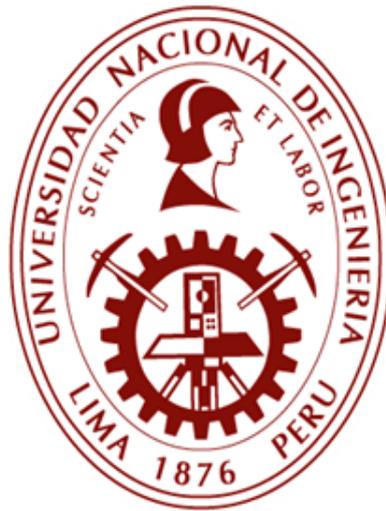


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**TESIS**

**“PERFORMANCE DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA  
EL CONTROL DE TIROS CORTADOS EN LA CONSTRUCCION  
DE LINEAS DE TRANSMISION DE ALTA TENSION”**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

ELABORADO POR:

**ANTONIO AMERICO CUNO SALCEDO**

ASESOR:

MSC. ING. EUSEBIO ROBLES GARCIA

LIMA – PERÚ

2020

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo lo dedico a mis padres: Pedro German Cuno Rodríguez; y Doña Zarela Salcedo Valdivia viuda de Cuno; por el apoyo moral y incondicional a lo largo de toda mi vida personal como mi vida profesional; y a mis hijos que son el motor y motivo de mi existencia.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNI por haber sido mi alma mater y en especial al ingeniero Eusebio Robles García, que me guió en la realización del presente trabajo.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar cómo se afecta la voladura con los tiros cortados, y de controlarse; optimiza la fragmentación y la seguridad en el proyecto. Por lo tanto, se planteó la hipótesis que al controlar los tiros cortados en la voladura se optimiza mejor la seguridad y fragmentación de la roca. Para lograr las metas del avance se eligió controlar e eliminar los tiros cortados. Para proceder con las metas se determinan las causas de los tiros cortados, un análisis a fondo determina que las causas de los tiros cortados que suponen un peligro con consecuencias fatales son esencialmente por mala manipulación (destreza del operador) y por condiciones físicas de los explosivos y sus respectivos accesorios; al controlar estos parámetros se llegó a obtener una alta eficiencia en la voladura al mismo que los índices de accidentes disminuyeron drásticamente.

## **ABSTRACT**

The objective of this research work was to determine how blasting is affected with cut shots, optimizing fragmentation and safety in the project. Therefore, the hypothesis was hypothesized that by controlling the shots cut in blasting, the security and fragmentation of the rock. To achieve the goals of the advance was chosen to control and eliminate the shots cut. To proceed with the goals determine the causes of the shots cut, an in-depth analysis determines that the causes of the shots cut that pose a danger with fatal consequences are essentially for bad handling (skill of the operator) and physical conditions of the explosives and their respective accessories; By controlling these parameters, a high blasting efficiency was achieved at the same time that the accident rates decreased drastically.

## Índice General

Contenido	Pág.
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>V</b>
<b>CAPITULO 1 : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1 Descripción de la realidad problemática .....	1
1.1.1 Negligencia:.....	1
1.1.2 Estado anímico del operario: .....	1
1.1.3 Rapidez en las labores: .....	1
1.1.4 Indiferencia:.....	1
1.1.5 Distracción:.....	2
1.1.6 Curiosidad: .....	2
1.1.7 Instrucción inadecuada:.....	2
1.1.8 Malos hábitos de trabajo:.....	2
1.1.9 Ausencia de planificación: .....	2
1.2 Problema General .....	3
1.3 Problemas Específicos .....	3
1.4 Objetivo Generales.....	3
1.5 Objetivos Específicos .....	4
1.6 Alcances. ....	4
1.7 Metodología. ....	4
<b>CAPITULO 2 : MARCO TEORICO</b> .....	<b>5</b>
2.1 Antecedentes .....	5
2.2 Diseño de los parámetros de voladura. ....	6
2.2.1 Accesorios de voladura usados. ....	8
2.2.2 Tipos de Explosivos usados en la voladura. ....	11
2.2.3 Diseño de Malla.....	12
2.2.4 Cantidad de material desalojado. ....	14

2.3 Análisis de causa efecto.....	15
2.3.1 Hombre.....	15
2.3.2 Maquina.....	15
2.3.3 Método.....	16
2.4 Propuesta de mejora.....	16
2.4.1 Metodología.....	16
2.5 Desarrollo de la propuesta de mejora.....	17
2.5.1 Mejora en el Planeamiento de las Labores.....	17
2.5.2 Mejora de Control en La Ejecución de Labores.....	17
2.6 Beneficios en seguridad.....	17
2.7 Beneficios en el ambiente.....	18
2.8 Marco conceptual de explosivos.....	18
2.8.1 Explosivo.....	18
2.8.2 Combustión.....	18
2.8.3 Deflagración.....	18
2.8.4 Detonación.....	18
2.8.5 Explosión.....	19
2.8.6 Termoquímica de explosivos.....	20
2.8.7 Presión de explosión.....	23
2.8.8 Presión de taladro o de trabajo.....	23
2.8.9 Calor de explosión.....	24
2.8.10 Volumen de explosión.....	25
2.9 Breve Historia de los explosivos.....	25
2.9.1 Pólvora negra.....	25
2.9.2 Nitroglicerina.....	26
2.9.3 Anfo.....	26
2.9.4 Geles con base de Agua.....	27
2.9.5 Nonel.....	27
2.9.6 Emulsiones.....	27

