



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“REDUCCIÓN DE COSTOS OPERATIVOS EN LOS TIPOS DE MATERIALES APLICANDO EL MÉTODO AIR DECK PRE-SPLITTING EN VOLADURA CONTROLADA EN UNA MINA SUPERFICIAL HUALGAYOC 2020”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autores:

Fidel Giancarlo Leon Morales
Jonathan Vigil Centurion

Asesor:

Ing. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

La presente es dedicada a Dios, por bendecirnos, darnos la inteligencia y la perseverancia para poder conseguir todas nuestras metas. A nuestras familias por apoyarnos siempre y sobre todos a nuestros Padres que han estado en todo momento y siempre creer en nosotros.

A Todos nuestros amigos, por compartir los buenos y malos momentos.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradecemos a Dios, por habernos guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a nuestros Padres, por siempre darnos su fuerza y apoyo incondicional. Por último, a nuestros amigos, por compartir varias anécdotas y vivencias que jamás se olvidarán, así como también a todos los docentes y especialmente a mi Asesor que compartieron sus conocimientos y estuvieron con nosotros durante toda nuestra formación universitaria.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
ÍNDICE DE ANEXOS.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática.....	12
1.2. Formulación del problema	36
1.3. Objetivos.....	36
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	36
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	36
1.4. Hipótesis.....	36
1.4.1. <i>Hipótesis general</i>	36
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	37
2.1. Tipo de investigación	37
2.2. Población y muestra.....	37
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	37
2.4. Procedimiento.....	38
CAPÍTULO III. RESULTADOS	39
3.1 Generalidades.....	39
3.1.1 <i>Ubicación</i>	39
3.1.2 <i>Accesibilidad</i>	40
3.2 Parámetros de Perforación y voladura tradicional en Mina Hualgayoc.....	41
3.2.1 <i>Parámetros de la Roca</i>	41
3.2.2 <i>Determinación de Parámetros de Perforación y Voladura en mina Hualgayoc según R. ASH</i>	43
3.2.2.1 <i>Burden (B)</i>	43
3.2.2.2 <i>Espaciamiento (S)</i>	43
3.2.2.3 <i>Sobre Perforación (J)</i>	43
3.2.2.4 <i>Taco (T)</i>	44
3.2.2.5 <i>Longitud de Perforación (L)</i>	44
3.2.2.6 <i>Longitud de Carga (PC)</i>	44

3.2.2.7	<i>Densidad Lineal de Carga (dl)</i>	45
3.2.2.8	<i>Carga Total del Explosivo (E)</i>	45
3.2.2.9	<i>Volumen (V)</i>	45
3.2.2.10	<i>Tonelaje (TN)</i>	45
3.2.2.11	<i>Factor de Carga (FC)</i>	46
3.2.2.12	<i>Factor Potencia (FP)</i>	46
3.2.3	<i>Densidades de Explosivos utilizados en Mina Hualgayoc</i>	46
3.3	Métodos tradicionales en Mina Hualgayoc	47
3.3.1	<i>Carga de Mineral Por Dureza</i>	47
3.3.2	<i>Carga y factor de Potencia en Voladura Tradicional por Mineral</i>	50
3.3.3	<i>Carga de Desmonte Por Dureza</i>	51
3.3.4	<i>Carga y factor de Potencia en Voladura Tradicional por Desmonte</i>	53
3.3.5	<i>Diseño de malla y disparo en mina Hualgayoc método Tradicional</i>	54
3.3.5.1	<i>Disparos Diamante:</i>	54
3.3.5.2	<i>Disparos Diamante (arranque Cuadrado y salida Trapecio):</i>	54
3.3.6	<i>Análisis de Voladura en mina Hualgayoc método Tradicional</i>	55
3.4	(PLAN DE MEJORA) Métodos Voladura Controlada AIR DECK en Mina Hualgayoc	57
3.4.1	<i>Carga de Mineral Por Dureza</i>	57
3.4.2	<i>Carga y Factor de Potencia En Voladura Controlada AIR DECK por Mineral</i>	59
3.4.3	<i>Carga de Desmonte Por Dureza</i>	60
3.4.4	<i>Carga y Factor de Potencia En Voladura Controlada AIR DECK por Desmonte</i>	62
3.4.5	<i>Diseño de malla y disparo en mina Hualgayoc método AIR DECK</i>	63
3.4.6	<i>Análisis de Voladura Controlada en mina Hualgayoc método AIR DECK</i>	64
3.5	Análisis y Costos de las Voladuras Air deck Pre-Splitting	65
3.6	Ahorro de Costos mediante Voladuras Air deck Pre-Splitting según tonelaje	68
	CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	69
4.1	Discusión	69
4.2	Conclusiones	70
	REFERENCIAS	71
	ANEXOS	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resistencia al agua de los explosivos	27
Tabla 2: Volumen de toxicidad producidas por el explosivo	28
Tabla 3: Especificaciones promedias para el pre corte.....	33
Tabla 4: Especificaciones promedio cuando se use perforación en Línea.....	34
Tabla 5: Ubicación de la mina.....	39
Tabla 6: Tipo de rocas en una Mina en Hualgayoc	41
Tabla 7: Parámetros de roca en una Mina en Hualgayoc	42
Tabla 8: Densidad y kilos por metro lineal.....	47
Tabla 9: Voladura Tradicional por Mineral.....	50
Tabla 10: Voladura tradicional por Desmonte.....	53
Tabla 11: Voladura Air Deck por Mineral	59
Tabla 12: Voladura Air Deck por Desmonte	62
Tabla 13: Precios Efectuados	65
Tabla 14: Costos Voladura Air Deck por mineral	66
Tabla 15: Costos Voladura Air Deck por Desmonte	67
Tabla 16: Ahorro de Costo por Tonelada mineral	68
Tabla 17: Ahorro de Costo por Tonelada Desmonte	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la mina Hualgayoc	39
Figura 2: Ubicación de accesibilidad a la mina	40
Figura 3: RQD Campier 2013	41
Figura 4: Dureza 1 (Anfo)	48
Figura 5: Dureza 2 y 3 (ANFO PESADO 28)	48
Figura 6: Dureza 4 y 5 (ANFO PESADO 37)	49
Figura 7: Dureza 1 (ANFO)	51
Figura 8: Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 28)	51
Figura 9: Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 37)	52
Figura 10: Diseño de malla y disparo voladura diamante en salida trapecio	54
Figura 11: Diseño de malla y disparo voladura diamante en salida trapecio	55
Figura 12: Voladura Método Tradicional	55
Figura 13: Dureza 1 (ANFO) Plan de Mejora	57
Figura 14: Dureza 2 y 3 (ANFO PESADO 28) Plan de Mejora	58
Figura 15: Dureza 4 y 5 (ANFO PESADO 37) Plan de Mejora	58
Figura 16: Dureza 1 (ANFO) Plan de Mejora	60
Figura 17: Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 28) Plan de Mejora	60
Figura 18: Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 37) Plan de Mejora	61
Figura 19: Diseño de malla y disparo en mina Hualgayoc método AIR DECK.....	63
Figura 20: Voladura Controlada en mina Hualgayoc método AIR DECK.....	64
Figura 21: Comparación De Ambas Voladuras.....	64

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Velocidad de Detonación.....	26
Ecuación 2: Burden	43
Ecuación 3: Espaciamiento.....	43
Ecuación 4: Sobre Perforación	43
Ecuación 5: Taco	44
Ecuación 6: Longitud De Perforación	44
Ecuación 7: Longitud	44
Ecuación 8: Longitud de Carga	44
Ecuación 9: Densidad Lineal de Carga.....	45
Ecuación 10: Carga Total del Explosivo	45
Ecuación 11: Volumen	45
Ecuación 12: Tonelaje	45
Ecuación 13: Factor de Carga.....	46
Ecuación 14: Factor Potencia	46
Ecuación 15: Carga de Mineral Por Dureza	47
Ecuación 16: Costo Parcial Dureza	65
Ecuación 17: Costo Unitario Dureza	65

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Pre Splitting	72
Anexo 2: Taladros De Perforación En Linea.....	73
Anexo 3: Talados con cámara de Aire y Fly rock	74
Anexo 4: Software IBlast	75
Anexo 5: Malla voladura	77
Anexo 6: Voladura Tradicional Vs Air Deck	82
Anexo 7: Bancos mina Hualgayoc	82
Anexo 8: Lugar Volado en mina Hualgayoc	84
Anexo 9: Material Desmonte Mina hualgayoc	88
Anexo 10: Selección de tamaño y dureza de rocas.....	89
Anexo 11: Tamizado de Rocas	91
Anexo 12: Propiedades y densidad ANFO Enaex	94
Anexo 13: Densidades de Carga y diámetro Enaex.....	95

RESUMEN

El presente trabajo justifica el cambio de método tradicional de voladura al método Air Deck (Pre-Splitting) en la voladura controlada, en la que influye la reducción de costos operativos por tipos de materiales (Costos principales en la voladura). El método que utilizaban en la voladura controlada de perforación en línea generaba más costos es por ello pasando al método de Air Deck pre-splitting a un método moderno que incurre muchas variables, pero el beneficio de ello es que optimiza los costos en explosivos y costos de perforación. Aplicando el método Air Deck se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, comparado con los resultados de voladura Tradicional realizados en el proyecto. Para ello mediante los softwares I blast y el Jk Slimblast se pudo obtener datos más factibles para el mejoramiento de una malla para la voladura controlada siendo así no tener back break y fly rock como resultado final. Ahora en una mina Superficial Hualgayoc se están realizando estas prácticas en la zona y están teniendo buenos resultados. Se espera que se realicen en todos los proyectos posibles con este tipo de método Air Deck –Pre Splitting, con la finalidad de reducir sus costos operativos.

Palabras clave: Voladura controlada, Back break, fly rock, Air Deck Pre- Splitting.

ABSTRACT

The present paper justifies the change from traditional blasting method to Air Deck (Pre-Splitting) in controlled blasting, in which the reduction of operating costs by material types (principal blasting costs) influences. The method they used in the controlled blasting of on-line drilling generated more costs is thus moving the Air Deck pre-splitting method to a modern method that incurs many variables, but the benefit of this is that it optimizes the cost. Using the Air Deck method, better results were obtained in terms of fragmentation and uniformity, compared to traditional blasting results performed in the project. To do this, using the I blast and the JK Slimblast software, more feasible data could be obtained for the improvement of a mesh for the controlled blast, thus not having back break and fly rock as the final result. These practices are now being carried out in the area at a Hualgayoc surface mine and are doing well. They are expected to be carried out in all possible projects with this type of Air Deck –Pre Splitting method, in order to reduce their operating costs.

Keywords: Controlled blasting, Back break, fly rock, Air Deck Pre-Splitting.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La industria minera en los últimos tiempos ha experimentado diferentes cambios en todos sus procesos, debido a la gran demanda que esta actividad exige. Buscando así la mejora continua de cada uno de los procesos individuales, en uno de los cuales la voladura es uno de los procesos más importantes y costosos.

La voladura en varias ocasiones, deja perfiles irregulares según el sistema de diaclasamiento de la roca, esta roca maltratada puede tener consecuencias de inestabilidad o desprendimiento con el tiempo, generando así costos altos de sostenimiento artificial, una alta dilución del mineral, un alto agrietamiento en las paredes de los taludes, etc. Ante estos inconvenientes, surge la voladura controlada como una alternativa de solución para evitar la sobre rotura (overbreak), obtener superficies de corte lisas, lograr una mejor estabilidad, evitar agrietamientos, etc.

La mina en Hualgayoc a tajo abierto que posee un yacimiento que está constituido por pórfido cuprífero, inició sus operaciones en el mes de junio del año 2008. La primera etapa de sus operaciones es la Perforación y Voladura. En la cual para la voladura controlada se utiliza el método de perforaciones en Línea, al realizar este método se presenta una gran dificultad en sus costos, ya que consiste en realizar perforaciones de pequeños diámetros y exactos.

Todo lo mencionado anteriormente afecta directamente a los costos operativos de la empresa, ya que dificulta el crecimiento de la producción, en el sentido de hacer una voladura secundaria con el método tradicional. Teniendo en cuenta que con el método que se está efectuando reduciremos los costos operativos a nivel de todo el proceso de la voladura controlada.

La importancia del cambio de método de la voladura controlada que se quiere realizar en la Mina de Hualgayoc para mejorar la eficiencia, productividad y sobre todo la seguridad.

ROMERO F. UNIVERSIDAD CENTRAL DE ECUADOR (2010), En su Tesis Titulada “Técnicas para el uso de explosivos utilizados en voladuras controladas” Tiene por objetivo la elaboración de técnicas que sirven para la utilización de explosivos en los trabajos de voladuras controladas, considerando los diversos factores que se puedan presentar en el terreno. En su conclusión, se tiene: El análisis de un estudio de explosivos, en las diferentes clases de dinamitas existentes en el mercado; sus características físicas y su empleo para la voladura controlada.

VELÁSQUEZ C. UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MÉXICO (2009), En su Tesis Titulada “Proposición de un perito en explosivos para garantizar las mejores condiciones en voladuras controladas” Teniendo como objetivo la actualización de su empresa tanto implementar como innovar sus herramientas y materiales explosivos, voladura controlada, para optimizar el proceso de minado en excavaciones subterráneas. En su conclusión, se tiene: que su País México tiene alto grado de dependencia tecnológica con el extranjero y en materia de explosivos no es la excepción con la figura del Perito en explosivos se podrá no solo tener un mayor y

eficaz control en las voladuras, sino que, se podrá desarrollar tecnología propia para el futuro de la minería en el país.

DEYBARRA M. (2013), En su Tesis Titulada “Análisis de perforación y voladura controlada para evitar sobredimensionamiento de galerías en la unidad Antonieta – Compañía de Minas Arirahua”, tiene como objetivo desarrollar un análisis del estado actual de las actividades de perforación y voladura para controlar el sobre dimensionamiento de galerías y a su vez disminuir el sostenimiento, planteando alternativas para su optimización a partir de la variación de parámetros de diseño.

CHÁVEZ W. (2010), Mediante su Tesis Titulada “Diseño y aplicación de la voladura controlada en cámaras y pilares en la mina cerro de Pasco” Nos dice que teniendo en cuenta controlar los efectos causados por la voladura de tal manera que la resistencia inherente de los pilares después del disparo no se vea afectada por fracturamientos, descornamientos y debilitamientos. Logrando así ampliar el tiempo de auto soporte del techo y pilares de las cámaras, incrementando el espaciamiento de los pernos, por lo tanto, teniendo el bajo costo de sostenimiento.

GONZALES K. (2013), En su Tesis Titulada “Metodología de perforación y voladura controlada en el diseño y construcción de la rampa 4543-037 NW – cortada Carabaya unidad minera San Rafael- Puno”, nos dice que mediante su análisis plantea alternativas para su optimización a partir de la variación de parámetros de diseño teniendo en cuenta sus costos adicionales, determinado mediante los costos totales en la Rampa 4543-037 NW.

RAMÓN J. (2014), Mediante su Tesis Titulada “Optimización del método corte y relleno ascendente mediante técnicas de voladura controlada en la empresa minera CATALINA HUANCA S.A.C. – AYACUCHO” efectúa optimizar el método corte y relleno ascendente mediante técnicas de voladura controlada teniendo en cuenta método Experimental, con un diseño Tipo: Causa-Efecto. Teniendo la necesidad de Encontrar la alternativa de voladura controlada ya que permitirá optimizar el método de explotación y contar con labores seguras.

JÁUREGUI O. (2009), En su Tesis titulada "Reducción de los Costos Operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de Perforación y Voladura", tiene como objetivo la aplicación de “La factibilidad de la reducción de los costos operativos en una empresa minera, aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en las principales operaciones unitarias de minado que son la perforación y voladura, asegurando de esta manera el éxito de todo el ciclo de minado” Para lo cual se requiere un sistema de control y medición exhaustiva de las operaciones.

MAYORAL R. (2011), Mediante su tesis titulada “Optimización técnico-económica de perforación de barrenos en terrenos homogéneos, búsqueda de leyes de desgaste para bocas de perforación”, donde nos dice que mediante su análisis de presupuestos la boca de perforación es el que mayor influye sobre la baja de costos y el aumento de rendimientos operativos, obteniendo una serie de muestras cuya caracterización añade

un patrón diseñado para dicho trabajo, teniendo en cuenta su método experimental en su trabajo minero con nuevas series realizadas en mina.

AGUILAR E. ; VERA F. (2016), en su Tesis titulada “Mejoramiento de los indicadores de avance por incremento de la longitud de perforación de 6 a 8 pies, aplicando voladura controlada con accesorios no eléctricos de retardo en la mina de la Compañía Minera Poderosa S.A” nos dice que sus características del yacimiento son irregulares, encontrándose zonas inestables, calificándose como roca MF/P (terreno muy fracturado pobre), generándose sobre rotura y daños en la corona, además de incrementar el porcentaje de la dilución, Donde La explotación que se realiza es de forma convencional, habiéndose verificado un exceso de consumo de explosivos lo cual se refleja en el indicador conocido como factor de carga teniendo unas deficiencias en voladura se refieren a una inadecuada columna explosiva del taladro que en vez de 66% se les cargaba a más del 75%, originando sobre excavaciones y aumento en el costo de perforación y voladura.

CHÁVEZ L. (2014), En su tesis Titulada “Optimización de la fragmentación en los proyectos de voladura primaria en la zona norte del tajo San Pedro Sur, Minera La Zanja” tiene como objetivo Optimizar la fragmentación en los Proyectos de voladura primaria a través de la modificación gradual de los parámetros de diseño de Perforación y Voladura e incorporación de accesorios. Evaluando la calidad de los agentes de voladura y explosivos usados en la operación realizadas en un estudio de línea para disparos de producción.

MINERA CHINALCO PERÚ (2013), Mediante las voladuras que se realizaron en el tajo abierto Toromocho cercanas a la carretera Central, presentaron probables efectos de vibraciones y ruidos. Para determinar el efecto se desarrolló en minera Chinalco la modelación de vibraciones para la fase operativa, donde concluyen que no llegan a afectar las condiciones de estabilidad de la carretera Central, aun para el caso más crítico, que es cuando el tajo abierto se encuentra a 200 metros de distancia de la carretera.

GEOBLAST EN MINA CERRO CORONA (2014), para el desarrollo de la operación y el convivir con la población de la zona de influencia al proyecto Cerro Corona (Gold Fields la Cima). Realizaron la implementación de la campaña de monitoreo participativo de vibraciones y onda, teniendo como principal punto de monitoreo la estación permanente ubicada en el pueblo de Hualgayoc, de esta forma Cerro Corona desarrolla su operación de la mejor manera, sin ocasionar daños a sus estructuras y molestias a sus pobladores.

