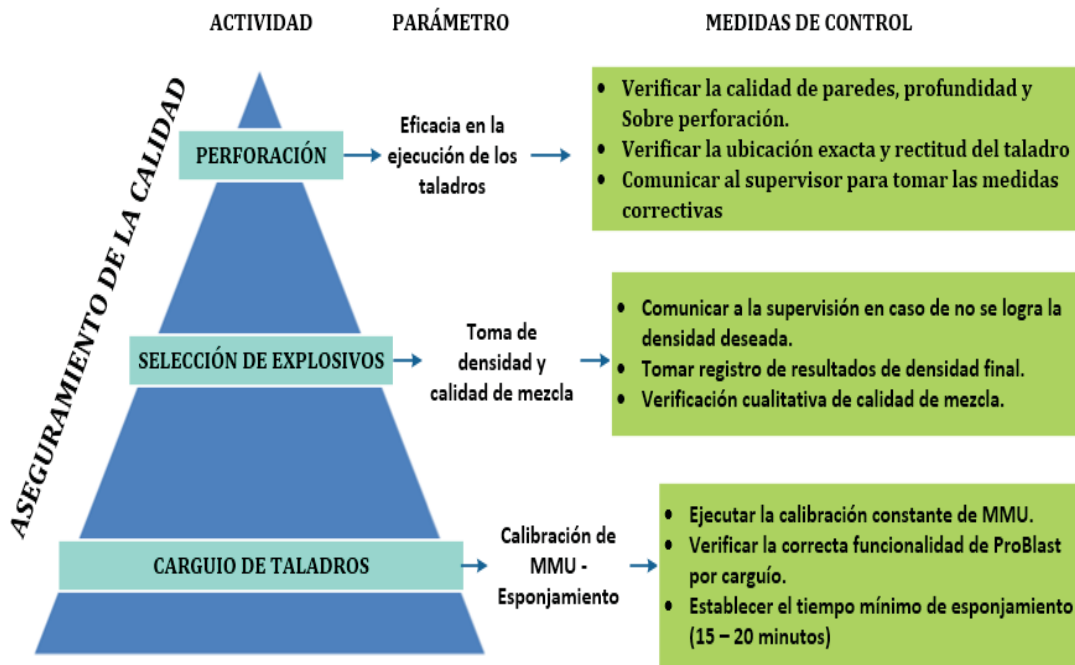
5.8.1. ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD

Actividades relacionadas al aseguramiento de la calidad, enfocadas en el proceso de fabricación del producto explosivo mediante la unidad de fábrica móvil (MMU). Grupos de interés comprometidos en lograr resultados satisfactorios en cada una de las tareas que parten desde la correcta ejecución del taladro hasta el tapado con el material adecuado que permita aprovechar la máxima energía del explosivo.

Ello permitirá obtener resultados óptimos en la fragmentación del material, para un mejor aprovechamiento y mayor rendimiento de los equipos de minado, menores costos en los procesos de chancado y molienda, influyendo en todo el ciclo de producción del mineral.

Es muy importante trabajar con objetivos que perseveren en lograr los propósitos de mejoras en el proceso y descartar las fuentes de error. Para el éxito es necesario involucrar al recurso más importante que es el personal y su labor está directamente ligado al aseguramiento de la calidad. El plan de acción se detalla en la siguiente **figura n°5.4.**

FIGURA N°5.4 Parámetros a controlar en el aseguramiento de la calidad.



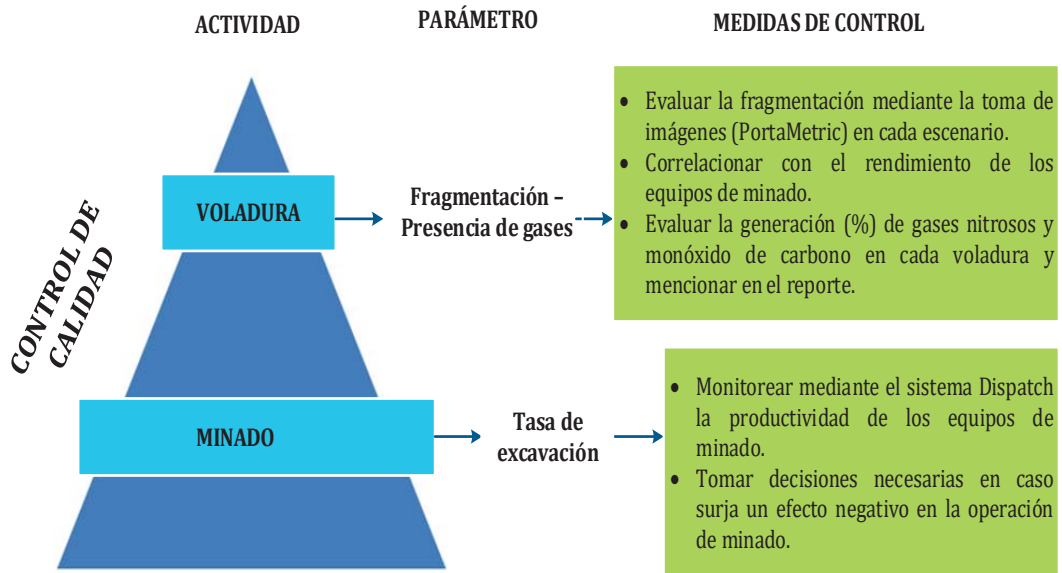
Fuente: Elaboración de Manual de Operaciones de Orica.

