"AÑO DE LA INVERSIÓN PARA EL DESARROLLO RURAL Y LA SEGURIDAD ALIMENTARIA"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creada por Ley Nº 25265)

FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS - CIVIL

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE MINAS

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA · WANKA WILLKA · PERU ·

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA Facultad de Ingeniería de Minas Civil DECANO LIRCAY

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA SECRETARIO DOCENTE LIRCAY

TESIS

VOLADURA CON SISTEMA DE INICIACIÓN MIXTO ELÉCTRICO Y NO ELÉCTRICO EN LA PROFUNDIZACIÓN DEL PIQUE Nº 2, MINA TERESITA, UNIDAD DE PRODUCCIÓN RECUPERADA DE LA CÍA. DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO DE MINAS

PRESENTADO POR:

Bach. POMAYLLE QUILCA, Joel

Bach. VASQUEZ PAQUIYAURI, Melanio

ASESOR

Dr. JOSÉ LUIS GAVE CHAGUA

HUANCAVELICA - PERÚ

2013

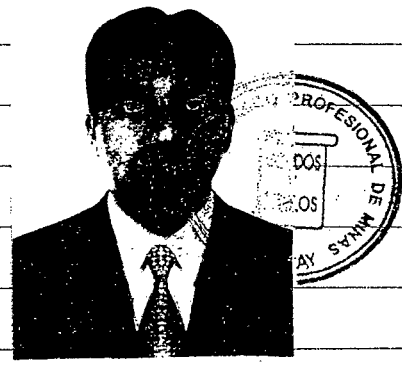
UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
SECRETARIA GENERAL

109

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS DE LOS BACHILLERES

QUEZ PONIVAURI, MELONIO

POMAYLLE QUILCA, JOEL



A LA CIUDAD DE LIRCAY, EN EL PARANINFO DEL CAMPUS UNIVERSITARIO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS - CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA, DEL DIA 05 DE NOVIEMBRE DEL 2013, SIENDO HORAS 4:00 P.M, LOS MIEMBROS DEL JURADO CALIFICADOR CONFORMADO POR EL ING. FREDDY PARESAS RODRIGUEZ (PRESIDENTE), ING. AMADEO ENRIQUEZ DONAIRES (SECRETARIO), ING. RAUL PERCY CONTO CARLOS (VOCAL), EL PRESIDENTE DESPUES DE LA LECTURA DE LA RESOLUCION DE DECANATO DE FACULTAD Nº 270 - 2013 - FIMC-UNH, AUTORIZA LA SUSTENTACION DE LOS TESISTAS, DENOMINADO "VOLADURA CON SISTEMA DE INICIACION MIXTO ELECTRICO Y NO ELECTRICO PARA PROFUNDIZACION DEL PIQUE Nº 2, MINA TERESITA, UNIDAD DE PRODUCCION RECUPERADA DE LA EX CIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A" DANDOLES UNA DURACION DE 25 MINUTOS, LUEGO DE LA SUSTENTACION DE LA TESIS, SE PASA A LA RONDA DE PREGUNTAS POR LOS JURADOS, LAS CUALES FUERON ABSUELTAS POR LOS SUSTENTANTES DE LA TESIS, SEGUIDAMENTE EL PRESIDENTE DEL JURADO INVITA A LOS SUSTENTANTES Y PUBLICO EN GENERAL ABANDONAR LOS INSTALACIONES DEL PARANINFO Y DE QUE EL JURADO CALIFICADOR DELIBERE LOS RESULTADOS EN PRIVADO.

LUEGO CULMINADO LO INDICADO, EL PRESIDENTE DEL JURADO INVITA A LOS SUSTENTANTES AL PUBLICO EN GENERAL A RETORNAR AL PARANINFO PARA COMUNICAR LA CALIFICACION OTORGADO APROBADO POR UNANIMIDAD, DE ESTA MANERA SE DA POR CONCLUIDA LA SUSTENTACION A LAS 5.25 P.M FIRMANDO AL PIE EN SEÑAL DE CONFORMIDAD.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA
SEDE LIRCAY
CERTIFICO: QUE LA PRESENTE ES COPIA FIEL DE LA ORIGINAL QUE TENGO A LA VISTA
Ing. ZOSIMO NAHUI GASPAR
(e) FEDATARIO
19 NOV 2013

FREDDY PARESAS RODRIGUEZ
(PRESIDENTE)

ING. AMADEO ENRIQUEZ DONAIRES
(SECRETARIO)

ING. RAUL PERCY CONTO CARLOS
(VOCAL)

UNIVERSAL

DEDICATORIA.

A Dios y a nuestros padres, Alejandro y Faustina, Raúl y Alejandra.

Porque son nuestra fortaleza, luz y lumbrera en nuestra formación personal y profesional.

107

AGRADECIMIENTO.

A nuestra Alma Mater La Universidad Nacional de Huancavelica, por brindarnos los conocimientos primordiales para un buen desempeño profesional en el campo de la Ingeniería de Minas. También agradecer a los profesionales que desempeñan la docencia en esta casa de estudios, a ellos nuestro reconocimiento.

A la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – U.P. Recuperada, quien nos dio la oportunidad de desenvolvernos profesionalmente y sin la ayuda brindada no hubiera sido posible el presente trabajo. También a la Empresa Especializada JCB Contratistas S.R.L. quien brindó el apoyo técnico para la realización del presente trabajo.

Nuestro más sincero agradecimiento al Dr. José Luis Gave Chagua, por su orientación para el desarrollo de la presente tesis.

ÍNDICE

Pág.

DEDICATORIA. ii
AGRADECIMIENTO iii
ÍNDICE iv
RESUMEN. ix
ABSTRAC. x
INTRODUCCIÓN xi
CAPÍTULO I: PROBLEMA. 13
1.1. Planteamiento del problema. 13
1.2. Formulación del problema. 15
1.2.1. Problema general: 15
1.2.2. Problemas específicos: 15
1.3. Objetivos, general y específicos 15
1.3.1. Objetivo general. 15
1.3.2. Objetivos específicos. 15
1.4. Justificación: 16
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO. 17
2.1. Antecedentes. 17
2.2. Bases teóricas 18
2.2.1. Aspectos Generales de la Mina Teresita. 18
2.2.2. Piques 19
2.2.3. Profundización del Pique N° 2 31
2.2.4. Sistema de iniciación para voladuras en minería. 43
2.3. Hipótesis: 62
2.3.1. Hipótesis general 62
2.3.2. Hipótesis específicas 62
2.4. Definición de términos: 62

2.5. Identificación de variables: 69
2.5.1. Variable independiente: 69
2.5.2. Variable dependiente: 69
2.6. Alcances y Limitaciones: 69
2.6.1. Alcances: 69
2.6.2. Limitaciones: 70
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 71
3.1. Ámbito de estudio: 71
3.2. Tipo de investigación: 71
3.3. Nivel de investigación: 71
3.4. Método de investigación 71
3.5. Diseño de investigación. 71
3.6. Población, muestra y muestreo. 71
3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos. 72
3.8. Procedimientos de recolección de datos: 72
3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos: 72
CAPÍTULO IV: RESULTADOS. 73
4.1. Presentación de resultados. 73
4.1.1. Resultados del avance en la profundización del pique N° 2 - Mina Teresita.. 73
4.1.2. Resultados de indicadores de voladura en la profundización del pique N° 2 - Mina Teresita 75
4.1.3. Resultados de los costos de perforación, voladura y extracción en la profundización del pique N° 2 - Mina Teresita 77
4.1.4. Resultados de la gestión de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en la profundización del pique N° 2 Mina Teresita 78
4.2. Discusión. 79
4.2.1. Avance de la profundización del pique 79
4.2.2. Indicadores de voladura de la profundización del pique. 79
4.2.3. Costos de perforación, voladura y extracción de la profundización del pique. 80

4.2.4. Gestión de la seguridad y salud en el trabajo del avance de la profundización del pique. 81
4.3. Prueba de Hipótesis 81
CONCLUSIONES. 84
RECOMENDACIONES. 86
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 88
ANEXOS 90

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Plano de ubicación de la Mina Teresita 18
Figura 2. Pique rectangular de tres Compartimientos 22
Figura 3.Diseño de pique circular con sus respectivos compartimientos 23
Figura 4. Método de profundización por banqueo o Grada 24
Figura 5. Método de profundización en Espiral 25
Figura 6.Malla de perforación para pique circular de 9m de diametro, método de sección completa. 26
Figura 7.Malla de perforación para pique rectangular, método de sección completa. 26
Figura 8. Sistema de Izaje en Pique 31
Figura 9. Proyecto de Profundización del Pique N° 2-Mina Teresita a partir del Nv. 4040 32
Figura 10. Dimensiones del pique N° 02 34
Figura 11. Mapeo geomecánico-vista en planta a los 71.08 metros de profundización respecto al Nv. 4040. 35
Figura 12. Sección Perfil Geomecáncico del pique N° 2 desde el Nv. 4040 hasta el Nv. 3975 35
Figura 13.Clasificacion geomecánica de UP. Recuperada 35
Figura 14. Cronograma de profundización del pique N° 02-Mina Teresita a partir del nivel 4040. 36

Figura 15. Malla de perforación para voladura con sistema de iniciación convencional.... 37
Figura 16. Vista longitudinal de la malla de perforación para voladura con sistema de iniciación convencional..... 38
Figura 17. Malla de perforación para voladura con sistema de iniciación mixto..... 38
Figura 18.Vista longitudinal de la malla de perforación para voladura con sistema de iniciación mixto. 39
Figura 19.Malla de perforación del pique, sistema de iniciación convencional..... 40
Figura 20. Malla de pique de sección rectangular con numeración de secuencia de salida. 41
Figura 21. Secuencia de salida de los faneles según N° de retardo..... 41
Figura 22. Sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico..... 42
Figura 23. Detalles del cuadro vista en planta para verificar alineamiento. 43
Figura 24. Funcionalidad y diferencias básicas entre un detonador Nonel, eléctrico y electrónico..... 44
Figura 25. Fulminante N° 08..... 46
Figura 26. Conexión de la Mecha Rápida al Conector..... 47
Figura 27. Características del Detonador Nonel..... 50
Figura 28. Partes de sistema de tubo de choque 50
Figura 29. Composición del cordón detonante 51
Figura 30. Fulminante eléctrico instantáneo y fulminante eléctrico de retardo 53
Figura 31. Medición de los detonadores eléctricos mediante el ohmímetro de voladura... 57
Figura 32. Cebo con terminal trenzado detonador eléctrico. 58
Figura 33. Corto circuito entre terminales del primer y último detonador..... 59
Figura 34. Procedimiento correcto si hay falla en la mitad de circuito..... 60
Figura 35. Accionar el explosor 61
Figura 36. Cantidad de incidentes ocurridos por mes en el pique N° 2 –Mina Teresita, sistema de iniciación mixto (abril-junio) vs sistema convencional (enero-marzo)..... 78
Figura 37.Índice de accidentabilidad por mes enero-junio..... 78
Figura 38.Región de rechazo (rojo)..... 83

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de izaje 33

Tabla 2. Características del winche, polea y cable de izaje 33

Tabla 3. Distribución de cargas para el sistema de iniciación convencional 39

Tabla 4. Distribución de cargas para el sistema de iniciación mixto 40

Tabla 5.Aplicaciones del cordón detonante 51

Tabla 6.Indicadores y variables obtenidas con perforación en pique, sistema de iniciación mixto. 73

Tabla 7.Avance de profundización por disparo, sistema de iniciación mixto. 74

Tabla 8.Indicadores y variables obtenidas con perforación en pique, sistema de iniciación convencional. 74

Tabla 9.Avance de profundización por disparo, sistema de iniciación convencional. 75

Tabla 10.Obtención de medias cañas, sistema de iniciación mixto. 75

Tabla 11. Sobre quiebre, sistema de iniciación convencional. 76

Tabla 12. Sobrequiebre, sistema de iniciación Mixto. 76

Tabla 13.Comparación de tiempo total (guardias) de limpieza de carga, sistema de iniciación mixto vs sistema convencional. 76

Tabla 14. Extracción de carga en número de skips por disparo, sistema de iniciación convencional. 77

Tabla 15. Extracción de carga en número de skips por disparo, sistema de iniciación Mixto. 77

Tabla 16.Costos por metro lineal, sistema de iniciación mixto vs sistema convencional... 77

Tabla 17.Simulación de resultados para 112 m según el programa del proyecto de profundización del pique N° 2 – mina Teresita. 79

Tabla 18.Simulación de costos, resultados para 112 m según el programa del proyecto de profundización del pique N° 2 – mina Teresita. 80

Tabla 19. Datos para el análisis de la prueba de hipótesis 82

RESUMEN.

La voladura representa una de las operaciones unitarias de mayor relevancia en la operación de profundización de piques. Su objetivo final es lograr un avance óptimo de profundización por disparo, de tal modo que haga mínimo el costo combinado de las operaciones de perforación, voladura, extracción y sostenimiento, produciendo a la vez el menor daño posible en el contorno del pique.
El alto grado de influencia de los resultados de la voladura, en los restantes procesos del ciclo operacional, hace evidente la necesidad de contar con la experiencia e innovación que permitan evaluar y posteriormente optimizar esta operación unitaria.

En el presente trabajo de investigación veremos como el empleo de Sistema Mixto de Iniciación Eléctrico y No Eléctrico en voladuras de sección completa en profundización de piques ciegos convencionales es un factor influyente para obtener resultados significativos de voladura.

El objetivo principal del presente trabajo de investigación fue evaluar la aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional en el avance de la profundización del pique N°2 de la mina Teresita. Se toma como población a los piques en profundización de la U.P. Recuperada – Cía. de minas Buenaventura S.A.A., como muestra de investigación al pique N°2 de la mina Teresita, la recolección de datos se realizó mediante observación directa de la muestra, el nivel de investigación es descriptivo-explicativo.

El avance efectivo obtenido tras la aplicación del sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica muestra un incremento del 32% por disparo respecto al avance con el empleo del sistema convencional, además los costos generados en forma global de perforación, voladura y extracción disminuyeron en 14.5% por metro lineal.

Los autores.

L0D

ABSTRAC.

Blasting represents one of the unit operations of greatest relevance in the operation of deepening of shafts. Its ultimate goal is to achieve optimal progress of deepening per shot, in such a way that the combined cost of drilling, blasting, extraction, and maintenance operations, make minimum while producing the least possible damage in the outline of pique. The high degree of influence of the results of the blast, in the remaining processes of the operational cycle, makes evident the need for experience and innovation enabling to assess and subsequently optimize this unitary operation.

In this research work, we'll see how the use of system joint initiation electric and non-electric blasting of complete section on deepening of conventional blind piques is an influential factor for significant results of blasting.

The main objective of this research work was to assess the application of the blasting with joint initiation system electric and non-electric conventional system in advance of the deepening of the pique N° 2 of mine Teresita. It is taken as population to the sprints in deepening of U.P. Recuperada - Cia. De Minas Buenaventura S.A.A., as a sign of research to pique N° 2 mina Teresita, data collection was performed by direct observation of the sample, the research design is descriptive - explanatory.

Cash advance obtained after the application of the mixed system from initiation electrical and non-electrical sign an increase of 32% by shot on progress with the use of the conventional system, also costs generated in global form of drilling, blasting and extraction decreased by 14.5% per linear metre.

the authors.

INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo titulado Voladura con Sistema de Iniciación Mixto Eléctrico y no Eléctrico en la Profundización del pique N° 2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. tiene como fin proporcionar las ventajas de aplicar un sistema de iniciación diferente al sistema de iniciación tradicional aplicado para voladuras en piques cuya profundización es convencional, considerando el avance de la profundización, resultados de voladura, costos de perforación, costos de voladura, costos de extracción y la gestión de la seguridad y salud en el trabajo.

El presente trabajo de investigación consta de cuatro capítulos como se detalla a continuación:

En el Capítulo I, se presenta el planteamiento del problema, formulación del problema, los objetivos de estudio y la justificación.

En el Capítulo II, se presenta el marco teórico donde se detallan los antecedentes, bases teóricas referentes a los aspectos generales de la Mina Teresita, teoría de piques, profundización del pique N°2 y sistemas de iniciación para voladura en minería; también se tratan las hipótesis, definición de términos, y culminando con la identificación y definición de las variables.

En el Capítulo III, se presenta la metodología de la investigación, en el cual se detalla el tipo, nivel, método y diseño de investigación, además de las técnicas e instrumentos de recolección, procedimiento de recolección y análisis de datos.

En el Capítulo IV, se presentan los resultados de la aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico y como caso base se presentan los resultados del sistema de iniciación convencional siguiendo los objetivos perseguidos en este trabajo; para su posterior discusión comparando ambos sistemas de iniciación

para voladuras en piques. Culminado en la presentación de los procedimientos de la prueba de hipótesis.

Se finaliza el presente trabajo de investigación con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I: PROBLEMA.

1.1. Planteamiento del problema.

Un factor fundamental dentro del campo de la voladura en profundización de piques es su correcta ejecución, calidad del acabado del pique y el avance óptimo de profundización, que tiene un papel determinante en el resto de las operaciones. Los defectos que se pueden provocar en el macizo rocoso implican una serie de costos posteriores en la operación que pueden verse reducidos si el pique se vuela correctamente.

Cuando un explosivo contenido en un taladro detona, se produce en una primera instancia una onda de detonación que origina pequeñas fisuras radiales alrededor de ese taladro. Esa onda de detonación viaja por la roca, en el entorno del taladro, en forma de onda de compresión. Si la misma alcanza una cara libre, se producirá en la misma una reflexión, transformándose entonces en una onda de tracción que actuará sobre esa superficie libre, generando fisuras en la misma si se supera la resistencia a tracción de la roca. Es decir, mientras las fisuras en el entorno del taladro las producimos mediante un efecto de compresión, las generadas en la cara libre lo serán por un efecto de tracción. En una segunda etapa, los gases procedentes de la detonación ejercerán un efecto de cuña, a alta presión y temperatura, al penetrar por las fisuras generadas en la primera etapa acabando de producir la rotura y proyección de la roca.

Para la obtención de una voladura óptima, se pretende la detonación simultánea de taladros muy próximos en cada secuencia de salida establecida, produciéndose la suma de esfuerzos generados en el plano que forman y dando lugar a grietas en ese plano que llegan a unirse de taladro a taladro.

La detonación simultánea de los taladros es un factor determinante en la calidad de los resultados.

Con el empleo del sistema convencional de iniciación (detonador ensamblado – mecha rápida) es muy difícil conseguir esa simultaneidad exacta en la detonación por cada secuencia de salida, ya que la dispersión por metro en la mecha lenta está en

aproximadamente +/- 5 s/m y es probable que algunos taladros no sigan la secuencia y se adelanten si es que no se tiene en cuenta la longitud mínima de mecha rápida entre secuencias de encendido; además de muchas fallas que ocurren con este sistema desde el momento de su ejecución hasta el mismo resultado de la voladura como: el encendido, tiros cortados, tiros no iniciados, tiros soplados, etcétera, comprometiendo la seguridad del personal. Se deduce también que un contorno deficiente tras la voladura del pique aumenta la necesidad de dedicar mayor tiempo a las operaciones de desatado de rocas, sostenimiento y limpieza después de la voladura, lo que se traduce en un alargamiento temporal de los ciclos de profundización y, por tanto, en una disminución de la productividad de las operaciones.

Los piques son proyectos de gran importancia para desarrollar nuevas labores de producción, esto se traduce en la continuidad de la vida de una mina subterránea que depende de los piques para la extracción ininterrumpida de mineral y búsqueda de zonas con potencial de mineralización económicamente rentable.

De todo lo anterior es necesario entonces buscar un sistema de iniciación adecuado para la voladura en profundización de piques. Considerando las razones expuestas la Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. – U.P. Recuperada, en la profundización de sus piques, optó cambiar el sistema de iniciación convencional (detonador ensamblado – mecha rápida) por un sistema de iniciación mixto eléctrico (detonador eléctrico – explosor) y no eléctrico (nonel – cordón detonante) para piques, cuya metodología de profundización es la siguiente:

- Profundización convencional, no se usa ningún equipo especial, limpieza con lampas y picos.
- Piques rectangulares con diseño de doble o triple compartimiento.
- Ejecución del método de sección completa para perforación y voladura.

En el presente trabajo de investigación veremos cómo influye esta aplicación en el avance de la profundización de piques rectangulares con diseño de triple compartimiento, además veremos cómo el resultado de esta aplicación influye en los aspectos de voladura, costos y seguridad tomando como muestra la profundización del pique N° 2 de la mina Teresita de la U.P. de Recuperada.

1.2. Formulación del problema.

1.2.1. Problema general:

¿En qué medida la aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional, influirá en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cómo contribuye el sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la no generación de sobre rotura y el perfilado del contorno en la profundización del pique N° 02?
- ¿Cómo es el impacto del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en los costos de las operaciones unitarias de perforación, voladura y extracción en la profundización del pique N° 02?
- ¿Cómo influye la aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de la profundización del pique N° 02?

1.3. Objetivos, general y específicos.

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar la aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Analizar los resultados de voladura en la no generación de sobre rotura y el perfilado del contorno en la profundización del pique N° 02 tras la aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico.
- Analizar los costos de las operaciones unitarias de perforación, voladura y extracción tras la aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la profundización del pique N° 02.

- Evaluar el sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de profundización del pique N° 02.

1.4. Justificación:

En la actualidad la U.P. Recuperada de la Cía. De Minas Buenaventura depende de su sistema de extracción mediante piques, y a medida que transcurren los años y ve que sus reservas minerales van quedando cada vez más profundas y necesita seguir extrayendo mineral al ritmo habitual, se ve en la necesidad de aligerar el avance de la profundización de sus piques, es aquí donde la importancia de la voladura tiene un papel preponderante y este a la vez depende mucho del sistema de iniciación que se está utilizando.

Generalmente en las voladuras de profundización de piques el sistema de iniciación más utilizado es el tradicional que consta de mecha rápida y un detonador ensamblado.

El empleo del sistema tradicional presenta una limitación en la secuencia de encendido produciéndose un bajo rendimiento en el avance de la profundización del pique en rocas del tipo I y II.

Precisamente por causa de la limitación anteriormente descrita se decide modificar el sistema de iniciación tradicional al sistema de iniciación mixto eléctrico (detonador eléctrico – explosor) y no eléctrico (nonel – cordón detonante) por brindar una cooperación simultánea de cargas al momento de la detonación según la secuencia de encendido, obteniéndose un rendimiento significativo en el avance de la profundización del pique.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. Antecedentes.

Explorando la bibliografía e informaciones de origen nacional se ha podido determinar que no existen trabajos respecto a la aplicación del Sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico netamente en la profundización de piques, pero ésta aplicación está extendida desde hace muchos años en lo que es minería con explotación superficial.

Se encontró trabajos afines que podemos utilizar como guía para el desarrollo de la presente investigación.

EXSA SA. (2011). *INFORME TÉCNICO: PRUEBAS CON EMULSIONES PLASTIFICADAS EMULEX 80 Y 65 Y DETONADOR NO ELÉCTRICO DE 2.4m.* UP. Julcani - CÍA Buenaventura SAA.

Este trabajo de informe de prueba de la asistencia técnica de la empresa EXSA SAC. Para la U.P. Julcani de la Cía. de Minas Buenaventura demuestra las ventajas técnico-económicas a lograr, con el uso de emulsiones plastificadas EMULEX 80 y 65 y accesorios EXSANEL 2.4m en los frentes designados (sistema de iniciación no eléctrica).

Fidel torres, M. B. (2011). *APLICACIÓN SISTEMA ELECTRÓNICO eDev TM EN VOLADURAS DE AVANCE SUBTERRÁNEO - MINERA SUYAMARCA.* Lima – Perú – Perumín 2011.

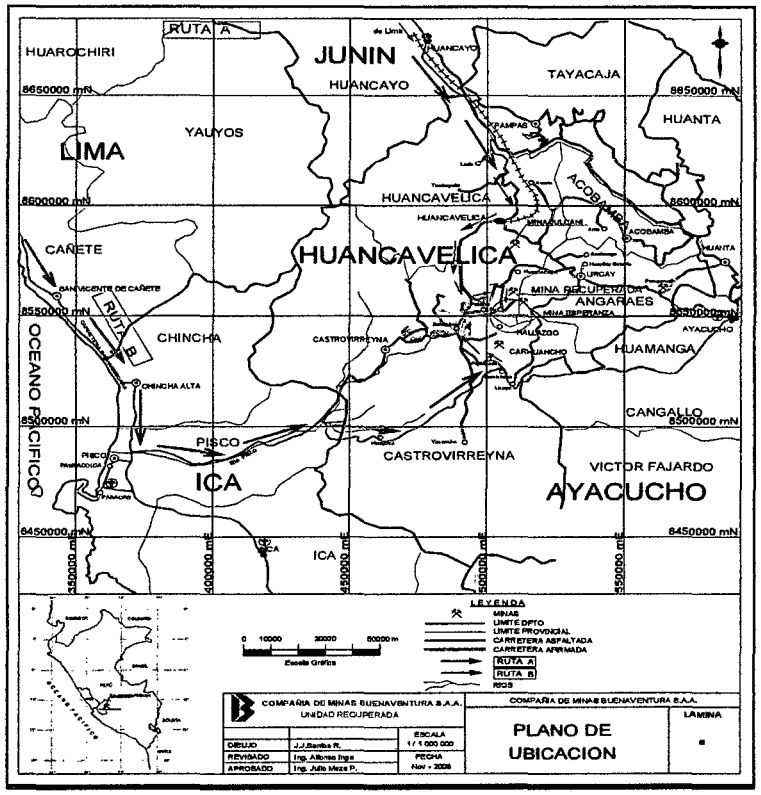
Este trabajo de aplicación presentado en el PERUMíN 2011 muestra como la combinación del sistema de iniciación electrónica y el sistema no eléctrico (nonel – cordón detonante) favorece significativamente en el ahorro sustancial de las operaciones en túneles mediante la obtención de una voladura de contorno óptima y fragmentación óptima.