MEDINA R. (2014) en su tesis de “Evaluación técnico-económica-ecológica de los resultados de las pruebas realizadas usando emulsiones gasificadas en Cuajone – Southern Perú”. En la industria minera con el fin de obtener máxima producción muchas veces se incurre en el error de no tener en cuenta los posibles daños que puede generar a la roca remanente y en hasta posibles costos en sostenimiento, es por ello importante usar alguno de los modelos matemáticos que usa la voladura controlada para minimizar los daños que ocasiona la voladura de producción a la roca remanente o a estructuras cercanas al área del disparo.

Los investigadores inmersos en esta materia, también plantean que la mejor solución para dicho problema es controlar los efectos negativos de la voladura de rocas; de tal manera, que la resistencia inherente de las paredes de las labores mineras después del disparo primario, no sean destruidas o afectadas. Es por lo cual, que los especialistas han inventado una serie de modelos matemáticos que están disponibles para ser usados en la industria minera, así se tienen los siguientes:

- Perforación en línea (Line drilling)
- Pre-Corte (pre-splitting, preshearing, pre-slotting or stress relieving)
- Pre-corte con espaciado de aire (air deck pre-splitting).
- Voladura de recorte. • Voladura lisa (smooth blasting)
- Voladura suave (cushion blasting) • Voladura amortiguada (buffer blasting)

SOTELO C. (2015), en su tesis titulada “Control de dilución optimizando los procesos unitarios de perforación, voladura y acarreo: caso práctico; una mina subterránea del norte”, nos presenta un proyecto que propone un ajuste en la sección de diseño de 3.5x3.5m, el cual es una solución para poder obtener una mejor ley de cabeza de manteniendo y su producción de 1500 t/día, este ajuste llevará a un análisis de los equipos de producción, ciclo de minado, inversión, nueva estimación de reservas y análisis del flujo de caja. Teniendo en cuenta mejora mediante los siguientes procedimientos:

- Descripción de importancia de esta tesis y el impacto de esta en nueva estimación de las reservas y elaboración del plan de minado. - Identificar las principales labores de explotación.

- Recopilar información geológica del yacimiento, levantamiento topográfico, condiciones geomecánicas, diseño de las secciones de los tajos de explotación, ciclo de minado, dilución de diseño operativa, balances metalúrgicos para los periodos en análisis, método de explotación y costo de producción.
- Supervisión en campo de los procesos unitarios de perforación, voladura y acarreo para verificar si el trabajo se realiza de la manera adecuada, cumpliendo con los procedimientos de la mina del norte.

SERIN R. (2017), En su Tesis Llamada “Reducir el porcentaje de dilución, mediante voladura controlada en los tajos de producción en LA MINA MARSA-RETAMAS”, Nos dice que siendo ejecutada por la contrata especializada Minera Alfa SA., tanto sus tajos de explotación como sus características del yacimiento son irregulares, encontrándose zonas inestables, calificándose como roca MF/P (Terreno muy fracturado pobre), generándose sobre rotura y daños en la corona, además de incrementar el porcentaje de la dilución. Teniendo en cuenta que la explotación realizada en forma convencional, verificando un exceso de consumo de explosivos lo cual se conoce como factor de carga.

FERNÁNDEZ J. (2016), en su tesis titulada: “Optimización de avance lineal, reemplazando las perforadoras jackleg por jumbo hidráulico en el proceso de perforación y voladura de la GLN1 y CRNE en mina Consuelo de la empresa especializada New Horus S.A.C. - Poderosa”, Nos dice que como consecuencia de optimizar la malla de perforación y/o voladura, a través de una perforación que cumpla con el burden, espaciamiento, inclinación, longitud de los taladros establecidos y por

ende una adecuada distribución de carga en la malla de perforación, lo cual nos permitirá obtener una adecuada fragmentación, una sección adecuada de la labor, disminuyendo el porcentaje de sobrerotura y un buen apilamiento del material roto.

GARRIDO J. (2015), en su tesis “Mejora y control de estándares en perforación y voladura para la reducción del costo en mina ANIMON” tiene como objetivo exponer la factibilidad de la reducción de los costos del ciclo de minado, aplicando para ello estándares mejorados de trabajo y control en las principales operaciones unitarias de minado que son la Perforación y Voladura. La reducción Total en Costos Operativos por la mejora de las operaciones unitarias de minado y por los ahorros en la eliminación de tiros cortados y soplados, la eliminación de voladura secundaria y el incremento en la vida de los aceros de Perforación ascienden a un monto de: 3’925,570.00 US\$/año. Este ahorro considerable, justifica ampliamente la implementación de un sistema de Control y Evaluación permanente de los Estándares Operativos en Perforación y Voladura que es la base de toda Operación Minera.

SILVA E. (2017), en su tesis Titulada “Mejoramiento de los indicadores de perforación y voladura mediante la aplicación de tecnología de diseño laser en el marcado de las mallas y voladura controlada en los frentes de avance de la mina Consuelo – Unidad de Producción Marañón de la Compañía Minera Poderosa S.A.” nos dice que la disminución del tiempo de marcado de 23.3 a 8.3 minutos, disminución del porcentaje de sobrerotura de 21.7 a 11.8, el aumento de la productividad del personal de guardia en m/tarea de 0,20 a 0.31, aumento de la eficiencia del disparo en m/disparo de 2.3 a 2.9 y la disminución del consumo de explosivo en kg/m de 18.03 a 11.0, siendo este parámetro fundamental para reducir los costos. Se concluyó que la

aplicación del equipo laser y voladura controlada, optimizaron las operaciones en la mina Consuelo, así como permitió rediseñar una malla de perforación y nuevos diseños de voladura en todas las labores de avance que cumplan con los valores geomecánicos de macizo rocoso tipo II y III.

YANAC C. (2016), en su tesis Titulada “Diseño óptimo de mallas de perforación y voladura de rocas para reducir costos operacionales en la construcción de la rampa (+) 3540 ZONA SANTA BARBARA CIA MINERA ATACOCHA S.A.A” nos dice que su Motivo por el cual el diseño de la malla de perforación y voladura de rocas es muy importante porque nos permitirá definir los patrones para la perforación y la voladura. La perforación y voladura de rocas son operaciones unitarias mineras básicas y principales en la construcción (+) 3540 zona Santa Bárbara CIA Minera Atacocha S.A. que requiere del diseño óptimo de las mallas de perforación y voladura que serán realizados con los modelos matemáticos existentes:

- El Método de Roger Holmberg; Para diseño de malla en Túneles.
- Predicción Granulométrica
- La teoría de la Conminación; para diseño de malla en rampas.
- Métodos empíricos, que calculan número de taladros.
- Modelo matemático de áreas de influencia.

JAUREGUI O. (2009), En su Tesis Titulada “Reducción de Costos Operativos en Mina, Mediante la Optimización de los Estándares de las Operaciones Unitarias de

Perforación y Voladura” de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, menciona:

La perforación y voladura en frentes y tajos, presenta problemas en lo que respecta al avance obtenido (tanto en metros de avance obtenidos producto del disparo o en las toneladas rotas obtenidas producto también del disparo), debiéndose esto a la falta de control en el diseño de malla de perforación (delineando o marcado de los puntos donde se debe perforar cada taladro, en base al espaciamiento y burden establecido), control del modo de perforación (paralelismo entre taladros y con la estructura mineralizada, perforación completa penetrando todo el barreno de perforación)

Otro grave problema generalizado en la mina está en el manipuleo de explosivos, (debido a la falta de capacitación y entrenamiento en temas de perforación y voladura) al polvorín y remanente a la mina no se interna nuevamente al polvorín.

PACAHUALA M. (2015), La tesis Titulada “Reducción de costos operativos en desarrollos mediante actualización de estándares en perforación y voladura, caso de la EMPRESA ESPECIALIZADA MINCOTRALL S.R.L.”, nos dice que empezó por el área de perforación y voladura, estableciendo una línea base para poder medir los costos por metro lineal de acuerdo al avance que se produce en la perforación y voladura en el tajo Valeria II que tiene a cargo la Empresa Especializada Mincotroll S.R.L. – MARSA, según los indicadores respectivos. Se actualizó los estándares, de 6 pies a 8 pies, en la operación unitaria de perforación y voladura influyó positivamente para la disminución de 348 a 311 US\$/ML en frente de avance. Se logró disminuir en un 10%, respecto a los costos unitarios de perforación y voladura, monto significativo que permitirá a la empresa ahorrar para gastos de capital.

Burden: Es la distancia del taladro a la cara libre más cercana, perpendicular a las líneas de que tiene los taladros.

Diámetro del Taladro: Cuando se incrementa el diámetro de los taladros el costo de perforación y voladura disminuirá, de lo contrario comienzan a presentar bolonería. (Una Granulometría Gruesa) (Camiper, 2013)

Espaciamiento: El espaciamiento para un pozo de tronadura se refiere a la dimensión lineal entre pozos de tronadura adyacentes que forman una fila, y se mide usualmente paralelo a la cara libre. (Camiper, 2013)

Profundidad de Taladro: Es la suma que da la altura del banco con la sobre perforación necesaria por debajo del nivel del piso para garantizar una buena rotura y evitar que queden toes y no tener que efectuar voladuras secundarias.

Taco: Es el material inerte que va encima de la carga explosiva con la finalidad de confinar la energía; cuando el taco es de menor al rango que se menciona se tendrá escape prematuro de gases y roca proyectada (fly rock).

Sobre Perforación: Es la distancia que el taladro es perforado bajo nivel del piso, es importante tener los taladros verticales para mantener la rasante del piso.

Altura del Banco: la altura de banco está relacionada con el diseño del equipo de excavación, transporte, del diámetro de perforación

Parámetros de los Explosivos: Propiedades químicas y Físicas: velocidad de detonación, densidad, transmisión, resistencia al agua, energía del explosivo en cal/gr o j/gr, volumen normal de gases, sensibilidad a la iniciación, presión de taladro, categoría de humos, etc.

Condiciones de Carga

- Geometría de la carga.
- Diámetro de la carga.
- Grado de confinamiento.
- Grado de acoplamiento
- Distribución de carga en el taladro.
- Densidad de carga.
- Tipo y ubicación del cebo.
- Intervalos de iniciación de las cargas.
- Distribución de energía, en calorías por tonelada de roca.
- Variables de perforación: malla de perforación, profundidad del taladro, diámetro del taladro, e inclinación del taladro.

Propiedades Físicas: dureza, densidad, tenacidad, textura, porosidad, variabilidad, y grado de saturación.

Propiedades elásticas o de resistencia dinámica de las rocas: Frecuencia sísmica o velocidad de propagación de las ondas sísmicas y de sonido, fricción interna, resistencia mecánica, módulo de Young, radio de Poisson e impedancia.

Condiciones geológicas: Estructura, presencia de agua, grado de fisuramiento, etc.

Mecanismos al Fragmentar la Roca por Explosivos: Son tres Fases o etapas principales que tiene el proceso de fracturamiento de rocas por una acción de mezcla explosiva comercial:

Fracturas Radiales (Brisance): Se producen en las zonas adyacentes a los taladros y el tiempo que es necesario, para eso está entre 1 0 2 ms. (Camiper, 2013)

Empuje hacia adelante (Heave): El fracturamiento de la roca comenzará en la cara libre o en cualquier discontinuidad donde las ondas compresivas son reflejadas. (Camiper, 2013)

Fragmentación: En esta etapa se produce la fragmentación total de la roca, es la más importante y única variable que debe ser tomada en cuenta para evaluar los resultados de un disparo desde un punto de vista económico, técnico y ecológico. (Camiper, 2013)

Proceso de Detonación: Es un proceso químico y físico caracterizado por una gran velocidad de reacción y por la formación de gran cantidad de productos gaseosos a elevada temperatura. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Velocidad De Detonación: (Manual de Voladura Exsa, 2014) dice que es la velocidad con que el frente de detonación recorre la longitud del mismo, dicha velocidad es supersónica (mayor a la velocidad del sonido), está afectada por una serie de factores y estos son:

Ecuación 1: Velocidad de Detonación

$$VOD = \text{Velocidad de detonación} \left(\frac{m}{s} \right)$$

Influencia del diámetro: Este diámetro es denominado diámetro crítico (d1), el mismo que se conceptúa como el diámetro mínimo por debajo del cual la detonación se propagará. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Grado de Confinamiento y el tamaño de las partículas: Cuando se confina un explosivo, la expansión lateral de los gases es más lenta, reduciendo a su vez la velocidad de la onda lateral de rarefacción, como resultado de ello, las ondas de rarefacción tardarán más tiempo en encontrarse en el eje, lo que implica un mayor tiempo (recorrido más largo) para que la cabeza de detonación adquiera su forma estable. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Influencia de la Densidad de Explosivo: Cuando hay un incremento en la densidad del explosivo, también se incrementa el diámetro crítico del mismo. Al aumentar la densidad del explosivo, uno está comprimiendo el mismo en un determinado volumen, lo que tiende a reducir los espacios intersticiales entre los gránulos. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Resistencia al agua en la perforación de los explosivos: Se entiende por resistencia al agua a la característica por la cual un explosivo, sin necesidad de cubierta especial, mantiene sus propiedades inalterables durante un periodo de tiempo en contacto con el agua. Las dinamitas gelatinosas, hidrogeles y emulsiones resisten perfectamente cuando son cargados en barrenos con agua y por ellos permiten su utilización en barrenos con agua en su interior. Sin embargo, El nitrato de amonio tiene 0 de resistencia al agua, ya que el mismo es altamente soluble en el agua, la cual lo ataca y desensibiliza rápidamente. Las emulsiones y las mezclas ANFO/Emulsión (ANFOS pesados) tienen buena resistencia a la acción del agua. (Bernaola, 2013)

Tabla 1: Resistencia al agua de los explosivos

Tipo	Resistencia
Dinamita Granulada	Mala a Buena
Dinamita Gelatina	Buena o Excelente
Emulsión Encartuchada	Muy Buena
Emulsión a Granel	Muy buena
ANFO Colocado Neumáticamente	Mala
ANFO Vaciado	Mala
ANFO Encartuchado	Muy Bueno
ANFO Pesado	Mala o Muy Bueno

Fuente: Konya y Albarrán

Influencia de la temperatura de los explosivos: En diámetros críticos mayores, la temperatura inicial de un explosivo tiene poca influencia en su VOD. Es obvio que el diámetro crítico de un explosivo aumenta al disminuir la temperatura del mismo. En las emulsiones, dichos cambios son más difíciles debido a que la solución acuosa de nitrato de amonio está protegida por una fase continua de aceite o cera. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Calidad de Humos: La detonación de todo explosivo comercial produce polvo, vapor de agua (H₂O), óxidos de nitrógeno (NO- NO₂) óxidos de carbono (CO - CO₂) y eventualmente gases sulfurosos (H₂S, SO₃ y AlO₂) si contenía azufre o aluminio. Entre gases inocuos generados hay siempre cierto porcentaje de productos irritantes tóxicos o letales llamados en conjunto “humos”, como el monóxido de carbono y bióxido de nitrógeno. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Tabla 2: *Volumen de toxicidad producidas por el explosivo*

Categoría	Volumen de Gases Nocivos (CO, NO₂)
1ra	de 0 a 0.16 pie ³
2da	de 0.16 a 0.33 pie ³
3ra	de 0.33 a 0.67 pie ³
Cuya equivalencia métrica según el ISO es:	
Categoría	Volumen de Gases Nocivos (CO, NO₂)
1ra	de 0 a 4.53 dm ³
2da	de 4.53 a 9.34 dm ³
3ra	de 9.34 a 18.96 dm ³

Fuente: Manual de Voladura Exsa 2014

Precisión de Explosión y detonación: La presión de detonación es una indicadora de la habilidad de un explosivo para fragmentar la roca, la misma que está dada por la presión inmediatamente por detrás del frente de detonación. (Manual de Voladura Exsa, 2014)

Análisis de fragmentación: El análisis granulométrico es una operación a escala laboratorio que determina el tamaño de las partículas y su distribución de una muestra de mineral conformada por granos mineralizados de diversos tamaños. (Manual de Tronadura Anaex, 2010)

Análisis Operacional de roca y Factores de Voladura: (Manual de Voladura Exsa, 2014) Menciona que el diseño para la voladura se puede encontrar lo siguiente ítems:

- Contante de roca “c” propuesto por Langefors (1978)
- Factor de energía.
- Índice de volabilidad (Blastabilityindex).
- Factor de roca” A” (rock factor).
- Consumo específico de explosivo o denominado el factor de carga. (Technicalpowder factor).

Dinamita: Estos tipos de explosivos se nombran por su consistencia similar a una gelatinosa y se obtienen mezclando nitroglicerina / nitroglicol (NG) con nitrocelulosa. Esta mezcla es más dinámica que la propia NG. Además del combustible y otras pequeñas cantidades de aditivos, su componente principal es el nitrato de amonio. (Bernaola, 2013)

Dinamita pulverulenta: (Bernaola, 2013) nos dice que la Dinamita pulverulenta está compuesta básicamente por nitrato amónico, un combustible que corrige su exceso de oxígeno y una pequeña cantidad (generalmente próxima a un 10% de sensibilizador, que puede ser trinitrotolueno, nitroglicerina o una mezcla de ambos. Todas ellas debido a su contenido en nitrato amónico presentan las características siguientes:

- Regular o mala resistencia al agua.
- Velocidad de detonación a 2000 a 4000 m/s.

- Densidad media/baja (de 1,0 a 1,2).
- Poca sensibilidad al chope o a la fricción.
- Baja potencia.

Dinamita Gelatinosa: (Bernaola, 2013) nos manifiesta que una forma de corregir la mala resistencia al agua de las dinamitas pulverulentas y así mismo, aumentar su potencia, es incrementar su contenido de Nitroglicerina (o Nitroglicol) y añadir una cierta cantidad de nitrocelulosa, que actúa como gelificante, formando una pasta gelatinosa.

Existen varias modalidades en función de su contenido de Nitroglicerina (o Nitroglicol), pero todas ellas se caracterizan por:

- Alta densidad (de 1,4 a 1,5). Buena o excelente resistencia al agua.
- Cierta sensibilidad al choque o a la fricción.
- Alta velocidad de detonación (de 4000 a 7000 m/s).
- Elevada potencia.

Hidrogeles o Papillas Explosivas: Es una composición a base de oxidante (normalmente nitrato inorgánico) y agente reductor con suficiente hipoxia, así como gelatinizante y estabilizante. Tienen buena consistencia y evitan que el agua externa posible se esparza hacia el interior, por lo que es muy buena El suelo resiste la humedad y la humedad del hoyo. Estos geles explosivos son muy seguros para la estimulación

subsónica, su humo es casi no tóxico y tiene un alto poder, por lo que se utilizan cada vez con mayor frecuencia en túneles. (López Jimero, 2014)

Anfo: Estos explosivos están compuestos básicamente por nitrato de amonio y productos combustibles líquidos (aceite mineral), aunque dependiendo de la aplicación, pueden contener combustible sólido u otros aditivos que les confieren propiedades especiales.