5.8.2. CONTRÓL DE LA CALIDAD

Estas actividades están orientadas en el aseguramiento de la calidad en la entrega de los productos in-situ, a través de un buen manejo de los puntos críticos que tiene el nuevo explosivo. El presente estudio de evaluación, busca determinar controles principalmente después de la voladura y desempeño del explosivo que es evaluado durante la detonación.

Este control de calidad permite determinar con certeza la calidad en los resultados de la voladura mediante los diversos parámetros que han permitido evaluar el desempeño del producto. Cabe mencionar que dichos controles han sido implementados y son parte de la mejora continua de la compañía.

FIGURA N°5.15. Parámetros a controlar en el control de calidad



Fuente: Elaboración de Manual de Operaciones de Orica.

5.9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. La VOD de Fortis Extra 65/35 es 16% mayor al de Fortis Advantage (65/35 y 70/30), este indicador clave de rendimiento determina el buen desempeño del explosivo, debido a que la presión de detonación dentro del taladro también es proporcional al VOD del explosivo.
2. En el aspecto operativo de Pala – Camión se logró una mejora sustancial en la tasa de excavación de los equipos de minado en un rango de 10 – 30%, en los tres equipos evaluados con el uso de Fortis Extra 65/35 Gasificable, y un ahorro energético en los procesos de chancado y molienda a efecto de una óptima fragmentación del mineral.
3. El uso de Fortis Extra 65/35 Gasificado logró un rendimiento de mejoras operativas en comparación de su predecesor Fortis Advantage 65/35, 70/30 Matriz, reduciendo significativamente la generación de gases nitrosos a 0.12% de 4 275 taladros disparados durante las pruebas del mes de enero, siendo un aspecto negativo para el medio ambiente y de riesgo para la salud.
4. Mediante el análisis económico ponderado se demostró un ahorro promedio de \$/16.00 por taladro en el reemplazo de Fortis Advantage 65/35 Matriz utilizado para Material mineralizado dura sin agua; y un ahorro promedio de \$/30.00 por taladro en el reemplazo de Fortis Advantage 70/30 Matriz utilizado para material mineralizado dura con presencia de agua.

RECOMENDACIONES

1. En el uso de Fortis Extra 65/35 Gasificable se requiere un constante monitoreo de: Medición de densidades, temperatura de la emulsión, tiempo de esponjamiento, dosificación de nitrito de sodio, calidad de nitrato de amonio e emulsión, calibración de camiones fábrica y personal eficaz.
2. Se debe conocer los diferentes tipos de terreno y litología del macizo rocoso para sectorizar la Mina, y de esta manera estandarizar los parámetros de diseño de carga explosiva con Fortis Extra 65/35.
3. Se recomienda establecer calibraciones periódicas de las unidades de fabricación móvil MMU, post implementación para lograr buenos resultados en la fragmentación, mayor porcentaje de finos y reducción de gases nitrosos.
4. De acuerdo a las exigencias de la Cía. Minera las Bambas se sugiere la experimentación de otros explosivos más energéticos (en este caso fue Fortis Extra 65/35), debido a un ahorro económico en carguío, acarreo y un ahorro en el consumo energético en la chancadora y molienda, como por ejemplo, Vistis 225 (aluminizado).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ames, V., Morrey, W. B (1984). *Emulsion explosives*. Cim third coal operators conference, Fernie British Columbia, Canada, September Paper No 3.
- Bjarnholt G. (1978), *Strength testing of explosive by underwater detonation, Propellants and explosive*.
- Orica Blast Services, (2015), *Desarrollo de operaciones de voladura en superficie, Blasting Courses*, Chile, Santiago, Edición n°2.
- Agreda Carlos. (2001), *Voladura controlada teoría y aplicaciones*, Perú, Lima, Edición 6.
- Cook, M. A. 1971, *The Science of High Explosives*, Hardcover, June 1.
- Hernández, R., Fernández,C. y Baptista, M. (2010), *Metodología de la investigación*. Quinta edición.
- Enaex; (2010), “*Manual de tronadura*”, Chile, Santiago, Edición N° 05.
- Enaex; (2011), “*Manual de tronadura*”, Chile, Santiago, Edición N° 05.
- EXSA S.A. (2011), *Manual práctico de voladura*. Edición Especial, Perú. Lima edición 10.
- EXSA. 2008, *Manual práctico de voladura*. Edición especial, Perú, Lima.