2.2. Bases teóricas.

2.2.1. Aspectos Generales de la Mina Teresita.

La Mina Teresita de la Unidad de Producción Recuperada - Compañía de Minas Buenaventura S.A.A. se encuentra ubicada políticamente en el distrito de Huachocolpa, Provincia y Departamento de Huancavelica a una altitud de 4370 msnm.

Figura 1. Plano de ubicación de la Mina Teresita



Fuente. Área Geología – UP. Recuperada

La explotación del yacimiento de la Mina Teresita es mediante el sistema de minado subterráneo empleando el método de explotación de corte y relleno ascendente convencional con yacimientos del tipo filoniano o ramificados.

El recurso minero trabajado hasta la actualidad son mayormente polimetálicas (Pb, Zn, Cu), pero las hay también argentíferas y auríferas.

La mina Teresita cuenta con los siguientes niveles operativos:

Nv. 4460

Nv. 4370

Nv. 4150

Nv. 4100

Nv. 4040

Nv. 3980 en desarrollo.

El ingreso a la Mina Teresita se da por el nivel 4 370, se tienen tres piques: Pique N°1 (sirve de ventilación), Pique N°2 y Pique N°3 (cumplen el propósito de extracción de mineral y desmonte, además del traslado de personal, equipos, máquinas, materiales, etcétera).

Para descender a los diferentes niveles de explotación de la mina teresita se usan los Piques N°3 y N°2 que son los extremos del yacimiento en explotación de la mina teresita.

El pique N° 03 se encuentra profundizado hasta el Nv. 3920, y el pique N° 2 está en proceso de profundización desde el Nv. 4012 hasta el Nv. 3900, hasta el 30 de Julio del presente año se encuentra profundizado hasta el Nv. 3965.

Actualmente se vienen tajeando los blocks delimitados entre los niveles 4040 y 4100, paralelamente se está desarrollándose el Nv. 3980 con un plan de integración entre los piques N° 2 y N° 3 mediante el By pas 980 por el lado del pique N° 3. (Ver Anexo N°30)

2.2.2. Piques

(T., 1998, págs. 55-100). Los piques son excavaciones verticales a subverticales, construidas en descenso, de sección circular, rectangular, cuadrada o elíptica, y que requieren una completa infraestructura de apoyo, superficial y subterránea, tanto para su construcción como para su operación posterior. En la construcción de piques es necesario realizar una serie de subproyectos para lograr una infraestructura adecuada.

- Definición del arreglo superficial del pique.
- Diseño y construcción de un castillete.
- Definición de los equipos de izamiento.
- Diseño del método de excavación.
- Diseño de los sistemas de drenaje y ventilación.
- Suministros de aire comprimido y agua.

- Suministro de energía eléctrica
- Definición del arreglo seccional del pique.
- Definición del sistema de sostenimiento.
- Proyectos específicos de Obras Civiles para la construcción

Como se puede apreciar, la construcción de un pique, involucra el desarrollo de una serie de proyectos de ingeniería, de diferentes especialidades, que es necesario estudiar y resolver antes de iniciar la etapa de construcción.

La decisión de construcción de un pique es el resultado del análisis técnico-económico al comparar sus bondades con otra alternativa de acceder a niveles inferiores con fines de exploración, explotación de minerales u otro.

A pesar de que es una de las actividades mineras más riesgosas, es posible desarrollarla con un buen respaldo de ingeniería y control que nos permita transformarla en una operación segura, con los riesgos propios de cualquier actividad minera.

Las dificultades existentes durante la construcción de un pique tienen relación con los siguientes aspectos, característicos de su operación:

- Área de trabajo limitada en el fondo del pique.
- Descenso y ascenso continúo del personal hacia y desde el frente de trabajo.
- Posibilidad de presencia de aguas subterráneas.
- Cambios en la calidad estructural de la roca durante el desarrollo del pique.
- Complejidad de la disposición de los equipos de carguío interior pique.
- Complejidad de la disposición de los equipos de izamiento y sus guías.

A. Objetivo para la construcción de un pique

Producción

Para la extracción de minerales y estéril provenientes de la explotación de una mina subterránea.

Servicios

Para el acceso del personal y materiales en una actividad subterránea.

Ventilación

Para lograr la entrada de aire fresco a labores subterráneas o para la salida del aire viciado formando parte de un circuito de ventilación.

Exploración

Para realizar labores propias de determinación de reservas minerales, como por ejemplo acceso de una máquina de sondaje, acceso del personal a toma de muestras, estudios geomecánicos, entre otros.

Combinación de los anteriores

Propósito combinado de los anteriores que es lo normalmente que se establece al decidir la construcción de un pique.

B. Procedimiento para el diseño de un pique.

El seguir un desarrollo ordenado en el diseño de un pique nos permite ir evaluando la coherencia de las etapas resueltas y a la vez la posibilidad de modificarlas estableciendo el grado de influencia que genera con otras actividades del diseño.

A continuación se indica uno de los procedimientos para diseño de piques, universalmente aceptados, adoptado por las mayores empresas constructoras de piques del mundo, y que nos permite ordenar el estudio de diseño de la construcción de un pique y a la vez propone revisiones periódicas de todas las etapas y la posibilidad de realizar todas las modificaciones pertinentes, las veces que sean necesarias.

- Propósito del pique.
- Ubicación e Inclinación.
- Definición de la cantidad y tipo de winches de construcción.
- Determinación del tamaño del balde de extracción.
- Definición del arreglo seccional del pique.
- Determinación del arreglo superficial del pique.
- Diseño del tipo de revestimiento del pique.
- Diseño del sistema de ventilación del pique.
- Determinación del sostenimiento temporal en la etapa de construcción.
- Diseño del método de excavación.
- Diseño del brocal del pique.
- Evaluación y modificaciones con revisión de todas las etapas.

C. Forma de la sección transversal de un pique.

Los piques por lo general son de forma rectangular y cuadrada pero hay piques de forma circular, son menos frecuentes y muy raramente los de sección elíptica o curvilínea.

Para elegir la forma de la sección transversal del pique se tiene en cuenta lo siguiente:

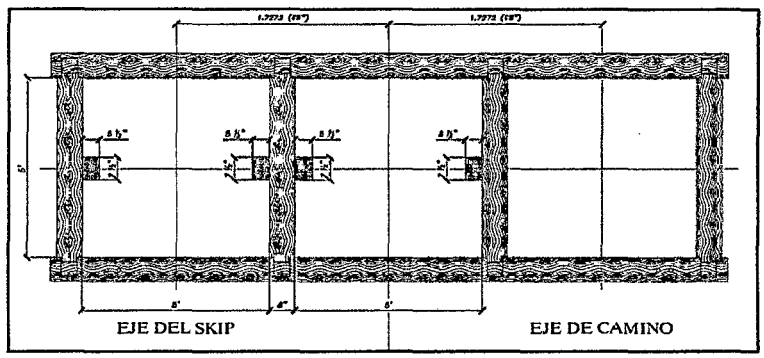
- La calidad del macizo rocoso;
- El tiempo de servicio y el destino final del pique;
- El material de fortificación a ser utilizado.

Sección Rectangular.

Es la forma más empleada; sin embargo, ofrece las siguientes desventajas:

- Dificultad en la formación de ángulos rectos, particularmente en rocas duras;
- Posibilidad de una deformación significativa de la fortificación en caso de rocas débiles e inestables; Mala distribución de esfuerzos alrededor de la excavación.

Figura 2. Pique rectangular de tres Compartimientos

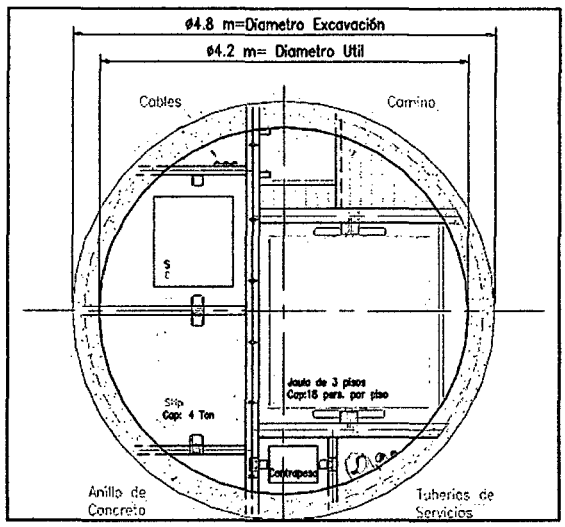


Fuente. Área Planeamiento – UP. Recuperada

Sección Circular.

La sección circular garantiza una mayor estabilidad, debido a que la fortificación va a resistir mejor la presión causada por la roca circundante; ya que ésta, se distribuye más uniformemente. A demás los piques de sección circular poseen un menor coeficiente de resistencia aerodinámica.

Figura 3.Diseño de pique circular con sus respectivos compartimientos



Fuente: Proyecto pique marsa

D. Métodos de Excavación.

La perforación de piques se realiza usando máquinas perforadoras manuales de piso o sinker, o, en forma mecanizada, usando brazos hidráulicos que van montado en la plataforma de trabajo.

El uso de uno u otro método va a depender de la calidad de la roca, la presencia de agua en las labores de excavación, la sección y la longitud del pique a excavar.

La longitud de perforación será variable, pero normalmente varía de 1,20 a 2,40 m. con perforación manual con máquinas sinker o de piso, y de 1,60 a 3,20 m. cuando se utilizan brazos de perforación electro hidráulicos o también llamados jumbos de pique.

Perforación en Pique

Los métodos de ejecución de pozos y piques pueden dividirse en tres grupos:

a) Método de banqueo;

b) Método en espiral;

c) Métodos de sección completa.

a) Método de Banqueo

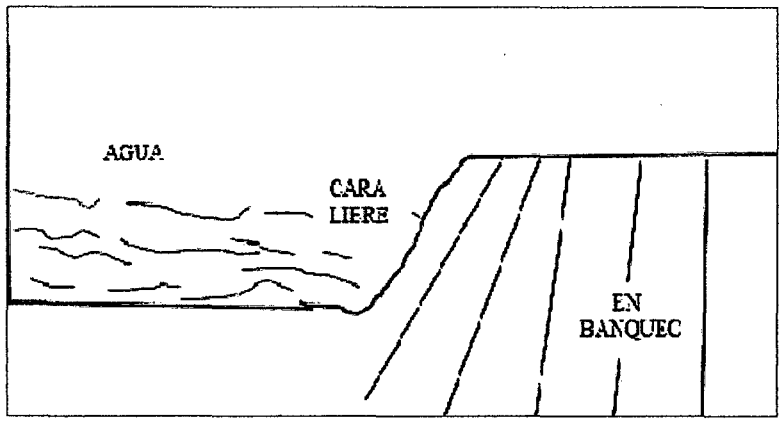
Este método es adecuado para piques de sección rectangular, cuadrada o circular.

Consiste en perforar en cada avance la mitad del piso.

Primero el que se encuentra a una mayor altura, dejando la otra mitad como cara libre o para el bombeo de agua, de ser el caso.

El método es en gradines rectos o pequeños bancos, donde la perforación suele ser manual, con martillos neumáticos.

Figura 4. Método de profundización por banqueo o Grada.



Fuente. Elaboración propia

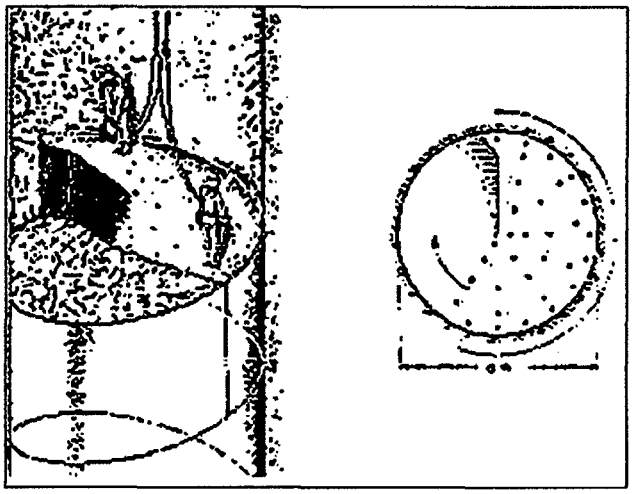
b) Método de Espiral

Consiste en excavar el fondo del pique en forma de un espiral, cuya altura de paso dependerá del diámetro del pique y el tipo de terreno a fragmentar.

Dentro de cada corte se vuela una sección del espiral con un ángulo suficientemente grande, como para que el tiempo que exige realizar un corte completo, coincida con un múltiplo entero del tiempo de trabajo disponible.

Los taladros en cada radio se perforan paralelos y con la misma longitud, ya que siempre existirá una cara libre en cada posición descendente.

Figura 5. Método de profundización en Espiral



Fuente. Instituto Tecnológico Geominero de España

c) Método de Sección Completa

Los métodos de sección completa se utilizan con mucha frecuencia en la excavación de pozos y piques tanto de sección rectangular como circular.

En forma similar a lo que sucede en túneles y galerías es necesario crear inicialmente una cara libre.

Los tipos de voladura empleados son: con corte en "V", cónico, paralelo y con barreno de expansión.

Los cortes en "V" se aplican a los pozos con sección rectangular. El ángulo de inclinación de los taladros debe estar entre 60° y 70° y deben estar en la dirección de las discontinuidades a fin de aprovecharlas en el arranque.

Los cortes cónicos son los más empleados en los pozos y piques circulares debido a que se puede mecanizar la perforación de los taladros y por otro lado el menor consumo de explosivos con respecto al corte de taladros paralelos.

El corte de taladros paralelos trabaja de forma semejante a como lo hacen en las galerías o túneles, presentando ventaja adicional de una mayor sencillez en la perforación.

Figura 6.Malla de perforación para pique circular de 9m de diametro, método de sección completa.

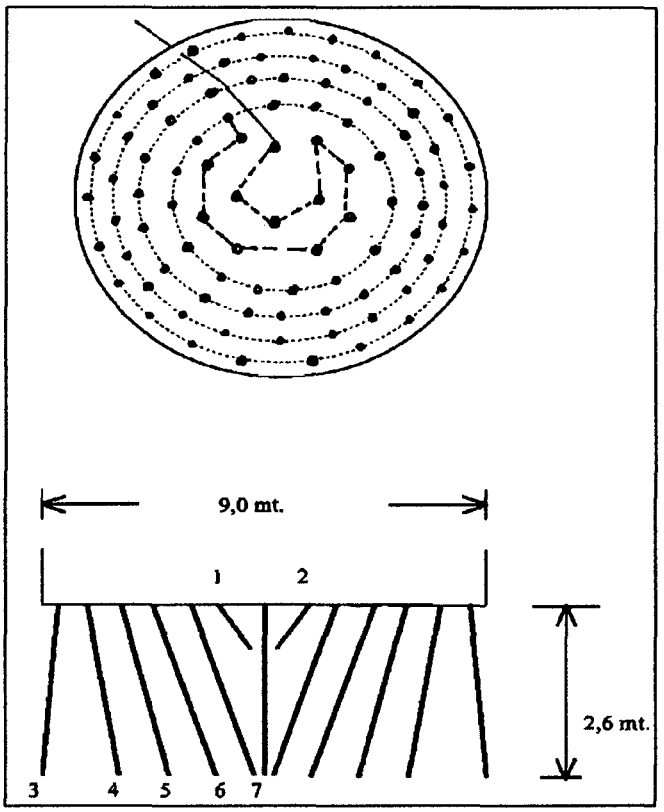
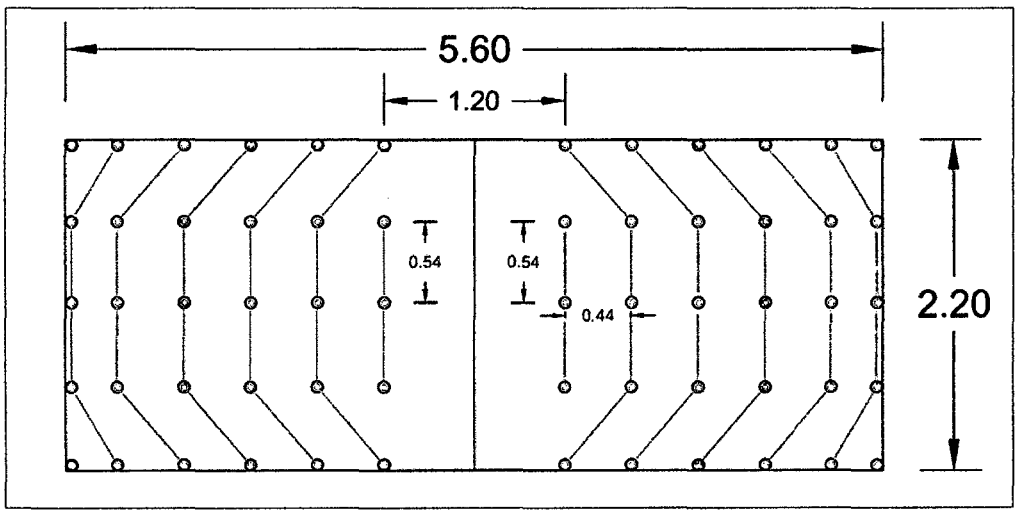


Figura Fuente: T., C. S. Construcción de Túneles, Piques y Chimeneas.

Figura 7.Malla de perforación para pique rectangular, método de sección completa.



Fuente: Elaboración propia.

E. Voladura en pique

Para la voladura se utilizan generalmente explosivos que sean resistentes al agua y que generen una menor cantidad de gases.

Para los contornos del área del pique, si la calidad de la roca excavar lo amerita, será necesario usar explosivos de baja velocidad de detonación, de unos 2.400 m/s., que nos aseguren provocar el mínimo daño en el contorno a excavar.

Se usarán habitualmente explosivos para prevenir la acción del agua en su comportamiento final.

El inicio del disparo se realiza desde superficie a la salida de la boca del pique o desde una altura apropiada usando detonadores eléctricos o no eléctricos de seguridad de chicote tan largo como sea la profundidad del pique.

F. Carguío en pique

El carguío del material proveniente de las voladuras es una de las operaciones más influyentes en el ciclo de excavación de un pique. Los métodos que existen para realizar esta operación los podemos clasificar en método convencional y método mecanizado.

Método convencional.

Comprende la realización del carguío del material de roca proveniente de la voladura con personal y herramientas al balde de profundización.

Este método es utilizado en secciones menores de piques donde la posibilidad de utilizar algún equipo cargador es limitada por razones de espacio.

Normalmente el carguío manual se realiza en secciones del pique de hasta 2,5m x 2,5m. y en piques de poca profundidad. De todas formas en un método que conlleva mayores riesgos al personal y de baja productividad.

Métodos Mecanizados

Corresponden a métodos de carguío del material de rocas provenientes de las voladuras realizados con equipos especialmente diseñados para cargar al balde o skip de profundización, y que son accionados por aire comprimido y energía eléctrica o hidráulica y son accionados por un operador que esta normalmente ubicado en la plataforma de trabajo.

Los métodos de carguío de profundización de piques más usados son:

a) Clamshell.

Corresponde a una unidad de carguío accionada por aire comprimido y que opera suspendida de la plataforma de trabajo y es accionada por un winche neumático en las fases de tomar la roca fragmentada desde el fondo del pique, levantarla y colocarla dentro del balde. La cuchara de carguío es de 3 partes y se abre y cierra por medio de pistones neumáticos.

El Clamshell es usado habitualmente en la etapa de construcción del collar del pique, suspendido de la pluma de un camión grúa lo que le da el movimiento radial para alcanzar todos los sectores de la sección del pique.

En la etapa de profundización del pique, el Clamshell puede ser usado suspendido de un Cargador Riddell, que estará montado en un riel horizontal ubicado en la Plataforma de Trabajo y que permite su desplazamiento horizontal. En este caso la apertura y cierre de la cuchara del Clamshell será por accionamiento de cables.

La utilización del Clamshell es preferentemente en piques de sección rectangular y su autonomía será coherente con el ancho del pique.

La capacidad de la cuchara del Clamshell es de 0,3 a 0,5 m3 y su rendimiento es de 25 a 35 tn/hora.

b) Cactus Grab o Cascara de Naranja.

Consiste en una unidad de winche, accionado eléctricamente, montado bajo la plataforma de trabajo y sobre una viga que suspende al Grab.

La viga donde está montada la unidad de winche, tiene un movimiento radial por lo que permite que el Grab llegue a todos los sectores del pique.

Un arreglo de poleas permite que el cable de suspensión de la cuchara Grab realice las operaciones de subir y bajar la unidad de carguío y la viga pivoteada en el centro de la plataforma permite el movimiento radial de la cuchara Grab.

La cuchara Grab es de dos partes y su apertura y cierre se realiza por medio de un pistón de empuje accionado por aire comprimido.

El tamaño de la cuchara Grab es de 0,40 a 0,85 m3 y su rendimiento dependerá de la calidad de la roca y de la sección del pique.

d) Carguío con Pala Neumática.

Consiste fundamentalmente en bajar al fondo del pique una pala neumática montada sobre orugas y realizar el carguío del balde o skip.

La pala es operada por un operador y finalizada la operación de carguío en el ciclo de trabajo, la pala es alzada y colocada en la plataforma de trabajo, en espera del nuevo ciclo de carguío. El tamaño de la pala debe ser coherente con el área del pique, para contar con el espacio suficiente para las maniobras propias de la operación de carguío.

Uno de los equipos usados en carguío de piques es el modelo Eimco 630, el cual necesita un espacio de al menos 4,8m para una operación eficiente y no es práctico para el trabajo en piques inclinados. Su operación es más eficiente en rocas de buena calidad, decayendo, su rendimiento con roca de mala calidad y presencia de agua.

La capacidad de la cuchara de esta pala neumática es de 0,25 m3 y su rendimiento neto es de unas 50 ton/hora.

e) Cryderman.

Consiste fundamentalmente en equipo de carguío diseñado bajo el mismo concepto que el clamshell, con la salvedad que los cables de operación se han reemplazados por cilindros neumáticos que le proporcionan una gran autonomía de operación en cualquier sección de excavación de pique.

La cuchara está formada por dos partes similares y la operación de apertura y cierre se realiza por medio de dos cilindros accionados por aire comprimido ubicados uno en cada parte.

La posición del equipo en cualquier punto de carguío, en el área del pique, se realiza mediante un cilindro central retráctil que permite el acercamiento o alejamiento de la cuchara al punto de carguío.

En la operación de voladura, el equipo es izado, por medio del cilindro retráctil, dentro de la plataforma de trabajo al espacio, que en la operación de carguío, lo ocupa el operador del equipo.

El Cryderman no se limita, como el Riddell, solo a piques rectangulares, sino que es posible su utilización en cualquier tipo de sección.

G. Izaje en Pique.

Consiste en el transporte de mineral económico, desmonte, materiales, maquinarias, personal, etc. mediante un skip o jaula de transporte.

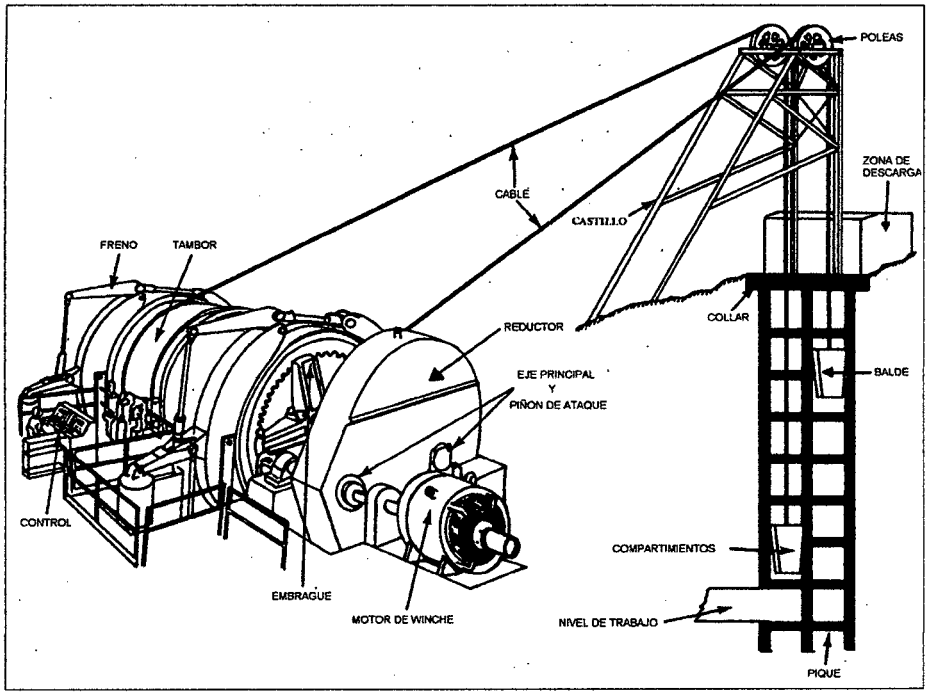
Winche Principal: Utilizado para la excavación propiamente tal y será el encargado de movilizar el skip o jaula de la mina. Generalmente es un winche rápido, ya que influye directamente en el ciclo de construcción. Estos winches son de capacidades variables, siendo el rango más común de 200 a 600 HP, desarrollando velocidades de 150 a 200 pies/min.