Por tanto, una de las ventajas más importantes de estos productos es que se pueden cargar en lotes. La otra gran ventaja es que es seguro de operar y tiene buen desempeño en voladuras de rocas blandas o muy agrietadas, ya que su explosión generará mucho gas. Por el contrario, el principal inconveniente es que no tiene resistencia al agua y no genera gases nocivos en el túnel, lo que lo limita únicamente a trabajos bien ventilados. (López Jimero, 2014)

Emulsiones Explosivas: (Manual de Explosivos Exsa, 2015) nos dice que son de tipo “agua en aceite, consta de dos fases líquidas, una continua y constituida básicamente por una mezcla de hidrocarburos y la otra dispersa, son gotitas de una solución acuosa salina oxidada, con nitrato de amonio como componente principal.

Las principales características de la Emulsión son:

- Vida útil promedia (6 meses)
- Bombeable a baja temperatura
- Excelente resistencia al agua
- Puede ser fabricada en proceso continuo.
- Ideal para taladros inundados y para roca dura, competente.

- Alta velocidad de detonación (4800 a 5200 m/s)
- Factible de incrementar su energía

Taponex: (Camiper, 2013) dice que Taponex es un elemento plástico de alta resistencia, su forma hace que se adapte al taladro, su uso e instalación es muy simple tal como se explica. Sus principales ventajas son:

- Reducción de las vibraciones y onda aérea.
- Reducción de la eyección de tacos.
- Fragmentación más homogénea.
- Reducción de la columna explosiva.
- Disminución de la sobre-perforación

Pre Corte (Pre – Splitting): De acuerdo a la teoría del pre corte (Pre – Splitting), las ondas de choque provenientes de cada taladro se propagan radialmente y por colisión y sobre posición de sus esfuerzos hasta que el punto que el fracturamiento ocurra. Para poder entender los conceptos matemáticos, en primer lugar, se debe analizar la distribución de la presión alrededor de un taladro. El taladro puede ser aproximado, representado y/o simulado mediante un cilindro de espesor compacto e infinito que no está sujeto a ninguna presión externa.

La presión interna será igual a la presión dentro del taladro.

Presión dentro de los Taladros: Está definida como la presión máxima inicial (P_b) desarrollada dentro de los taladros por una detonación de una MEC cualquiera.

El (DRMelvin Cook, 1956) afirma que la curva que representa a la presión y le tiempo de una MEC cualquiera en una voladura de un taladro se caracteriza por las siguientes propiedades.

- La intensidad
- Presiona dentro del taladro
- La máxima energía disponible.

Tabla 3: *Especificaciones promedias para el pre corte*

Diámetro de los taladros (pulg.)	Espaciamiento (ft)	Carga Explosiva (lb/ft)
1.50 - 1.75	1.00 - 1.50	0.08 - 0.25
2.00 - 2.50	1.50 - 2.00	0.08 - 0.25
3.00 - 3.50	1.50 - 3.00	0.13 - 0.50
4.00	2.00 - 4.00	0.25 - 0.75

Fuente: DRMelvin Cook

Perforación en línea: Es un método de fracturamiento que usa taladros vacíos de 35 a 75 mm de diámetro, los cuales están separados uno de otro por un espaciamiento entre 2 a 4 veces el diámetro de los taladros de producción.

Como los taladros están ubicados muy cercanamente uno de otro y las condiciones in situ del macizo rocoso son favorables, dichos taladros pueden actuar como concentradores de esfuerzos o como guías de algunas fracturas, de tal manera crear un plano de falla entre los taladros de pre corte.

Su Aplicación: El método de la perforación en línea puede ser aplicado tanto a operaciones mineras subterráneas como superficial, lo mismo que a ciertos trabajadores de ingeniería civil como la construcción de carreteras, túneles, represas, entre otros. (Manual de Tronadura Anaex, 2010).

Tabla 4: *Especificaciones promedio cuando se use perforación en Línea*

Diámetro de los taladros (pulg.)	Espaciamiento (S) (pies)
2.00	0.33 - 0.67
3.00	0.50 - 1.00

Fuente: Manual de Tronadura Anaex, 2010

Desventajas:

- Los resultados inciertos que se obtendrán cuando este método sea aplicado en roca heterogéneas.
- El costo es demasiado alto, debido a que los espaciamientos de los taladros son muy pequeños.
- El excesivo tiempo empleado para efectuar la perforación que a su vez debe ser muy precisa.

Air Deck (Cámara de Aire): Es una cámara de aire ubicada en un taladro de la voladura, puede ocupar hasta un 40% por volumen del total de la columna explosiva, puede ser ubicada en la parte superior, media o inferior de la carga explosiva, puede ubicarse también 02 cámaras de aire en un solo taladro. (Camiper, 2013)

Principio del Air Deck: Reducen la presión inicial aplicada por la carga explosiva, pero incrementan la duración del pulso de presión.

Efectivamente reduce la energía utilizada para pulverizar la roca cerca del taladro, al mismo tiempo, incrementa la cantidad de energía transmitida a más distancia dentro de la roca. (Camiper, 2013)

Air Deck Pre Splitting: El método del espaciamiento de aire y las ondas de aire pueden definirse como un método en el cual envuelven el uso de una MEC concentrado dentro del taladro con un vacío de aire en la parte superior de la carga explosiva.

Ventajas:

- Se emplea menor cantidad de MEC.
- Se obtiene una mejor estabilidad de las paredes finales de la excavación.
- Se obtiene un menor costo de perforación. Esto se debe a que el espaciamiento entre los taladros que conforman la línea del pre corte es mayor que el que se usa cuando se aplica otro método de la voladura controlada.
- Para la Perforación de los taladros no se necesita una perforadora adicional, ya que se usa la misma que se emplea para perforar los taladros de producción.
- Usando este método se obtendrá un mejor costo en \$/m², de pared o superficie final requerida.

1.2. Formulación del problema

El presente proyecto de investigación busca reducir costos operativos y mejorar el proceso en la voladura controlada utilizando el método Air Deck pre-splitting. Ante este dilema se manifiesta la siguiente interrogante:

¿Cómo reducir los costos operativos en la voladura controlada aplicando el Método Air Deck Pre-Splitting en una Mina Superficial Hualgayoc 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Reducción de los costos operativos en la voladura controlada utilizando método Air Deck Pre-Splitting.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar el costo entre ambos métodos utilizados en la voladura controlada y demostrar cual es el más óptimo para su utilización.
- Evaluar ventajas y desventajas entre el método de perforaciones en Línea y el método Air Deck Pre-Splitting en la voladura controlada.
- Disminuir las vibraciones, evitar el Overbreak y Fry Rock.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Se reducirá los costos operativos con el método Air Deck Pre-Splitting a comparación del método tradicional (perforaciones en Línea), maximizando el control en los materiales obteniendo una mejor fragmentación, evitando costos adicionales operativos.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

(Según Hernández Sampieri, 2010) El diseño de investigación está conformado Experimental, debido a que la evaluación de proceso lógico sistemático que corresponde a una incógnita; donde la variable independiente es digitalizada o manipulable de forma intencional para analizar la alteración de la variable dependiente, teniendo en cuenta la modificación de datos reales para una mejor reducción en los costos.

2.2. Población y muestra

Población: Son las 7.5 hectáreas del Yacimiento que se aplica la voladura controlada en una Mina Superficial Hualgayoc.

Muestra: Esta constituida por los 250 m² a ser ejecutada por el método Air Deck Pre Splitting.

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

a) Instrumento

- I-Blast, Es un software para análisis y diseño de malla en el desempeño de las voladuras.
- JK Simblast, diseñar y evaluar la voladura
- Excel.

b) De recolección de Datos

- Equipo MicroTrap, mide velocidad de detonación.
- Vaso volumétrico, para medición de densidad.
- WipFrag, determinar el área fragmentada
- Dig-rate, mide la tasa de excavación.

2.4. Procedimiento

Define la ubicación y los parámetros específicos de cada explotación, tales como explosivos, geología y entre otros. Integra datos relacionados de otras aplicaciones usadas en la industria. También permite simular la vibración, distribución granulométrica y proyecciones sobre una base diaria.

- Identificación del área a ejecutar el proyecto.
- Diseño de malla de perforación.
- Perforación.
- Carga de taladros, con explosivo ANFO.
- Secuencia de disparo en I Blast y JK Simblast.
- Iniciación de disparo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Generalidades

3.1.1 Ubicación

Tabla 5: Ubicación de la mina

Distrito	Provincia	Departamento	Región
Hualgayoc	Hualgayoc	Cajamarca	Cajamarca

Fuente: Elaboración Propia

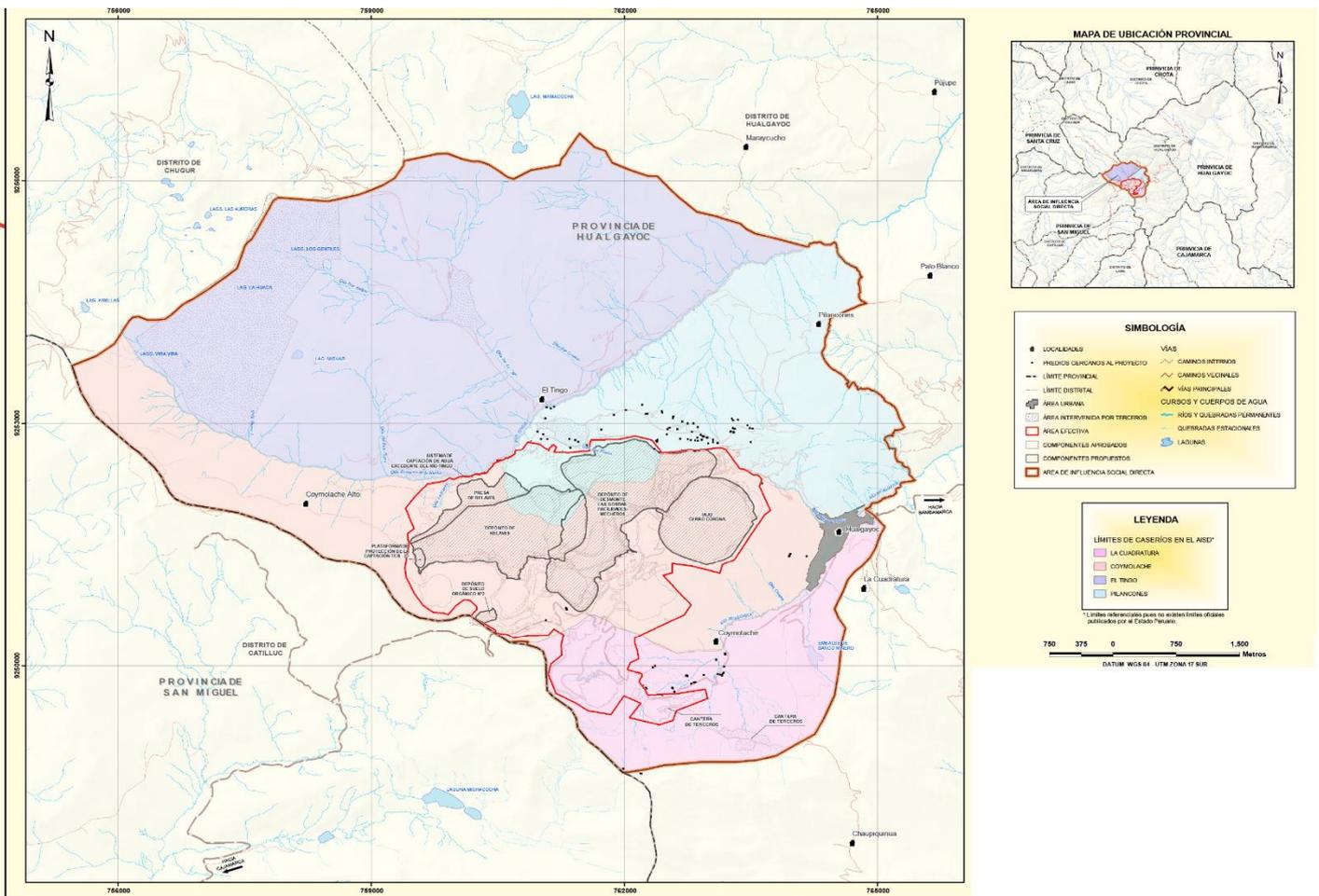


Figura 1: Ubicación de la mina Hualgayoc

3.1.2 Accesibilidad

Se localiza en la vertiente oriental de la cordillera occidental de los andes peruanos, hacia la vertiente continental del Atlántico, entre los 3 600 y 4 000 metros de altitud, donde se encuentran las cuencas de los ríos Tingo / La Quebrada o Tingo / Maygasbamba, y Hualgayoc / Arascorgue.

Teniendo acceso por dos carreteras más cercanas a la ciudad, donde su ubicación dista 10 kilómetros al noreste del poblado de Hualgayoc, a 30 kilómetros al suroeste de Bambamarca (capital provincial), y a 90 kilómetros de Cajamarca (capital de la región)

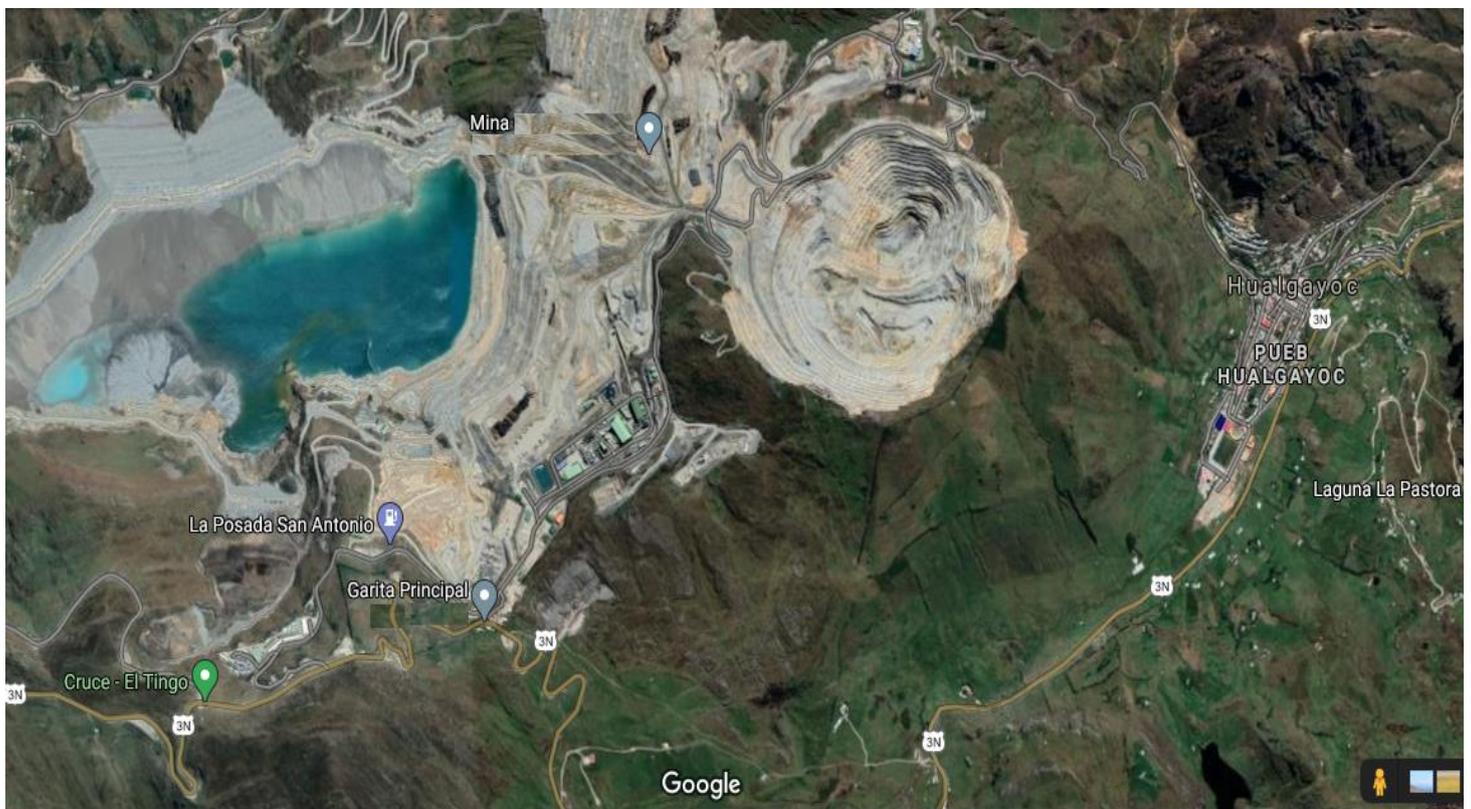


Figura 2: Ubicación de accesibilidad a la mina

3.2 Parámetros de Perforación y voladura tradicional en Mina Hualgayoc

3.2.1 Parámetros de la Roca

Resultados de Análisis de cada roca en laboratorio determinando sus propiedades para cada tipo de roca.



Figura 3: RQD Campier 2013

Tabla 6: Tipo de rocas en una Mina en Hualgayoc

TIPO DE ROCAS
ROCA ALTERADA SUAVE
ARCILLA
ROCA ALTERADA MEDIA
CALIZA
ROCA ALTERADA DURA
POTASICA
DIORITA
SILICE

Fuente: Geología Mina Mualgayoc

Tabla 7: *Parámetros de roca en una Mina en Hualgayoc*

ROCAS	RQD	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	RESISTENCIA	FRACT (#/m)	DENSIDAD (gr/cc)	COND. DE FRACT.	FACT. DE COHESION	ANGULO DE FRICCION	RESIST. A LA TRACCION(MPA)
ROCA ALTERADA SUAVE										
ARCILLA	23	DUREZA 1	2	30	9	2.22				
ROCA ALTERADA MEDIA										
CALIZA	32.6	DUREZA 2	3	51.9	12.6	2.29	13	704 - 1547	53.1 - 42.5	5.67
ROCA ALTERADA DURA										
POTASICA	32.8	DUREZA 3	6	52.1	12.8	2.32	15	704 - 1549	53.1 - 44.6	5.87
DIORITA	29.3	DUREZA 4	6.9	84	11.4	2.39	17	995 - 1961	58.6 - 49.8	9.34
SILICE	29.4	DUREZA 5	7	85	11.6	2.41	19	995 - 1963	58.6 - 51.4	9.54

Fuente: Geología Mina Hualgayoc

3.2.2 Determinación de Parámetros de Perforación y Voladura en mina

Hualgayoc según R. ASH

3.2.2.1 Burden (B)

Producto de la constante del burden (kb) por el diámetro de la broca dividido entre 12.