- Famesa Explosivos SAC; (2013) “*Manual de explosivos y accesorios de voladura*”, Perú, Lima, Edición N° 25.
- Konya C., & Albarrán, E. (1998). *Diseño de voladura*. Mexico D.F. Edición cuicatl.
- Konya, C. J; (1998) “*Spacing of Explosive Charges*” MS Thesis, Departament of Mining and Petroleum Engineering, University of Missouri at Rolla, Estados Unidos, Missouri, Edición N° 8, 520 pag.
- López Jimeno, López Jimeno E, & García Bermúdez P. (2003). *Manual de perforación y voladura de rocas*: Madrid.
- Orica Mining Service Peru S.A., (2014), *Manual de operaciones de Orica* , Chile, Santiago.
- Reportes de proyectos de voladura Orica Mining Services Perú S.A., *Operaciones Minera las Bambas*, (2016 – 2017).
- Robert Osmar Medina Cortez, (2014), *Tesis Evaluación Técnica – Económica – Ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en CUAJONE SOUTHERN PERÚ*,
- Segarra, p., Sanchidrian, J. A. Lopéz, L. M., & Querol, E (2010). *On the prediction of Mucking rates in metal ore blasting. Journal of Mining Science*, Vol 42. N° 2.

- Victor Alejandro Arnes Lara, 2008, Tesis. *Diseño de las mallas de perforación y voladura utilizando la energía producida por las mezclas explosivas*, Perú, Lima.
- [www. Oricaminingservices.com](http://www.Oricaminingservices.com).
- [www. Portametrics.com](http://www.Portametrics.com)

ANEXOS:

ANEXO A

I-KON DETONADOR ELECTRÓNICO.

DETONADOR NO ELECTRÍCO EXCEL CONECTADET

FICHA TÉCNICA FORTIS ADVANTAGE

FICHA TÉCNICA FORTIS EXTRA GASIFICABLE

FICHA TÉCNICA NITRATO DE AMONIO CACHIMAYO

FICHA TÉCNICA HDSM NITRATO DE AMONIO CACHIMAYO

I-KON DETONADOR ELECTRÓNICO.



Description

Orica's premium i-kon™ II system is the most sophisticated Electronic Blasting System on the market.

i-kon™ II electronic detonators have multiple safety features that are inherent in the design of the product including spark gaps, input and bleed resistors, and the chip itself. i-kon™ II detonators are available in Standard or RX.

The i-kon™ II detonator (standard or RX) is used in conjunction with the following hardware:

- i-kon™ Logger (with firmware upgrades)
- i-kon™ Blaster 400 or 2400S (with firmware upgrades)
- i-kon™ Blaster 3000
- i-kon™ Surface Remote Blaster System (SURBS hardware)
- i-kon™ Centralised Electronic Blasting System including lock box and remote blasting box (CEBS hardware)

Application

i-kon™ II detonators are the most advanced electronic detonators in the market and are particularly suitable for high value and complex blasts at large open cut and underground operations and in the most challenging environments.

Key Benefits

- The copper zinc shell reduces failure due to dynamic shock in the hole.
- ASIC and PCB developed in conjunction with an aerospace partner that normally develops chips for satellite and space exploration equipment, to achieve reliability by design.

- Timing precision of 0.005%, reduces the chance of firing out of order and increases the ability to control exactly when the detonators will detonate.
- Maximum delay time of 30 seconds allows very different types of blasting to be designed.
- Connector features two harness wire slots enabling splicing.

Properties

Property	i-kon™ II	i-kon™ II RX
Wire color	Yellow	Red
Tensile strength (kg) / (lbs)	22 / 48	25 / 55
Explosives charge weight (mg)	900	
Connector color	Blue	
Shell length x diameter	89 x 7.6 mm	
Shell material	Copper alloy	
Programmability (ms) standard	1ms to 30 s	
Max delay time (seconds)	30	
Precision as coefficient of variation	0.005%	

Available Lengths/Packaging

i-kon™ II detonators are available in the following lengths and packaging:

Standard i-kon™ II detonators (>10m spooled)

Length, m / ft (configuration, Coil or Spool)	1.1B packaging		1.4S packaging	
	Units / Case	Weight per Case kg / lb	Units / Case	Weight per Case kg / lb
6 / 20 (C)	80	5.9 / 13	40	6.2 / 13.7
10 / 33 (C)	60	6.4 / 14.1	35	6.5 / 14.3
15 / 50 (S)	66	11.2 / 24.7	32	8.5 / 18.7
20 / 65 (S)	66	13.6 / 30.0	32	9.7 / 21.4
30 / 100 (S)	36	10.6 / 23.3	32	11.8 / 26.0
40 / 130 (S)	30	11.4 / 25.1	16	7.9 / 17.4
60 / 200 (S)	20	11.0 / 24.2	16	10.1 / 22.2
100 / 328 (S)	12	10.5 / 23.1	12	11.0 / 24.2

i-kon™ II Electronic Detonator

i-kon™ II RX detonators (all spooled)