Winches Auxiliares: Utilizados para bajar, suspender y desplazar la Plataforma de Trabajo, que es una construcción metálica, de forma similar a la sección del pique, de 3 a 5 pisos, que sirve de superficie de trabajo en las labores propias de construcción. Dependiendo del proyecto específico estos winches auxiliares son de 20 a 40 HP de potencia, trabajando a una velocidad de 30 a 50 pies/min.

Componentes del Sistema de Izaje.- Teniendo en cuenta las dimensiones y necesidades, el Winche de izaje tiene los siguientes componentes:

1. Tambora;
2. Motor;
3. Sistema de Seguridad: Lilly Control, Frenos, Etc;
4. Palancas de Control;
5. Cables;
6. Jaula, Baldes o Skips;
7. Poleas;
8. Estructura de Desplazamiento o Castillo.

Figura 8. Sistema de Izaje en Pique



Fuente. INTERCADE

2.2.3. Profundización del Pique N° 2.

La profundización del pique N° 02 es un proyecto de prioridad N° 01 dentro de todo los proyectos a ejecutar en la mina teresita, por ser el acceso principal a los blocks cubicados por debajo del Nv. 4040 del lado W.

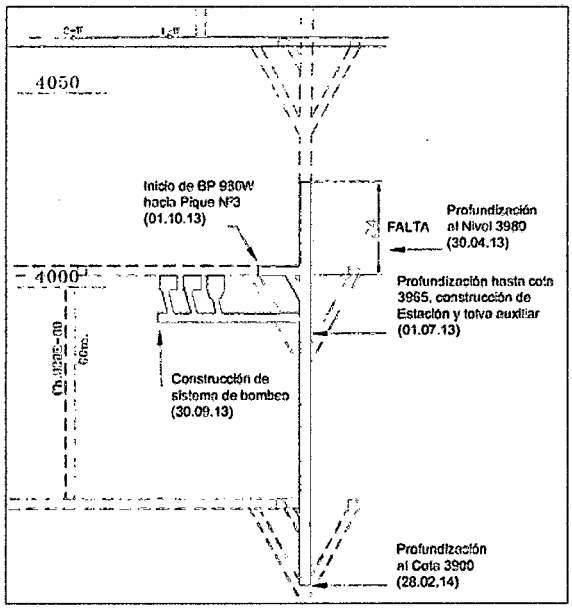
El pique se profundizará desde el Nv. 4012 hasta el Nv. 3900, al llegar al Nv. 3980 se sellará una estación para apertura el Nv. 3980 mediante el By pass 980W hasta lograr comunicar con el By pass 980E que se aperturó por el lado del pique N° 3.

La excavación vertical del pique N° 2 está construida en descansos, enmaderados con una completa estructura de apoyo subterráneo tanto en su construcción como en su operación.

En el pique N° 2 se realiza un ciclo de actividades como:

Perforación, Voladura, Limpieza, Sostenimiento, Colgado de cuadros, Armado de Descansos, Escaleras y Cortinas.

Figura 9. Proyecto de Profundización del Pique N° 2-Mina Teresita a partir del Nv. 4040



Fuente: Área Planeamiento – UP. Recuperada

2.2.3.1. Objetivo de la Profundización

La construcción del pique cumple básicamente los siguientes objetivos:

a. **Exploración, Desarrollo y Explotación.** Según las expectativas geológicas, el potencial del mineral por debajo del Nv. 4040 son favorables e interesantes, el pique servirá para extraer mineral y desmonte de los niveles inferiores al Nv. 4040.

   Así mismo la profundización del pique deberá permitir establecer nuevos niveles de exploración con la finalidad de brindar un acceso rápido y eficiente a dichos niveles.

b. **Incremento de Producción.-** La capacidad de extracción del pique debe permitir el izaje de mineral y desmonte tanto para cumplir con las metas de producción actuales como para atender la demanda de futuras ampliaciones. Para este caso se estableció considerar una producción 270 TCS / Día (70% de mineral y 30% de desmonte) en 10 horas de operación diaria del winche.

c. **Aprovechamiento del Desmonte.-** El material estéril producto de avances se aprovechará para rellenar los tajos por debajo del Nv. 4040 y solo mínimamente que éste material salga a superficie.

d. **Ventilación.-** Evacuar el aire viciado producto de las voladuras de los niveles inferiores al Nv. 4040, suministrar aire fresco al circuito de ventilación para soliviar los problemas actuales de temperatura por la presencia de aguas termales en los niveles 4040 y 3980.

e. **Servicios.-** Instalaciones de tuberías de aire, agua, bombeo y redes eléctricas hacia los niveles inferiores.

2.2.3.2. Dimensionamiento y configuración

a. **Capacidad de izaje.-** La capacidad de izaje del winche es de 270 tn/dia.

Tabla 1. Especificaciones técnicas de izaje

OPERACIÓN WINCHE 10 HORAS / DIA	
Tiempo disponible para extracción (hora/dia)	10
Capacidad de izaje (tn/ día)	270 TM/D
Capacidad de Skip (tn/h) 0.62 m^3	27 (TM)
Ciclos por hora	16

Fuente: Área Planeamiento – UP. Recuperada

b. **Características del Winche de Izaje**

Tabla 2. Características del winche, polea y cable de izaje

PARA SKIPS	DESCRIPCIÓN
CONDICION DEL WINCHE	OPERATIVO
Sistema de Izaje	2 Skips en balancín
Velocidad Izaje (m/seg)	Hasta 150fpm
Diámetro – Ancho tambor (Pulg)	60"x 48"
Diámetro de Poleas (Pulg.)	72"
Potencia del Motor (HP)	180
CABLES	**DESCRIPCIÓN**
Tipo de cable lang (Pulg.)	1 "

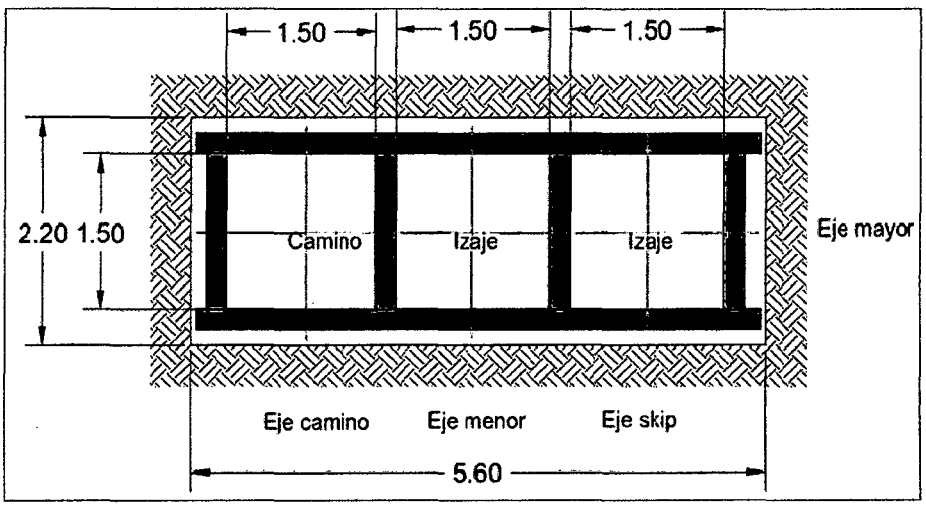
Factor seguridad del cable	7
Longitud de cable (m.)	650 (max.)

Fuente. Área planeamiento – UP. Recueprada

c. **Altura del Pique.-** La distancia desde la cámara de polea hasta donde estuvo profundizado el pique, es decir hasta el Nv. 4040 es de 365.00 m. A partir de esta cota se continúa profundizando la segunda etapa de profundización del pique N° 02, hasta llegar al NV. 3900

d. **Diseño del Pique.-** El pique tiene 3 compartimentos, dos compartimientos para izaje y un compartimiento para camino y servicios.
La sección del pique es de forma rectangular y es la forma más empleada en toda la corporación Buenaventura, cuya sección es la siguiente:
   - Largo: 5.60 metros
   - Ancho: 2.20 metros

Figura 10. Dimensiones del pique N° 02



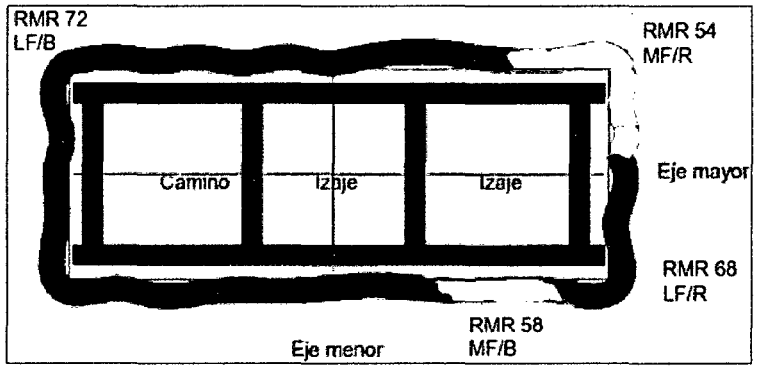
Fuente: Área Planeamiento – UP. Recuperada

2.2.3.3. Construcción, Laboreo y Excavación del Pique

a. **Especificaciones Geomecánicas de Profundización.-** En los estudios Geológicos y Geomecánicos realizados mediante perforaciones diamantinas de 600m de longitud total, se determinó que el tipo de roca varía desde tipo II hasta tipo IV en algunos puntos de la profundización,

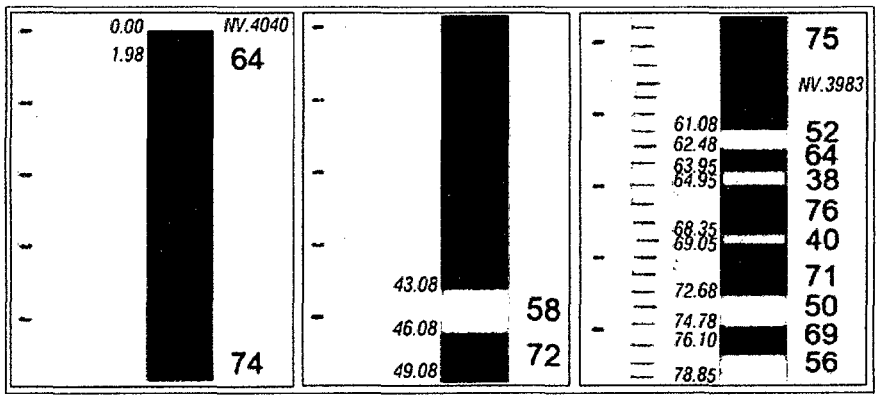
por lo general es de tipo II como se muestra en la imagen de mapeo geomecánico según se hubo profundizando el pique.

Figura 11. Mapeo geomecánico-vista en planta a los 71.08 metros de profundización respecto al Nv. 4040.



Fuente: Área Geomecánica – UP. Recuperada.

Figura 12. Sección Perfil Geomecáncico del pique N° 2 desde el Nv. 4040 hasta el Nv. 3975



Fuente: Área Geomecánica – UP. Recuperada.

Figura 13. Clasificacion geomecánica de UP. Recuperada

CATEGORIA	CALIDAD DE ROCA	PARAMETROS GEOMECANICOS		SOSTENIMIENTO	CODIFICACION
		RMR	SQ		
TIPO I	MUY BUENA	81-100		1.5 x 1.5	
TIPO II	BUENA	61-80		1.5 x 1.5	
TIPO III	REGULAR	41-60		1.5 x 1.5	
TIPO IV	MALA	21-40		1.2 x 1.2	
TIPO V	MUY MALA	0-20			

Fuente: Área Geomecánica – UP. Recuperada

La columna estratigráfica comprende una secuencia de rocas sedimentarias y volcánicas que en edad van desde el paleozoico hasta el cuaternario reciente.

Las rocas volcánicas están generalmente compuestas por andesitas, dacita, brechas tufáceas, latitas cuarcíferas, domos riolíticos.

Las rocas sedimentarias está formado por calizas de color gris e intercalado con calizas dolomíticas, calizas arenosas y bancos fosilíferos de trigonias, ostreas y braquiópodos que indican afinidad con el Triásico Superior-Liásico: presenta un espesor de más de 500m.

b. **Sub Proyectos en la Profundización.-** Considerando los niveles de profundización. Se ejecutarán como sub proyectos las estaciones de cada nivel, cámara de bombeo, Bolsillo de mineral y desmonte (auxiliares y principales) y por último las tolvas auxiliares y principales.

Figura 14. Cronograma de profundización del pique N° 02-Mina Teresita a partir del nivel 4040.

ID	Nombre de la Tarea	Inicio	Fin
	NIVEL 4100 al Nivel 4040		
1	Rehabilitacion al 4040 (70 elementos)	05-11-12	15-11-12
2	Asegurar tuberias desde Nv 4150 al 4040		
	Nivel 4040		
3	Construccion de collar Estacion 4040	16-11-12	24-11-12
4	Armado de cuadros pino (23 metros)	26-11-12	08-12-12
5	Construccion collar en bolsillo auxiliar	10-12-12	22-12-12
6	Profundizacion en ciego desde 4012 a 3980	24-12-12	30-04-13
	Nivel 3980		
7	Profundizacion en ciego a cota 3965	01-05-13	15-06-13
8	Construccion de Estacion 3980	15-06-13	25-06-13
9	Contruccion de collar y tolvas auxiliares	25-06-13	01-07-13
	Construccion de cámara de bombeo 3967		
10	Sellado de camara y contruccion de tolva	13-06-13	27-06-13
	Profundizacion ciego desde cota 3965 a 3900		
11	Profundizacion ciego desde cota 3965 a 3900	28-06-13	10-12-13

Fuente: Área Planeamiento – UP. Recuperada

c. **Estructura del pique.-** La estructura está conformada por cuadros de madera de pino 8"X8" de sección transversal; la altura de cada cuadro es de 2.30 m ó 90.5", la luz de cada cuadro es de 2.10 m. ó 82.5". Cuyas características de los elementos del cuadro son las siguientes:

- 8 Postes 8" x 8" x 85.5"

- 2 Longarinas 8" x 8" x 216"
- 4 Tirantes 8" x 8" x 63",
- 4 Soleras 8" x 8" x 168"(Cada 5 cuadros simples)

En cada nivel se armará cuadro especial de Estación Pique con postes y longarinas de estas medidas:

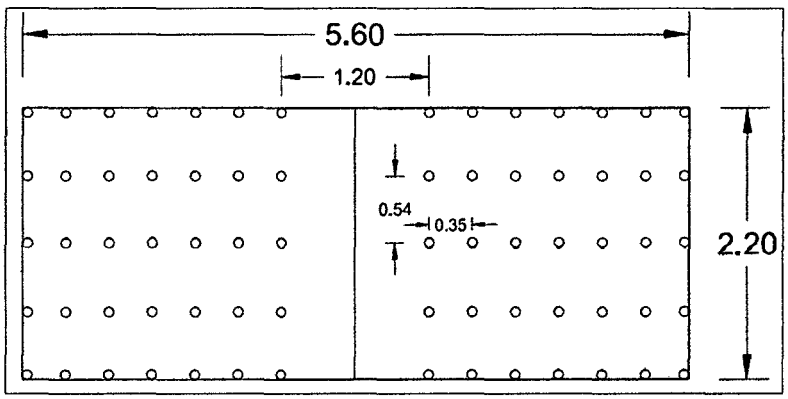
- 8 Postes 8" x 8" x 216"
- 2 Longarinas 8" x 8" x 216"
- 4 Tirantes 8" x 8" x 63"
- 4 Soleras 8" x 8" x 168"

d. Perforación.- El método de ejecución del pique es de sección completa y el tipo de corte empleado en la excavación es el corte en "V". En la perforación del pique se utilizan 2 máquinas perforadoras tipo Jack leg, 2 juegos de barrenos cónicos (2',4' y 6') con sus respectivas brocas de 36mm y 38mm, 4 guiadores de tubo pvc de 7', tarugos para cada taladro perforado y 2 barras de madera de 2"x3"x1m.

Perforación para voladura con sistema de iniciación convencional

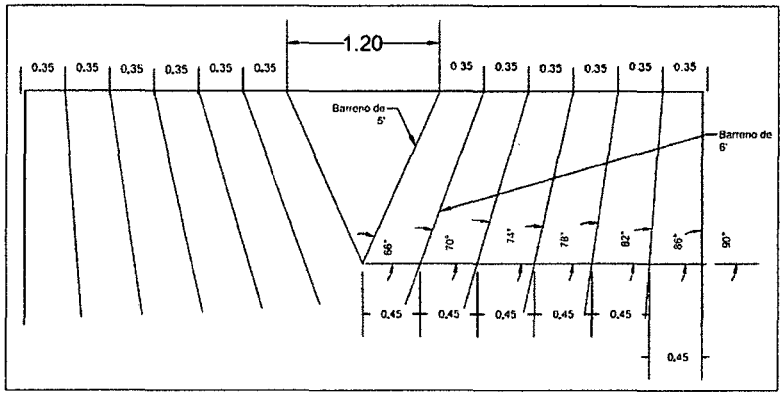
El canal de arranque de la malla de perforación es 1.20m, el ángulo de inclinación de los taladros de arranque varía de 66° a 70° y el ángulo de inclinación del resto de los taladros aumenta como se muestra en la figura 16. El total de taladros realizados es 70, con espaciamientos de 0.35mx0.54m como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Malla de perforación para voladura con sistema de iniciación convencional.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16. Vista longitudinal de la malla de perforación para voladura con sistema de iniciación convencional

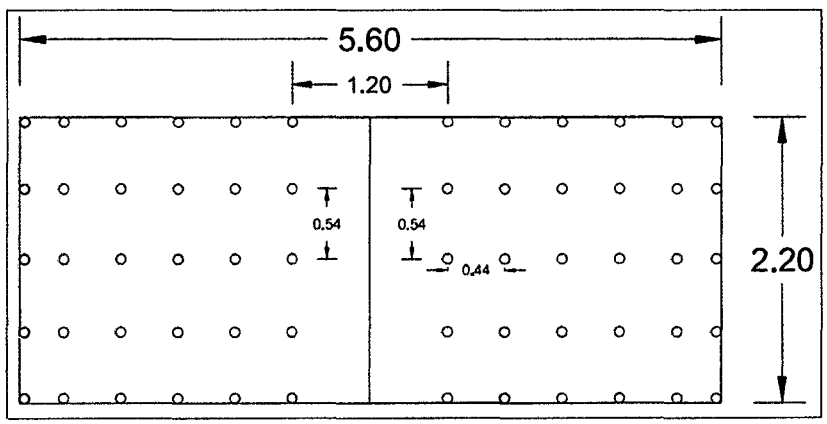


Fuente: Elaboración propia.

Perforación para voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico.

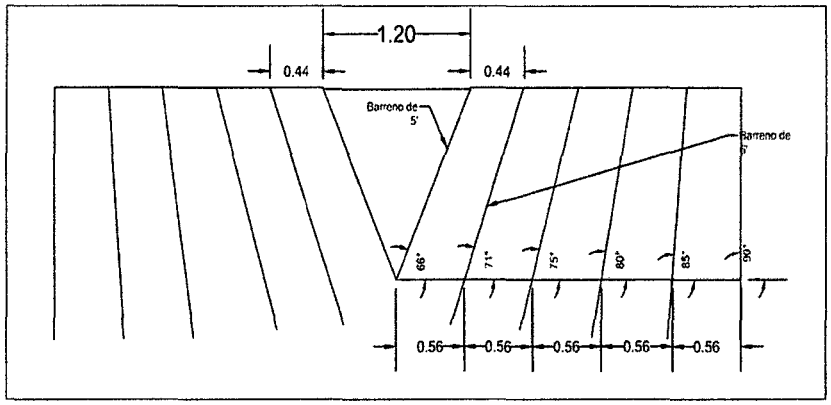
El canal de arranque de la malla de perforación es 1.20m, el ángulo de inclinación de los taladros de arranque varía de 66° a 70° y el ángulo de inclinación del resto de los taladros aumenta como se muestra en la figura 18. A diferencia de la perforación para voladura con sistema de iniciación convencional, las bondades brindadas por el sistema de iniciación mixto en la detonación simultánea y sincronizada de los taladros permiten un aumento del espaciamiento, reflejándose en la reducción a 60 taladros en la malla de perforación como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Malla de perforación para voladura con sistema de iniciación mixto



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18.Vista longitudinal de la malla de perforación para voladura con sistema de iniciación mixto.



Fuente: Elaboración propia.

e. **Voladura.-** Para la voladura en el pique N° 2 se utilizó explosivo de tipo emulsión que son resistentes al agua y que generen menor cantidad de gases, sin importar el sistema de iniciación aplicado.

Voladura con sistema de iniciación convencional

Como accesorios de voladura se utilizaron carmex de 2.10m, mecha rápida de ignición Z-18 de 50m.

Para preparar el cebo y carguío de la columna de taladros se utilizó emulex de 65% y la distribución es como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Distribución de cargas para el sistema de iniciación convencional

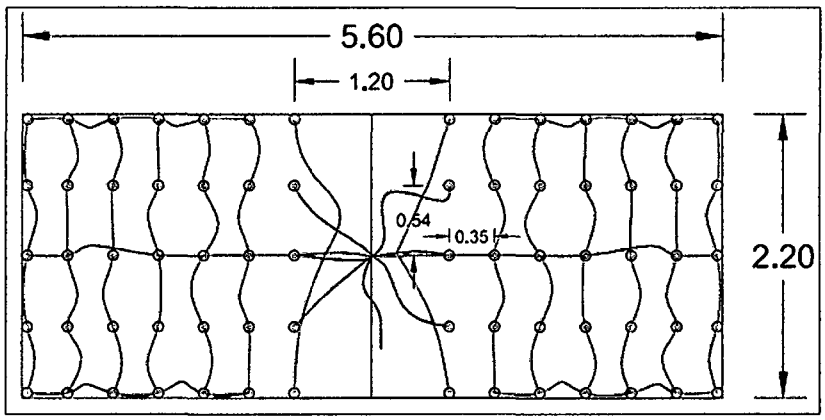
	EMULEX 65%
6 Arranque	42
6 Ayudas	42
6 Sobre ayudas 1	42
6 Sobre ayudas 2	42
6 Sobre ayudas 3	42
6 Sobre ayudas 4	42
34 Cuadradores	238
Total	490

Fuente: Elaboración propia.

Al momento de amarrar y/o conectar la mecha rápida al carmex se tiene en cuenta la longitud mínima de mecha rápida que irá de taladro a taladro;

y para dar inicio a la voladura del frente del pique se cuelga mecha rápida desde una altura mínima de 20m esto para no comprometer la seguridad del personal.

Figura 19.Malla de perforación del pique, sistema de iniciación convencional.



Fuente: Elaboración propia

Voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico (detonador eléctrico – explosor) y no eléctrico (fanel - cordón detonante).

En el carguío de los taladros se utiliza emulex 65% (6 por taladro incluido el cebo), con la diferencia de que en los contornos o cuadradores se utiliza un cebo emulex 65% y para el resto de la columna emulex 45% (5 por taladro), la distribución de carga se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Distribución de cargas para el sistema de iniciación mixto

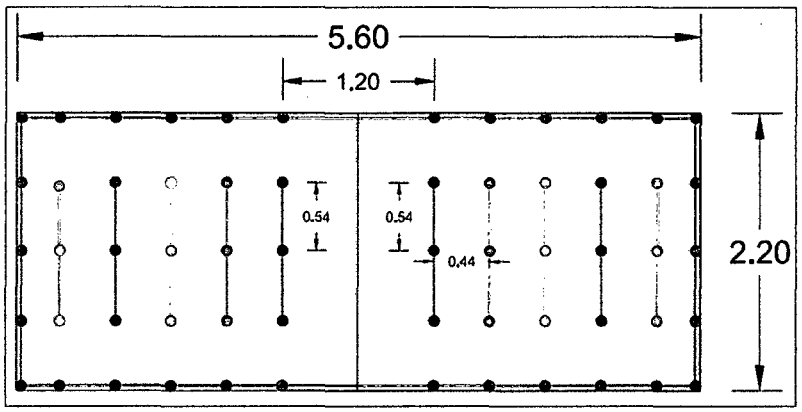
	EMULEX 65%	EMULEX 45%
6 Arranque	36	0
6 Ayudas	36	0
6 Sobre ayudas 1	36	0
6 Sobre ayudas 2	36	0
6 Sobre ayudas 3	36	0
30 Cuadradores	30	150
Sub Total	210	150
Total	360	

Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para la voladura con el sistema mixto se detalla a continuación:

- Preparar el cebo con el fanel y emulsión (emulex 65%).
- Cargar los taladros con la prima o cebo preparado, teniendo en cuenta la secuencia de salida del fanel.