Ecuación 2: *Burden*

$$B = kb \times D/12$$

kb = constante de Burden teniendo valores entre 20 y 40, dependiendo a la clase de roca y tipo de explosivo.

D = diámetro de explosivo en pulgadas (igual al diámetro de broca)

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.2 Espaciamiento (S)

El burden por el Producto de la constante de espaciamiento (ks)

Ecuación 3: *Espaciamiento*

$$S = B \times ks$$

ks = constante del espaciamiento según el tipo de la roca

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.3 Sobre Perforación (J)

Producto de la constante de sobre perforación (kj) por burden.

Ecuación 4: *Sobre Perforación*

$$J = kj \times B$$

kj = Constante sobre perforación según tipo de rocas

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.4 Taco (T)

Producto de la constante de Taco (kt) por el Burden.

Ecuación 5: Taco

$$T = kt \times B$$

kj = Constante de taco al tipo de rocas

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.5 Longitud de Perforación (L)

Producto de la constante de longitud de perforación (kl) por burden.

Ecuación 6: Longitud De Perforación

$$L = kl \times B$$

kl = Constante de longitud de la perforación

teniendo una altura de 10 m de longitud de Banco (H) en mina Hualgayoc, más sobre perforación (11 m) deberá cumplir una voladura satisfactoria.

Ecuación 7: Longitud

$$L = H + J$$

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.6 Longitud de Carga (PC)

Diferencia de Longitud de perforación menos altura del taco.

Ecuación 8: Longitud de Carga

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

3.2.2.7 Densidad Lineal de Carga (dl)

Producto de la densidad de explosivo por diámetro del taladro en pulgadas al cuadrado por factor conversión 0.507

Ecuación 9: Densidad Lineal de Carga

$$dl = De \times (D\text{pulg}^2) \times 0.507 \text{ kg/m}$$

De = densidad de Explosivo

D = diámetro en Pulgadas

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.8 Carga Total del Explosivo (E)

Producto de la densidad lineal de la carga por la longitud de carga

Ecuación 10: Carga Total del Explosivo

$$E = dl \times PC \text{ kg}$$

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.9 Volumen (V)

Producto de burden por espaciamiento y por longitud del taladro.

Ecuación 11: Volumen

$$E = dl \times PC \text{ kg}$$

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.10 Tonelaje (TN)

Producto de volumen por densidad de la roca(dr).

Ecuación 12: Tonelaje

$$TN = V \times dr$$

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.11 Factor de Carga (FC)

Cantidad de explosivo en kilos que proporciona un metro cúbico.

Ecuación 13: *Factor de Carga*

$$Fc = \frac{Kg}{m^3} \quad kg/m^3$$

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.2.12 Factor Potencia (FP)

Cantidad de explosivo en kilos que proporciona una tonelada.

Ecuación 14: *Factor Potencia*

$$FP = \frac{E}{TN} \quad kg/t$$

(Manual y diseño de Perforación y Voladura de Roca, López. C , 2012)

3.2.3 Densidades de Explosivos utilizados en Mina Hualgayoc

La densidad sirve para el muestreo mediante las dosificaciones de las mezclas, teniendo valores similares a tabla establecida en laboratorio.

ANFO = Compuesto por 95% nitrato de amonio + 5% de petróleo.

Kilogramo x lineal de ANFO:

$$kg/m = 25kg/m$$

Fuente: Asignada por Mina Hualgayoc

ANFO PESADO 28 = Compuesto por 20% de emulsión + 80% de Anfo.

Kilogramo x lineal de ANFO PESADO 28:

$$kg/m = 29kg/m$$

Fuente: Asignada por Mina Hualgayoc

ANFO PESADO 37 = Compuesto por 30% de emulsión + 70% de Anfo.

Kilogramo x lineal de ANFO PESADO 37:

$$kg/m = 32kg/m$$

Fuente: Asignada por Mina Hualgayoc

Tabla 8: *Densidad y kilos por metro lineal*

TIPO DE EXPLOSIVOS	DENSIDAD (gr/cc)	Kg/m
ANFO	0.78	25
ANFO PESADO 28	0.93	29
ANFO PESADO 37	1.02	32
EMULSION	-	-

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

3.3 Métodos tradicionales en Mina Hualgayoc

3.3.1 Carga de Mineral Por Dureza

Se realizó la malla de perforación, así efectuamos el diseño de carga y el uso de explosivo.

Ecuación 15: Carga de Mineral Por Dureza

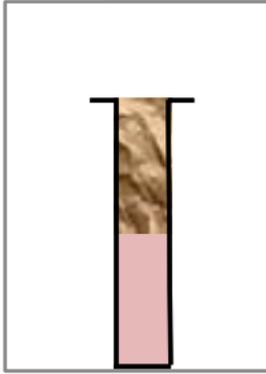
Longitud de Carga (mt) = altura Banco + Superficie de Perforación – taco

$$Longitud de Carga (mt) = 10 + 1 - 6 = 5$$

Fuente: Elaboración Propia Asignada y datos por Mina Hualgayoc

- a) **Dureza 1 (ANFO)** consiste en malla 5.5 m x 6.6 m, el explosivo a utilizar es ANFO con densidad de 0.78 gr/cc y su tipo de roca es ARCILLA con una densidad 2.22 gr/cc.

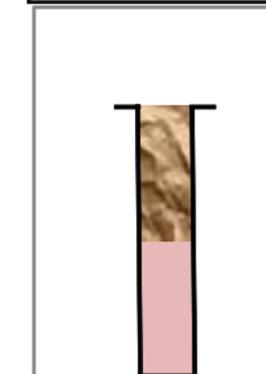
Figura 4: Dureza 1 (Anfo)

DUREZA 1 (ANFO)			
	Espac.	6,60	
	Burden	5,50	
	Taco	5,50	
	L. Carga	5,50	
	Mezcla inferior	ANFO	137
	Densidad inferior	0,78	
	Kilos	137	
	TM	881	
	FP	0,16	

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

- b) **Dureza 2 y 3 (ANFO PESADO 28)** consiste en malla 5.5 m x 6.6 m, el explosivo a utilizar es ANFO PESADO 28 con densidad de 0.93 gr/cc y su tipo de roca es CALIZA Y POTÁSICA con una densidad 2.29 gr/cc. y 2.32 gr/cc..

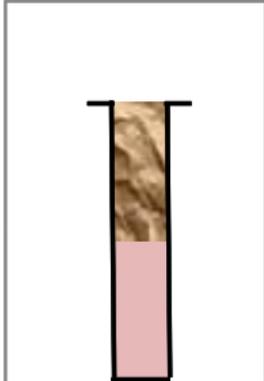
Figura 5: Dureza 2 y 3 (ANFO PESADO 28)

DUREZA 2 y 3 (ANFO PESADO 28)			
	Espac.	6,60	
	Burden	5,50	
	Taco	5,00	
	L. Carga	6,00	
	Mezcla inferior	AP 28	174
	Densidad inferior	0,93	
	Kilos	174	
	TM	921	
	FP	0,19	

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

c) **Dureza 4 y 5 (ANFO PESADO 37)** consiste en malla 5.5 m x 6.6 m, el explosivo a utilizar es ANFO PESADO 37 con densidad de 0.93 gr/cc y su tipo de roca es DIORITA Y SILICE con una densidad 2.39 gr/cc. y 2.41 gr/cc.

Figura 6: *Dureza 4 y 5 (ANFO PESADO 37)*

DUREZA 4 y 5 (ANFO PESADO 37)			
	Espac.	6,60	
	Burden	5,50	
	Taco	4,50	
	L. Carga	6,50	
	Mezcla inferior	AP 37	206
	Densidad inferior	1,02	
	Kilos	206	
	TM	961	
	FP	0,21	

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

3.3.2 Carga y factor de Potencia en Voladura Tradicional por Mineral

Tabla 9: Voladura Tradicional por Mineral

VOLADURA TRADICIONAL POR MINERAL

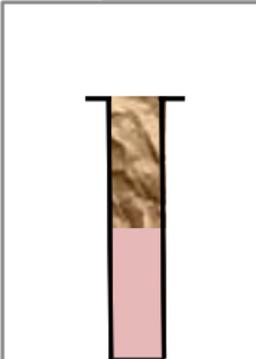
BURDEN	ESPACIAMIENTO	ROCA	DENSIDAD DE ROCA	EXPLOSIVOS	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	CARGA EXPLOSIVA	LONGITUD DE CARGA	TACO	LONGITUD	VOLUMEN	TONELADA	FP
5.5	6.6	ARCILLA	2.22	ANFO	DUREZA 1	2	137	5.5	5.5	11	399.3	886.4	0.155
5.5	6.6	CALIZA	2.29	ANFO PESADO 28	DUREZA 2	3	174	6	5	11	399.3	914.4	0.190
5.5	6.6	POTASICA	2.32	ANFO PESADO 28	DUREZA 3	6	174	6	5	11	399.3	926.4	0.187
5.5	6.6	DIORITA	2.39	ANFO PESADO 37	DUREZA 4	6.9	206	6.5	4.5	11	399.3	954.3	0.216
5.5	6.6	SILICE	2.41	ANFO PESADO 37	DUREZA 5	7	206	6.5	4.5	11	399.3	962.3	0.214

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

3.3.3 Carga de Desmonte Por Dureza

a) **Dureza 1 (ANFO)** consiste en malla 5.90 m x 7.10 m

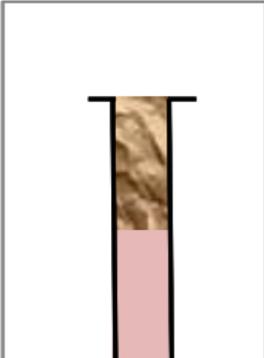
Figura 7: *Dureza 1 (ANFO)*

DUREZA 1 (ANFO)			
	Espac.	7,10	
	Burden	5,90	
	Taco	5,50	
	L. Carga	5,50	
	Mezcla inferior	ANFO	137
	Densidad inferior	0,78	
	Kilos	137	
	TM	1033	
	FP	0,13	

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

b) **Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 28)** consiste en malla 5.90 m x 7.10 m

Figura 8: *Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 28)*

DUREZA 2 y 3 (ANFO PESADO 28)			
	Espac.	7,10	
	Burden	5,90	
	Taco	5,00	
	L. Carga	6,00	
	Mezcla inferior	AP 28	174
	Densidad inferior	0,93	
	Kilos	174	
	TM	1080	
	FP	0,16	

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

c) **Dureza 4 Y 5 (ANFO PESADO 37)** consiste en malla 5.90 m x 7.10 m

Figura 9: *Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 37)*

DUREZA 4 Y 5 (ANFO PESADO 37)			
	Espac.	7,10	
	Burden	5,90	
	Taco	4,50	
	L. Carga	6,50	
	Mezcla inferior	AP 37	206
	Densidad inferior	1,02	
	Kilos	206	
	TM	1127	
	FP	0,18	

Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

3.3.4 Carga y factor de Potencia en Voladura Tradicional por Desmante

Tabla 10: Voladura tradicional por Desmante

BURDEN	ESPACIAMIENTO	ROCA	DENSIDAD DE ROCA	EXPLOSIVOS	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	CARGA EXPLOSIVA	LONGITUD DE CARGA	TACO	LONGITUD	VOLUMEN	TONELADA	FP
5.9	7.1	ARCILLA	2.22	ANFO	DUREZA 1	2	137	5.5	5.5	11	460.79	1022.95	0.134
5.9	7.1	CALIZA	2.29	ANFO PESADO 28	DUREZA 2	3	174	6	5	11	460.79	1055.21	0.165
5.9	7.1	POTASICA	2.32	ANFO PESADO 28	DUREZA 3	6	174	6	5	11	460.79	1069.03	0.163
5.9	7.1	DIORITA	2.39	ANFO PESADO 37	DUREZA 4	6.9	206	6.5	4.5	11	460.79	1101.29	0.187
5.9	7.1	SILICE	2.41	ANFO PESADO 37	DUREZA 5	7	206	6.5	4.5	11	460.79	1110.50	0.185

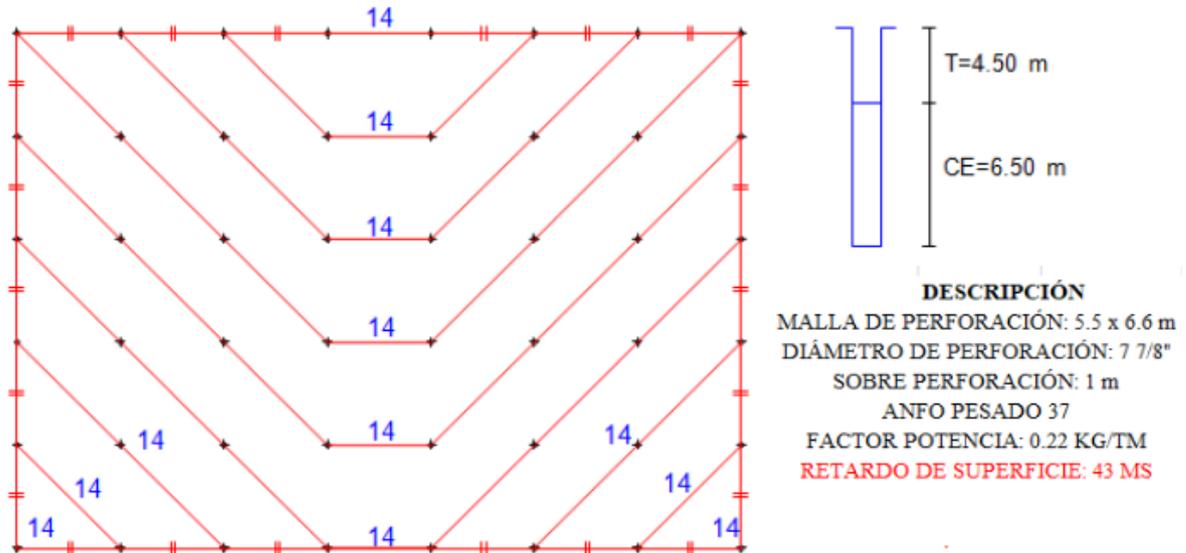
Fuente: Elaboración Propia y datos por Mina Hualgayoc

3.3.5 Diseño de malla y disparo en mina Hualgayoc método Tradicional

3.3.5.1 Disparos Diamante:

Consta que los taladros salgan simultáneamente formando un diamante.

Figura 10: *Diseño de malla y disparo voladura diamante en salida trapecio*



Fuente: Elaboración por Mina Hualgayoc

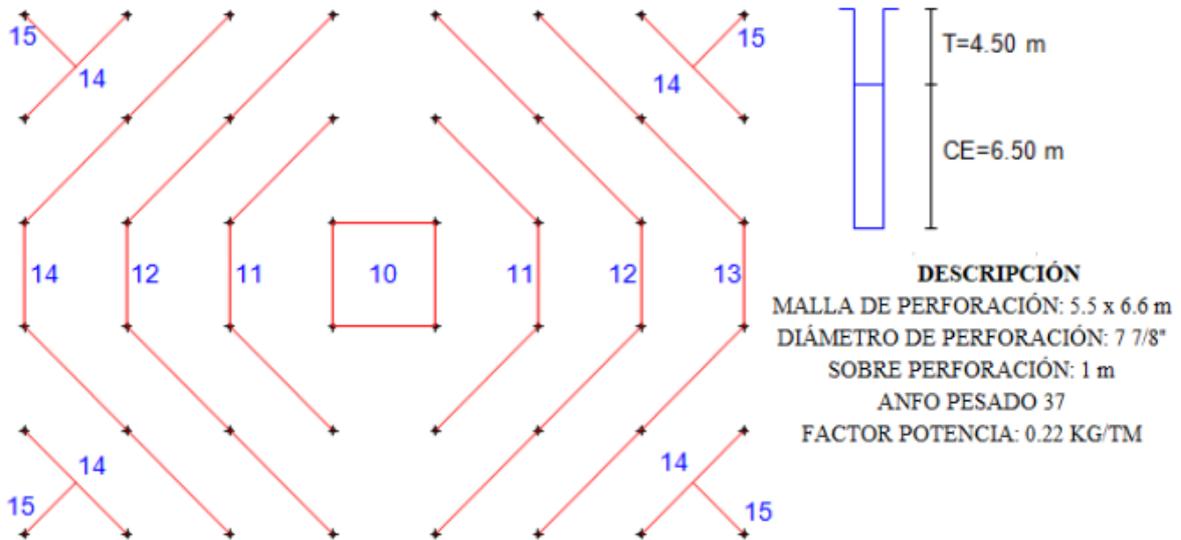
Desventaja:

- Mala Fragmentación
- Poco desplazamiento de material
- Malos Pisos
- Mucha Vibración

3.3.5.2 Disparos Diamante (arranque Cuadrado y salida Trapecio):

Consta que el contorno mediante el disparo tiene el mismo tiempo formando un cuadrado.

Figura 11: *Diseño de malla y disparo voladura diamante en salida trapecio*



Fuente: Elaboración por Mina Hualgayoc

Desventaja:

- Mala Fragmentación de arranque
- Mucha Vibración del Terreno
- Abundante bolonería
- Poco desplazamiento de arranque

3.3.6 Análisis de Voladura en mina Hualgayoc método Tradicional

Figura 12: *Voladura Método Tradicional*





Fuente: Elaboración Propia



Fuente: Elaboración Propia

Diagnóstico:

En sus resultados Mostrados Con **Voladura tradicional** hay bastante proyección de rocas, así como fragmentación gruesa que será de mayor costo poder volver a fracturar las rocas por dicho Fly Rock.

3.4 (PLAN DE MEJORA) Métodos Voladura Controlada AIR DECK en Mina

Hualgayoc

3.4.1 Carga de Mineral Por Dureza

- a) **Dureza 1 (ANFO)** consiste en malla 5.5 m x 6.6 m, el explosivo a utilizar es ANFO con densidad de 0.78 gr/cc y su tipo de roca es ARCILLA con una densidad 2.22 gr/cc.

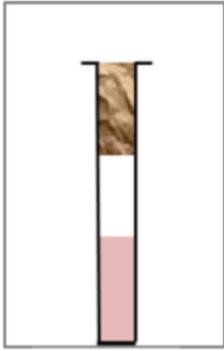
Figura 13: *Dureza 1 (ANFO) Plan de Mejora*

DUREZA 1 (ANFO)	
Espac.	6,60
Burden	5,50
Taco	3,50
L. Carga	4,00
Mezcla inferior	ANFO 100
AIRE SUPERIOR	3,00
Densidad inferior	0,78
Kilos	100
TM	846,15
FP	0,118

Fuente: Elaboración Propia

b) **Dureza 2 y 3 (ANFO PESADO 28)** consiste en malla 5.5 m x 6.6 m, el explosivo a utilizar es ANFO PESADO 28 con densidad de 0.93 gr/cc y su tipo de roca es CALIZA Y POTÁSICA con una densidad 2.29 gr/cc. y 2.32 gr/cc..