Length m / ft (Spool)	1.1B packaging		1.4S packaging	
	Units / Case	Weight per Case kg / lb	Units / Case	Weight per Case kg / lb
10 / 33	60	10.0 / 22.0	32	8.4 / 18.5
15 / 50	60	13.0 / 28.6	32	10.0 / 22.0
20 / 65	48	13.1 / 28.9	32	11.4 / 25.1
30 / 100	30	11.8 / 26.0	16	8.2 / 18.1
40 / 130	25	12.5 / 27.5	16	9.8 / 21.6
60 / 200	18	13.0 / 28.6	12	9.9 / 21.8
80 / 260	12	11.5 / 25.3	12	12.3 / 27.1

Recommendations for Use

- i-kon™ and i-kon™ II detonators should never be mixed in the same blast pattern or connected to the same equipment at the same time. Misfires may result.
- All i-kon™ II blasting equipment can only be used with i-kon™ II detonators, and i-kon™ II detonators must not be connected to any other blasting equipment.
- Damage to the legwire insulation is the most common cause of problems with electronic blasting systems; exercise care and protect the wires when loading and stemming holes.
- Handle i-kon™ II blasting equipment with care; it is not designed for immersion in water or for dropping onto a hard surface.
- Never open i-kon™ II blasting equipment. It should be serviced or repaired only by Orica or approved agents.

Sleep-Time Within Boreholes

The recommended maximum sleep time is 21 days. Sleep time is dependent on ground water conditions. An Orica Technical Services Representative should be consulted if special conditions exist that may reduce the allowed sleep time, or if sleep times longer than 21 days are needed.

Storage and Handling

Product Classification

Authorised Name: i-kon™ II

Correct Shipping Name: Detonators, Electric for blasting

Hazard Class	1.1B	1.4S
UN Number	0030	0456
EX Number	EX2010060238	EX2010080328

All regulations pertaining to the handling and use of such explosives apply.

Storage and Handling

Store i-kon™ II detonators in a suitably licensed magazine for Class 1.1B explosives. The cases should be stacked in the manner designated on the cases.

i-kon™ II detonators have a storage life of up to 5 years in an approved magazine.

Storage and use temperatures

Activity		Temperature
Operating	min	-4°F / -20°C
	max	158°F / 70°C
Storage	min	-4°F / -20°C
	max	120°F / 50°C
Transport	min	-40°F / -40°C
	max	150°F / 65°C

Disposal

Disposal of explosive materials can be hazardous. Methods for safe disposal of explosives may vary depending on the user's situation. Please contact a local Orica representative for information on safe practices.

Safety

The i-kon™ II electronic initiating systems provide a high level of safety against initiation by static electricity, stray electrical currents and radio frequency transmissions. However, i-kon™ II detonators contain pyrotechnics and molecular explosives, which can initiate under intense impact, friction or heat. As with all high explosives, these detonators must be handled and stored with care. i-kon™ II detonators may only be used

DETONADOR NO ELECTRÍCO EXCEL CONECTADET

Technical Data Sheet

The Power
of Partnership

Exel™ Conectadet



Descripción

Corresponde a un detonador compuesto por una cápsula de baja potencia (Fuerza 1) ensamblada en un conector de superficie, cuya finalidad es conectar filas de un mismo disparo en voladuras donde los pozos han sido primados con *Exel™ Handdet* o *Exel™ MS*. Otra modalidad que presenta *Exel™ Conectadet* es enrollado en carretes (formato de metraje largo), destinado a iniciar voladuras desde la zona de seguridad.

Los detonadores no eléctricos *Exel™ Conectadet* están compuestos principalmente por 4 elementos:

- Cápsula de baja potencia (Fuerza 1), ensamblada al interior de un conector de superficie.
- Tubo de señal de color amarillo, componente que transmite la señal a la cápsula de retardo. En el momento que el tubo es iniciado, transmite interiormente una onda de choque de baja energía la cual inicia los retardos al interior de la cápsula.
- Etiqueta, elemento que indica el tiempo de retardo y el largo del detonador.
- Conector J, dispositivo que permite conectar el cordón detonante al tubo de señal en caso que se requiera.

Aplicación

El detonador *Exel™ Conectadet* se utiliza principalmente en voladuras a cielo abierto.

Este producto está diseñado para iniciar tubo de señal, contándose entre sus beneficios:

- Mayor seguridad en la operación gracias a la gran resistencia que tiene el tubo de señal.
- Mayor control de la voladura a través de una baja dispersión.
- Producto seguro y fácil de conectar.
- Fácil y rápida verificación de conexión.
- Reduce inventarios en polvorines.
- Apto para utilizarse en voladuras cercanas a sitios poblados gracias al bajo nivel de ruido que genera.

Recomendaciones de Uso

- No estirar, retorcer o aplicar una tensión indebida al tubo de señal ya que esto podría originar un mal funcionamiento.
- Se recomienda no cortar el tubo debido a que la humedad podría penetrar impidiendo la iniciación.
- Usar el producto más antiguo almacenado en los polvorines.
- Almacenamiento adecuado según reglamento de explosivos y polvorines.
- Producto que puede ser utilizado en ambientes de alta humedad y abrasión.