Figura 20. Malla de pique de sección rectangular con numeración de secuencia de salida.



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Secuencia de salida de los faneles según N° de retardo

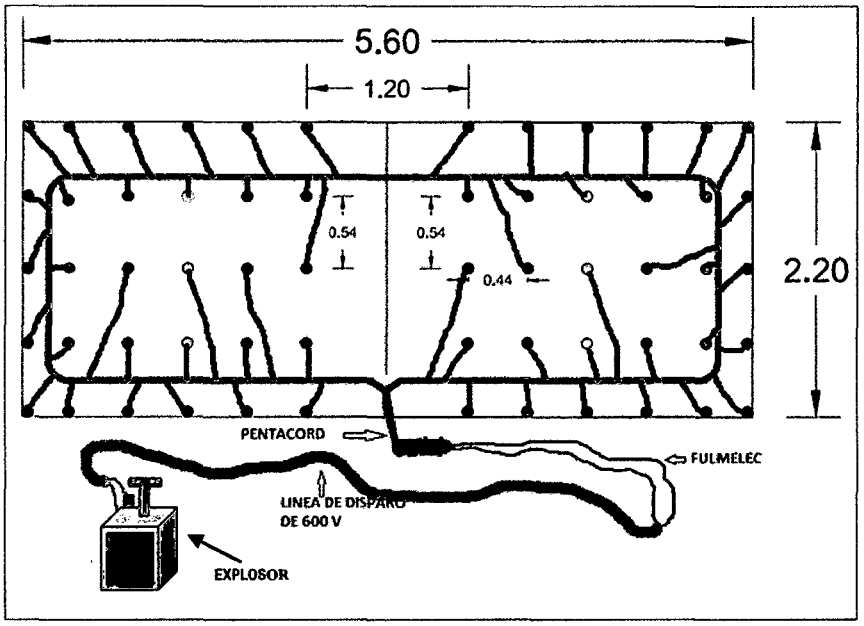
SECUENCIA DE SALIDA				
1	ARRANQUE	FANEL N° 02	06 Und.	●
2	AYUDA	FANEL N° 04	06 Und.	⊛
3	SOBRE AYUDA 1	FANEL N° 06	06 Und.	○
4	SOBRE AYUDA 2	FANEL N° 08	06 Und.	●
5	SOBRE AYUDA 3	FANEL N° 10	06 Und.	○
6	CUADRADORES	FANEL N° 12	30 Und.	●

Fuente: Elaboración propia

- Conectar los tubos de fanel con la línea del cordón detonante (pentacord).
- Para el detonador eléctrico (fumelec) se tiene que realizar una comprobación de sus buenas condiciones mediante la prueba del ohmímetro.
- Mediante un nudo seguro en forma de madeja o con cinta aislante empalmar los extremos del cordón detonante (pentacord) con el fulminante eléctrico (fumelec).
- Conectar los cables positivo-negativo del fulminante eléctrico con un extremo de la línea de disparo (cable de chispeo de 600V) sin importar el polo de salida, seguidamente conectar el otro extremo de la línea de disparo

la fuente de energía (explosor) que debería estar ubicado en la estación más cercana del nivel superior en este caso el Nv. 4040.

Figura 22. Sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico.



Fuente. Elaboración propia

- Con la ayuda de la palanca o tristor, el explosor genera corriente eléctrica suficiente para iniciar el fulminante eléctrico (fumelec) y luego iniciar el sistema de iniciación no eléctrico (fanel – pentacord).

f. Limpieza en el fondo del pique.- La limpieza es manual con lampa y pico, la extracción del desmonte se realiza mediante dos skips de 0.62 m^3 de capacidad cada uno. Esto por tener un sistema de izaje en forma de balancín.

g. Sostenimiento del pique.-

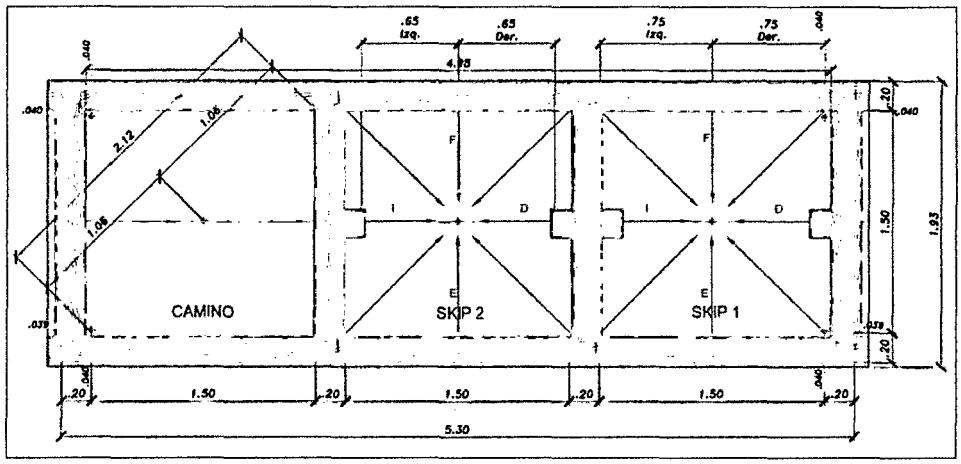
El sostenimiento que se coloca en el pique es con perno helicoidal de 5 pies en forma sistemático y algunas combinadas con malla de 4.50m x 1.60m según amerite el tipo de roca.

h. Colgado de cuadro en el Pique.- Lo primero que se baja al fondo del pique las longarinas (2 unid), inmediatamente las longarinas acomodadas son enganchados con el cuadro superior con los templadores lisos o de fierro

corrugado de 5/8"x 1.30m (12 und).

En seguida se baja los divisores (4 unid) y acomodados estos son enganchados con los templadores de 5/8"x1.05m, posteriormente se bajan los postes (8 unid). Una vez armado todas las partes del cuadro son ajustadas los templadores.

Figura 23. Detalles del cuadro vista en planta para verificar alineamiento.



Fuente: Área Planeamiento – UP. Recuperada.

i. **Centrado y topeado de cuadro en el Pique.-** El centrado del cuadro colgante se realiza con la ayuda de las cuatro plomadas de 12lb suspendidas desde las cuatro esquinas del cuadro base (estación más cercana al cuadro que se está centrando en este caso el Nv. 4040).

Una vez que se haya centrado y asegurado se pasa a picar las patillas para el topeado correspondiente con restos de bloques de pino de 8"x8" por la longitud que se desea.

2.2.4. Sistema de iniciación para voladuras en minería.

(Konya & N., DISEÑO DE VOLADURAS, 1998, pág. 64). El sistema de iniciación transfiere la señal de detonación de taladro a taladro en un tiempo preciso. La selección del sistema de iniciación resulta crítica para el éxito de una voladura.

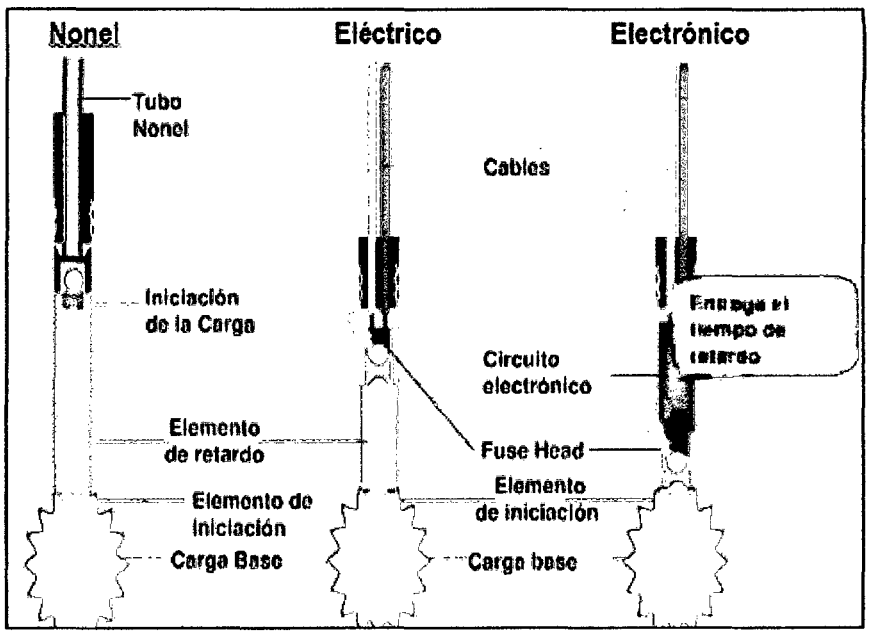
El sistema de iniciación no sólo controla la secuencia de disparo de los taladros, sino que también afecta la cantidad de vibración generada por una voladura, el tamaño de la fragmentación producida, sobre rotura y la violencia que puede ocurrir. Aunque el costo de los sistemas de iniciación es una consideración importante dentro del proceso de selección, debe ser una consideración secundaria, especialmente si el sistema de iniciación más económico causa problemas como: vibración, sobre rotura o poca fragmentación.

Será una tontería el seleccionar un sistema de Iniciación basándose estrictamente en el costo.

La selección del sistema de iniciación es uno de las consideraciones más importantes dentro del diseño de una voladura.

Los iniciadores se pueden clasificar en tres grandes grupos: eléctricos, electrónicos y no eléctricos.

Figura 24. Funcionalidad y diferencias básicas entre un detonador Nonel, eléctrico y electrónico.



Fuente. ORICA Mining Services.

2.2.4.1. Sistema de Iniciación no Eléctrico (detonador ensamblado – mecha rápida).

La característica principal de este sistema es que el canal de transmisión es un tren explosivo de pólvora recubierto de fibras textiles y plásticas, el cual lleva la energía en forma de llama, a una velocidad casi constante, hacia una carga explosiva sensible al calor.

a. **Detonador ensamblado.-** El Detonador Ensamblado está compuesto por los siguientes accesorios:
   - El Fulminante Simple N° 8.
   - Un tramo de Mecha de seguridad con una cobertura plástica reforzada. La longitud a usar será determinada por la profundidad del taladro y del circuito de conexión establecido. La velocidad de combustión está en el orden de 150 +- 10% (s/m), esto depende del fabricante.
   - Un conector de Ignición con su respectivo collar plástico incorporado.
   - Clip de aluminio: Este elemento se introduce en el mercado nacional con la finalidad de optimizar la forma de cebado del fulminante simple al cartucho cebo y también para no maltratar la mecha de seguridad, optimizando su rendimiento y minimizando la ocurrencia de tiros cortados.

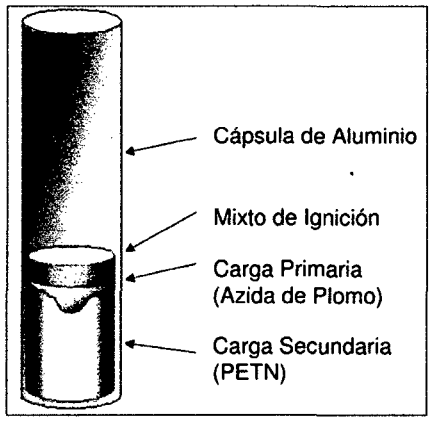
   En uno de los extremos de la mecha de seguridad se encuentra el conector de ignición con el collar plástico incorporado y en el otro extremo se encuentra el fulminante simple con el clip de aluminio; todos estos elementos han sido adecuadamente acondicionados con máquinas neumáticas especialmente diseñadas para efectuar un trabajo industrial. Estos detonadores ensamblados son sometidos a un exigente control de calidad.

   Es usado complementariamente con la mecha rápida con la cual se efectuará el circuito de encendido de una voladura planificada.

   Los objetivos fundamentales que se consiguen con el uso del detonador ensamblado son:

- Eliminar los defectos que generalmente existen en la preparación de las armadas en el lugar de uso, minimizando los tiros cortados.
- La eliminación del chispeo manual de la mecha de seguridad, evitando la exposición de los operadores a los humos de la combustión, permitiendo la salida segura del personal del lugar del disparo.

Figura 25. Fulminante N° 08



Fuente. ORICA Mining Services.

b. Mecha rápida.- La Mecha Rápida es uno de los componentes del sistema tradicional de voladura.

Está conformado por una masa pirotécnica y alambres centrales especialmente diseñados, ambos se encuentran recubiertos con una cobertura plástica, cuya finalidad es impermeabilizar y proteger la masa pirotécnica.

Este accesorio se usa complementariamente con la mecha de seguridad de una determinada longitud, en cuyos extremos se encuentran fijados el fulminante simple y el conector de ignición.

En el momento de efectuar el circuito de conexión la Mecha Rápida se introduce en la ranura de los conectores y se les asegura con el respectivo collar plástico incorporado y en esas condiciones estará listo para ser activado por medio de la llama de un fósforo u otro agente externo.

La longitud de la Mecha Rápida usada entre dos taladros, se determina por varios factores, siendo los principales parámetros: el tipo de trabajo, tiempo de combustión de la Mecha Rápida, el circuito de conexión y tiempo de combustión de la mecha de seguridad.

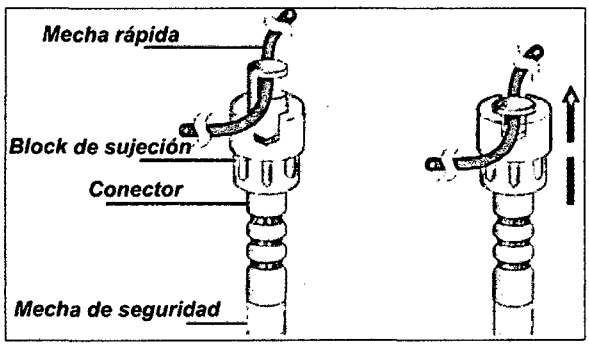
El tiempo de combustión de la mecha rápida está en el orden de 10 a 65 s/m, esto depende del fabricante.

En cada caso se debe tener especial cuidado en que la carga explosiva activada en los primeros taladros no dañe al resto de los accesorios utilizados y por esta razón se inutilice la secuencia de voladura.

El objetivo fundamental del accesorio es eliminar el chispeo manual de la mecha de seguridad, evitando la exposición de los operadores a los humos de combustión. Además permite la salida segura del personal del lugar de disparo.

Para efectuar los empalmes entre los tramos de Mecha Rápida es necesario tener especial cuidado en cumplir las recomendaciones del fabricante.

Figura 26. Conexión de la Mecha Rápida al Conector



Fuente. EXSA S.A..

2.2.4.2. Sistema de iniciación no eléctrico (Nonel - cordón detonante).

(Instituto Tecnológico Geominero de España, 1994, pág. 137). Es un sistema de iniciación totalmente insensible a agentes externos de tipo eléctrico como corrientes extrañas (erráticas, pares galvánicos), tormentas, ondas de radiofrecuencia, líneas eléctricas, etc. A parte de la seguridad y fiabilidad que

aporta este sistema no eléctrico, cabe destacar su versatilidad y la rapidez con la que se efectúan todas las conexiones, tanto en voladuras a cielo abierto como en interior. La manera de emplear este sistema de iniciación es la siguiente.

En cada taladro se introduce un cartucho o multiplicador conveniente cebado con un detonador del número (tiempo de salida) adecuado, eligiendo entre las series de periodo largo (retardo) o periodo corto (micro retardo). Para poder iniciar los tubos de transmisión que salen de los taladros, se deben conectar a unas líneas de cordón detonante. Hay dos formas de hacer esta operación:

- Mediante el conector J (J- hook) que incorporan todos los detonadores, se unen a una línea maestra de cordón detonante que se hace pasar por toda la sección, de tal modo que todos los tubos tengan acceso a ella.
- Mediante conectores tipo Bunch Conector que permiten la conexión de los tubos de transmisión en madejas a diferentes líneas de cordón detonante. A su vez, esta línea debe iniciarse mediante otro detonador al que se le dará fuego desde el exterior del túnel

a. **Nonel o sistema de tubo de choque.-** Constan de un tubo delgado de plástico de 3 mm de diámetro recubierto en su interior por una fina película de explosivo de 15 - 20 mg/m y una cápsula detonadora semejante a la de los detonadores eléctricos. La velocidad de la onda de choque dentro del tubo es de unos 2.000 m/s y no es lo suficientemente potente para iniciar a los explosivos en contacto con dicho tubo, por muy sensibles que éstos sean, por lo que también puede efectuarse de forma efectiva el cebado en fondo.

   La iniciación puede realizarse mediante un detonador, un cordón detonante o una pistola especial cargada con cartuchos de fogueo.

   Los detonadores de retardo en general, eléctricos y no eléctricos se fabrican en dos tipos:

   - De período largo o retardo (LD o long delay), con intervalos de medio segundo entre series. Ejemplo: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 s sucesivamente.

- De período corto o microretardo (SD o short delay), también denominados de milisegundo y de microsegundo casi siempre graduados a intervalos de 0,025 s (25/ 1 000 s a 0,1 s entre series).

En otros países donde se fabrican bajo patente, los tiempos de retardo pueden diferir.

Para el cálculo de las voladuras hay que tener en cuenta el retardo debido a la transmisión de la onda de choque a través del tubo, que es de unos 0,5 ms por cada metro de longitud.

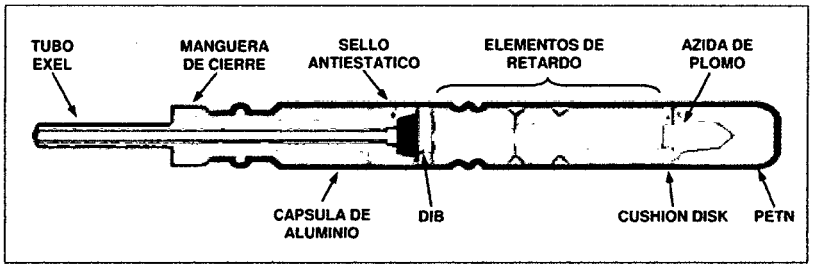
Con el fin de dotar a este sistema de mayor flexibilidad y reducir el coste, actualmente el detonador Nonel se utiliza con una longitud de tubo reducida en combinación con un cordón detonante de muy bajo gramaje (1 g/m) uniéndolos mediante conectadores de plástico.

Un inconveniente práctico que plantea este tipo de detonador es la imposibilidad de comprobar los circuitos de disparo, teniendo que basarse ésta en la simple inspección visual.

Características del detonador Nonel:

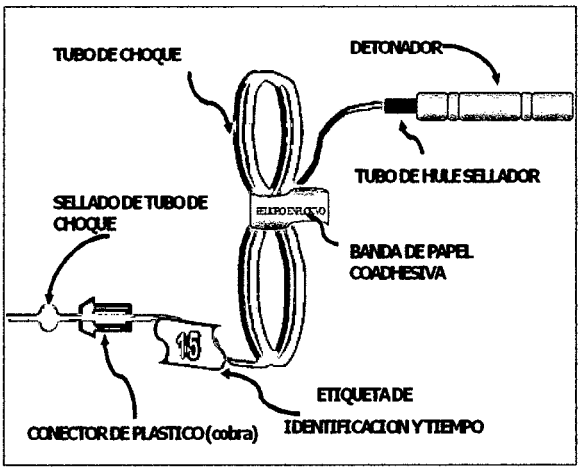
- Carga explosiva: El extremo inferior del detonador contiene una carga base de PETN y una carga primaria de Azida de Plomo lo que le confiere una potencia equivalente al fulminante N° 12.
- Cushion Disk: Está diseñado para otorgar una gran resistencia al impacto y a la detonación por simpatía.
- Tren de retardo formado por uno, dos o tres elementos pirotécnicos.
- Delay Ignition Buffer: Acelerador de energía, permite una mayor precisión y evita el problema de reversión de la onda de choque.
- Sello antiestático: elemento fundamental para eliminar el riesgo de iniciación por descargas estáticas accidentales.

Figura 27. Características del Detonador Nonel



Fuente. ORICA Mining Services.

Figura 28. Partes de sistema de tubo de choque



Fuente. ORICA Mining Services.

b. Cordón detonante.- Introducido al mercado por Louis L'heure en Francia alrededor de 1907 bajo el nombre de "Cordeau Detonant".

El primer cordón fue un tubo de plomo rellenado con trinitrotolueno (TNT). En 1938 el tubo de plomo con núcleo de TNT fue reemplazado con pentaeritritol tetranitrato (PETN) recubierto por fibra.

En 1950 conectores de retardos fueron desarrollados para el cordón detonante. En 1960 se desarrollaron cordones detonantes de menor energía. Velocidad de detonación aproximada de 6000-7000 m/s.

Estos cordones disponen de un núcleo de pentaeritrol de tetranitrato (PENT) cantidad variable (3, 6, 12,40 Y 100 g/m) rodeado por varias capas de hilados y fibras textiles, con un recubrimiento exterior de cloruro de

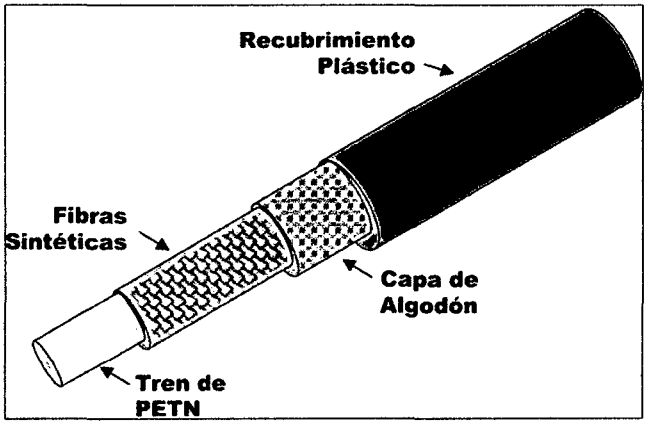
polivinilo que permite que tengan unas características adecuadas de flexibilidad, impermeabilidad, resistencia a la tracción y a la humedad.

Tabla 5.Aplicaciones del cordón detonante

CORDÓN DETONANTE (g/m)	APLICACIONES
1.5 a 3	Iniciación de multiplicadores y explosivos muy sensibles.
4 a10	Líneas maestras conectando taladros.
12 a 20	Iniciación de explosivos convencionales.
40	Prospecciones sísmicas.
100	Voladuras de contorno y demoliciones.

Fuente. Instituto Tecnológico Geominero de España.

Figura 29. Composición del cordón detonante



Fuente. ORICA Mining Services.

2.2.4.3. Sistema de iniciación eléctrico (detonador eléctrico - explosor). (EXSA SAA., 2011, pág. 126). La iniciación eléctrica se basa en la inflamación de la carga explosiva sensible del detonador mediante el calentamiento hasta incandescencia de una pequeña resistencia eléctrica o puente. Se ocasiona, por tanto, mediante la conversión de electricidad en calor. Tiene la ventaja de que cada detonador por separado y el circuito completo pueden ser comprobados antes de realizar la voladura, además de que a diferencia de la iniciación con mecha y fulminante se tiene a voluntad y bajo control el momento

preciso de la detonación, que puede ser simultánea para un gran número de tiros mediante detonadores de acción instantánea o, por lo contrario, deteniendo cada tiro intervalos de tiempo muy exactos y cortos, mediante detonadores de acción retardada, lo que es fundamental para voladuras de magnitud.

El esquema de encendido eléctrico corresponde a la ubicación escalonada de diferentes detonadores de tiempo en una voladura, siendo de gran importancia, como en todo proceso de iniciado, que los correspondientes a los taladros de arranque salgan primero, y el resto en orden secuente para obtener salidas sucesivas conforme al diseño de disparo. Para comprender los requerimientos del método deben tenerse en cuenta algunas particularidades de sus implementos y principios de la corriente eléctrica.

Para calentar la resistencia se requiere de cierta potencia (tensión, voltaje) y de un determinado tiempo de aplicación de la corriente eléctrica iniciadora. La ley de Ohm, principio fundamental de las propiedades del circuito eléctrico en síntesis, dice: "En un circuito eléctrico, el flujo de corriente en amperes es igual al cociente del voltaje aplicado dividido por la resistencia, en Ohmios (Ω) ".

$I = V/R$

Donde:

I: corriente, en amperios (A).

V: voltaje de la fuente de corriente, en voltios (V).

R: resistencia del circuito, en Ohmios (Ω).

Que también puede expresarse como:

$V = I \times R$ o $R = V / I$

Esta ley permite determinar si la potencia de un explosor es suficiente para activar todo un circuito determinado. La resistencia puede ser calculada o medida.

A. **Detonador eléctrico.-** Los fulminantes eléctricos están formados de un casquillo cilíndrico de aluminio o cobre que contiene una serie de cargas explosivas.

La corriente eléctrica se suministra al detonador por medio de dos alambres de conexión que están conectados internamente a un alambre más pequeño de alta resistencia conocido como el puente.