Figura 14: *Dureza 2 y 3 (ANFO PESADO 28) Plan de Mejora*

DUREZA 2 y 3 (ANFO PESADO 28)			
	Espac.	6,60	
	Burden	5,50	
	Taco	3,50	
	L. Carga	4,50	
	Mezcla inferior	AP 28	130.5
	AIRE SUPERIOR	2,50	
	Densidad inferior	0,93	
	Kilos	130.5	
	TM	872.83	884.27
	FP	0,15	

Fuente: Elaboración Propia

c) **Dureza 4 y 5 (ANFO PESADO 37)** consiste en malla 5.5 m x 6.6 m, el explosivo a utilizar es ANFO PESADO 37 con densidad de 0.93 gr/cc y su tipo de roca es DIORITA Y SILICE con una densidad 2.39 gr/cc. y 2.41 gr/cc.

Figura 15: *Dureza 4 y 5 (ANFO PESADO 37) Plan de Mejora*

DUREZA 4 y 5 (ANFO PESADO 37)			
	Espac.	6,60	
	Burden	5,50	
	Taco	3,50	
	L. Carga	5,00	
	Mezcla inferior	AP 37	160
	AIRE SUPERIOR	2,00	
	Densidad inferior	1,02	
	Kilos	160	
	TM	910.95	918.57
	FP	0,17	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 Carga y Factor de Potencia En Voladura Controlada AIR DECK por Mineral

Tabla 11: Voladura Air Deck por Mineral

VOLADURA AIR DECK POR MINERAL													
BURDEN	ESPACIAMIENTO	ROCA	DENSIDAD DE ROCA	EXPLOSIVOS	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	CARGA A EXPLOSIVA	LONGITUD DE CARGA	TACO	LONGITUD	VOLUMEN	TONELAJA	FP
5.5	6.6	ARCILLA	2.22	ANFO	DUREZA 1	2	100	4	3.5	10.5	381.15	846.15	0.118
5.5	6.6	CALIZA	2.29	ANFO PESADO 28	DUREZA 2	3	130.5	4.5	3.5	10.5	381.15	872.83	0.149
5.5	6.6	POTASICA	2.32	ANFO PESADO 28	DUREZA 3	6	130.5	4.5	3.5	10.5	381.15	884.27	0.147
5.5	6.6	DIORITA	2.39	ANFO PESADO 37	DUREZA 4	6.9	160	5	3.5	10.5	381.15	910.95	0.175
5.5	6.6	SILICE	2.41	ANFO PESADO 37	DUREZA 5	7	160	5	3.5	10.5	381.15	918.57	0.174

Fuente: Elaboración Propia

3.4.3 Carga de Desmonte Por Dureza

a) **Dureza 1 (ANFO)** consiste en malla 5.90 m x 7.10 m

Figura 16: *Dureza 1 (ANFO) Plan de Mejora*

DUREZA 1 (ANFO)	
Espac.	7,10
Burden	5,90
Taco	3,50
L. Carga	3,50
Mezcla inferior	ANFO 87.5
AIRE SUPERIOR	3,50
Densidad inferior	0,78
Kilos	87.5
TM	976.46
FP	0,09

Fuente: Elaboración Propia

b) **Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 28)** consiste en malla 5.90 m x 7.10 m

Figura 17: *Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 28) Plan de Mejora*

DUREZA 2 y 3 (ANFO PESADO 28)	
Espac.	7,10
Burden	5,90
Taco	3,50
L. Carga	4,00
Mezcla inferior	AP 28 116
AIRE SUPERIOR	3,00
Densidad inferior	0,93
Kilos	116
TM	1007.25 1020.45
FP	0,11

Fuente: Elaboración Propia

c) **Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 37)** consiste en malla 5.90 m x 7.10 m

Figura 18: *Dureza 2 Y 3 (ANFO PESADO 37) Plan de Mejora*

DUREZA 4 Y 5 (ANFO PESADO 37)			
	Espac.	7,10	
	Burden	5,90	
	Taco	3,50	
	L. Carga	4,50	
	Mezcla inferior	AP 37	144
	AIRE SUPERIOR	2,50	
	Densidad inferior	1,02	
	Kilos	144	
	TM	1051.24	1060.03
	FP	0,14	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.4 Carga y Factor de Potencia En Voladura Controlada AIR DECK por Desmonte

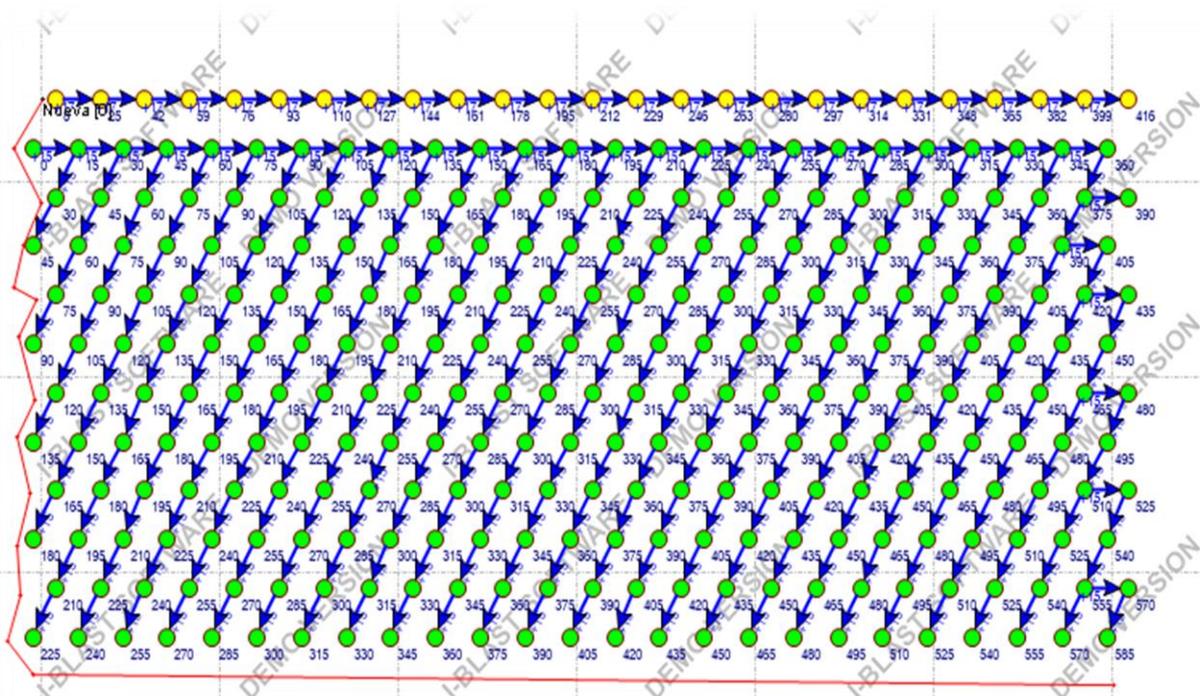
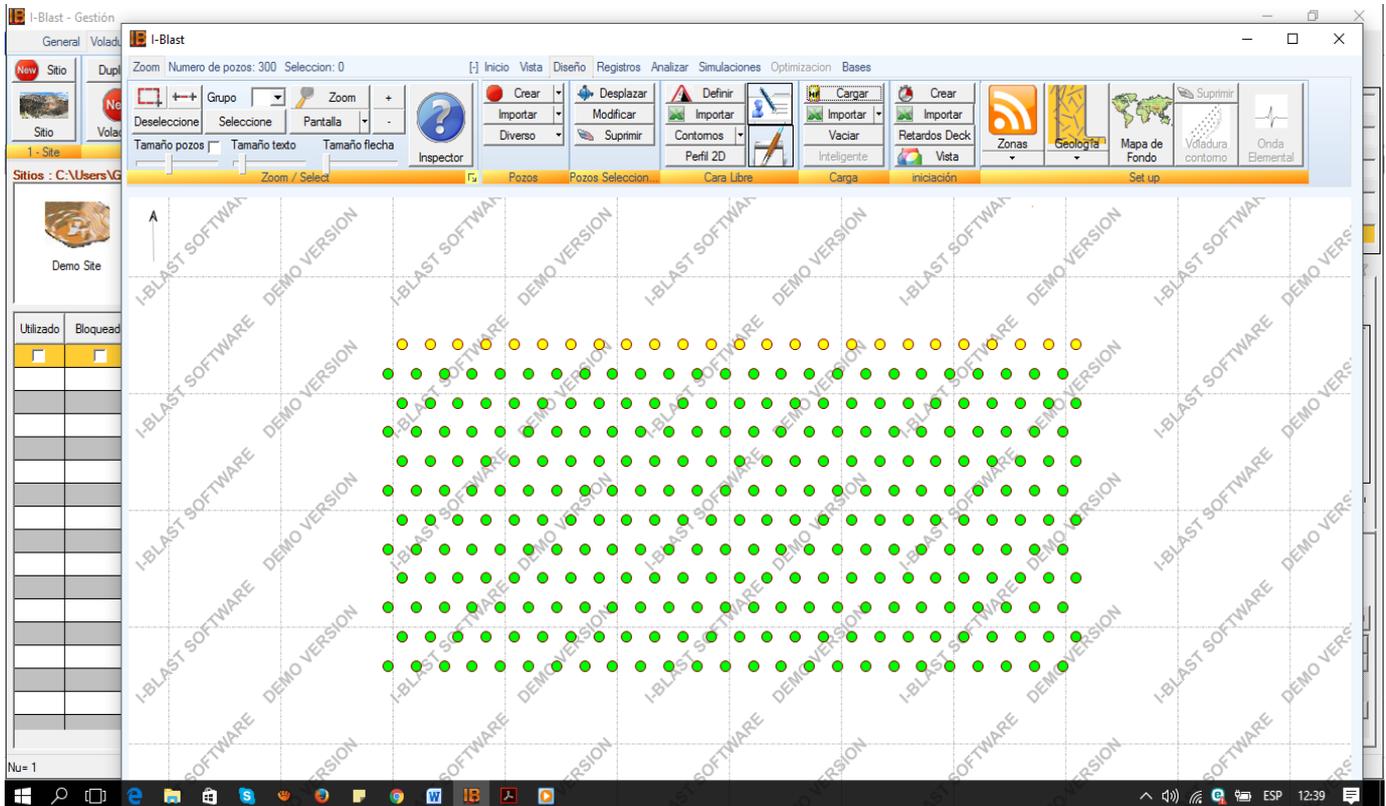
Tabla 12: Voladura Air Deck por Desmonte

VOLADURA AIR DECK POR DESMONTE													
BURDEN	ESPACIAMIENTO	ROCA	DENSIDAD DE ROCA	EXPLOSIVOS	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	CARGA EXPLOSIVA	LONGITUD DE CARGA	TACO	LONGITUD	VOLUMEN	TONELADA	FP
5.9	7.1	ARCILLA	2.22	ANFO	DUREZA 1	2	87.5	3.5	3.5	10.5	439.85	976.46	0.089
5.9	7.1	CALIZA	2.29	ANFO PESADO 28	DUREZA 2	3	116	4	3.5	10.5	439.85	1007.25	0.115
5.9	7.1	POTASICA	2.32	ANFO PESADO 28	DUREZA 3	6	116	4	3.5	10.5	439.85	1020.45	0.113
5.9	7.1	DIORITA	2.39	ANFO PESADO 37	DUREZA 4	6.9	144	4.5	3.5	10.5	439.85	1051.24	0.136
5.9	7.1	SILICE	2.41	ANFO PESADO 37	DUREZA 5	7	144	4.5	3.5	10.5	439.85	1060.03	0.136

Fuente: Elaboración Propia

3.4.5 Diseño de malla y disparo en mina Hualgayoc método AIR DECK

Figura 19: *Diseño de malla y disparo en mina Hualgayoc método AIR DECK*



Fuente: Elaboración Propia

3.4.6 Análisis de Voladura Controlada en mina Hualgayoc método AIR DECK

Figura 20: Voladura Controlada en mina Hualgayoc método AIR DECK



Fuente: Elaboración Propia

Figura 21: Comparación De Ambas Voladuras



Fuente: Elaboración Propia

Diagnóstico:

En los resultados Mostrados Con **Voladura Controlada AIR DECK** hay mínimas proyecciones de rocas (Fly Rock), así como fragmentación se obtuvo una granulometría Homogénea, ya que el Air deck actúa como un espejo y proporciona mejor detonación.

3.5 Análisis y Costos de las Voladuras Air deck Pre-Splitting

Ecuación 16: *Costo Parcial Dureza*

COSTO PARCIAL DUREZA

$$= \text{Costo Fanel} + \text{Costo Booster} + \text{Costo Taponex} + \text{Costo emulsión} \\ + \text{Costo Nitrato de Amonio} + \text{Costo Petróleo} = \frac{\$}{kg}$$

Ecuación 17: *Costo Unitario Dureza*

$$\text{COSTO UNITARIO DUREZA} = \frac{\text{Costo Parcial Dureza}}{\text{Toneladas}} = \frac{\$}{tn}$$

Tabla 13: *Precios Efectuados*

PRECIOS ACTUALES		
NOMIACION	COSTO	MONEDA / MAGNITUD
FANEL	4.4	\$/PZA
BOOSTER	3.5	\$/PZA
TAPONEX	4.1	\$/PZA
AGENTES DE VOLADURA		
EMULSION	1.266	\$/KG
PETROLEO	0.655	\$/KG
NITRATO DE AMONIO	0.577	\$/KG

Fuente: **Elaboración Propia**

Tabla 14: Costos Voladura Air Deck por mineral

COSTOS VOLADURA AIR DECK POR MINERAL

ROCA	DENSIDAD DE ROCA	EXPLOSIVOS	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	CARGA EXPLORATIVA (Kg)	TONELADAS (Tn)	FP (Kg/tn)	ANFO (Kg)	EMULSION (Kg)	NITRATO DE AMONIO (Kg)	PETRÓLEO (Kg)	COSTO EMULSION (\$/kg)	COSTO NITRATO DE AMONIO (\$/Kg)	COSTO PETRÓLEO (\$/Kg)	COSTO PARCIAL (\$/Kg)	COSTO UNITARIO (\$/TN)
ARCILLA	2.22	ANFO	DUREZA 1	2	100	846.15	0.118	100	0	95	5	0	54.82	3.28	70.10	0.08
CALIZA	2.29	ANFO PESADO 28	DUREZA 2	3	130.5	872.83	0.149	104.4	26.1	99.18	5.22	33.04	57.23	3.42	105.69	0.12
POTASICA	2.32	ANFO PESADO 28	DUREZA 3	6	130.5	884.27	0.147	104.4	26.1	99.18	5.22	33.04	57.23	3.42	105.69	0.12
DIORITA	2.39	ANFO PESADO 37	DUREZA 4	6.9	160	910.95	0.175	112	48	106.4	5.6	60.77	61.39	3.67	137.83	0.15
SILICE	2.41	ANFO PESADO 37	DUREZA 5	7	160	918.57	0.174	112	48	106.4	5.6	60.77	61.39	3.67	137.83	0.15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15: Costos Voladura Air Deck por Desmorte

COSTOS VOLADURA AIR DECK POR DESMORTE

ROCA	DENSIDAD DE ROCA	EXPLOSIVOS	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	CARGA EXPLORATIVA (Kg)	TONELADAS (Tn)	FP (Kg/tn)	ANFO (Kg)	EMULSIÓN (Kg)	NITRATO DE AMONIO (Kg)	PETRÓLEO (Kg)	COSTO EMULSIÓN (\$/kg)	COSTO NITRATO DE AMONIO (Kg)	COSTO PETRÓLEO (Kg)	COSTO PARCIAL (\$/Kg)	COSTO UNITARIO (\$/TN)
ARCILLA CALIZA	2.22	ANFO	DUREZA 1	2	87.5	976.46	0.089	87.5	0	83.13	4.37	0	47.96	2.86	62.72	0.06
POTASICA DIORIT A SILICE	2.29	ANFO PESADO 28	DUREZA 2	3	116	1007.25	0.115	92.8	23.2	88.16	4.64	29.37	50.87	3.04	95.28	0.09
	2.32	ANFO PESADO 28	DUREZA 3	6	116	1020.45	0.113	92.8	23.2	88.16	4.64	29.37	50.87	3.04	95.28	0.09
	2.39	ANFO PESADO 37	DUREZA 4	6.9	144	1051.24	0.136	100.8	43.2	95.76	5.04	54.69	55.25	3.30	125.24	0.12
	2.41	ANFO PESADO 37	DUREZA 5	7	144	1060.03	0.136	100.8	43.2	95.76	5.04	54.69	55.25	3.30	125.24	0.12

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Ahorro de Costos mediante Voladuras Air deck Pre-Splitting según tonelaje

Tabla 16: Ahorro de Costo por Tonelada mineral

ROCA	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	AHORRO DE COSTO POR TONELADA MINERAL			
			COSTO VOLADURA TRADICIONAL	COSTO VOLADURA AIR DECK	AHORRO DE COSTO CON VOLADURA AIR DECK	
ARCILLA	DUREZA 1	2	0.11	0.08	0.03	\$/Tn
CALIZA	DUREZA 2	3	0.14	0.12	0.02	\$/Tn
POTASICA	DUREZA 3	6	0.14	0.12	0.02	\$/Tn
DIORITA	DUREZA 4	6.9	0.17	0.15	0.02	\$/Tn
SILICE	DUREZA 5	7	0.17	0.15	0.02	\$/Tn
TOTAL, DE AHORRO					0.11	\$/Tn

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17: Ahorro de Costo por Tonelada Desmonte

ROCA	ORDEN DE DUREZA	DUREZA MOHS	AHORRO DE COSTO POR TONELADA DESMONTE			
			COSTO VOLADURA TRADICIONAL	COSTO VOLADURA AIR DECK	AHORRO DE COSTO CON VOLADURA AIR DECK	
ARCILLA	DUREZA 1	2	0.1	0.06	0.04	\$/Tn
CALIZA	DUREZA 2	3	0.12	0.09	0.03	\$/Tn
POTASICA	DUREZA 3	6	0.12	0.09	0.03	\$/Tn
DIORITA	DUREZA 4	6.9	0.15	0.12	0.03	\$/Tn
SILICE	DUREZA 5	7	0.15	0.12	0.03	\$/Tn
TOTAL, DE AHORRO					0.16	\$/Tn

Fuente: Elaboración Propia

Se puede apreciar que se tuvo un ahorro total de **0.11 \$/tn** en costo de mineral y **0.16 \$/tn** en costo de desmonte con el método de **Air Deck Pre-Splitting**.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

(Correa E. 2013)“*Uso de air Deck para Reducir Sub Drilling en la mina Escondida*”.