Propiedades Técnicas

Los detonadores *Exel™ Conectadet* se encuentran disponibles en los siguientes tiempos:

Tiempo Nominal	Etiqueta
0	Rosado
9	Verde
17	Amarillo
25	Rojo
35	Negro
42	Bianco
50	Naranja
65	Violeta
100	Negro
130	Azul
150	Azul
200	Azul

Exel™ Conectadet

Almacenamiento y Manipulación

Clasificación como Explosivo

Nombre:	Exel™ Conectadet
Nombre propio para transporte:	Conjunto de detonadores no eléctricos para voladuras.
Número NU:	0360 0361
Clasificación:	1.1B 1.4B

Embalaje (Cantidades por caja)

Estos productos están disponibles en los largos y cantidades por caja que a continuación se detallan:

Longitud		Unid/caja	
Metros	Pies	1.1B	1.4B
3,6	12	150	120
4,2	14	120	120
4,8	16	120	120
6,1	20	120	120
7,3	24	100	100
9,2	30	80	80
10,3	34	70	70
12,2	40	60	60
15,2	50	50	50
18,2	60	40	40
24,0	80	30	30
30,4	100	20	20
40,0	132	15	15
50,0	164	15	15
100,0	328	12	12
200,0	656	6	6
500,0	1.640	2	2
750,0	2.460	2	2
1.000,0	3.280	2	2

Almacenamiento

Almacenar en polvorín autorizado con temperatura moderada, baja humedad y buena ventilación. El fabricante garantiza la calidad del producto por un periodo de dos años bajo almacenamiento adecuado.

Destrucción

La destrucción de materiales explosivos puede ser peligrosa. Los métodos para una segura destrucción de explosivos pueden variar

dependiendo de la situación del usuario. Por favor contacte a un representante local de Orica para más información acerca de prácticas seguras.

Seguridad

- El detonador Exel™ Conectadet no debe ser usado para iniciar cordones detonantes.
- El detonador y el tubo de señal se deben proteger de impactos de roca.
- El producto no se debe utilizar en caso de tormentas eléctricas durante el carguío en superficie.
- El tubo de señal, componente principal del detonador Exel™, provee un alto nivel de seguridad contra la iniciación por electricidad estática y transmisiones por radiotelegrafía.
- El producto se debe mantener lejos del fuego, líquidos inflamables y otros explosivos.
- El producto debe ser usado por personal capacitado y autorizado en la manipulación de explosivos.
- La señal al interior del tubo de señal, es capaz de desplazarse, sin afectar a ningún agente explosivo u otro accesorio con el cual esté en contacto directo.

Marcas Registradas

La palabra, el logo y la marca Orica son marcas registradas del Grupo de Compañías Orica. La marca Exel™ es marca registrada de Orica Explosives Pty Ltd. El nombre de producto Exel™ es marca registrada de Orica Explosives Pty. ACN 075 659 353, 1 Nicholson Street, Melbourne, VIC, Australia.

Limitación de Responsabilidades

Toda la información en esta Hoja de Datos Técnicos se encuentra actualizada al momento de la publicación. Dado que el Grupo de Compañías Orica no puede anticipar o controlar las condiciones bajo las cuales esta información y sus productos pueden ser usados, cada usuario debería revisar la información en el contexto e intención específica de la aplicación. El Grupo de Compañías Orica no será responsable por daños de ninguna naturaleza, resultantes del uso de esta información. No existen garantías explícitas o implícitas otorgadas más allá de aquellas obligatorias por la legislación que sea aplicable.

Explosivos Mexicanos S.A. de C.V.

Prolongación Fertilizantes #1800 Col. Industrial C.P. 25760
Monclova, Coahuila México
Tel.: + (52 866) 631 - 1011 Fax: + (52 866) 631 - 4266

Teléfono de emergencia

En México 01-800-002-1400
01-555-559-1588
Celular 045-866-638-5125
Fuera de México 52-555-559-1588
Celular 52-1-866-638-5125

Technical Data Sheet

The Power
of Partnership

Fortis™ Advantage

Fase Emulsión Nitrato de Amonio

Descripción

La fase emulsión Fortis™ Advantage (ANE) es un componente en emulsión usado en minería para mezclas con ANFOS, produciendo un producto explosivo en el sitio. Esta es una emulsión no explosiva fabricada a partir de una solución oxidante y combustible.

Fortis™ Advantage tiene un balance de oxígeno negativo y apariencia de un fluido viscoso de color Amarillo opaco, similar a una grasa liviana o un aceite pesado.

Aplicación

Fortis™ Advantage ANE es fabricado por Orica con una alta estándar de calidad y es entregado a las minas por medio de camiones estanques o iso tanques adecuadamente sujetos al camión.