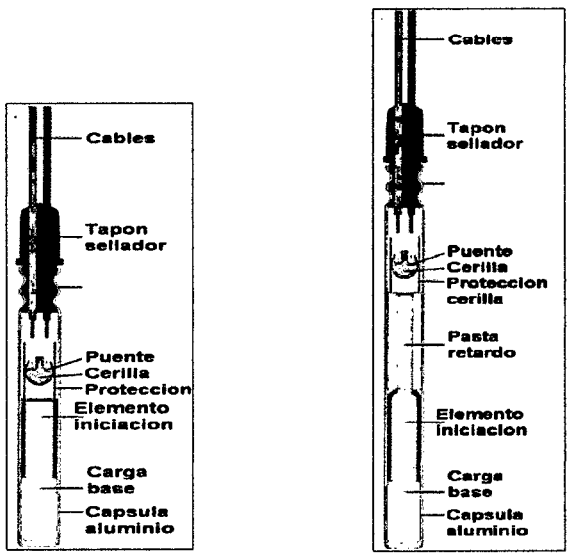
El puente o resistencia tiene una función similar al filamento de un foco eléctrico. Cuando una corriente de suficiente intensidad pasa a través del puente, éste se calienta hasta el punto de incandescencia y enciende un compuesto sensible al calor.

Una vez que ocurre la ignición, ésta inicia una carga primaria y una carga base dentro del detonador, ya sea de manera instantánea o después de viajar a través de un elemento de retardo que funciona como un fusible interno.

Este elemento provee un retardo de tiempo antes de que la carga base detone.

Los alambres de conexión de un estopín están hechos ya sea de hierro o cobre. Cada alambre de conexión tiene un forro aislante de diferente color y todos los estopines en una serie tienen los mismos colores de alambres lo cual es una ayuda al momento de hacer la conexión.

Figura 30. Fulminante eléctrico instantáneo y fulminante eléctrico de retardo



Fuente. ORICA Mining Services.

A.1. Tipos de detonadores eléctricos.

a. **Detonadores Instantáneos.-** Los detonadores instantáneos están hechos para detonar dentro de unos cuántos milisegundos después de que se aplique la corriente eléctrica. Los detonadores instantáneos no contienen tubo de retardo o elemento de retardo alguno.

b. **Detonadores de retardo de periodo largo.-** Los retardos de período largo tienen intervalos que van desde cien milisegundos hasta más de medio segundo de retardo. Estos retardos proveen tiempo para que la roca se mueva en voladuras estrechas. Generalmente se utilizan en excavación de túneles, tiros de minas y voladuras subterráneas.

c. **Detonadores de retardo en milisegundos.-** Los estopines de retardo en milisegundos (ms) se utilizan generalmente en voladuras de superficie. Los períodos de retardo varían dependiendo del fabricante, sin embargo, los incrementos más comunes son de 25 y 50 milisegundos.

B. Explosor.- (EXSA SAA., 2011, pág. 127) Pueden ser baterías, red de energía eléctrica y explosores. El número de taladros factibles de disparar en una voladura está limitado por la capacidad de suministro de energía de la fuente.

Las baterías sólo se emplean para disparos pequeños o eventuales presentando la posibilidad de fallas por bajo voltaje.

La red de energía (AC o DC) local con voltajes de 110 a 440 V tiene aplicación restringida, generalmente en minas subterráneas como instalación permanente, con dispositivo de protección contra tiros casuales prematuros o fallas en los disparos las líneas deben suministrar un mínimo de 1,5 A a cada detonador del circuito. Como en la corriente alterna de la red los valores de tensión varían con un ciclo de tiempo de 20 ms, no se sabe en realidad con qué intensidad de energía se activa el disparo, razón por la que son más confiables los explosores.

Explosores (blasting machines) Su capacidad o potencia debe ser mayor a la resistencia total del circuito encendido en por lo menos un amperio para garantizar el disparo completo.

Para determinar la energía total disponible (E) en el explosor se puede aplicar la relación:

$Ec = (1/2)\ C \times V^2$

Donde:

C: capacidad en faradios del explosor.

V: tensión en voltios que alcanza el condensador en el momento del disparo.

Puede ser de tipo:

- **Dinamo eléctrico.-** Explosores convencionales que tienen un pequeño generador de corriente continua con autoexcitación activado, manualmente mediante una manivela o resorte, utilizados para disparos pequeños en serie. La energía que suministran depende de su correcta operación; es decir, que su eficiencia en gran parte depende de la habilidad y experiencia de operador. Los más pequeños a manivela tipo Twist tienen capacidad para 10 detonadores. Los de palanca en T (tipo push-down) hasta 50 en serie y 200 en serie-paralelo.
- **Condensador.-** Explosores convencionales para disparos de gran número de detonadores o para detonadores de alta sensibilidad, en los que un generador de corriente alterna, accionado por la manivela carga electricidad a un condensador cerrándose el circuito cuando se alcanza la tensión adecuada, que es doblada después de rectificada por un montaje electrónico, produciéndose la descarga al circuito de disparo a su nivel máximo en un tiempo muy breve. Pero sólo al momento de presionar el botón de activación cuenta con sistemas de seguridad que no permiten el disparo si no hay carga suficiente o si se quita la llave de seguridad.

  Una resistencia especial absorbe la carga si ésta no es utilizada en un tiempo determinado. Puede trabajar en casi cualquier condición ambiental y encender hasta un millar de detonadores o más con un solo impulso.

  Se fabrican dos clases de condensadores:

Para conexiones en serie, con capacidad de 50 a 500 detonadores insensibles, con voltaje en bornes hasta 6 000 V, siendo los más utilizados en subterráneo los de 100 detonadores, 1 500 V.

Para conexiones en paralelo, con capacidad hasta 100 detonadores insensibles, con voltaje en bornes hasta 1 400 V especialmente para labores donde existe agua como en piques y pozos profundos.

El rango de rendimiento para la conexión en paralelo frente a la de serie puede llegar a 150 A. Ambos tipos de explores pueden ser adaptados para encender hasta 400 detonadores en un disparo secuencial utilizado para voladura de gran número de taladros donde la serie normal de detonadores eléctricos pueden crear una limitación técnica, o cuando se usan detonadores de distintos números de retardos dentro de cada taladro en cargas espaciadas.

- **Con explosor tipo secuencial.-** que consta de una unidad explosora y un equipo electrónico con temporizador se puede energizar hasta 10 circuitos independientes a la vez y en cada uno de ellos puede programarse el encendido de detonadores con salidas con incrementos de 1 ms, entre 5 y 999 ms, con un total entre 10 y 10 000 detonadores (de 1 a 1 000 por circuito, con diferentes tiempos).

  También hay explosores adecuados para detonadores como los Magnadet, o los de puente electrónico. Los explores se deben comprobar periódicamente mediante un reóstato especial, adecuado para cada modelo de aparato.

B.1. Procedimiento para la instalación de un circuito eléctrico de voladura en serie. (SENA- Centro Nacional Minero, 1986, págs. 25-36)

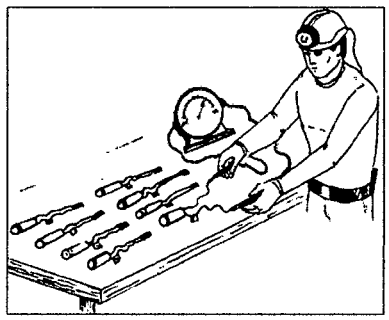
1. Seleccionar componentes.
2. Empacar y transportar componentes.
3. Instalar componentes.
4. Comprobar continuidad.
5. Instalar el explosor.
6. Accionar el explosor.

Operación N° 1: Seleccionar componentes.

Los componentes de un circuito eléctrico de voladura son: detonadores, línea de disparo (alambres conductores que conectan la fuente de energía con los detonadores), explosor y ohmímetro de voladura.

a) Retire la punta que une los terminales de los alambres del detonador.
b) Mida la resistencia de cada uno de los detonadores que se van a utilizar.

Figura 31. Medición de los detonadores eléctricos mediante el ohmímetro de voladura.



Fuente. SENA. Módulo 2: Instalacion de un circuito electrico de voladura en serie.

Para la selección tenga en cuenta:

- Cada terminal del detonador va conectado a un borne del Ohmímetro de voladura.
- Si la aguja del instrumento de medida se desplaza hacia el cero y luego se ubica en un sitio que indica el valor de la resistencia del detonador y es admisible este valor, dicho detonador está "apto" para su uso.
- Si la aguja no se desplaza. o se desplaza muy poco, dicho detonador "está dañado" y no se debe utilizar.

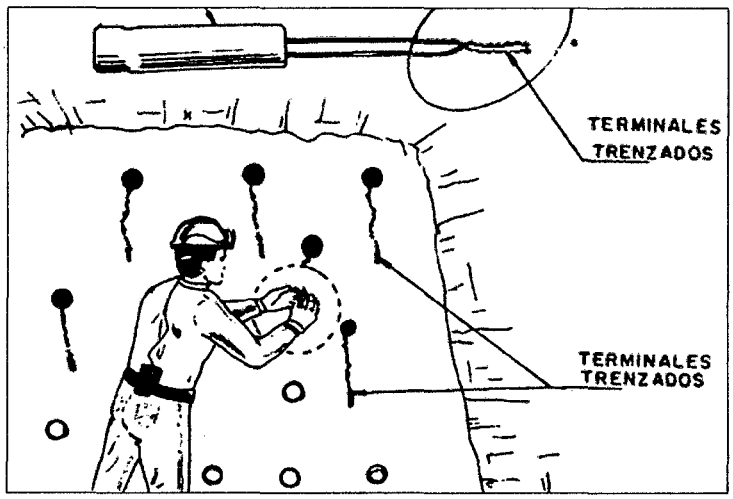
Operación N° 2: Empacar y transportar componentes:

a) Empaque separadamente los componentes para la voladura en serie.
b) El generador debe transportarse separado de los detonadores y de la línea de disparo.
c) Por seguridad en el manejo de los explosivos la caja debe ser de madera y de construcción antideflagrante.
d) El transporte debe ser el adecuado y exclusivo para este servicio.

Operación N° 3: Instalar componentes:

a) Coloque cada detonador en un " taco de dinamita".

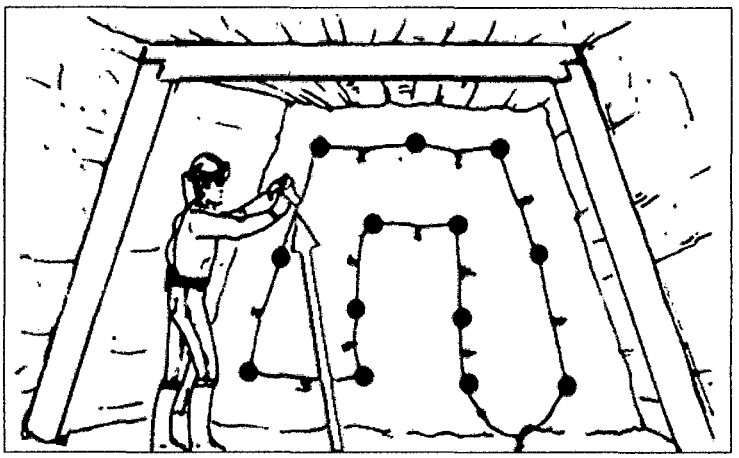
Figura 32. Cebo con terminal trenzado detonador eléctrico.



Fuente. SENA. Módulo 2: Instalacion de un circuito electrico de voladura

b) Introduzca cada taco de dinamita "cebado" con su detonador eléctrico en el taladro correspondiente. Los terminales del detonador deben estar en cortocircuito trenzados entre sí.
c) Interconecte los detonadores eléctricos.
d) Quite el cortocircuito de dos detonadores consecutivos y empalme un alambre del primer detonador con otro del segundo detonador.
e) Quite el cortocircuito del tercer detonador e interconéctela con la segunda. Continúe en la misma forma con los demás detonadores y conecte en cortocircuito los terminales del primer y último detonador.

Figura 33. Corto circuito entre terminales del primer y último detonador



Fuente. SENA. Módulo 2: Instalacion de un circuito electrico de voladura en serie.

Operación N° 4: Comprobar continuidad.

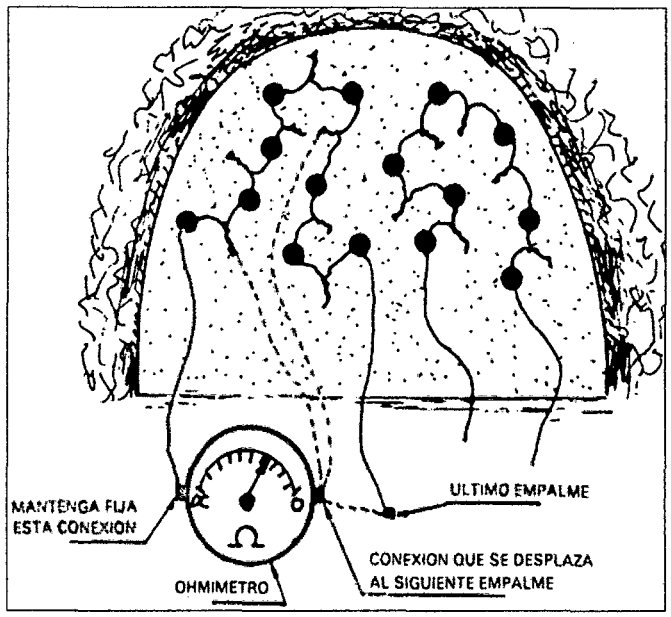
a) Tome el ohmímetro de voladura previamente probado.
b) Suelte los terminales del primer y último detonador que se han dejado en cortocircuito.
c) Conecte el ohmímetro entre estas dos terminales.

Si la aguja no se mueve del punto ∞ (punto infinito) el circuito está abierto y debe revisarse.

Para efectuar esta revisión tenga en cuenta los siguientes puntos:

1. Desconecte el ohmímetro del terminal de último detonador del circuito de voladura en serie.
2. Halle aproximadamente el empalme de la mitad del número de detonadores.
3. Pruebe con el ohmímetro en este empalme si hay o no continuidad.
4. Si la aguja se desplaza a " Cero" significa que el daño no está localizado en esta parte.
5. Si la aguja permanece en infinito significa que la falla está localizada en esta mitad de este circuito, lo que implica que se deberá medir la continuidad a todos los detonadores de esta parte de la siguiente manera:

Figura 34. Procedimiento correcto si hay falla en la mitad de circuito.



Fuente. SENA. Módulo 2: Instalacion de un circuito electrico de voladura en serie.

6. Fije en el ohmímetro de voladura el alambre de conexión del primer detonador de la serie que usted haya escogido y coloque el otro punto del ohmímetro de voladura en el primer empalme entre el primero y segundo detonador.
7. Si hay continuidad traslade el punto de salida del ohmímetro al segundo empalme entre segundo y tercer detonador y así sucesivamente observando si hay o no continuidad.
8. Donde no marque "Continuidad" se deduce que el último detonador que usted incluyó en la medida está dañada y se debe eliminar del circuito serie de voladura poniendo en corto circuito sus terminales.
9. Inmediatamente informe a su jefe sobre la falla presentada.
10. Continúe con el proceso de verificación de continuidad del circuito de voladura en serie.

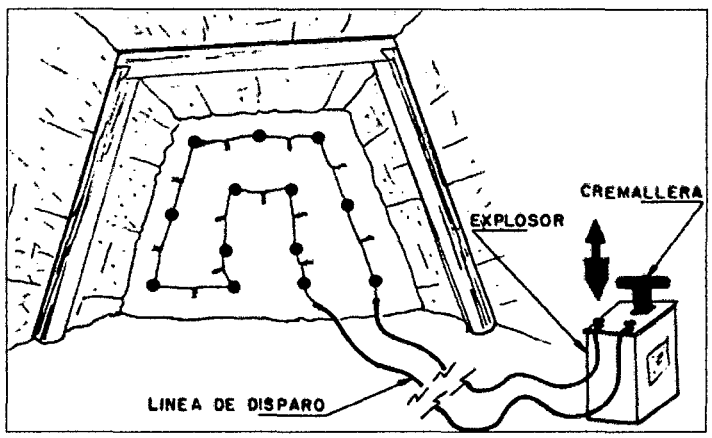
Operación N° 5: Instalar el explosor.

Luego de verificado el funcionamiento del circuito de voladura con el ohmímetro.

Se conecta la línea de disparo a los terminales del primer y último detonador que han quedado libres.

- Conecte los cables de la línea de disparo, uno al terminal libre del primer detonador y el otro al terminal libre del último detonador.
- Extienda la línea de disparo.
- Verifique la posición de la cremallera, que este en el interior del explosor.
- Conecte los cables de la línea de disparo, uno a cada borne del explosor.
- Avise que está instalado su circuito de voladura en serie y asegúrese que no hay persona alguna cerca del sitio de la voladura.

Figura 35. Accionar el explosor



Fuente. SENA. Módulo 2: Instalacion de un circuito electrico de

Operación N° 6: Accionar el explosor.

a) Asegure el explosor fuertemente al piso si es de cremallera, luego suba la cremallera al máximo.
b) Efectué el disparo introduciendo la cremallera rápidamente y con fuerza; imagínese que tiene que romper el fondo de la caja del explosor, así se generará la mayor diferencia de potencial y la voladura no fallara.
c) Si el explosor es de condensador gire rápidamente la manivela hasta que se produzca la detonación de la voladura.

2.3. Hipótesis:

2.3.1. Hipótesis general

La aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional, influye significativamente en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

2.3.2. Hipótesis específicas.

- El sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico contribuye en el control de la generación de sobre rotura y el mejoramiento del perfilado del contorno del pique N° 02.
- El impacto del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en los costos globales de perforación, voladura y extracción genera un ahorro sustancial.
- La aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico influye positivamente en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de profundización del pique N° 02.

2.4. Definición de términos:

2.4.1. AC: Referente a corriente alterna.

2.4.2. Andesitas: Geol. Roca volcánica compuesta de cristales de andesina, que se encuentra principalmente en los Andes.

2.4.3. Antideflagrante: Que elimina o reduce el peligro de explosión.

2.4.4. Arranque: también llamado corte o cuele, es la abertura que se forma primero en un frente, mediante algunos taladros que ocupan generalmente la parte central del trazo, que tienen una disposición especial y son los que hacen explosión primero.

2.4.5. Ayuda: taladros que cuya secuencia de detonación es seguido del arranque ampliando la cara libre apertura por el arranque.

2.4.6. Bancos fosilíferos: columna de rocas que contiene fósiles.

2.4.7. Blocks: reserva de mineral probado delimitado o cubicado en el yacimiento para su respectiva explotación.

2.4.8. Bolsillo de desmonte: también conocido como echadero de desmonte.

2.4.9. Bolsillo de mineral: también conocido como echadero de mineral.

2.4.10. Braquiópodos: adj. Zool. Se dice de los invertebrados marinos que por su concha bivalva se parecen a los moluscos lamelibranquios, pero cuya organización es muy diferente. Por lo general tienen valvas desiguales, una ventral y otra dorsal. Se conocen de ellos numerosas formas fósiles y algunas vivientes menos numerosas.

2.4.11. Brocal: Estructura base o collar del pique en superficie.

2.4.12. By pass: Es una labor subterránea que se construye paralelamente a la estructura de yacimiento en forma de veta.

2.4.13. Cable de tipo lang: Los alambres del torón, están torcidos en la misma dirección de los torones del cable.

2.4.14. Cable de tipo regular: Los alambres del torón, están torcidos en dirección opuesta a la dirección de los torones del cable.

2.4.15. Calizas dolomíticas: caliza cuya composición contiene menos del 50% de dolomita.

2.4.16. Cara libre: Hueco hecho en medio de un frente que sirve de escape a las ondas expansivas de una voladura.

2.4.17. Castillete: llamado castillo Corresponde a la estructura de madera, acero o concreto que cumple las siguientes funciones principales:

a) Soportar la polea por donde pasa el cable de izaje.

b) Servir de estructura donde se instala el chute, por donde se descarga a superficie o sobre una unidad de transporte el material extraído desde el fondo del pique.

2.4.18. Cebo: Porción de materia explosiva que se coloca en los taladros perforados, para producir, al inflamarse, la explosión de la carga.

2.4.19. Chispeo: Acción de dar encendido a los accesorios de voladura.

2.4.20. Columna estratigráfica: es una representación utilizada en geología y sus sub campos de estratigrafía para describir la ubicación vertical de unidades de roca en un área específica. Una típica columna estratigráfica muestra una secuencia de rocas sedimentarias, con las rocas más antiguas en la parte inferior y las más recientes en la parte superior

2.4.21. Combustión: Acción y efecto de arder o quemar.

2.4.22. Condensador: Sistema de dos conductores, separados por una lámina dieléctrica, que sirve para almacenar cargas eléctricas.

2.4.23. Corte en V: Está formado por 2 o más taladros que forman una "V", debe ser perforada en forma simétrica a ambos lados del eje del túnel, separados por una distancia considerable, tendiendo a encontrarse en la parte central.

2.4.24. Costos de producción: (También llamados costos de operación) son los gastos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. En una compañía estándar, la diferencia entre el ingreso (por ventas y otras entradas) y el costo de producción indica el beneficio bruto.

2.4.25. Cuadradores: son taladros que se ubican en la línea límite de excavación del pique.

2.4.26. Dacita: es una roca ígnea volcánica con alto contenido de hierro.

2.4.27. DC: referente a corriente continua.

2.4.28. Detonar: Iniciar una explosión o un estallido.

2.4.29. Detonador: fulminante que sirve para hacer estallar una carga explosiva.

2.4.30. Dínamo: Máquina destinada a transformar la energía mecánica en energía eléctrica, por inducción electromagnética, debida a la rotación de cuerpos conductores en un campo magnético.

2.4.31. Efecto de comprensión: Cuando un objeto tiende a comprimirse.

2.4.32. Efecto de cuña: Efecto de los gases de explosión que se infiltran en las grietas expandiéndose hasta provocar la ruptura de la roca.

2.4.33. Efecto de tracción: Cuando un objeto tiende a estirarse.

2.4.34. Espaciamiento: Es la distancia entre taladros cargados con explosivos de una misma fila o área de influencia en una malla de perforación.

2.4.35. Estopín: llamado también espoleta, fulminante, detonador o Capsula.

2.4.36. Explosor: Generador de energía eléctrica que se utiliza como fuente de alimentación de los circuitos de voladura eléctrica.

2.4.37. Factor de seguridad: El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad

máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos

2.4.38. Fanel: Nonel fabricado por la empresa Famesa explosivos SAC.

2.4.39. Faradio: Fís. Unidad de capacidad eléctrica del Sistema Internacional, equivalente a la capacidad de un condensador eléctrico cargado con un culombio y con una diferencia de potencial de un voltio. (Símb. F).

2.4.40. Fisuras: Son grietas que se manifiestan en el macizo rocoso.

2.4.41. Fragmentación: Rotura de una masa rocosa en varios fragmentos.

2.4.42. Fulmelec: Detonador eléctrico instantáneo fabricado por la empresa Famesa explosivos SAC.

2.4.43. Geotecnia: Geol. Aplicación de principios de ingeniería a la ejecución de obras públicas en función de las características de los materiales de la corteza terrestre.

2.4.44. Grietas: Hendidura alargada que se hace en la tierra o en cualquier cuerpo sólido.

2.4.45. Incandescencia: Cualidad dicho generalmente de un metal: Enrojecido o blanqueado por la acción del calor.

2.4.46. Incidente: Suceso inesperado relacionado con el trabajo que puede o no resultar en daños a la salud. En el sentido más amplio, incidente involucra todo tipo de accidente de trabajo.

2.4.47. Índice de accidentabilidad: Una medición que combina el índice de frecuencia de lesiones con tiempo perdido (IF) y el índice de severidad de lesiones (IS), como un medio de clasificar a las empresas mineras. Es el producto del valor del índice de frecuencia por el índice de severidad dividido entre 1000

$$IA = \frac{IF \times IS}{1000}$$

2.4.48. Insensible: Que carece de sensibilidad.

2.4.49. Latitas cuarcíferas.- Rocas volcánicas de composición similar a las monzonitas: con alto porcentaje de cuarzo con plagioclasas y feldespatos potásicos.

2.4.50. Ley de ohm: Ley de la electricidad que relaciona matemáticamente el voltaje que genera corriente eléctrica en un conductor dependiendo de la resistencia que posea este conductor.

2.4.51. Línea de disparo: Cables de cobre aislado de baja resistencia y de una longitud determinada que nos garantiza seguridad.

2.4.52. Longarina: Es un elemento (2 und) del cuadro colgante que cumple la función de soporte del resto de los elementos del cuadro en pique.

2.4.53. Mecha lenta: También llamada mecha de seguridad se utiliza para iniciar la detonación de un fulminante ordinario, y de acuerdo a su longitud establece un tiempo de seguridad para que el personal de la voladura se ponga en un lugar seguro.

2.4.54. Mecha rápida: La Mecha Rápida es uno de los componentes del sistema tradicional de voladura. Está conformado por un núcleo pirotécnico, con alambres centrales especialmente diseñados, recubiertos con una capa plástica, cuya finalidad es impermeabilizarla y proteger el núcleo pirotécnico.

2.4.55. Medias Cañas: Rastro dejado por los taladros cuadradores o de contorno visible después de la voladura.

2.4.56. Nonel: Es un detonador de tubo de choque, diseñado para iniciar explosiones, generalmente con el propósito de demoler los edificios y para su uso en la voladura de rocas en minas y canteras.