Nos dice que comparación obtenidos de barrenos sub drilling y el granallado con un fondo del barreno ubicado air Deck. El efecto al usar air deck, las rocas bajan su dureza que se encuentra en el oeste de área del tajo. Los beneficios adicionales incluyen una gran fragmentación satisfactoria del material.

(Hanwar J. 2015) “*Aplicación de Air Deck mejorar la fragmentación y economía en una Mina Cielo Abierto*”. Nos dice que voladura con Air Deck, la oscilación de las ondas de choque en el espacio de aire aumenta y actúa sobre la masa de roca que rodea por un factor de entre 2 y 5. Teniendo un efecto final radica en el aumento de la malla de grietas en la roca y reducir el movimiento de carga. Tiene mejor fragmentación producido por su carga en aumento, teniendo la eficiencia en un 50 - 60%. El uso del ANFO con esta técnica para reducir el costo explosivo en un 31,6%.

4.2 Conclusiones

1. Usando **El Método Air Deck Pre-Splitting**, se obtuvieron mejores resultados en términos de fragmentación y uniformidad, comparado con los resultados de voladura Tradicional realizados en proyectos disparados.
2. Se obtuvo unos valores adecuados que se encuentra en el rango solicitado para la chancadora, a la vez hubo un ahorro de costos en Voladura controlada de 0.11 \$/tn en mineral y 0.16 \$/tn en Desmante.
3. Para evitar el sobre fractura miento lateral o el back break de la roca remanente, se está usando el método de voladura controlada llamado pre corte Air Deck.
4. Mediante el I blast y el Jk Slimblast se pudo obtener datos más factibles para el mejoramiento de una malla para la voladura controlada.
5. Se debe mencionar que usando la emulsión gasificada AP-73Q, no se generaron gases nitrosos, es debido a que en su formulación química el nitrógeno presente en la mezcla pasa a ser nitrógeno molecular (N₂) siendo este estable y no generando los óxidos nitrosos.
6. Se puede determinar que se obtuvieron mejores resultados en fragmentación, donde la detonación fue más homogénea y los esfuerzos fueron mejor distribuidos, la cual evito triturar la roca que se encuentra alrededor del taladro.

REFERENCIAS

Ayamamani, C. (2016). Diseño de Perforación y Voladura y su incidencia en los costos unitarios en Balcón III de la Corporación Minera Ananea S.A. (Tesis de Pregrado).

Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.

Condoli, F. y Porras, L. (2015). Diseño de malla de perforación y voladura para la reducción de costos en los frentes de avances de la U.E.A. Reliquias-Corporación Minera Castrovirreyna S.A. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica, Perú.

EXSA. (2015). Explosivos y Accesorios de Voladura. Lima, Perú

EXSA. (2014). Manual Práctico de Voladura. (4^a ed). Lima, Perú.

López, J. (2014). “Manual y Diseño de Perforación y Voladura de Rocas”. España.

Bernaola, J., Castilla, J. y Herrera, J. (2013). Perforación y Voladura de rocas en Minería. Madrid.

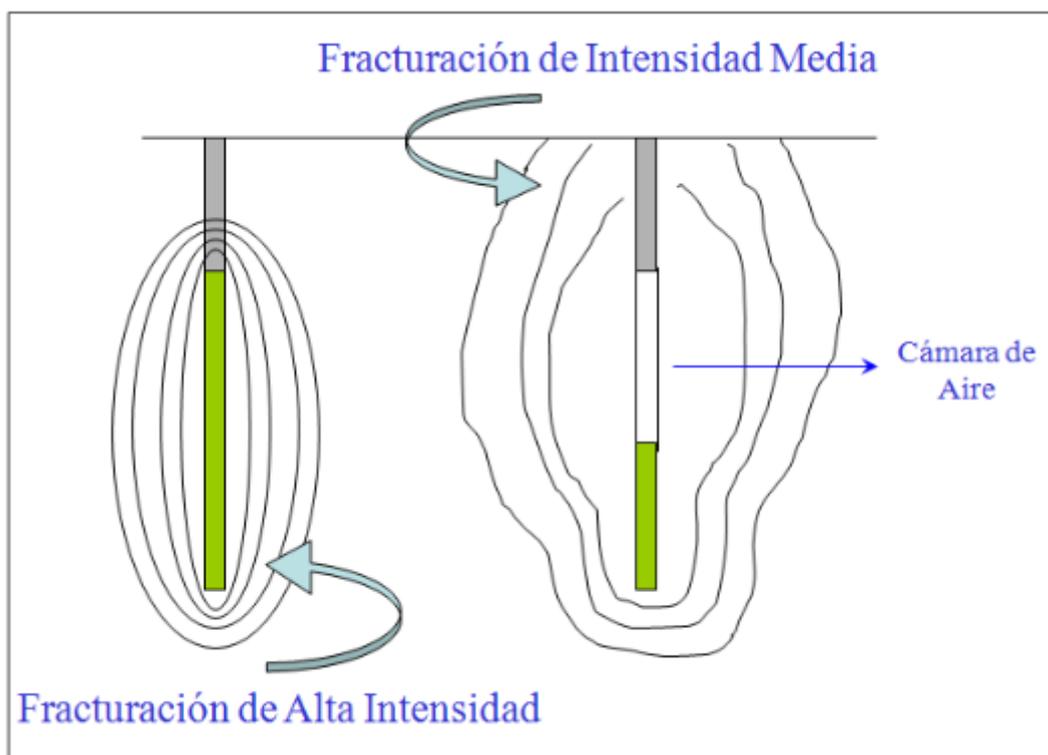
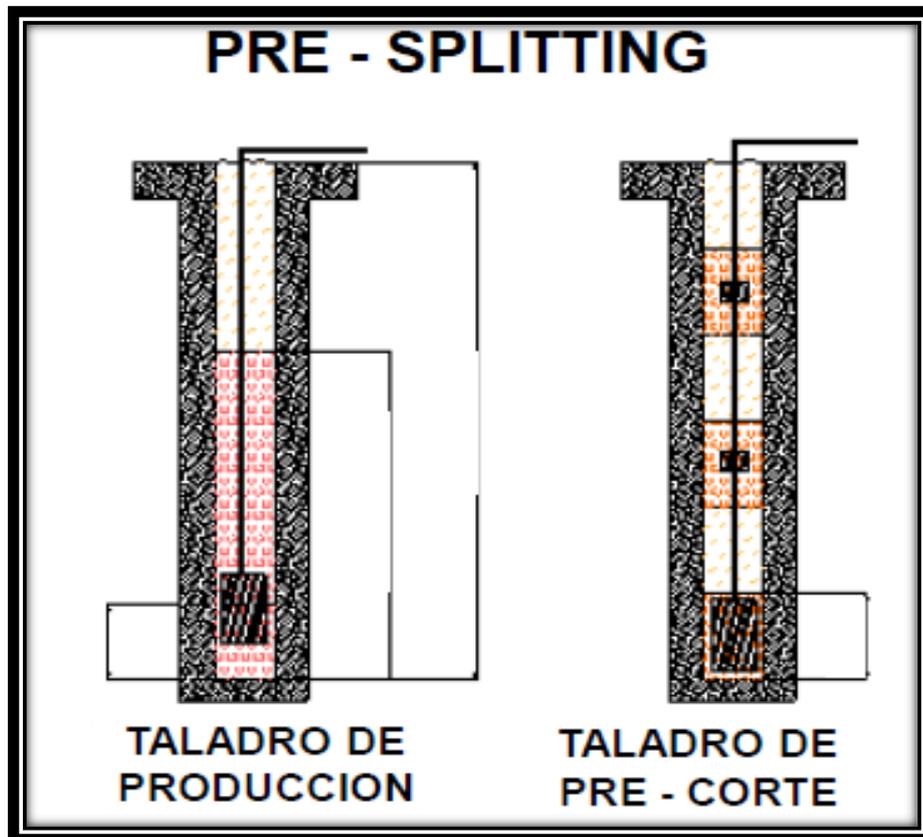
Camiper, (2013). “Diplomado de Perforación y Voladura en Minería Superficial”. Lima – Perú.

ENAEEX, (2010). “Manual de Tronadura”, Chile, 3ra Edición.

ANEXOS

Anexo 01

Anexo 1: Pre Splitting



Anexo 02

Anexo 2: Taladros De Perforación En Línea

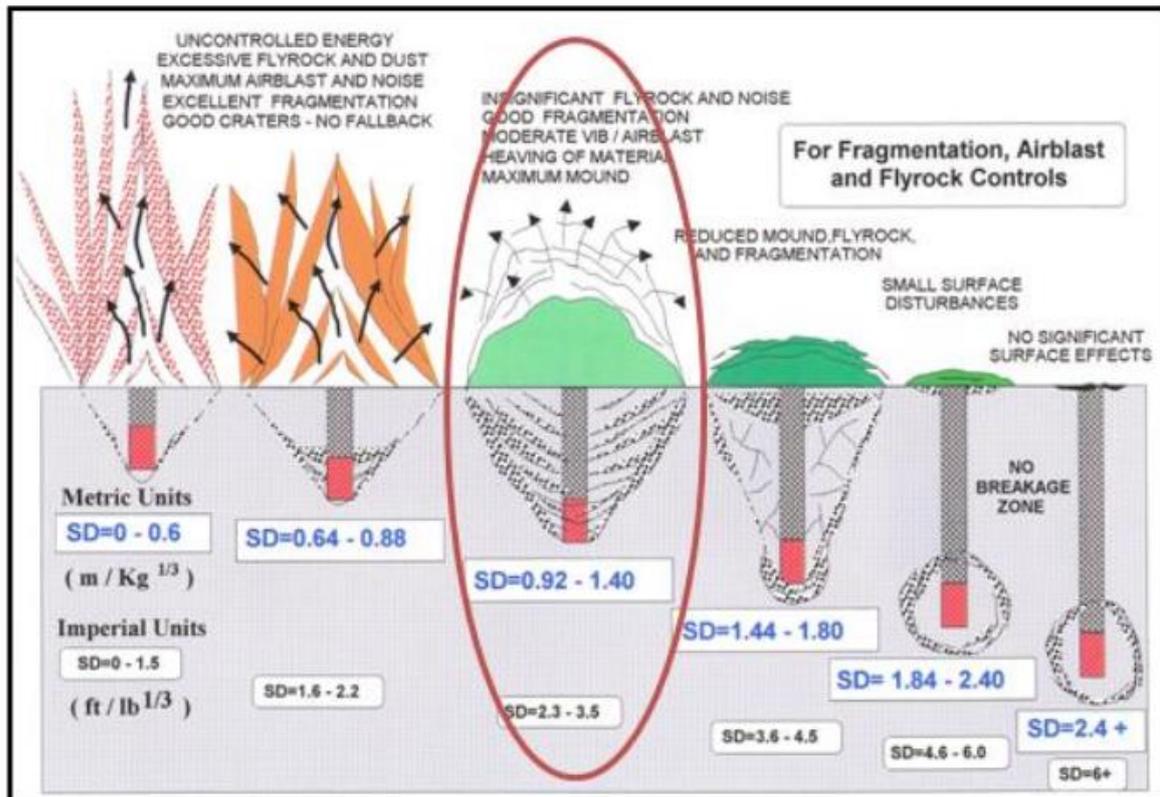
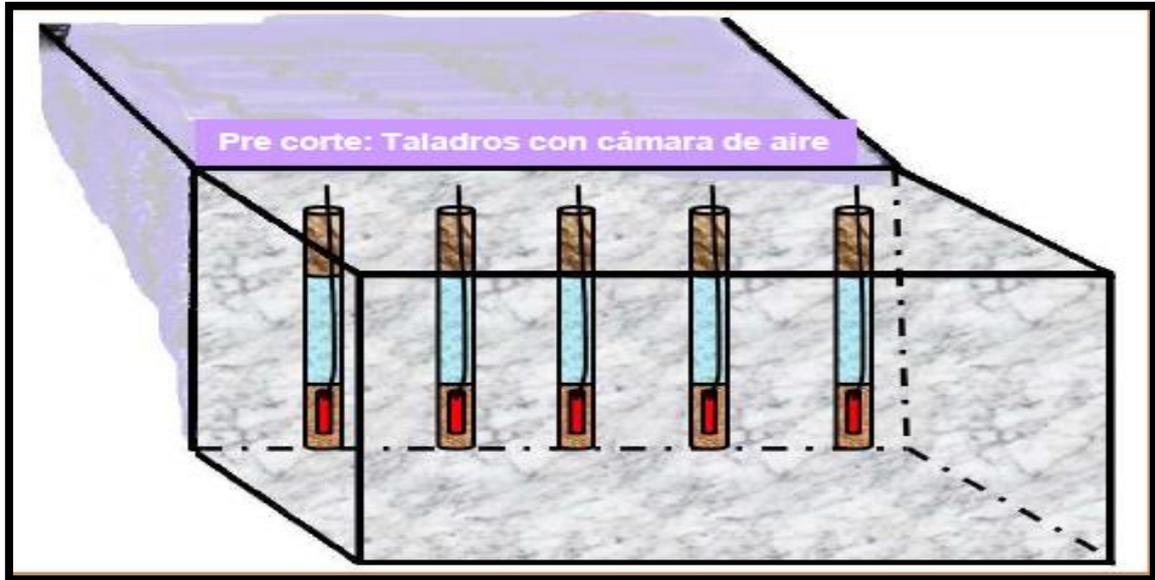


GUIA AMBIENTAL PARA LA PERFORACIÓN Y VOLADURAS EN OPERACIONES MINERAS (MEM - PERU)	
DISTANCIA DESDE EL ÁREA DE VOLADURA (m)	PPV MÁXIMO PERMITIDA (mm/s)
91	31.75
91-1,524	25.40
1524 a más	19.05

RELACIONES EMPIRICAS PARA EL MACIZO ROCOSO	
Velocidad de Pico Partícula (mm/s)	EFFECTOS EN LA MASA ROCOSA
254	No hay Fractura de las rocas Intactas
254 - 381	Puede ocurrir rebanado, tensional menor, caída de rocas
635-2540	Rajaduras tensionales fuertes, cierta rajadura radial, fracturas
2540 a más	Rotura completa de la masa de rocas

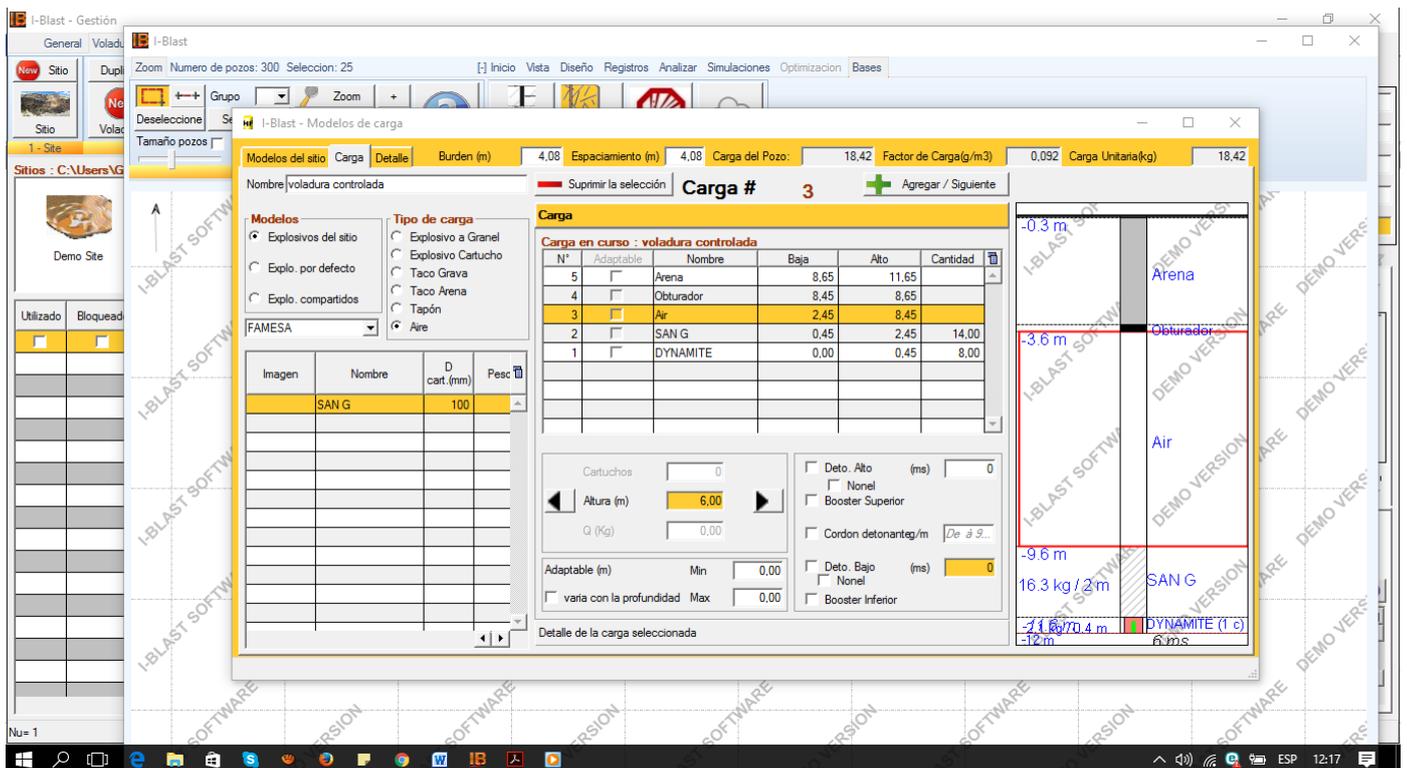
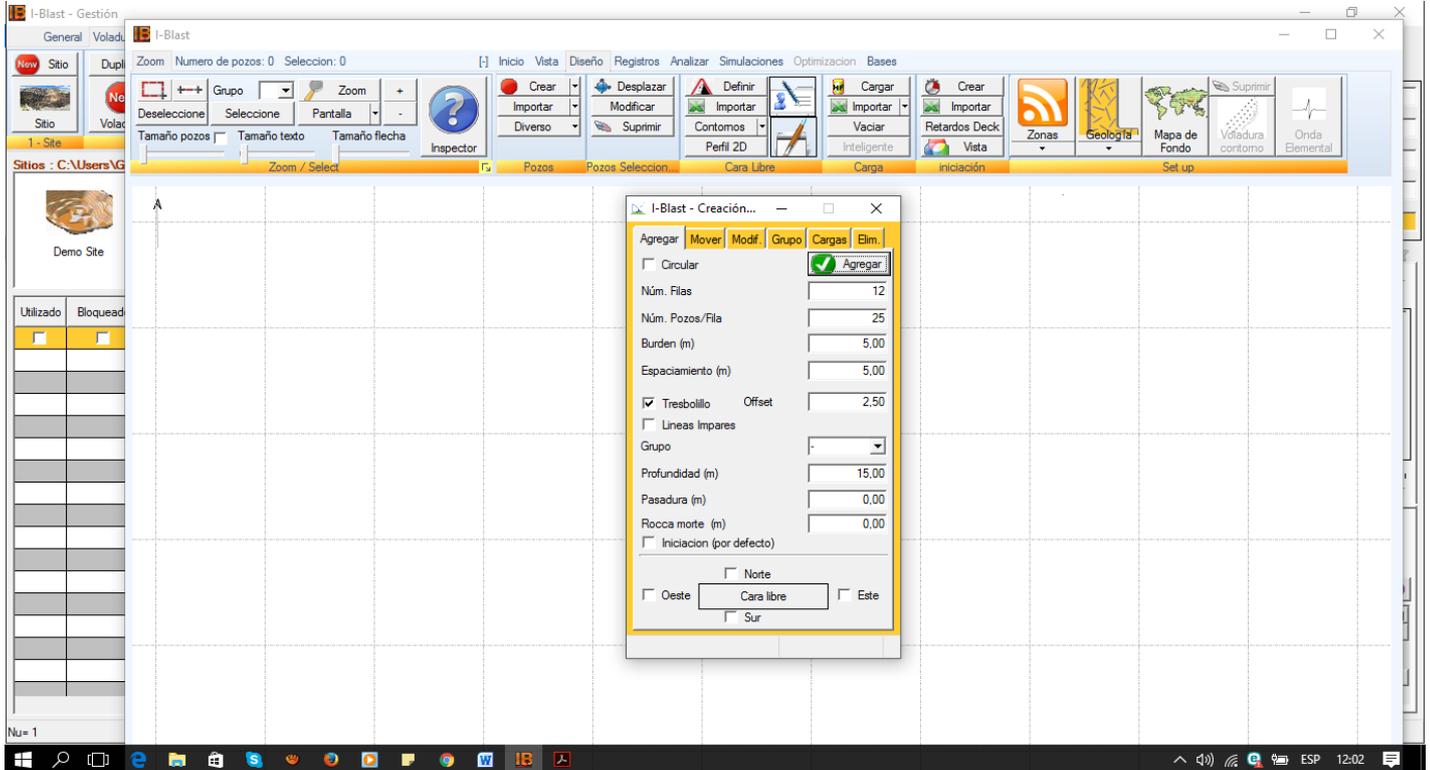
Anexo 03