Fortis™ Advantage puede solo ser usado para fabricar series de productos explosivos autorizados Fortis™ y Fortan™ Advantage. Antes de mezclar en cualquier sitio específico, son requeridas las licencias otorgadas por las autoridades regulatorias.

Propiedades Técnicas

Como Fortis™ Advantage no es un producto explosivo, las propiedades relativas a las características explosivas no aplican.

Densidad de Fortis™ Advantage 1.32 – 1.38g/cm³

Recomendaciones para su Uso

Fortis™ Advantage ANE es recomendado para fabricar todos los rangos de productos ANFO/emulsión, (Series Fortis™ Advantage y Fortan™ Advantage). Fortis™ y Fortan™ Advantage pueden ser mezclados ANFO y diesel en una proporción apropiada asegurando su óptimo desempeño. Contacte a su representante local de Orica para recibir consejos.

Temperatura del Terreno

Este producto está disponible para uso en terrenos de temperatura entre 0° a un máximo de 55°C. Si usted requiere aplicaciones en terrenos fuera de este rango, por favor contacte a representante Local Orica.

Almacenamiento y Manipulación

Clasificación del Producto

Nombre autorizado:	Series Fortis™ Advantage
Nombre para transporte:	Emulsión de nitrato de amonio
N° NU:	3375
Clasificación:	5.1

Almacenamiento

Fortis™ Advantage ANE puede ser almacenado en el sitio hasta por 3 meses antes de ser usado. Sin embargo, la formación de cristales en la emulsión es el primer signo de que el producto está alcanzando el final de su vida útil. Si es posible, los stock de productos más antiguos deben ser usados en primer lugar.

Si hay cualquier inquietud con la calidad del producto, debe contactar a un representante técnico de Orica Mining Services.

Destrucción

La destrucción de materiales explosivos puede ser peligrosa. Los métodos para una segura destrucción de explosivos pueden variar dependiendo de la situación del usuario. Por favor contacte a un representante local de Orica para más información acerca de prácticas seguras.

Seguridad

Fortis™ Advantage ANE contiene ingredientes no explosivos. En el estado de entrega éste no es un explosivo y no lo es hasta que es mezclado o sensibilizado por un método apropiado.

Explosivos hechos a base de Nitrato de Amonio, tales como Fortan™ Advantage ANE, pueden reaccionar con materiales pintosos en el terreno y pueden crear situaciones potencialmente peligrosas. Orica no acepta responsabilidad por ninguna pérdida por el uso del producto en terreno que contenga material pirítico o cualquier otro material reactivo.

Marcas Registradas

La palabra, el logotipo y la marca Orica son marcas registradas del grupo de compañías Orica. Fortis™, Fortan™, Erel™, Pentex™ y MMU™ son marcas registradas de Orica Explosives Technology Pty Ltd. ACN 075 858 353, 1 Nicholson Street, East Melbourne VIC Australia.

Technical Data Sheet

The Power
of Partnership

Sistema Fortis™ Extra

Descripción

El Sistema de emulsión bombeable sensibilizada Fortis™ Extra está específicamente diseñado para aplicaciones de voladuras con agua. El rango de productos Fortis™ Extra son las emulsiones explosivas a granel más energéticas disponibles hoy en día.

El sistema Fortis™ Extra complementa el rango de productos para barrenos secos Fortan™ Extra de Orica Mining Services.

Aplicación

Fortis™ Extra a sido específicamente diseñado para ser usado en minería a cielo abierto, y es apropiado para las situaciones más difíciles de voladuras. Fortis™ Extra puede ser usado dondequiera que se encuentren barrenos con agua. No se aconseja para terrenos contaminados con sulfuros reactivos.

La potencia y sensibilidad del sistema Fortis™ Extra ayudará a superar el rendimiento de todos los demás productos de emulsión a granel.

Beneficios claves

- Fortis™ Extra esta diseñado para aumentar el tiempo de espera en los barrenos y aumentar la confianza en barrenos secos y con aguas.
- Fortis™ Extra es elaborado y entregado con un preciso control de las tasas para mejorar su productividad
- El producto integrado y los sistemas de entrega de los sistemas a granel Fortis™ Extra aseguran exactitud, productividad y confiabilidad en el suministro.
- Fortis™ Extra puede ser cargado para variar la energía y densidad, para maximizar la fragmentación y desplazamiento mejorando la productividad mina a molino.
- Fortis™ Extra proporciona una carga explosiva completamente acoplada para maximizar los resultados de las voladuras.

Recomendaciones para su uso**Longitud de carga de barreno**

Fortis™ Extra es apropiado para uso en barrenos de hasta 30 metros en longitud, dependiendo del diámetro del barreno, inclinación y presencia de agua. Por favor póngase en contacto con un representante del servicio técnico de Orica para mayor información.

Tiempo de Gasificación

Se debe dejar al menos 30 minutos entre el carguo y taconeo del barreno.