2.4.57. Ohmímetro de voladura: Aparatos para medir la resistencia de los detonadores eléctricos individualmente para comprobar el funcionamiento de los circuitos de voladura.

2.4.58. Onda de choque: Movimiento ondulatorio que afecta a toda la masa explosiva dentro de un taladro al explosionar un detonador.

2.4.59. Optimizar: Buscar la mejor manera de realizar una actividad.

2.4.60. Ostreas: roca fosilíferas formadas por restos de ostras.

2.4.61. Pentacord: Cordón detonante fabricado por la empresa Famesa explosivos SAC.

2.4.62. Polea: f. Rueda acanalada en su circunferencia y móvil alrededor de un eje. Por la canal o garganta pasa una cuerda o cadena en cuyos dos extremos actúan, respectivamente, la potencia y la resistencia.

2.4.63. Puente: También llamado gota, elemento del detonador eléctrico que transmite energía mediante su incandescencia por el paso de corriente para iniciar el detonador eléctrico.

2.4.64. Resistencia aerodinámica: o simplemente resistencia, a la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire, y en particular a la componente de esa fuerza en la dirección de la velocidad relativa del cuerpo respecto del medio. La resistencia es siempre de sentido opuesto al de dicha velocidad, por lo que habitualmente se dice de ella que, de forma análoga a la de fricción, es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

2.4.65. Rompimiento: Acción y efecto de romper o romperse.

2.4.66. Sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo: es el conjunto de elementos interrelacionados o interactivos que tienen por objeto establecer una política, objetivos, mecanismos y acciones necesarias para alcanzar mejoras en las condiciones laborales de los trabajadores y prevenir la ocurrencia de accidentes y enfermedades profesionales.

Así, velar por la integridad y salud de los trabajadores durante la ejecución de sus labores es una de las principales obligaciones que tiene todo empleador desde el inicio de una relación laboral. Dicha obligación tiene un nivel de importancia de primer orden reconocido no solo en los tratados internacionales sino también por nuestro derecho interno, a través del Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo y sus normas complementarias.

Teniendo en cuenta ello, es necesario que el empleador conozca no solo las obligaciones dispuestas en el ordenamiento laboral, sino que además se instruya en los aspectos técnicos relacionados con la seguridad ocupacional que coadyuvan a la prevención de accidentes de trabajo y proliferación de enfermedades profesionales.

2.4.67. Skip: Son recipientes que se llenan por volteo de los vagones o por acción de tolvas de almacenamiento sirven para contener desmonte o mineral en el pique.

2.4.68. Sobrequiebre: también conocido como sobre rotura.

2.4.69. Sobre rotura: Es el rompimiento fuera del límite de excavación establecido como también el agrietamiento en exceso de la roca.

2.4.70. Solera: Madero cuyos extremos están anclados de plano sobre roca firme para que en él descansen o se ensamblen el cuadro base en pique.

2.4.71. Tajeo: Cámara o caserón minero de donde se extrae insito el mineral valioso y canónicamente rentable de las entrañas de la tierra.

2.4.72. Tarugo: trozo cilíndrico o ligeramente cónico de madera que sirve como tapón de los taladros perforados en el pique.

2.4.73. Templador: Fierro corrugado o liso cuya función es soportar el peso del cuadro colgante.

2.4.74. Tiro cortado: Son aquellos en los que la carga explosiva del taladro no ha llegado a explosionar, no obstante que la guía ha llegado a consumirse e inclusive que haya explotado el fulminante.

2.4.75. Tiro no iniciado: También conocido como tiro fallado es el que no salió por diversos motivos operacionales o de los elementos conformantes, como falta de continuidad, estrangulamiento en el engargolado o en el doblez de la guía.

2.4.76. Tiro soplado: Son aquellos que aun cuando han explosionado, no han producido los efectos de la voladura deseados. Produciéndose en el mejor de los casos un "bombeo" del taladro.

2.4.77. Tiro taqueado.- Resultado de la voladura como falla cuya característica es que después de la voladura queda parte de uno o varios taladros intactos.

2.4.78. Tolvas: Es de forma cónica y siempre es de paredes inclinadas como las de un gran cono , de tal forma que la carga se efectúa por la parte superior y forma un cono, la descarga se realiza por una compuerta inferior.

2.4.79. Tracción: Esfuerzo a que está sometido un cuerpo por la acción de dos fuerzas opuestas que tienden a alargarlo.

2.4.80. Trinitrotolueno: Derivado nitrado del tolueno en forma de sólido cristalino. Es un explosivo muy potente.

2.4.81. Tubo de choque: Diseñado por Per Anders Persson (Nitro Nobel) en 1960. Tubo plástico con un contenido de octógeno aluminizado (HMX) adherido al tubo en su parte interior (adherencia > 95%).

La carga del tubo es próxima a 0.015 gramos por 1 metro de tubo o equivalentes a 0.15 gramos por 10 metros. La velocidad de detonación del tubo de choque es de alrededor 2000 m/s (2 m por ms).

2.4.82. Voladura controlada: También conocido como voladura de contorno consiste en distribuir linealmente la carga explosiva de baja energía y ubicarlos en taladros muy cercanos entre sí, posteriormente se disparan simultáneamente al final de la secuencia de la voladura.

- Busca producir superficies de roca lisas y estables.
- Contribuye a reducir la vibración de la voladura principal y la sobrerotura.
- Produce menor agrietamiento en la roca remanente.
- Es una alternativa para la explotación de estructuras débiles e inestables.

2.5. Identificación de variables:

2.5.1. Variable independiente:

X_j: Aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico.

2.5.2. Variable dependiente:

Y_i: Avance de la profundización del pique N° 02.

2.6. Alcances y Limitaciones:

2.6.1. Alcances:

- La presente investigación servirá como base para la realización de otras investigaciones referentes al tema.
- La aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico se hará extensivo en profundizaciones de piques cuya calidad de roca sean del TIPO II y II; además facilitará la transición desde piques con voladuras con sistemas de iniciación convencional hacia el sistema mixto.

- La aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico, como muestra la presente investigación contribuirá en el ahorro de costos de profundización en un pique, beneficiando a las empresas contratistas y el titular minero.

2.6.2. Limitaciones:

- Ausencia de pruebas de voladura en rocas de tipo I, IV, V por la formación geológica de la zona de la mina teresita.
- Carencia de datos de medias cañas en la aplicación de la voladura con sistema de iniciación convencional.
- Presencia de agua de niveles superiores que importunan el momento de la realización de las mediciones y observaciones.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito de estudio:

- Distrito: Huachocolpa.
- Provincia: Huancavelica.
- Región: Huancavelica.

3.2. Tipo de investigación:

Aplicada.

3.3. Nivel de investigación:

Descriptivo, explicativo.

3.4. Método de investigación

- Método general: Análisis y comparación.
- Método específico: Observación y medición.

3.5. Diseño de investigación.

- Pre experimental con un solo grupo:

  GE: O_1 X O_2

GE: Grupo experimental.

O_1: Pre test.

O_2: Post test.

X: Manipulación de la variable independiente.

3.6. Población, muestra y muestreo.

- Población: Los piques en profundización de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. – U.P. Recuperada.
- Muestra: El Pique N° 2 de la mina Teresita – U.P. Recuperada.

- Muestreo: Dirigida (no probabilística).

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

Estadística descriptiva, registros, mediciones directas, reportes de trabajo.

3.8. Procedimientos de recolección de datos:

Para la recolección de datos se procedió de la siguiente manera:

Se realizaron mediciones directas de las longitudes (m) del avance por disparo, el número de las medias cañas y el área (m^2) de sobre rotura después de cada voladura, para obtener un promedio que representen en la profundización del pique.

Los datos de los costos en perforación, voladura y extracción se obtuvieron a partir de los cálculos en base a los precios unitarios establecidos en la Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

Los datos recabados de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo son representados por la cantidad de incidentes y el índice de accidentabilidad, recolectados de los reportes que están en el departamento de seguridad de la U.P. Recuperada – Cía. de Minas Buenaventura.

3.9. Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos:

Estadística inferencial haciendo uso de software Minitab 16, hojas de cálculo Excel.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS.

Los resultados que a continuación se presentan son datos que se observaron del pique N° 2 de la mina Teresita – U.P. Recuperada.

4.1. Presentación de resultados.

4.1.1. Resultados del avance en la profundización del pique N° 2 - Mina Teresita.

Tabla 6.Indicadores y variables obtenidas con perforación en pique, sistema de iniciación mixto.

Datos generales		Eficiencia	Sección 2.20*5.60
Tipo de roca	Buena		
Ancho frente	m		2.20
Largo frente	m		5.60
Área del frente	m^2		12.32
Longitud de barreno	m		1.80
Longitud de taladro	m	97%	1.74
Avance estimado	m	92%	1.61
Diámetro de taladro	mm		38.00
N° taladro de alivio	Und.		0.00
Taladros disparados	Und.		60
Cartuchos por taladro	Und.		6
Cartuchos total utilizado	Und.		360
Peso total de explosivo	Kg.		39.46
Taladros perforados	Und.		60
Longitud de barrenación	m		104.40
Pies perforados	Pp		342.52
Peso específico desmonte	tn/m^3		2.20
Volumen roto de desmonte	m^3		19.84
Esponjamiento	m^3	27%	5.27
Volumen roto total	m^3		25.11
Tonelaje roto	tn		55.24
Factor de avance	Kg/m		24.51
Factor de carga	Kg/ m^3		1.99
Factor de potencia	Kg/tn		0.71

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.Avance de profundización por disparo, sistema de iniciación mixto.

Mes	Día	Barreno de perforación(m)	Longitud de perforación(m)	Avance (m) por disparo	% avance
Abril	23/04/2013	1.8	1.75	1.63	93%
	25/04/2013	1.8	1.73	1.62	94%
Junio	01/06/2013	1.8	1.74	1.55	89%
	06/06/2103	1.8	1.73	1.58	91%
	16/06/2013	1.8	1.74	1.62	93%
	18/06/2013	1.8	1.76	1.60	91%
	22/06/2013	1.8	1.72	1.63	95%
	25/06/2013	1.8	1.75	1.62	93%
Promedio		**1.8**	**1.74**	**1.61**	**92%**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8.Indicadores y variables obtenidas con perforación en pique, sistema de iniciación convencional.

Datos generales		Eficiencia	Sección 2.20*5.60
Tipo de roca	Buena		
Ancho frente	m		2.20
Largo frente	m		5.60
Área del frente	m^2		12.32
Longitud de barreno	m		1.80
Longitud de taladro	m	97%	1.75
Avance estimado	m	70%	1.22
Diámetro de taladro	mm		38.00
N° taladro de alivio	Und.		0.00
Taladros disparados	Und.		70
Cartuchos por taladro	Und.		7
Cartuchos total utilizado	Und.		490
Peso total de explosivo	Kg.		53.70
Taladros perforados	Und.		70
Longitud de barrenación	m		122.50
Pies perforados	Pp		401.90
Peso específico desmonte	tn/m^3		2.20
Volumen roto de desmonte	m^3		15.03
Esponjamiento	m^3	30%	4.50
Volumen roto total	m^3		19.53
Tonelaje roto	tn		42.97
Factor de avance	Kg/m		44.02
Factor de carga	Kg/ m^3		3.57

Factor de potencia	Kg/tn		1.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9.Avance de profundización por disparo, sistema de iniciación convencional.

Mes	Longitud promedio de perforación (m)	Avance promedio por disparo (m)	% avance promedio/Disparo	Números de disparos	Avance mensual (m)
Enero	1.75	1.21	69%	6	7.26
Febrero	1.73	1.23	71%	8	9.84
Marzo	1.76	1.22	69%	6	7.32
Promedio	**1.75**	**1.22**	**70%**	**7**	**8.14**

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultados de indicadores de voladura en la profundización del pique N° 2 - Mina Teresita.

Tabla 10.Obtención de medias cañas, sistema de iniciación mixto.

Día	N° taladros en contorno	N° de medias cañas	% de medias cañas
01/06/2013	30	13	43%
06/06/2103	30	17	57%
16/06/2013	30	10	33%
18/06/2013	30	14	47%
22/06/2013	30	15	50%
25/06/2013	30	14	47%
Promedio	**30**	**13.83**	**46%**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11. Sobre quiebre, sistema de iniciación convencional.

Mes	Promedio con sistema convencional (sección m²/disparo)	Caso teórico (sección m²/disparo)	% de sobrequiebre
Enero	14.33	12.32	16.35%
Febrero	14.27	12.32	15.81%
Marzo	14.51	12.32	17.82%
Promedio	**14.37**	**12.32**	**16.66%**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12. Sobrequiebre, sistema de iniciación Mixto.

Mes	Promedio con sistema de iniciación mixto (sección m²/disparo)	Caso teórico (sección m²/disparo)	% de sobrequiebre
Abril	13.21	12.32	7.20%
Junio	13.09	12.32	6.21%
Promedio	**13.15**	**12.32**	**6.71%**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. Comparación de tiempo total (guardias) de limpieza de carga, sistema de iniciación mixto vs sistema convencional.

Limpieza de carga	N° de guardias
Sistema de iniciación convencional	2.5
Sistema mixto de iniciación	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Extracción de carga en número de skips por disparo, sistema de iniciación convencional.

Mes	Promedio con sistema convencional (n° de skips/disparo), 1skip=0.62m³
Enero	35
Febrero	36
Marzo	34
Promedio	**35**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 15. Extracción de carga en número de skips por disparo, sistema de iniciación Mixto.

Mes	Promedio con sistema mixto de iniciación (n° de skips/disparo), 1skip=0.62m³
Abril	45
Junio	45
Promedio	**45**

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Resultados de los costos de perforación, voladura y extracción en la profundización del pique N° 2 - Mina Teresita.

Tabla 16.Costos por metro lineal, sistema de iniciación mixto vs sistema convencional.

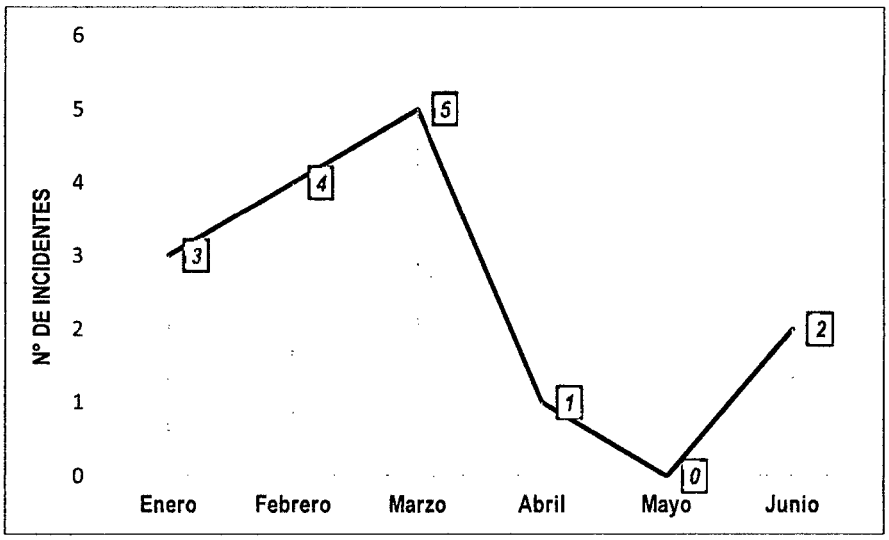
Parámetros	Costo(s/.)/m	
	Sistema mixto	Sistema convencional
Explosivos	371.67	498.93
Perforación	698.45	952.86
Extracción	2832.92	3115.44
Total (s/./m)	**3903.04**	**4567.23**

Fuente: Elaboración propia.

(En base a los anexos N°7, N°8, N°9, N°10 y N°11, Anexos)

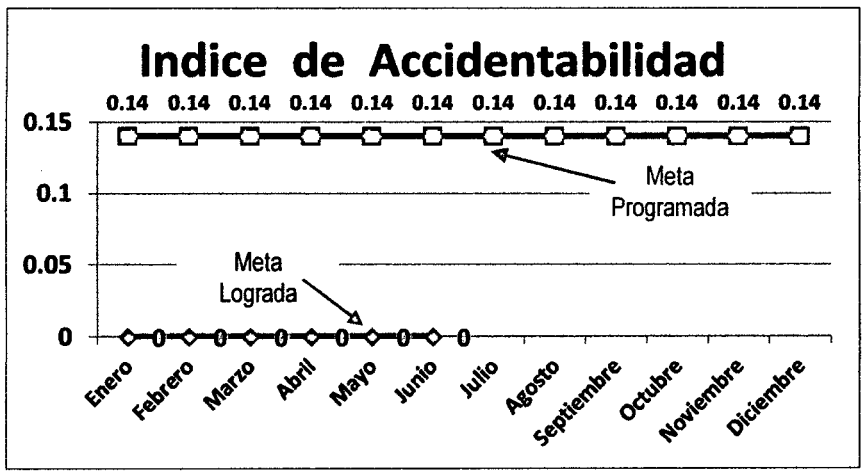
4.1.4. Resultados de la gestión de la gestión de la seguridad y salud en el trabajo en la profundización del pique N° 2 Mina Teresita.

Figura 36. Cantidad de incidentes ocurridos por mes en el pique N° 2 –Mina Teresita, sistema de iniciación mixto (abril-junio) vs sistema convencional (enero-marzo).



Fuente: Dpto. de Seguridad – U.P. Recuperada.

Figura 37. Índice de accidentabilidad por mes enero-junio.



Fuente: Dpto. de Seguridad – U.P. Recuperada.

4.2. Discusión.

4.2.1. Avance de la profundización del pique.

De acuerdo a las tablas N°7 y N°9 muestran el avance en metros por disparo, obteniéndose el promedio de las mediciones; con el sistema de iniciación convencional se avanzó 1.22m por disparo mientras que con el sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica se avanzó 1.61m por disparo. El sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica tiene un 31.97% de avance por disparo más que el sistema de iniciación convencional.

Tabla 17.Simulación de resultados para 112 m según el programa del proyecto de profundización del pique N° 2 – mina Teresita.

Metros totales del proyecto	N° de disparos	
	Sistema mixto	Sistema convencional
112	70	92

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N° 17 se observa que para cumplir 112m programados, con el sistema de iniciación convencional se realizarían 92 disparos mientras que con el sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica se realizarían 70 disparos; disminuyendo en 32 disparos respecto al sistema de iniciación convencional.

4.2.2. Indicadores de voladura de la profundización del pique.

De la tabla N°10 Se observa un 46% de medias cañas con la aplicación de la voladura con el sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica, obteniéndose una mejor calidad del perfilado del pique.

De la tabla N°12 se observa que con la aplicación del sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica se reduce a un 6.70% de sobre quiebre de un 16.66% que provocaba la aplicación del sistema de iniciación convencional.

De la tabla N°15 se observa que en la limpieza de carga del fondo del pique después de la voladura con el sistema mixto de iniciación eléctrico y no eléctrico se extraen 10

skips por disparo más que la voladura con el sistema de iniciación convencional (35 skips).

De la tabla N°13 concluimos que para la limpieza total de la carga del fondo del pique toma 3 guardias producidas por la voladura con sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica, mientras que la carga producida por la voladura con sistema de iniciación convencional toma 2.5 guardias.

4.2.3. Costos de perforación, voladura y extracción de la profundización del pique.

De la tabla N°16 el costo total por metro lineal considerando los ítems de perforación, voladura y extracción, muestra que con el sistema de iniciación convencional se obtiene 4567.23 s/ por metro y con el sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica se obtiene 3903.04 s/ por metro. Con la aplicación del sistema mixto de iniciación se genera 14.5% de disminución en los costos que equivale a 664.19 s/ por metro.

Tabla 18.Simulación de costos, resultados para 112 m según el programa del proyecto de profundización del pique N° 2 – mina Teresita.

Parámetros	Costo(s/.)	
	Sistema mixto	Sistema convencional
Explosivos	41 627.58	558 80.66
Perforación	78 226.24	106 720.42
Extracción	317 287.12	348 929.15
Costo global	**437140.95**	**511 530.23**

Fuente: Elaboración propia.

Según la tabla N°18 se observa que para lograr 112m programados de profundización del proyecto del pique (en base a la tabla N°16), con el sistema mixto de iniciación eléctrica y no eléctrica se logra disminuir los costos en 74 389.28 s/, solamente considerando 3 aspectos en el proceso de profundización.

4.2.4. Gestión de la seguridad y salud en el trabajo del avance de la profundización del pique.

En la figura. N°36 se observa que la tendencia del número de incidentes ha disminuido desde enero hasta junio del 2013.

De la figura N°36 y Anexo N°12; deducimos que cuando se aplicaba voladura con sistema de iniciación convencional, la mayor cantidad de incidentes son referidos a voladura (chispeo, tiros cortados, tiros no iniciados, tiros soplados, etcétera); mientras que en los meses de abril a junio los incidentes habidos ya no son referidos a voladura sino a otros tipos de incidentes.

En cuanto al índice de accidentabilidad (figura. N°37) en el pique N° 2- mina Teresita, en los meses de enero a junio del 2013 se mantiene en cero, no se presentaron accidentes mortales e incapacitantes.

4.3. Prueba de Hipótesis.

Formulación de la Hipótesis:

H_0: Hipótesis Nula

H_i: Hipótesis Alterna

H_0: La aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional, no influye significativamente en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

H_i: La aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional, influye significativamente en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.

Para la prueba de Hipótesis se aplicó la Prueba de t de Student (media versus objetivo). Para la prueba de hipótesis se ha utilizado los datos de la tabla siguiente:

Tabla 19. Datos para el análisis de la prueba de hipótesis.

N° de muestras	Avance por disparo con el sistema mixto de iniciación, m.
1	1.63
2	1.62
3	1.55
4	1.58
5	1.62
6	1.60
7	1.63
8	1.62
Promedio	**1.61**
Desviación estándar	**0.028253**
Objetivo (avance por disparo con el sistema de iniciación convencional, m)	**1.22**

Fuente: Elaboración propia.

Determinación del estadístico de prueba (*t*):

$$t = \left(\frac{\overline{X} - \mu_0}{S} \right) \sqrt{n} \quad \text{... (} \sigma \text{ desconocido)}$$

$\overline{X}$: 1.61

μ_0 : 1.22

S : 0.028253

n : 8

$\therefore$ t = 38.67

Determinación de la región de rechazo (*Tc*):

Obtenemos este valor del EXCEL 2013, aplicando la siguiente sintaxis:

Tc =DISTR.T.INV (probabilidad, grados de libertad)

Probabilidad es el nivel de significación α (dos colas) y 2*α (1 cola)

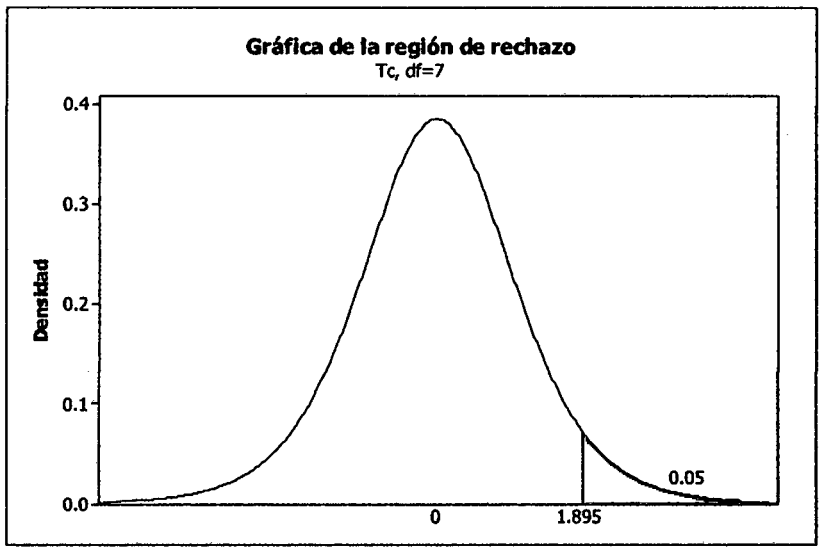
Grados de libertad (n-1) es el número de grados de libertad de la distribución.

α: 0.05

(n-1): 7

$\therefore$ Tc = 1.895

Figura 38.Región de rechazo (rojo)



Fuente: Elaboración propia, Minitab 16.

Conclusión:

Como la t = 38.67 > Tc = 1.895 y cae en la zona de rechazo; entonces se rechaza la Ho, y se acepta la hipótesis alterna H1 con un nivel de significancia de 5%.

CONCLUSIONES.

1. El sistema de iniciaciónmixto eléctrico (detonador eléctrico – explosor) y no eléctrico (nonel – cordón detonante) frente al sistema convencional (detonador ensamblado – mecha rápida) permite un incremento en el avance efectivo de la profundización en un 31.96% por disparo, pasando de 1.22m a 1.61m incrementándose en 0.39m por disparo, considerando para una roca tipo II.

2. Para una simulación de 112 metros de avance en profundización del pique, se requieren 70 disparos con el sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico, y 92 disparos con el sistema de iniciación convencional, esto representa una disminución del 23.91% del número de disparos.

3. Se observó un 46% en el número de medias cañas, obteniéndose en promedio 14 medias cañas con la aplicación del sistema de iniciaciónmixto eléctrico y no eléctrico.