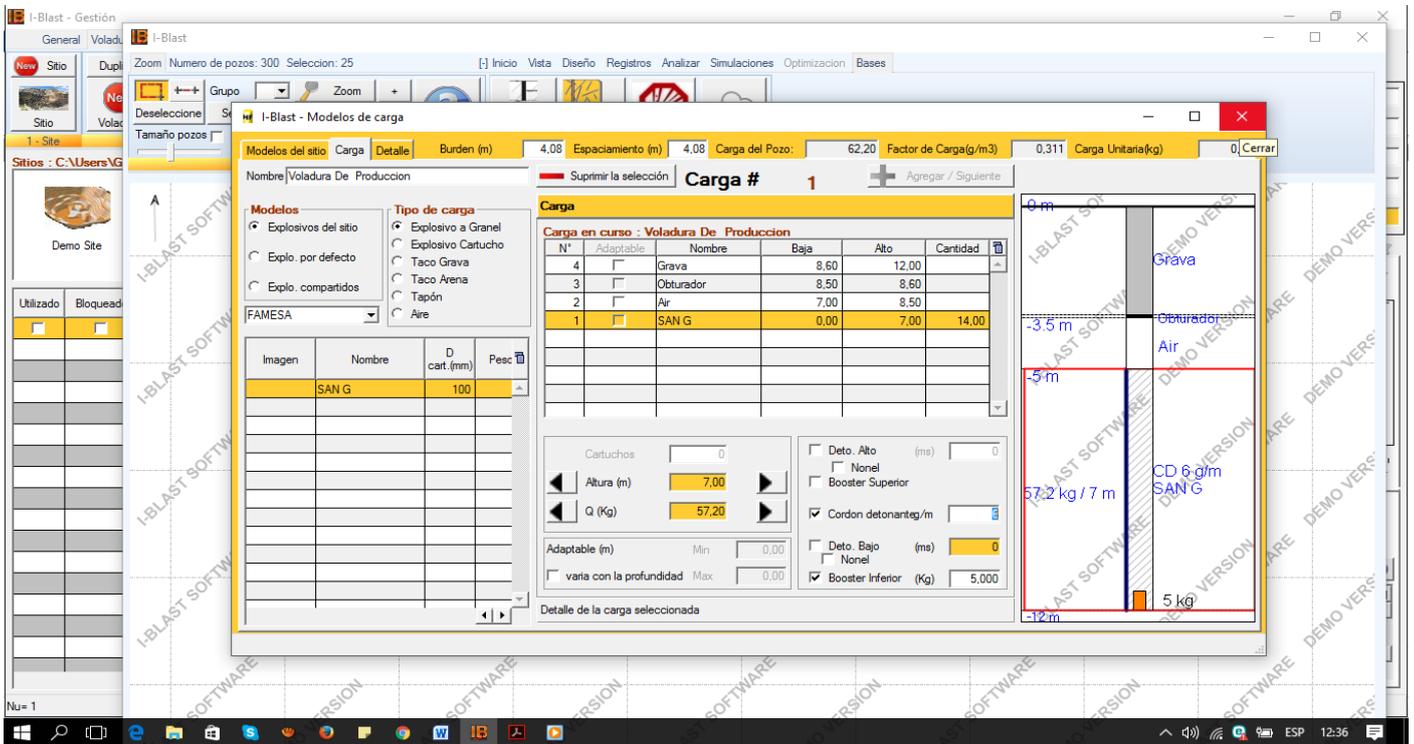
Anexo 3: Talados con cámara de Aire y Fly rock



Anexo 04

Anexo 4: Software IBlast





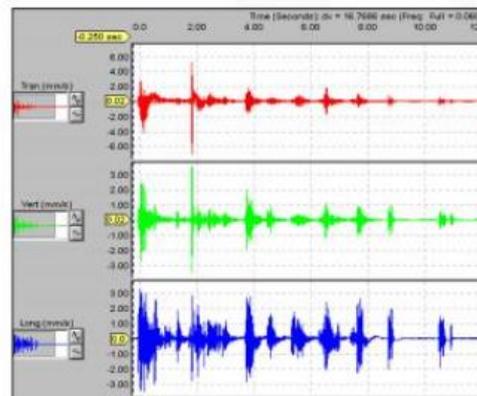
Limite inferior de frecuencia del sistema de medición, en Hz ($\pm 3dB$)	Nivel máximo en dB
0.1 Hz o respuesta baja - plana	pico de 134
2 Hz o respuesta baja - plana	pico de 133
6 Hz o respuesta baja - plana	pico de 129
Respuesta ponderada tipo C	pico dBC de 105

Guía Ambiental para la Perforación y Voladuras en Operaciones Mineras - 1995

NORMATIVA PARA ONDA AÉREA
(Criterio Bureau of Mines)

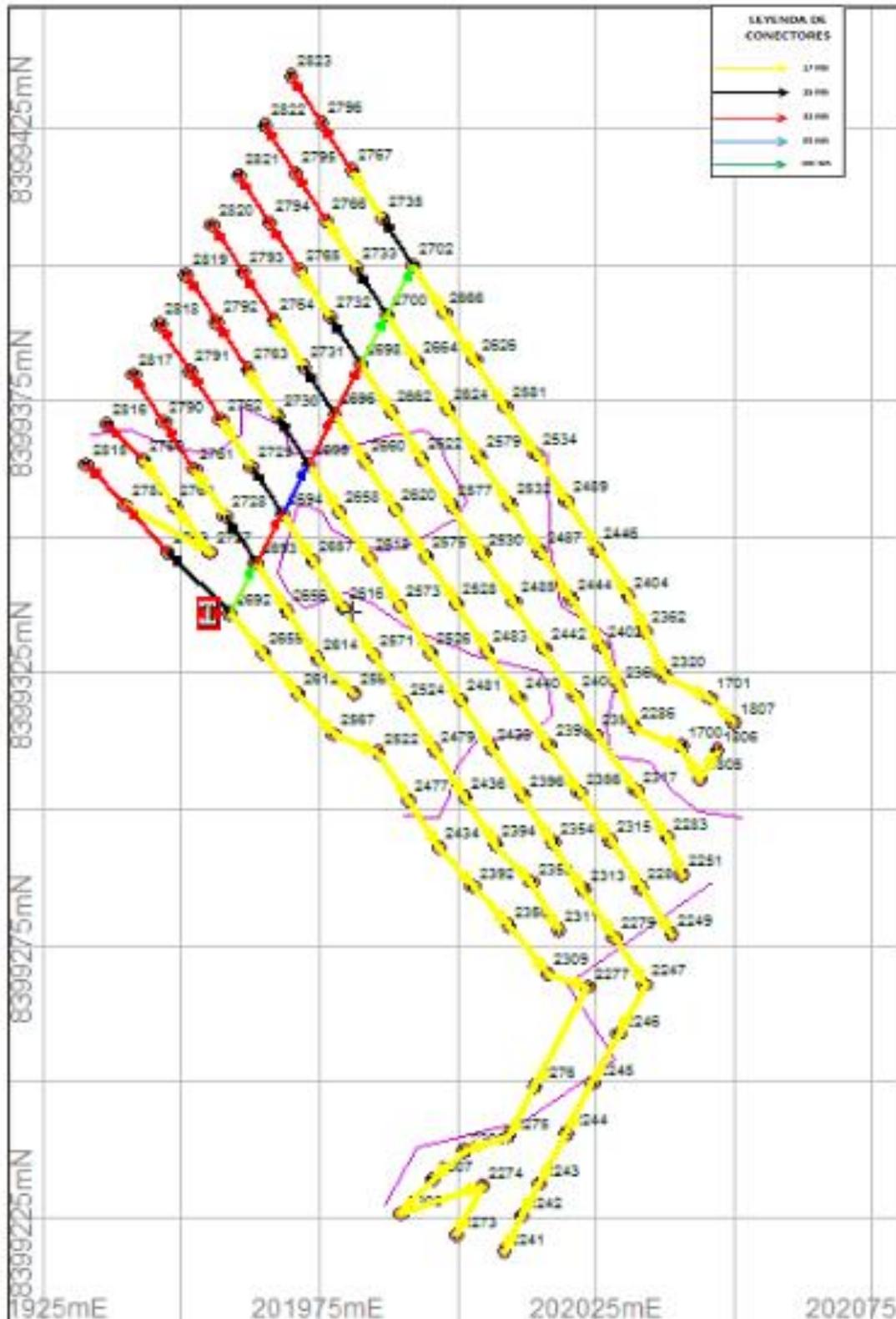
Medida	Lineal Pico (dB)
Nivel seguro	128
Nivel precaución	126 - 136
Limite permisible	136