Propiedades Técnicas

	Fortis™ Extra
Propiedades	100
Densidad (g/cm ³) ⁽¹⁾	1.20 – 1.30
Diámetro mínimo barrenos (mm)	76
Profundidad máxima barrenos (m)	30
Máxima longitud de carga (m)	25
Tipo de barrenos	Secos, con agua o desaguados
Sistema de cargado	Bombeado
Tipo de iniciador Pentex recomendado para el mínimo diámetro	Pentex™ 225g
VOD típico (km/s) ⁽²⁾	3.0 – 5.8
Energía Relativa Efectiva (REE)⁽³⁾	
Fuerza Relativa en peso	92
Fuerza Relativa en volumen	136
Emisión CO ₂ (kg/ton) ⁽⁴⁾	152
Tiempo de espera ⁽⁵⁾	7 días

Primado e Iniciación

Fortis™ Extra debe ser iniciado usando un iniciador Pentex™ de 225g junto con un detonador Exel™. No se recomienda el uso de cordón detonante con Fortis™ Extra.

Carguo

El Sistema a granel Fortis™ Extra es parte de un rango de productos a granel entregado por las unidades fabricas de Orica (AMU™). Fortis™ Extra es producido en los MMU™ y vaclado dentro de los barrenos a pedido.

Tiempo de espera en el barreno de voladura

El tiempo máximo de espera recomendado es de 7 días. El tiempo de espera depende de factores tales como diámetro del barreno, densidad, condiciones de agua del terreno y sistema de iniciación. El personal técnico de Orica Mining Services debe ser consultado si se presentan condiciones especiales en el terreno.

Terrenos calientes

Este producto está disponible para uso en terrenos de temperatura entre 0° a un máximo de 55°C. Si usted requiere aplicaciones en terrenos fuera de este rango, por favor contacte a representante Local Orica.

FICHA TÉCNICA NITRATO DE AMONIO CACHIMAYO


NITRATO DE AMONIO GRADO ANFO HOJA DE PRODUCCION

CARACTERISTICAS	VALORES	UNIDAD
CONCENTRACION PELICULA FINA	95.8 - 96.20	%
DENSIDA BAJA	710 - 734	g/L
DENSIDAD MEDIA	735 - 744	g/L
(DENSIDAD ALTA)	(745-750)	g/L
NITROGENO TOTAL	34.51 - 34.86	%
NITRATO DE AMONIO	98.60 - 99.60	%
HUMEDAD	0.08 - 0.18	%
ABSORCION FUEL OIL	> 11.5	%
ANTIAGLOMERANTE	0.18 - 0.20	%
MALLA 6	0	%
MALLA 10	15 - 25	%
MALLA 14	70 - 85	%
MALLA 18	< 6.0	%
MALLA 35	0.5	%
MALLA 35	0	%
pH	Mínimo 5.0 en solución acuosa al 10%	
FRIABILIDAD	Mínimo 450 g/grano	
ASPECTO FISICO	Gránulos de color Blanco N°1	

Nota: Cuando no se cumplan con los límites de los parámetros fijados en 2 valores* consecutivos de la hora, se procederá a separar el producto y solicitar el reproceso a Procesos. Dicho incumplimiento quedará registrado en el campo de Observaciones del Reporte de Control de Calidad de Nitrato de Amonio Grado ANFO.

*Dos valores consecutivos: indica al primer análisis y la repetición del análisis en una muestra repetida en la que se detecta el incumplimiento. En el segundo análisis de persista el incumplimiento deberá proceder con separar el producto.

FICHA TECNICA HDSM - NITRATO DE AMONIO CACHIMAYO

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD	Código:HSA-01-CC2014 Versión:02 Fecha: 08/04/2014 Página: 1 de 5
	MSDS: NITRATO DE AMONIO GRADO ANFO	

SECCION I: Identificación del Producto

Nombre: **NITRATO DE AMONIO**

MARCAS REGISTRADAS O SINÓNIMOS:



NITRATO DE AMONIO GRADO ANFO
 NITRATO DE AMONIO PRILL
 NITRATO DE AMONIO POROSO

PROVEEDOR : INDUSTRIAS CACHIMAYO S.A. - PLANTA CACHIMAYO
 FONOS DE EMERGENCIA: (084) 837107 – FAX (084) 837109 – CUSCO


SECCION II: Composición / Ingredientes

NATURALEZA QUIMICA: NITRATO DE AMONIO (NH₄NO₃)

SECCION III: Identificación de riesgos

MARCA EN ETIQUETA	CLASE	N° UN	NFPA 704
	5.1 D	1942	

SOBREEXPOSICION	AGUDA (UNA SOLA VEZ)	CRONICA (A LARGO PLAZO)
INHALACION	Severa: congestión pulmonar, Meta hemoglobina, edema pulmonar.	Respuesta alérgica en el tracto respiratorio.
CONTACTO PIEL	Ardor e irritación, posible quemadura	Dermatitis
CONTACTO OJOS	Irritación, enrojecimiento y posible quemadura.	Conjuntivitis severa.
INGESTIÓN	Irritación, náuseas, vómitos, espasmos abdominales.	Anemia, nefritis y posiblemente Meta hemoglobinemia.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD	<i>Código: HSA-01-CC2014</i> <i>Versión: 02</i> <i>Fecha: 08/04/2014</i> <i>Página: 2 de 5</i>
	MSDS: NITRATO DE AMONIO GRADO ANFO	