4. El sistema de iniciaciónmixto eléctrico y no eléctricofrente al sistema convencional permite una disminución de un 10% en el sobrequiebre de un 16.66% provocado por la voladura con sistema convencional.

5. La extracción de la carga del fondo del piqueaumenta de 35 skips/disparo resultado de la voladura con sistema convencional, a 45 skips/disparo aplicando el sistema de iniciaciónmixto, además la limpieza del fondo del pique se realizan en 2.5 guardias y 3 guardias respectivamente.

6. En términos de costos, tomando en forma global la perforación, voladura y extracción, con el sistema de iniciaciónmixto eléctrico y no eléctrico frente al

sistema convencionalse generó un ahorro del 14.5% por metro lineal equivalente a 664.19s/./m de profundización.

7. Para una simulación de 112 metros de avance en profundización de pique, los costos de perforación, voladura y extracción generados globalmente con el sistema de iniciaciónmixto eléctrico y no eléctrico frente al sistema convencional se lograría un ahorro de74 389.28 s/.

8. La manipulación del sistema de iniciaciónmixto eléctrico y no eléctrico esmucho más práctico y rápido que con el sistema convencional, permitiendo la correcta ejecución de la voladura y reduciendo los riesgos que refieren a voladura (chispeo, tiros cortados, tiros no iniciados, tiros soplados, etcétera); todo esto se refleja en el desempeño positivo en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de profundización de pique N°2.

RECOMENDACIONES.

1. Para la profundización de un pique es necesario e importante tener un avance efectivo por disparo por ser un proyecto prioritario para desarrollar y preparar nuevas labores por consiguiente nuevos blocks a tajear; por ello se debe buscar nuevas técnicas e innovaciones que mejoren el ciclo de profundización del pique como es el caso de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrica y no eléctrica.

2. Se sugiere tener mucha precaución en los factores que influyen en la calidad de perforación de un pique como (grado de inclinación, paralelismo, espaciamiento y perforación efectiva de los taladros). Para ello se debe pintar la malla de perforación exacta con la ayuda de una plomada de albañil, dos flexómetros y el uso de por lo menos dos guiadores por cada equipo de perforación.

3. Un pique es un trabajo de ingeniería de alta precisión para esto debemos considerar la verticalidad o inclinación de la profundización y el rigor en el armado de la estructura del pique ya sean con vigas de madera, metal o concreto.

4. En la voladura de un pique se debe tener en cuenta los daños provocados al contorno y el perfilado de la sección para controlar la inestabilidad de las paredes del pique y posteriormente disminuir los elementos de sostenimiento.

5. Cualquier cambio o innovación que se realice en una actividad determinada se debe trabajar en base a costos, de nada serviría cambiar o innovar si los costos son muy elevados. Lo que se busca es menor costo y mayor avance o producción.

6. Es necesario una capacitación íntegra del personal que realizará el manipuleo del sistema de iniciaciónmixto eléctrico y no eléctrico para no tener inconvenientes a la hora de ejecutar este sistema de iniciación, conocer bien el procedimiento de la instalación detonador eléctrico – explosor para la entrega de energía al sistema de iniciación no eléctrico (nonel – cordón detonante) y asegurar buenos resultados tras la voladura en el pique.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EXSA SA. (s.f.). Obtenido de www. exsagel.com.pe

EXSA SAA. (2011). *MANUAL PRÁCTICO DE VOLADURA.* LIMA-PERÚ: EXSA.

FAMESA - EXPLOSIVOS Y ACCESORIOS PARA VOLADURA EN MINERÍA. (s.f.). Obtenido de www.famesa.com.pe

Fidel torres, M. B. (2011). *APLICACIÓN SISTEMA ELECTRÓNICO eDev TM EN VOLADURAS DE AVANCE SUBTERRÁNEO - MINERA SUYAMARCA.* LIMA - PERÚ.

Instituto Tecnológico Geominero de España. (1994). *MANUAL DE PERFORACIÓN Y VOLADURA DE ROCAS.* MADRID: ETIMSA.

INTERCADE. (2007). *PIQUES Y CHIMENEAS DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN - SEGUNDO MÓDULO.* Lima - Perú.

Konya, D. C., & N., I. E. (1998). *DISEÑO DE VOLADURAS.* México: Ediciones CUICATL.

ORICA MINIG SERVICES. (2008). *DETONADORES NO ELÉCTRICOS.* CUCUTA-COLOMBIA.

ORICA MINING SERVICES. (2008). *GESTIÓN Y SEGURIDAD RELATIVA A LOS EXPLOSIVOS.* SANTIAGO DE COMPOSTELA - ESPAÑA.

Quinto, I. Y. (2011). *PROYECTO: PIQUE 2 ESPERANZA.* U.P. Recuperada - CÍA. Buenaventura SAA.

SA., EXSA. (2011). *INFORME TÉCNICO: PRUEBAS CON EMULSIONES PLASTIFICADAS - EMULEX 80 Y 65 Y DETONADOR NO ELÉCTRICO DE 2.4m.* UP. Julcani - CÍA. Buenaventura SAA.

Sampieri, D. R., & Collado, D. C. (2006). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.* México D. F.: Ultra.

SENA- Centro Nacional Minero. (1986). *MÓDULO 2: INSTALACIÓN DE UN CIRCUITO ELÉCTRICO DE VOLADURA EN SERIE.* Bogotá - Colombia: SENA.

T., C. S. (1998). *CONSTRUCCIÓN DE TÚNELES, PIQUES Y CHIMENEAS.* Santiago de Chile: Servicios gráficos Claus von Plate y Cia. Ltda.

ANEXOS

ANEXO 1. Matriz de Consistencia.

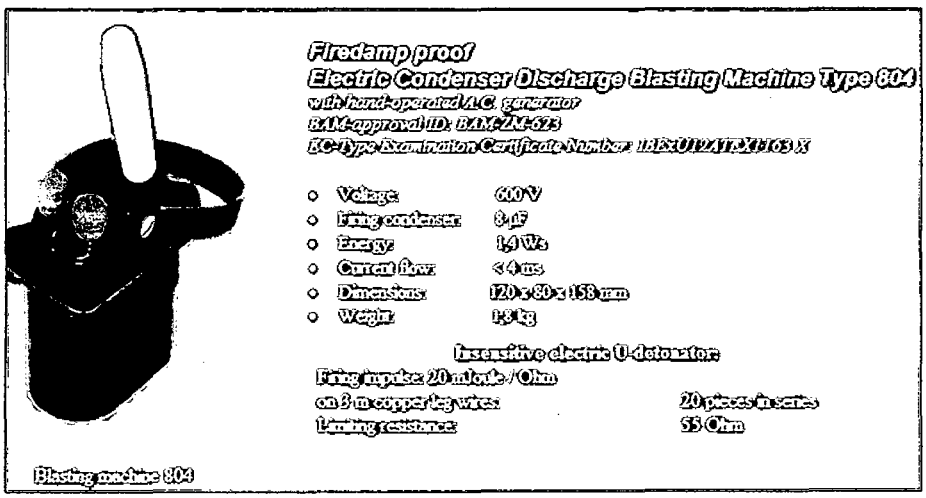
TÍTULO: VOLADURA CON SISTEMA DE INICIACIÓN MIXTO ELÉCTRICO Y NO ELÉCTRICO EN LA PROFUNDIZACIÓN DEL PIQUE N° 2, MINA TERESITA, UNIDAD DE PRODUCCIÓN RECUPERADA DE LA CIA. DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.			
PROBLEMA	**OBJETIVOS**	**HIPÓTESIS Y VARIABLE:**	**METODOLOGÍA**
ORMULACIÓN DEL PROBLEMA : ¿En qué medida la aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional, influirá en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A.? **PROBLEMAS ESPECÍFICOS:** • ¿Cómo contribuye el sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la no generación de sobrerotura y el perfilado del contorno en la profundización del pique N° 02? • ¿Cómo es el impacto del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en los costos de las operaciones unitarias de perforación, voladura y extracción en la profundización del pique N° 02? • ¿Cómo influye la aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de la profundización del pique N° 02?	**OBJETIVO GENERAL:** Evaluar la aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. **OBJETIVOS ESPECÍFICOS:** • Analizar los resultados de voladura en la no generación de sobrerotura y el perfilado del contorno en la profundización del pique N° 02 tras la aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico. • Analizar los costos de las operaciones unitarias de perforación, voladura y extracción tras la aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la profundización del pique N° 02. • Evaluar el sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de profundización del pique N° 02.	**HIPÓTESIS GENERAL** La aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico frente a un sistema convencional, influye significativamente en el avance de la profundización del pique N°2, Mina Teresita, Unidad de Producción Recuperada de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. **HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:** • El sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico contribuye en el control de la generación de sobrerotura y el mejoramiento del perfilado del contorno del pique N° 02. • El impacto del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico en los costos globales de perforación, voladura y extracción genera un ahorro sustancial. • La aplicación del sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico influye positivamente en la gestión de la seguridad y salud en el trabajo de profundización del pique N° 02. **VARIABLES:** **Variable independiente:** X_j: Aplicación de la voladura con sistema de iniciación mixto eléctrico y no eléctrico. **Variable dependiente:** Y_i : Avance de la Profundización del pique N° 02.	**TIPO DE INVESTIGACIÓN:** Aplicada. **NIVEL DE INVESTIGACIÓN:** Descriptivo, Explicativo. **MÉTODO DE INVESTIGACIÓN:** • Método general: Análisis y comparación. • Método específico: Observación y medición. **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:** • Pre experimental con un solo grupo: GE: O1 X O2 GE: Grupo experimental. O1: Pre test. O2: Post test. X: Manipulación de la variable independiente. **POBLACIÓN Y MUESTRA** **Población:** Los piques en profundización de la Cía. de Minas Buenaventura S.A.A. – U.P. Recuperada. **Muestra**: El Pique N° 2 de la Mina Teresita – U.P. Recuperada. **TÉCNICAS O INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS:** **Técnicas:** Documentación y Observación **Los Instrumento:** Registros, mediciones directas, reportes de trabajo.

ANEXO 2. Características técnicas del fulmelec instantáneo, usado en UP. Recuperada.

		FULMELEC INSTANTÁNEO
COLOR DEL ALAMBRE		Azul - Rojo
RESISTENCIA A LA PRESIÓN HIDROSTÁTICA POR 1 HORA	(kg/cm²)	2,1
	(lb/plg²)	30
PRUEBA DE ESOPO, DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm)		10,0
RESISTENCIA AL IMPACTO 2kg/1m		No inicia
VOLUMEN TRAUZL (cm³)		23
RESISTENCIA ELÉCTRICA DEL CABLE (ohm/m)		0.053
RESISTENCIA ELÉCTRICA DE LA GOTA (ohm)		1,5
IMPULSO AL ENCENDIDO (mWs/ohm)		3
SEGURIDAD CONTRA CORRIENTES ERRÁTICAS (A)		0,18

Fuente: Famesa Explosivos S.A.C.

ANEXO 3. Características técnicas del explosor Blasting Machine 804, usado en la UP. Recuperada.



Fuente: VSV Engineering.

ANEXO 4. Características técnicas del fanel, usado en UP. Recuperada.

DEL FULMINANTE DE RETARDO	FANEL®
DIÁMETRO (mm)	7,3
LONGITUD (mm)	60 / 68 / 88 / 92
PRUEBA DE ESOPO DIÁMETRO DE PERFORACIÓN (mm)	11,0
VOLUMEN TRAUZL (cm^3)	34
RESISTENCIA AL IMPACTO 2kg / 1m	No detona

DE LA MANGUERA FANEL		FANEL®
MATERIAL		Termoplástico flexible y de gran resistencia mecánica
DIAMETRO (mm)		3,3
LONGITUDES (m)		4,0 / 4,2 / 4,8 / 12 / 15 / 18
COLOR	PERIODO CORTO	Rojo
	PERIODO LARGO	Amarillo
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (kg)		18
VELOCIDAD DE ONDA (m/s)		2 000 ± 200

Otras longitudes se fabrican a pedido.

DE LA ETIQUETA	FANEL®
MATERIAL	Plástico
COLOR DE LETRA	Negro
COLOR DE FONDO	En función del tiempo de retardo

DEL CONECTADOR PLÁSTICO TIPO "J"		FANEL®
MATERIAL		Plástico
COLOR	PERIODO CORTO	Rojo
	PERIODO LARGO	Azul

Serie Estándar

PERIODO CORTO		PERIODO LARGO	
N° de serie	Tiempo de retardo (milisegundos)	N° de serie	Tiempo de retardo (segundos)
0	0	1	0,5
1	25	2	1, 0
2	50	3	1,5
3	75	4	2,0
4	100	5	2,5
5	125	6	3,0
6	150	7	3,5
7	175	8	4,0
8	200	9	4,5
9	225	10	5,0
10	250	11	5,6
11	300	12	6,2
12	350	13	6,8
13	400	14	7,4
14	450	15	8,0
15	500	16	8,6
16	600		
17	700		
18	800		
19	900		
20	1 000		

Serie Universal

PERIODO CORTO		PERIODO LARGO	
N° de serie	Tiempo de retardo (milisegundos)	N° de serie	Tiempo de retardo (segundos)
0	0	0	0
1	25	1	0,2
2	50	2	0,4
3	75	3	0,6
4	100	4	1,0
5	125	5	1,4
6	150	6	1,8
7	175	7	2,4
8	200	8	3,0
9	250	9	3,8
10	300	10	4,6
11	350	11	5,5
12	400	12	6,4
13	450	13	7,4
14	500	14	8,5
15	600	15	9,6
16	700		
17	800		
18	900		
19	1 000		
20	1 100		
21	1 200		

Fuente: Famesa Explosivos S.A.C.

ANEXO 5. Características técnicas del pentacord, usado en UP. Recuperada.

		3 P	3 PE	5 P	5 PE	8 P	8 PE	10 P	10 PE
PESO DE CARGA	(g/m)	4	4	5	5	8	8	10	10
	(granos/pie)	19	19	24	24	38	38	47	47
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	(kg)	60	70	60	70	60	70	60	70
	(lb)	132	154	132	154	132	154	132	154
VELOCIDAD DE DETONACIÓN	(m/s)	6 800	6 800	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000	7 000
	(pie/s)	22 309	22 309	22 965	22 965	22 965	22 965	22 965	22 965

Fuente: Famesa Explosivos S.A.C.

ANEXO 6. Características técnicas del emulex, usado en UP. Recuperada.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	UNIDADES	EMULEX 80	EMULEX 65	EMULEX 45
Densidad	g/cm³	1.14 ± 3 %	1.12 ± 3 %	1.00 ± 3 %
Velocidad de detonación *	m/s	5000	5000	4500
Velocidad de detonación **	m/s	5500	5500	5000
Presión de detonación	kbar	87	85	63
Energía	kcal/kg	1200	1100	700
Volumen normal de gases	l/kg	830	910	930
Potencia relativa por peso (Anfo = 100)	%	132	121	77
Potencia relativa por volumen (Anfo = 100)	%	185	167	95
Resistencia al agua (Norma Técnica Peruana)	hora	96	96	96
Categoría de humos		1	1	1
Vida útil	meses	6	6	6

* Sin confinar en tubo de hojalata de 30 mm de diámetro.
** Confinado en tubo de acero de 38 mm de diámetro.

DIMENSIONES (Ø X l)
Ø 25 mm (1") o mayor, en largos de 180 mm (7"),
200 mm (8"), 300 mm (12") ó 400 mm (16").

Fuente: EXSA S.A.

ANEXO 7. Costos de explosivos y accesorios en pique, sistema convencional.

Explosivos y accesorios	P. Unit. S/.	Cantidad	Costo s/.
Emulsión, encartuchada, emulex 65, 1" x 8"	0.85	490	416.50
Mecha rápida de ignición z-18	1.15	60	69.00
Carmex con conector 2.10 m.	1.76	70	123.20
Costo total/disparo			**608.70**
Costo total/metro			**498.93**

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 8. Costos de explosivos y accesorios en pique, sistema de iniciación mixto.

Explosivos y accesorios	P. Unit. S/.	Cantidad	Costo s/.
Emulsión, emulex 65% y emulex 45%, 1" x 8"	0.85	360	306.00
Fanel; nro. 02; Long: 4 m; amarillo; periodo largo	4.09	6	24.54
Fanel; nro. 04; Long: 4 m; amarillo; periodo largo	4.09	6	24.54
Fanel; nro. 06; Long: 4 m; amarillo; periodo largo	4.09	6	24.54
Fanel; nro. 08; Long: 4 m; amarillo; periodo largo	4.09	6	24.54
Fanel; nro. 10; Long: 4 m; amarillo; periodo largo	4.09	6	24.54
Fanel; nro. 12; Long: 4 m; amarillo; periodo largo	4.09	30	122.7
Fulminante eléctrico instantáneo (Fumelec)	11.18	2	22.36
Cordón detonante primeline 4p	0.59	15	8.85
	P. Unit. S/.	Vida útil	Costo s/.
Explosor, vsv-engineering, tipo 804	7893.24	500	15.79
Costo total/disparo			**598.40**
Costo total/metro			**371.67**

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 9. Costos de perforación en pique, sistema de iniciación mixto.

Sección m²	2.20x5.60			
Nº taladros	60			
Long. Barreno pies	6.00			
Long. Taladro	1.74			
Eficiencia de voladura.	1.61			
1.- Supervisión				
Mano de obra	Cantidad	Incidencia	Sueldo	Sub total
Ing. Residente	1.00	0.25	7200.00	60.00
Ing. Jefe de guardia	1.00	0.60	4200.00	84.00
Ing. Seguridad	1.00	0.25	5500.00	45.83
				189.83
Leyes sociales		64.58%		122.59
Asignación familiar	1.1 x (s/.60)/ 30 d			2.20
Total supervisión				**314.63**
2.- Mano de obra				
Mano de obra	Cantidad	Incidencia	Jornal	Sub total
Perforista	2.00	0.60	47.50	57.00
Ayudante perforista	4.00	0.60	45.50	109.20
Capataz	1.00	0.60	60.00	36.00
				202.20
Leyes sociales		106.770%		215.89
Asignación familiar	7 *0.6 x(s/.60) / 30 d			8.40
Total mano de obra				**426.49**
3.- Implementos de seguridad				
Descripción	Cantidad	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Casco	5.30	38.75	360.00	0.57
Lentes	5.30	24.00	45.00	2.83
Respirador	5.30	59.60	180.00	1.75

Filtros	5.30		7.69	30.00	1.36
Mameluco	5.30		43.48	180.00	1.28
Correa	5.30		10.69	150.00	0.38
Botas	5.30		56.51	90.00	3.33
Ropa de jebe	4.20		70.84	75.00	3.97
Guantes de jebe	5.30		26.27	20.00	6.96
Guantes de cuero	5.30		18.27	20.00	4.84
Tapón de oído	5.30		2.76	60.00	0.24
Barbiquejo	5.30		4.20	90.00	0.25
Total implementos de seguridad					**27.76**
4.- Máquina perforadora y accesorios					
Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Máquina perforadora	2.00	0.50	11951.85	60000.00	71.71
Manguera de jebe 1"(m)	50.00	1.00	6.84	150.00	2.28
Manguera de jebe 1/2(m)	50.00	1.00	3.35	150.00	1.12
Aceite perforación(gal)	1.00	1.00	18.74	4.00	4.69
Total maquina perf. Acc.					**79.79**
5.- Barrenos y accesorios					
Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Barra cónica de 6'	2.00	0.50	295.00	1600.00	33.19
Barra cónica de 4'	2.00	0.25	197.00	1200.00	14.78
Barra cónica de 3'	2.00	0.25	186.00	800.00	20.93
Broca de 38 mm	6.00	0.33	80.00	500.00	57.60
Total barrenos y acc.					**126.49**
6.- Costo de herramientas					
Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Lampa	2.00	1.00	14.83	60.00	0.49
Picos	2.00	1.00	15.98	60.00	0.53
Llave stillzon 14"	1.00	1.00	138.50	150.00	0.92
Barretilla 4'	2.00	1.00	8.16	45.00	0.36
Barretilla 6'	2.00	1.00	8.16	45.00	0.36
Total herramientas					**2.68**
Total					**977.83**
7.- Utilidad del contratista					
Utilidad:			15%		**146.67**
Costo total / disparo:					**1124.50**
Costo total / metro:					**698.45**

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 10. Costos de perforación en pique, sistema de iniciación convencional.

Sección m2	2.20x5.60
N° taladros	70
Long. Barreno pies	6.00
Long. Taladro	1.74m
Eficiencia de voladura	1.22m
1.- Supervisión	

Mano de obra	Cantidad	Incidencia	Sueldo	Sub total
Ing. Residente	1.00	0.25	7200.00	60.00
Ing. Jefe de guardia	1.00	0.60	4200.00	84.00
Ing. Seguridad	1.00	0.25	5500.00	45.83
				189.83
Leyes sociales		64.58%		122.59
Asignación familiar	1.1 x(s/.60)/ 30 d			2.20
Total supervisión				**314.63**

2.- Mano de obra

Mano de obra	Cantidad	Incidencia	Jornal	Sub total
Perforista	2.00	0.60	47.50	57.00
Ayudante perforista	4.00	0.60	45.50	109.20
Capataz	1.00	0.60	60.00	36.00
				202.20
Leyes sociales	106.770%			215.89
Asignación familiar	7 *0.6 x (s/.60) / 30 d			8.40
Total mano de obra				**426.49**

3.- Implementos de seguridad

Descripción	Cantidad	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Casco	5.30	38.75	360.00	0.57
Lentes	5.30	24.00	45.00	2.83
Respirador	5.30	59.60	180.00	1.75
Filtros	5.30	7.69	30.00	1.36
Mameluco	5.30	43.48	180.00	1.28
Correa	5.30	10.69	150.00	0.38
Botas	5.30	56.51	90.00	3.33
Ropa de jebe	4.20	70.84	75.00	3.97
Guantes de jebe	5.30	26.27	20.00	6.96
Guantes de cuero	5.30	18.27	20.00	4.84
Tapón de oído	5.30	2.76	60.00	0.24
Barbiquejo	5.30	4.20	90.00	0.25
Total implementos de seguridad				**27.76**

4.- Máquina perforadora y accesorios

Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Máquina perforadora	2.00	0.50	11951.85	60000.00	83.66
Manguera de jebe 1"(m)	50.00	1.00	6.84	150.00	2.28
Manguera de jebe 1/2(m)	50.00	1.00	3.35	150.00	1.12
Aceite perforación(gal)	1.00	1.00	18.74	4.00	4.69
Total maquina perf. Acc.					**91.74**

5.- Barrenos y accesorios

Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Barra cónica de 6´	2.00	0.50	295.00	1600.00	38.72
Barra cónica de 4´	2.00	0.25	197.00	1200.00	17.24
Barra cónica de 3´	2.00	0.25	186.00	800.00	24.41
Broca de 38 mm	6.00	0.33	80.00	500.00	67.20

Total barrenos y acc.					**147.57**
6.- Costo de herramientas					
Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Lampa	2.00	1.00	14.83	60.00	0.49
Picos	2.00	1.00	15.98	60.00	0.53
Llave stillzon 14"	1.00	1.00	138.50	150.00	0.92
Barretilla 4'	2.00	1.00	8.16	45.00	0.36
Barretilla 6'	2.00	1.00	8.16	45.00	0.36
Total herramientas					**2.68**
Total					**1010.86**
7.- Utilidad del contratista					
Utilidad:			15%		**151.63**
Costo total / disparo:					**1162.49**
Costo total / metro:					**952.86**

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 11. Costos de extracción en pique, sistema de iniciación mixto y sistema de iniciación convencional.

1.- Supervisión				
Mano de obra	Cantidad	Incidencia	Sueldo	Sub total
Ing. Residente	1.00	0.25	7200.00	60.00
Ing. Jefe de guardia	1.00	1.00	4200.00	140.00
Ing. Seguridad	1.00	0.25	5500.00	45.83
				245.83
Leyes sociales		64.58%		158.76
Asignación familiar		1.1 x(s/.60) / 30 d		3.00
Total supervisión				**407.59**
2.- Mano de obra				
Mano de obra	Cantidad	Incidencia	Jornal	Sub total
Perforista	2.00	1.25	47.50	118.75
Ayudante perforista	4.00	1.25	45.50	227.50
Capataz	1.00	1.00	60.00	60.00
				406.25
Leyes sociales		106.770%		433.75
Asignación familiar		8.5 x (60s/.) / 30 d		17.00
Total mano de obra				**857.00**
3.- Implementos de seguridad				
Descripción	Cantidad	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Casco	10.00	38.75	360.00	1.08
Lentes	10.00	24.00	45.00	5.33
Respirador	10.00	59.60	180.00	3.31
Filtros	10.00	7.69	30.00	2.56

Mameluco	10.00		43.48	180.00	2.42
Correa	10.00		10.69	150.00	0.71
Botas	10.00		56.51	90.00	6.28
Ropa de jebe	8.50		70.84	75.00	8.03
Guantes de jebe	10.00		26.27	20.00	13.14
Guantes de cuero	10.00		18.27	20.00	9.14
Tapón de oído	10.00		2.76	60.00	0.46
Barbiquejo	10.00		4.20	90.00	0.47
Total implementos de seguridad					**52.92**
4.- Costo de herramientas					
Descripción	Cantidad	Incidencia	P.U. S/.	Vida útil	Sub total
Lampas	6.00	1.00	14.83	60.00	1.48
Picos	4.00	1.00	15.98	60.00	1.07
Barretillas de 6'	2.00	1.00	8.16	45.00	0.36
Barretillas de 4'	2.00	1.00	8.16	45.00	0.36
Comba de 20 lb	1.00	1.00	71.67	120.00	0.60
Comba de 8 lb	1.00	1.00	18.80	60.00	0.31
Baldes de 20 l	2.00	1.00	5.00	30.00	0.33
Total herramientas					**4.52**
Total					**1322.03**
7.- Utilidad del contratista					
Utilidad:			15%		**198.30**
Costo total / guardia:					**1520.33**
Costo total / disparo(sistema convencional):					**3800.84**
Costo total / metro(sistema convencional):					**3115.44**
Costo total / disparo(sistema mixto):					**4561.00**
Costo total / metro(sistema mixto):					**2832.92**

Fuente: Elaboración propia.