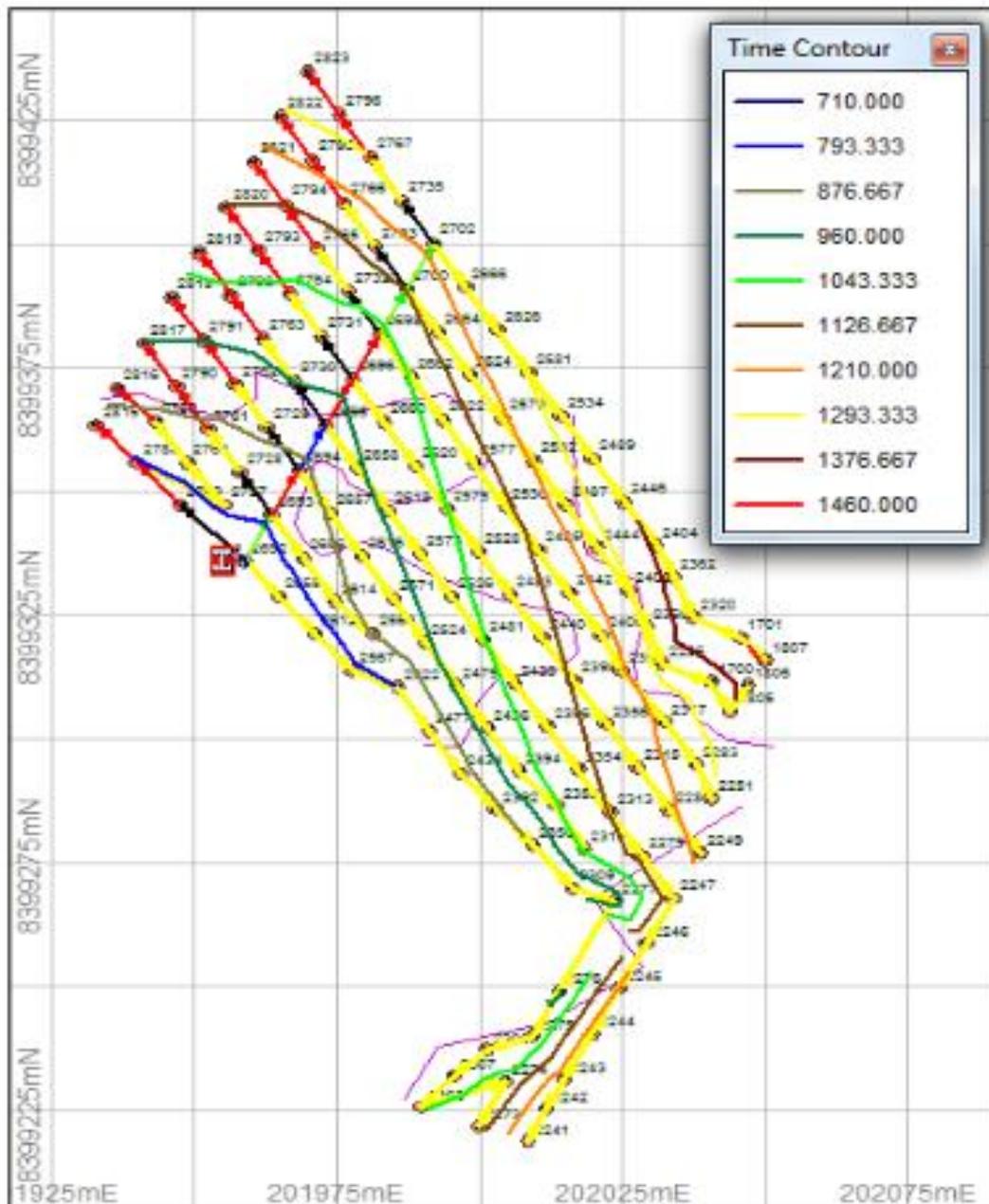
Norma Americana USBM

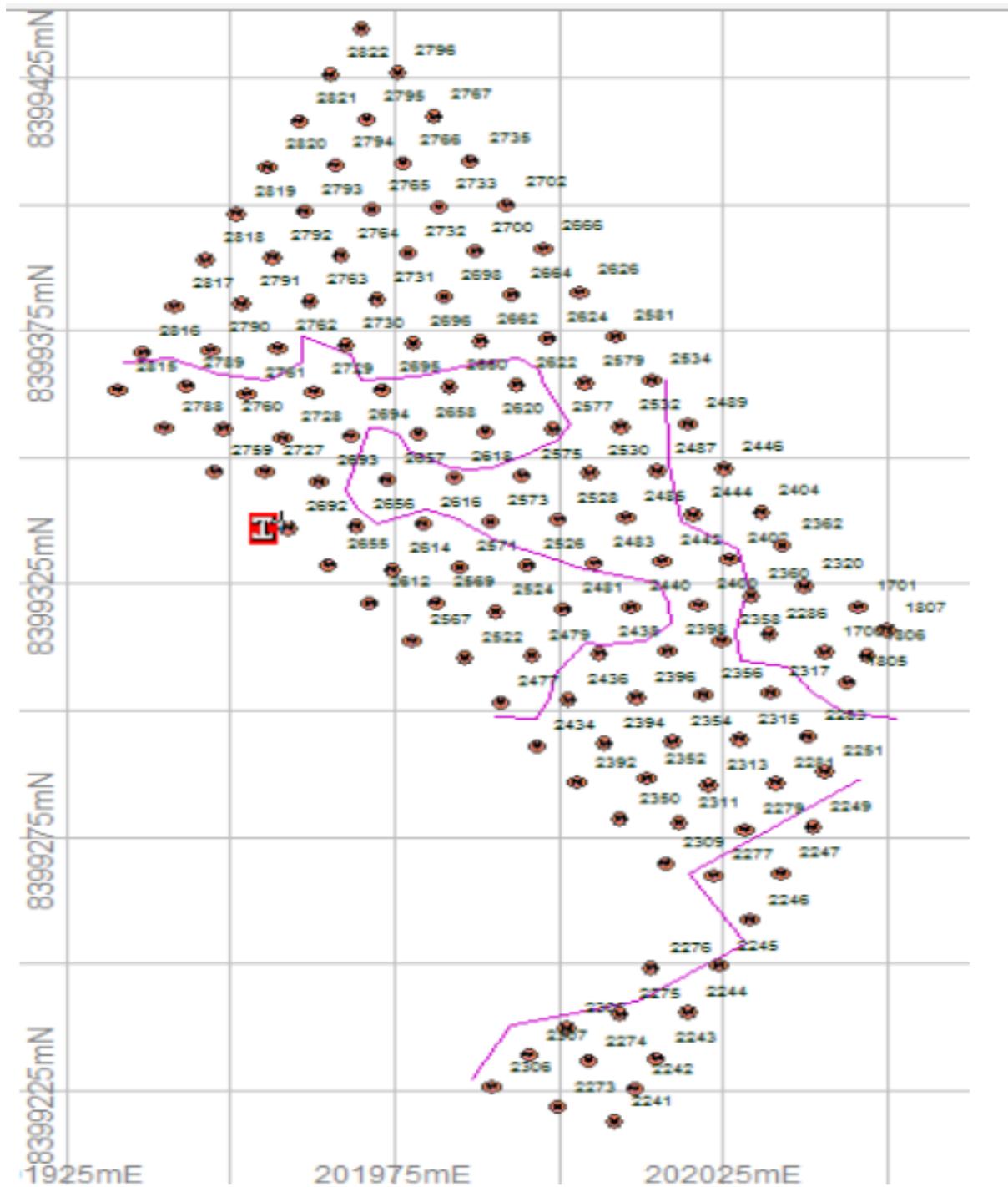


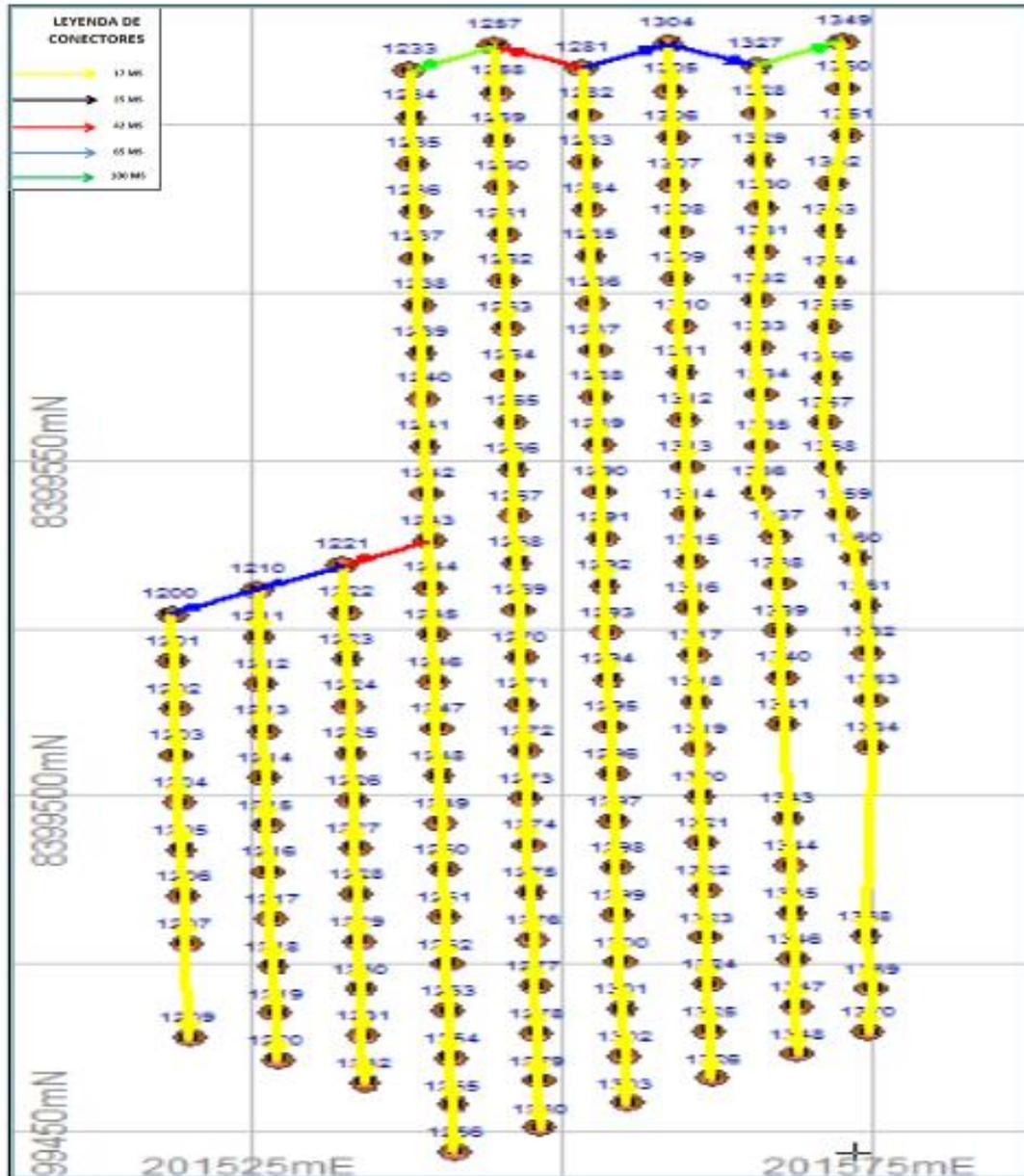
Anexo 05

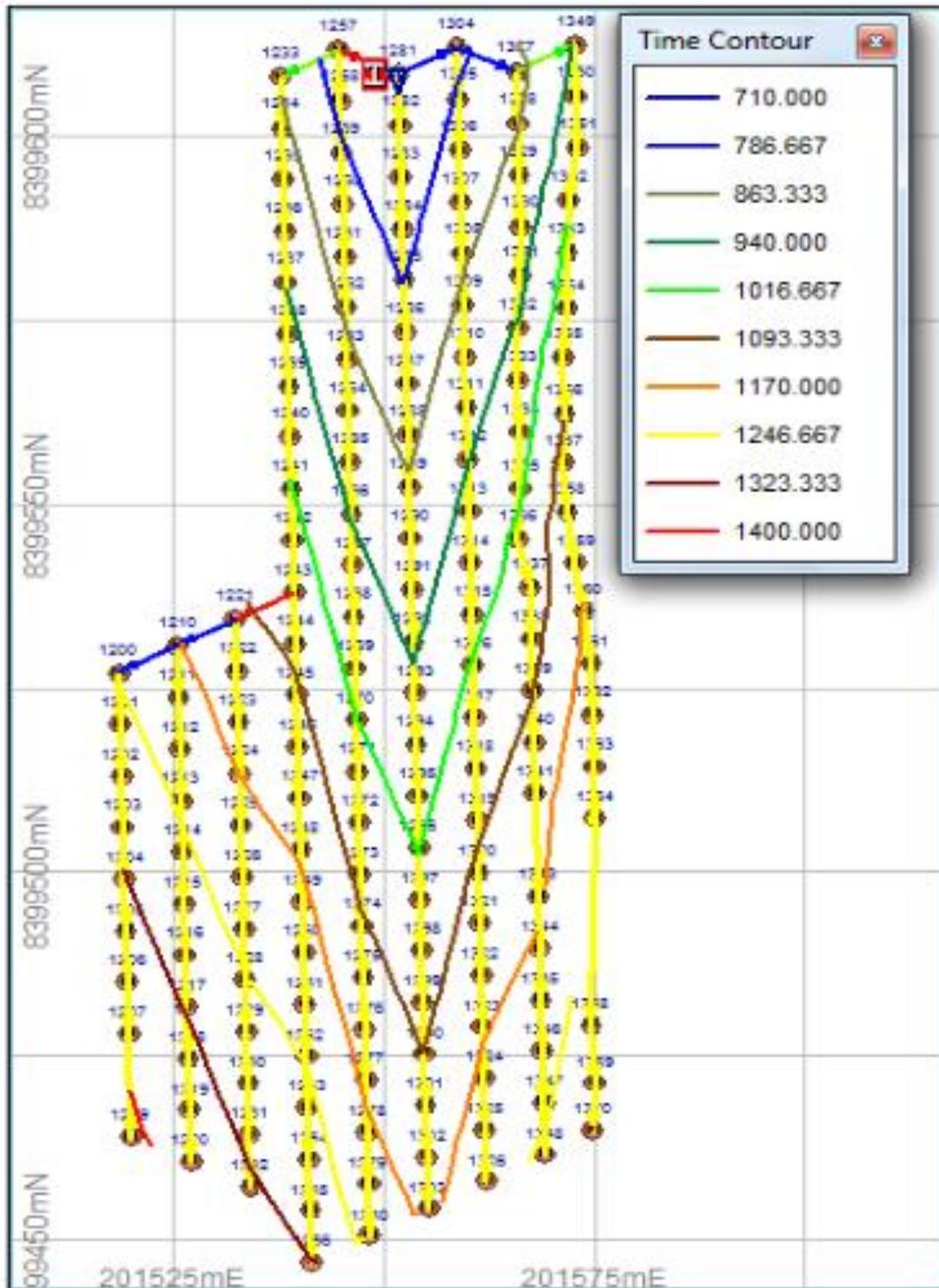
Anexo 5: Malla voladura





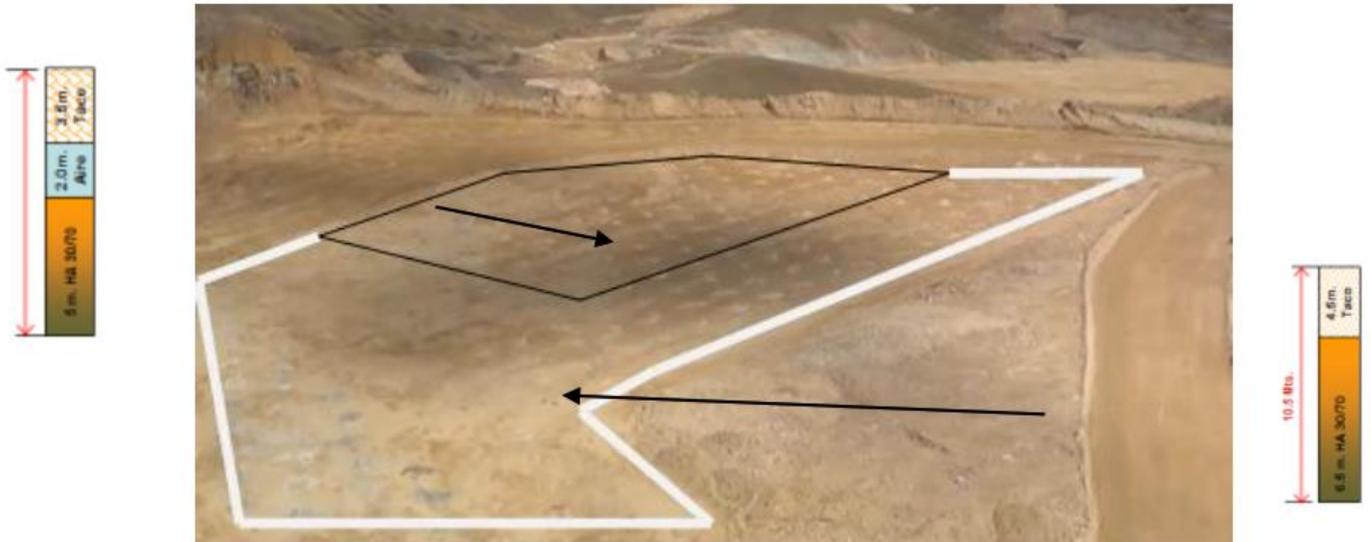






Anexo 06

Anexo 6: Voladura Tradicional Vs Air Deck



Anexo 07

Anexo 7: Bancos mina Hualgayoc





Anexo 08

Anexo 8: Lugar Volado en mina Hualgayoc









Anexo 09

Anexo 9: Material Desmorte Mina hualgayoc



Anexo 10

Anexo 10: Selección de tamaño y dureza de rocas





Anexo 11

Anexo 11: Tamizado de Rocas







Anexo 12

Anexo 12: Propiedades y densidad ANFO Enaex

Propiedades de Agentes de Tronadura				Enaex Soluciones en terreno					
PRODUCTO	Densidad (g/cc)	Velocidad de detonación (V.O.D.) (mis)	Presión de detonación (kbar)	Energía (kJ/kg)	Resistencia al agua	Diámetro mínimo recomendado (pulgadas)	Volumen de gases (l/kg)	Potencia relativa al ANFO (densidad = 0,78 g/cc)	
								en peso	en volumen
ANFOS en sacos (**)									
Premium	0,77 ± 3%	3.600 - 4.100	28	3,818	nula	1	1,050	1,00	0,96
2-H	0,78 ± 3%	3.700 - 4.100	30	3,743	nula	1 1/4	1,056	0,98	0,98
ANFEX - L	0,60 ± 5%	2.900 - 3.300	14	3,597	nula	2	1,060	0,95	0,73
AI-2	0,78 ± 3%	4.680 ± 5%	43	4,019	nula	2 1/2	1,032	1,04	1,04
AI-4	0,78 ± 3%	4.700 ± 5%	43	4,308	nula	2 1/2	1,004	1,10	1,10
AI-6	0,80 ± 3%	4.720 ± 5%	45	4,597	nula	2 1/2	976	1,16	1,19
AI-8	0,80 ± 3%	4.660 ± 5%	43	4,935	nula	2 1/2	941	1,23	1,26
AI-10	0,83 ± 3%	4.600 ± 5%	44	5,351	nula	2 1/2	896	1,31	1,39
ANFOS Grazeles									
ANFO	0,77 ± 3%	3,800 - 4,100	30	3,818	nula	2 1/2	1,050	1,00	1,00
ANFOS PESADOS VACIABLES									
Blendex 930	1,00 ± 5%	4,020 ± 5%	40	3,473	nula	4	1,076	0,93	1,19
Blendex 940	1,20 ± 5%	4,150 ± 5%	52	3,360	baja	5	1,085	0,91	1,39
Blendex 945	1,30 ± 5%	4,360 ± 5%	62	3,305	baja	5	1,089	0,89	1,49
Blendex 950	1,30 ± 5%	4,250 ± 5%	59	3,247	buena	5	1,094	0,88	1,47
Blendex 930 - AI 4	1,00 ± 5%	4,110 ± 5%	42	3,703	nula	4	1,055	0,98	1,25
Blendex 945 - AI 4	1,20 ± 5%	4,080 ± 5%	50	3,594	baja	5	1,064	0,95	1,47
Blendex BG	1,00 - 1,33	4,330 - 4,970	65	3,159	buena	4	1,074	0,86	1,32
ANFOS PESADOS BOMBEABLES									
Emultex BN 1600	1,32 ± 3%	3,800 - 4,040	51	3,019	buena	5 1/2	1,111	0,84	1,41
Emultex BG	1,00 - 1,33	4,220 - 4,760	61	2,935	buena	4 1/2	1,081	0,81	1,25
EMULSIONES BOMBEABLES DE PEQUEÑO DIAMETRO									
Emultex PDBG	1,15 ± 3%	3,600 - 4,000	42	2,877	buena	1 1/2	1,044	0,79	1,17
Emultex RS100D	1,15 ± 3%	4,000 - 5,000	60	2,847	buena	1 1/2	1,000	0,78	1,12
ACUAGELES									
Hidrex LD	0,5 ± 5%	2500	7,81	3027	buena	6	1006	0,8203	0,5327
	0,7 ± 5%	2900	14,72	3027	buena	6	1006	0,8203	0,7457
	0,9 ± 5%	3400	26,01	3027	buena	6	1006	0,8203	0,9588
Hidrex LDB	1,1 ± 5%	3500-4200	41	2636	buena	6	1027	0,74	1,04

6

(**) Nota: V.O.D. Depende del diámetro y grado de confinamiento del explosivo.

7

Anexo 13

Anexo 13: Densidades de Carga y diámetro Enaex

		Densidades de Carga de Explosivos y Agentes de Tronadura																	Enaex Soluciones en terreno
		Expresado en kg de explosivo por metro lineal de perforación.																	
		Densidad del Explosivo (gr/cc) ▶																	
Díametro de Perforación	in	mm	0,52	0,64	0,78	0,85	0,90	0,96	1,00	1,05	1,10	1,17	1,20	1,25	1,30	1,32	1,33	1,34	1,35
	1	25	0,26	0,32	0,40	0,43	0,46	0,49	0,51		0,53	0,56	0,59	0,61	0,63	0,66	0,67	0,67	0,68
1 1/2	38	0,59	0,73	0,89	0,97	1,03	1,09	1,14		1,20	1,25	1,33	1,37	1,43	1,48	1,50	1,52	1,53	1,54
1 3/4	44	0,81	0,99	1,21	1,32	1,40	1,49	1,55		1,63	1,71	1,82	1,86	1,94	2,02	2,05	2,06	2,08	2,09
2	51	1,05	1,30	1,58	1,72	1,82	1,95	2,03		2,13	2,23	2,37	2,43	2,53	2,63	2,68	2,70	2,72	2,74
2 1/2	64	1,65	2,03	2,47	2,69	2,85	3,04	3,17		3,33	3,48	3,71	3,80	3,96	4,12	4,18	4,21	4,24	4,28
3	76	2,37	2,92	3,56	3,88	4,10	4,38	4,56		4,79	5,02	5,34	5,47	5,70	5,93	6,02	6,07	6,11	6,16
3 1/2	89	3,23	3,97	4,84	5,28	5,59	5,96	6,21		6,52	6,83	7,26	7,45	7,76	8,07	8,19	8,26	8,32	8,38
4	102	4,22	5,19	6,32	6,89	7,30	7,78	8,11		8,51	8,92	9,49	9,73	10,13	10,54	10,70	10,78	10,86	10,94
4 1/2	114	5,34	6,57	8,00	8,72	9,23	9,85	10,26		10,77	11,29	12,01	12,31	12,83	13,34	13,54	13,65	13,75	13,85
5	127	6,59	8,11	9,88	10,77	11,40	12,16	12,67		13,30	13,93	14,82	15,20	15,83	16,47	16,72	16,85	16,97	17,10
5 1/2	140	7,97	9,81	11,96	13,03	13,80	14,71	15,33		16,09	16,86	17,93	18,39	19,16	19,93	20,23	20,39	20,54	20,69
6	152	9,49	11,67	14,23	15,51	16,42	17,51	18,24		19,15	20,07	21,34	21,89	22,80	23,71	24,08	24,26	24,44	24,63
6 1/2	165	11,13	13,70	16,70	18,20	19,27	20,55	21,41		22,48	23,55	25,05	25,69	26,76	27,83	28,26	28,47	28,69	28,90
7	178	12,91	15,89	19,37	21,10	22,35	23,84	24,83		26,07	27,31	29,05	29,79	31,04	32,28	32,77	33,02	33,27	33,52
7 1/2	191	14,82	18,24	22,23	24,23	25,65	27,36	28,50		29,93	31,35	33,35	34,20	35,63	37,05	37,62	37,91	38,19	38,48
8	203	16,86	20,75	25,29	27,56	29,19	31,13	32,43		34,05	35,67	37,94	38,92	40,54	42,16	42,81	43,13	43,46	43,78
9	229	21,34	26,27	32,01	34,89	36,94	39,40	41,04		43,10	45,15	48,02	49,25	51,30	53,36	54,18	54,59	55,00	55,41
9 7/8	251	25,69	31,62	38,54	42,00	44,47	47,44	49,41		51,88	54,35	57,81	59,29	61,76	64,24	65,22	65,72	66,21	66,71
10 5/8	270	29,75	36,61	44,62	48,62	51,48	54,91	57,20		60,06	62,92	66,93	68,64	71,50	74,36	75,51	76,08	76,65	77,22
11	279	31,88	39,24	47,82	52,11	55,18	58,86	61,31		64,38	67,44	71,73	73,57	76,64	79,71	80,93	81,54	82,16	82,77
12 1/4	311	39,54	48,66	59,31	64,63	68,43	73,00	76,04		79,84	83,64	88,96	91,25	95,05	98,85	100,37	101,13	101,89	102,65
15	381	59,28	72,97	88,93	96,91	102,61	109,45	114,01		119,71	125,41	133,39	136,81	142,51	148,21	150,49	151,63	152,77	153,91