SECCION IV: Medidas de primeros auxilios

EN CASO DE CONTACTO CON EL PRODUCTO REALICE LO SIGUIENTE:	
INHALACION	Remueva de la exposición inmediatamente, use una máscara o un aparato similar de respiración artificial si es necesario. Consiga atención médica.
CONTACTO PIEL	Lave el área afectada con agua fresca al menos durante 15 minutos.
CONTACTO OJOS	Lavar con abundante agua fresca al menos durante 15 minutos. Consiga atención médica.
INGESTION	Si esta consciente dar de beber abundante agua fresca, sin producir vómitos. Solicite ayuda médica de inmediato.

RIESGOS ESPECIALES DEL PRODUCTO Y SU TRATAMIENTO

La exposición prolongada a nitratos puede producir meta hemoglobinemia.


Antidoto: Azul de metileno intravenoso, ácido ascórbico intravenoso.

SECCION V: Medidas para luchar contra el fuego

AGENTES DE EXTINCIÓN	Agua solamente, no usar CO2, Polvo químico seco ni Halón.
PROCEDIMIENTO PARA COMBATIR EL FUEGO	Grandes incendios, inundar con agua el área de incendio desde lejos. Para incendio masivo, utilizar soportes fijos para mangueras o reguladores. Si no es posible dejar arder. En ambos casos retirarse del Área (puede explotar)
EQUIPO DE PROTECCIÓN NECESARIO	Equipo de respiración autónoma.

SECCIÓN VI: Medidas para controlar derrames y fugas

EN CASO DE DERRAME O FUGA	
DEBE PROCEDERSE COMO SIGUE:	EQUIPO DE PROTECCION ADECUADO
Sectorizar y señalizar el área afectada. Recoger el material derramado inmediatamente con palas limpias.	Guantes de cuero o PVC, lentes de seguridad, ropa de tela gruesa.
METODOS DE LIMPIEZA Y ELIMINACION DE DESHECHOS	PRECAUSIONES A TOMAR PARA EVITAR DAÑOS
Recoger en bolsas o sacos de polietileno. Los residuos que queden en el Área del derrame, se deben disolver con agua, mezclar y cubrir con tierra.	Disolver con abundante agua el producto derramado. Si hay peligro de contaminación de agua los desechos deben mezclarse con tierra y enterrarse lo más profundo posible.

	HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD	<i>Codigo:HSA-01-CC2014</i> <i>Version:02</i> <i>Fecha: 08/04/2014</i> <i>Página: 3 de 5</i>
	MSDS: NITRATO DE AMONIO GRADO ANFO	

SECCIÓN VII: Manipulación y Almacenamiento

RECOMENDACIONES TECNICAS	PRECAUCIONES A TOMAR
No se debe almacenar junto o cerca de ácidos, álcalis, compuestos orgánicos, combustibles líquidos o gaseosos (puede dar lugar a mezclas explosivas)	Proteger contenedores de daños físicos. Almacenar en lugares ventilados y bajo techo. Identificar el producto y señalizar el área (No fumar, no hacer fuego a menos de 50 metros, otros)
RECOMENDACIONES PARA MANIPULACION SEGURA	EMBALAJES UTILIZADOS
Usar siempre guantes de cuero, hilo o PVC.	Recipientes de acero al carbono o inoxidable, bolsas plásticas o sacos. No utilizar cobre o sus aleaciones.



SECCIÓN VIII: Control de Exposición / Protección personal

MEDIDAS PARA REDUCIR LA POSIBILIDAD DE EXPOSICIONES	Procurar una buena ventilación, usar elementos de protección personal.
PARAMETROS PARA CONTROL	Manipular y almacenar sólo personal autorizado..

PROTECCIONES

RESPIRATORIA	No requerida bajo condiciones normales. En caso de exceso de polvos, usar respirador tipo trompa con filtro contra polvos.
MANOS	Utilizar guantes de cuero, hilo o PVC.
OJOS	Lentes de seguridad de cristal o poli carbonato con protección lateral.
OTROS	Ropa de trabajo adecuada.

SECCIÓN IX: Propiedades Físicas y Químicas

ESTADO FISICO	APARIENCIA Y COLOR	SOLUBILIDADES
Sólido en forma de perdigones o cristales delicuescentes	Pequeños perdigones (prois) blancos o sólido blanco higroscópico.	Nitrato de amonio con elevada solubilidad en agua, etanol , metanol y acetona.
GRAVEDAD ESPECÍFICA	pH	CONCENTRACIÓN
1.725 gr./cc en cristales. 0.71-0.74 gr./cc en perdigones	4.5 a 6.0	98.5 % en peso mínimo