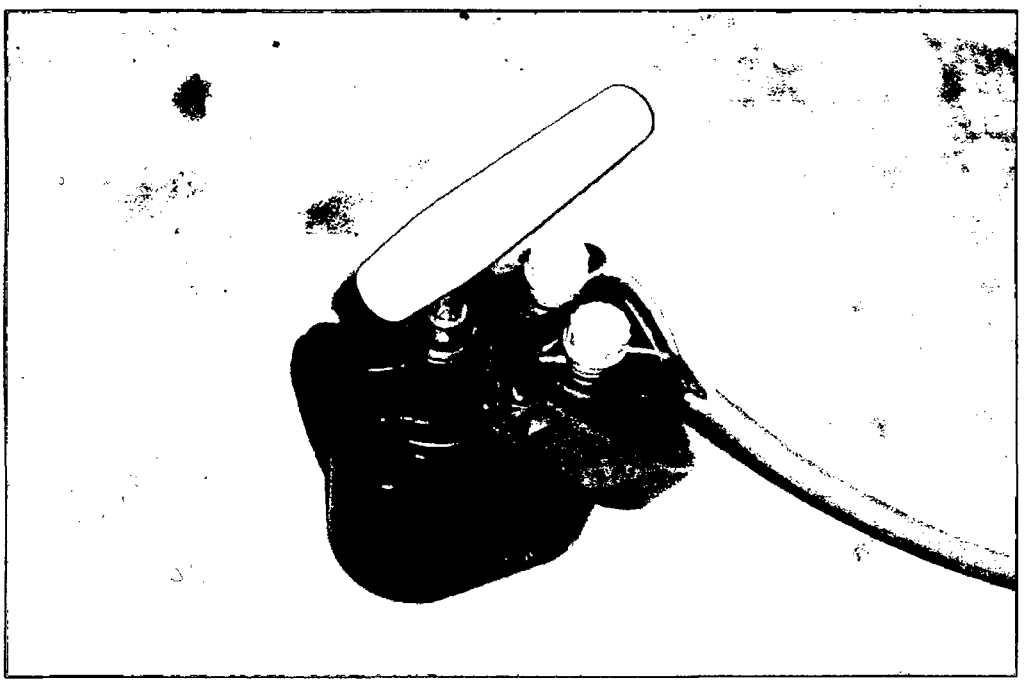
ANEXO 12. Incidentes ocurridos en el pique N°2-mina Teresita de enero a junio 2013.

FECHA		AREA	LUGAR DEL INCIDENTE	ACTIVIDAD	POTENCIAL DE SEVERIDAD	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NIVEL DE RIESGO	CAUSAS INMEDIATAS	DESCRIPCIÓN DEL SUCESO
ENERO	07/01/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 6 tiros cortados y 15 tiros soplados.
	14/01/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	VOL	CATASTRÓFICO	PODRÍA SUCEDER	ALTO	ACTO	El maestro piquero David Mulato Toribio regresó al fondo del pique luego de haber chispeado para nuevamente chispear porque la mecha rápida se interrumpió en su trayecto.
	19/01/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 1 tiro no iniciado y 3 tiros taqueados.
FEBRERO	01/02/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	VOL	CATASTRÓFICO	PODRÍA SUCEDER	ALTO	ACTO	El maestro piquero Ciro Llacctahuaman y el ayudante piquero Emerson Hilario luego de haber chispeado se quedaron en el fondo del pique para asegurar su continuidad resultando en su salida, con síntomas de haberse gaseado.
	08/02/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 2 tiros cortados.
	15/02/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 1 tiro cortado y 1 tiro soplado.
	21/02/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	CATASTRÓFICO	PODRÍA SUCEDER	ALTO	ACTO	El maestro piquero Erick Zapata y Michael Ramos se les encontró perforando cerca de un tiro no iniciado.
MARZO	02/03/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 3 tiros cortados.
	05/03/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 1 tiro cortado.
	09/03/2013	MNA	PQ. N° 02 - TER	EXTRACCIÓN	CATASTRÓFICO	HA SUCEDIDO	ALTO	CONDICIÓN	Por encima de la estación del nivel 4040 se descarriló el skip izando desmonte, dañando a 8 pisos de longarinas empatilladas, 13 guías completas, 5 pisos de cortina y 3 descansos.
	14/03/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	MEDIO	CONDICIÓN	Se encontró 2 tiros soplados.
	20/03/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	PERF/ VOL	CATASTRÓFICO	PODRÍA SUCEDER	ALTO	ACTO	Los trabajadores piqueros chispearon chispearon a media guardía sin poner vigía fuera del horario de chispeo.
ABRIL	19/04/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	VENTILACIÓN	FATALIDAD	HA SUCEDIDO	ALTO	CONDICIÓN	Se encontró la manga de ventilación sacada y ahorcada en la punta.
JUNIO	06/06/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	TRASLADO DE EXPLOSIVOS	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	ALTO	ACTO	El ayudante perforista Pedro Jinés en el momento del envío de explosivos del polvorín auxiliar, despachó explosivos y accesorios juntos para la voladura en el pique.
	19/06/2013	MINA	PQ. N° 02 - TER	EXTRACCIÓN	FATALIDAD	PODRÍA SUCEDER	ALTO	CONDICIÓN	El skip al momento del vaciado de la carga al bolsillo principal Nv. 370; rebasó parte de la carga que llevaba, cayendo hacia el fondo del pique, produciendo deslineamiento de guías al nivel del tapón metálico.

Fuente: Dto. De Seguridad – U.P. Recuperada..

ANEXO 13.Materiales necesarios para la voladura con sistema mixto de iniciación eléctrico (3: Fulminante eléctrico, explosor, 5: cable eléctrico de 600V) y no eléctrico (1: Fanel, 2: Emulex 65%, 4: Cordón detonante)

ANEXO 14.Explosor, VSV-ENGINEERING, TIPO 804.

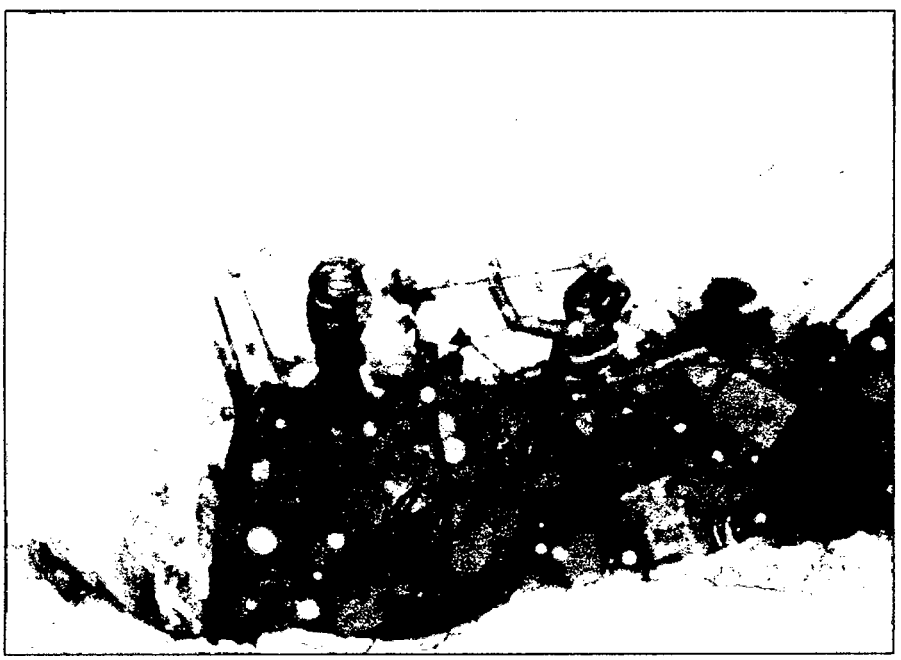


ANEXO 15.Fanel (N° periodo: 2, 4, 6, 8, 10,12)

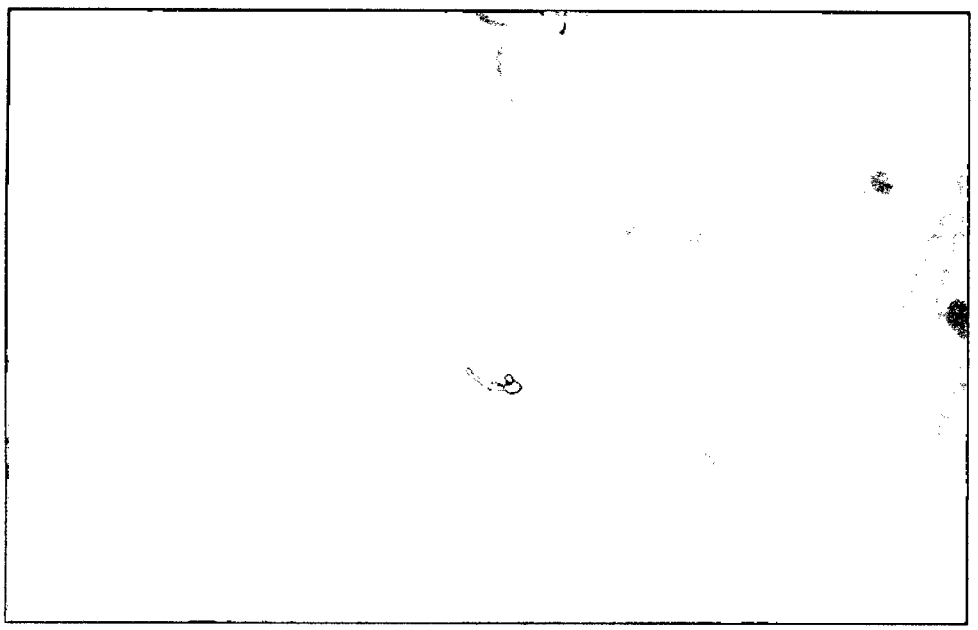
ANEXO 16.Fulminante eléctrico Fulmelec instantáneo.

ANEXO 17.Pintado de malla de perforación.

ANEXO 18.Perforación en pique.



ANEXO 19.Final de la perforación del pique taladros con sus respectivos tarugos.

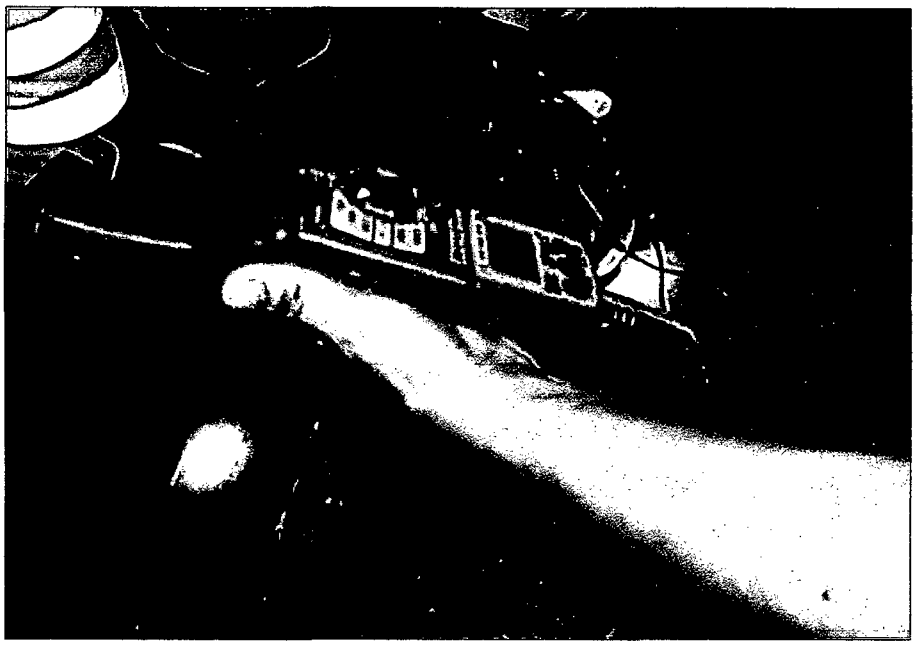


ANEXO 20.carguío de explosivos en los taladros.

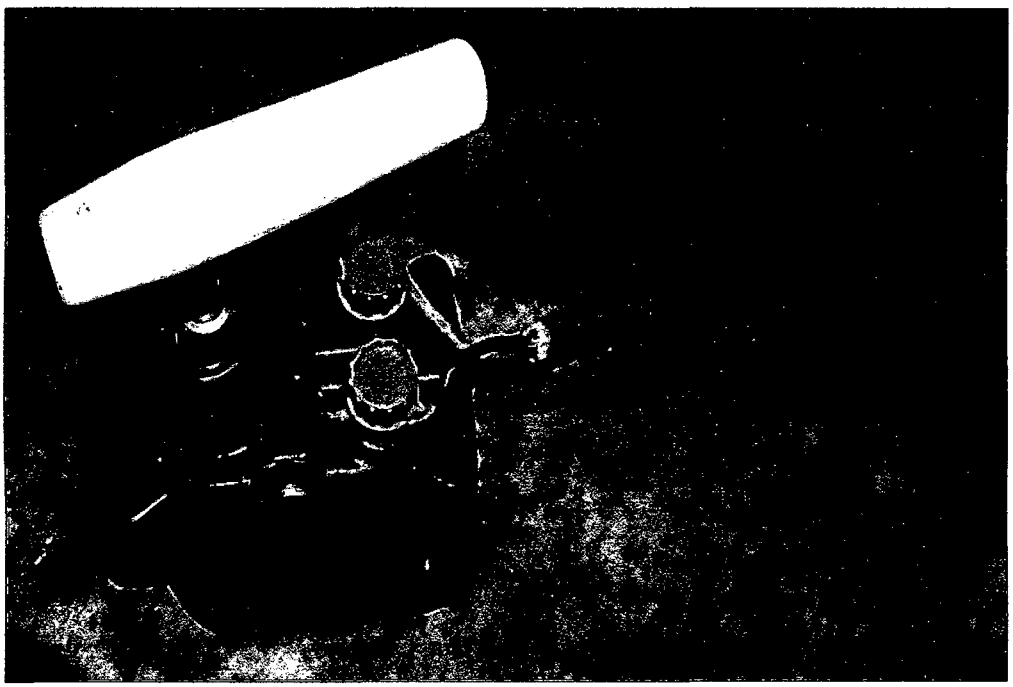
ANEXO 21. Amarrado del Pentacord con el fulminante eléctrico.

ANEXO 22.Asegurando el fulminante eléctrico instantáneo con el cable de 600V con cinta aislante.

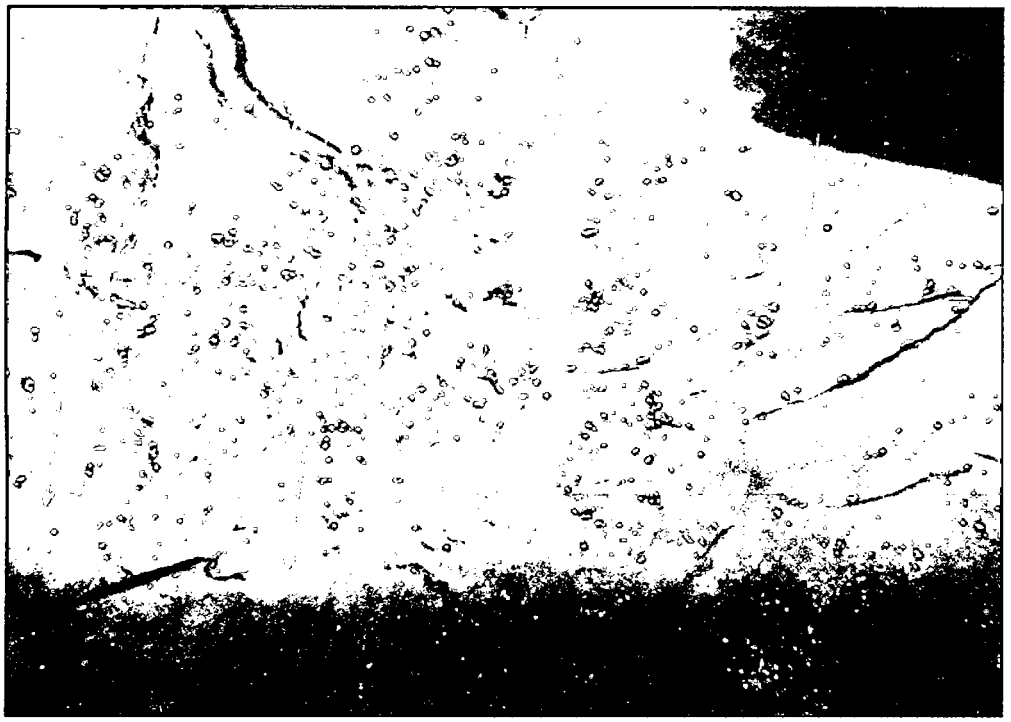
ANEXO 23.Probando el explosor con ohmímetro.



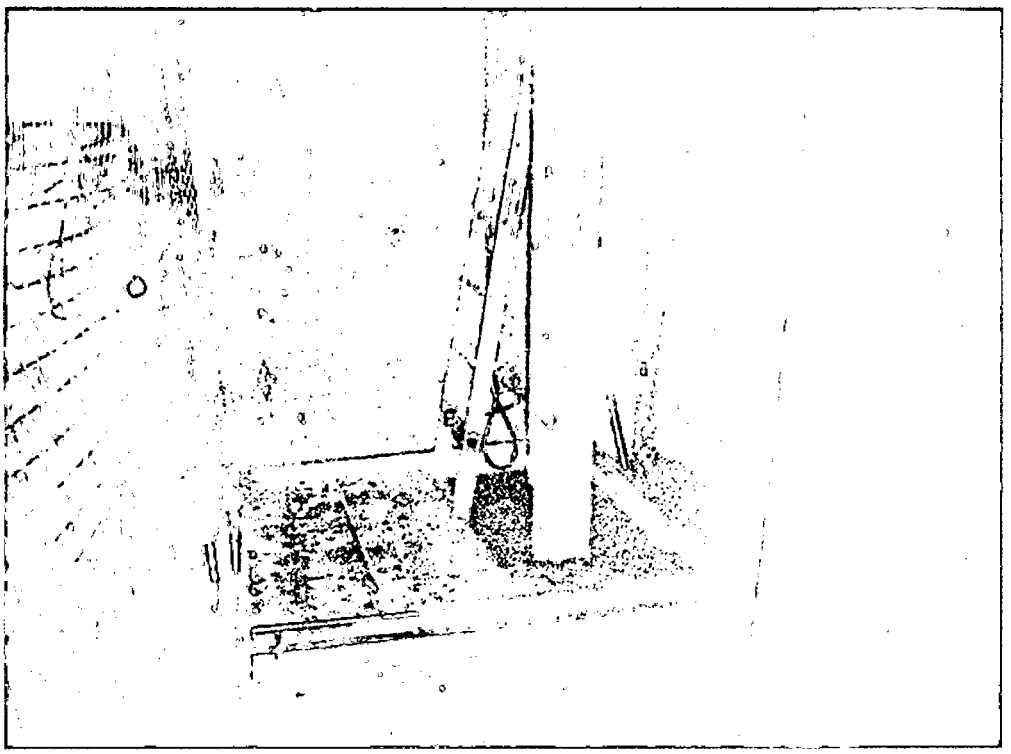
ANEXO 24.Cable de 600V conectado al explosor listo para iniciar la voladura.



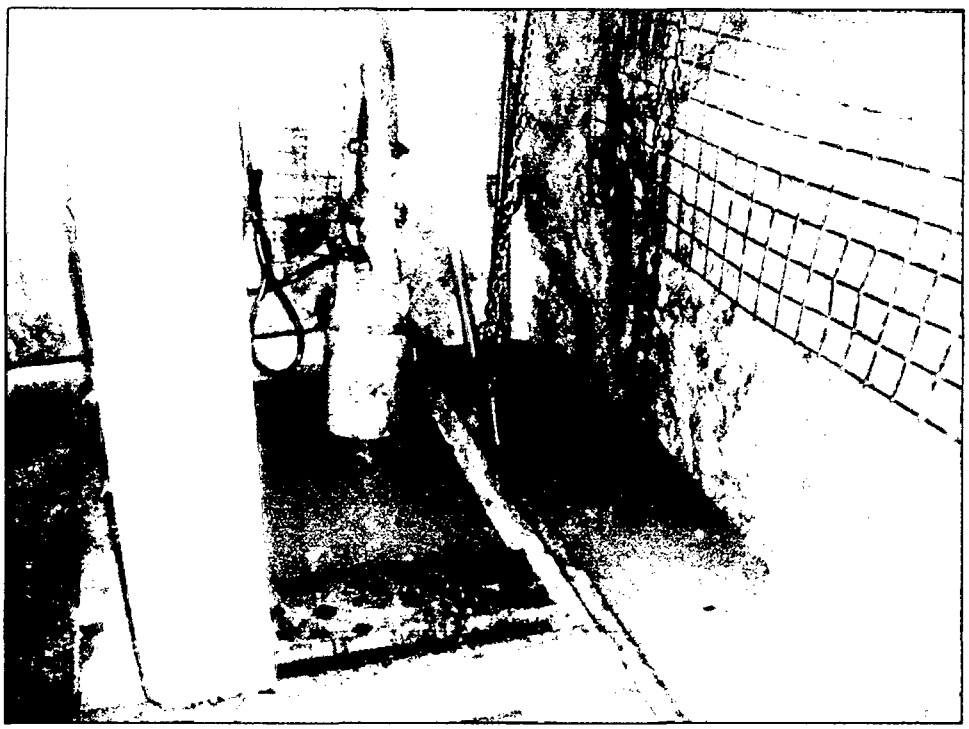
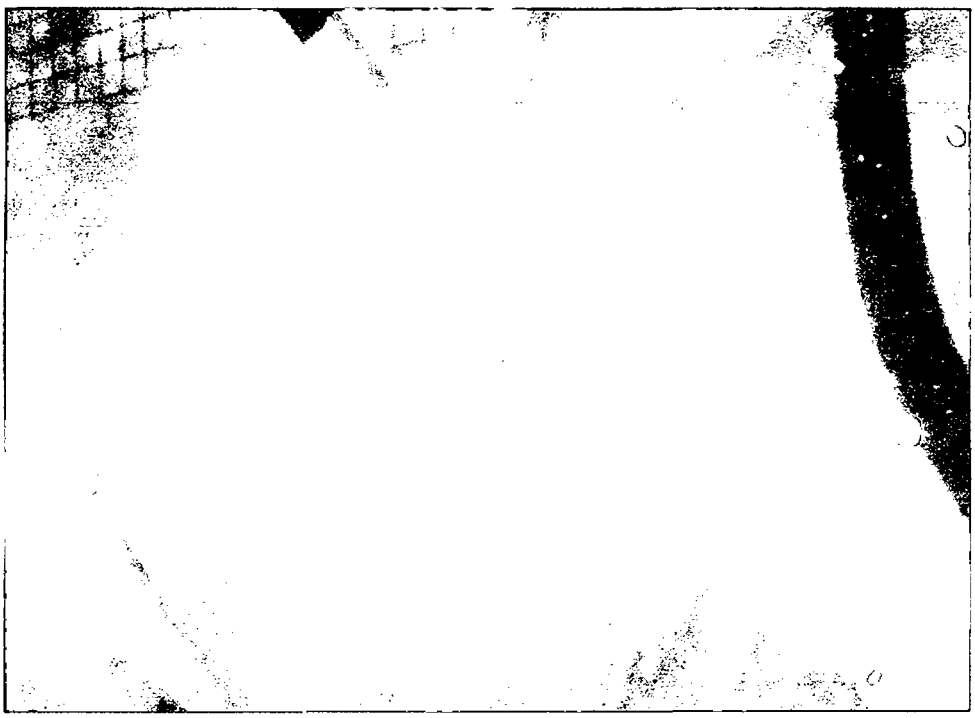
ANEXO 25.Vista de las cañas de perforación después de la voladura con el sistema mixto.



ANEXO 26.Sección del pique después de la voladura con el sistema mixto.



ANEXO 27.Sección del pique después de la voladura con el sistema mixto.



ANEXO 28.Sobrerotura con la voladura convencional.