2.10 Características de los explosivos. ....	28
2.10.1 Plasticidad .....	28
2.10.2 Viscosidad .....	29
2.10.3 Fluidez.....	29
2.10.4 Flujo (free flowing) .....	29
2.10.5 Tendencia a compactación .....	29
2.10.6 Friabilidad .....	30
2.10.7 Homogeneidad .....	30
2.10.8 Porosidad .....	31
2.11 Características físicas de los explosivos .....	31
2.11.1 Potencia. ....	31
2.11.2 Densidad. ....	31
2.11.3 Sensibilidad. ....	31
2.11.4 Resistencia al agua. ....	32
2.11.5 Estabilidad química. ....	32
2.11.6 Velocidad de detonación. ....	32
2.11.7 Velocidad de detonación para explosivos confinados. ....	33
2.11.8 Impedancia.....	33
2.11.9 Características de los humos.....	34
2.12 Rocas generalidades.....	35
2.12.1 Rocas ígneas. ....	36
2.13 Características de la Roca .....	38
2.14 Mecanismo de Fragmentación de la Roca con Explosivos. ....	43
2.14.1 Detonación .....	43
2.14.2 Propagación de las Ondas de Choque. ....	44
2.15 Expansión de gases. (p 24 Manual de voladura ENAEX SA 2012)....	45
2.15.1 Teoría de la Explosión en la Voladura de rocas.....	47
2.15.2 Explosión por descomposición muy rápida .....	47
2.15.3 Explosión por oxidación muy rápida del aire.....	47

2.15.4	Explosión nuclear .....	47
2.15.5	Explosión por exceso de presión .....	48
2.15.6	Ignición espontánea .....	48
2.16	Geología y sus efectos en la Performance de la voladura de roca. ....	49
<b>CAPITULO 3: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>		<b>57</b>
3.1	Tipo de investigación.....	57
3.2	Nivel de investigación.....	57
3.3	Método de la investigación .....	57
3.4	Población y muestra .....	58
3.5	Hipótesis General.....	58
3.6	Hipótesis Específicas .....	58
3.7	Definición de variables .....	58
3.8	Diseño de la investigación.....	61
3.8.1	Factores de trabajo.....	61
3.8.2	Geomecánica del Macizo Rocoso.....	62
3.8.3	Herramientas y equipos.....	65
3.8.4	Herramientas de Gestión de seguridad y Salud.....	66
3.8.5	Procedimientos Operativos.....	68
3.8.6	Rocas Volcánicas .....	69
3.8.7	Depósitos del Cuaternario .....	73
<b>CAPITULO 4: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>		<b>75</b>
4.1	PRUEBA DE HIPOTESIS.....	78
<b>CAPITULO 5: DISCUSIÓN .....</b>		<b>79</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	80
5.2	RECOMENDACIONES .....	81
5.3	BIBLIOGRAFIA .....	82

**Índice de Tablas**

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 6 <i>Características técnicas de la mecha de seguridad</i> .....	11
Tabla 7 <i>Características técnicas de la dinamita semi gelatinosa</i> .....	12
Tabla 8 <i>Velocidad de detonación del ANFO</i> . .....	12
Tabla 9 <i>Calculo del material desalojado en una zapata</i> . .....	14
Tabla 1 <i>Resistencia de los explosivos al agua</i> .....	32
Tabla 2 <i>Concentración Máxima Permisible</i> .....	35
Tabla 3 <i>Requisitos Mínimos por Categoría</i> .....	59
Tabla 4 <i>Leyenda</i> .....	60
Tabla 5 <i>Cuadrilla de perforación y Voladura</i> : .....	60

## Índice de Figuras

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<i>Figura 1</i> Sección esquemática de un banco demostrando las variables de diseño (sin escala) .....	8
<i>Figura 2</i> Fanel dual.....	9
<i>Figura 3</i> Características del Conector tipo Hongo.....	10
<i>Figura 4</i> Dinamita semi gelatinosa.....	11
<i>Figura 5</i> Modelo tridimensional de la malla de voladura.....	14
<i>Figura 6</i> Partes de una Perforadora. Manual. Stoper.....	16
<i>Figura 7</i> Energía Potencial en un Explosivo.....	21
<i>Figura 8</i> Decaimiento de la presión del Taladro respecto al tiempo. ....	24
<i>Figura 9</i> Variación de la Impedancia respecto a la fragmentación .....	34
<i>Figura 10</i> Nocividad de gases según volumen.....	35
<i>Figura 11</i> Agrupamiento de Roca según su Tamaño y Textura. ....	38
<i>Figura 12</i> Clasificación de rocas sedimentarias. ....	38
<i>Figura 13</i> Dureza de roca. ....	40
<i>Figura 14</i> Clasificación de la roca .....	40
<i>Figura 15</i> Clasificación de la roca para Planeamiento de Minado .....	41
<i>Figura 16</i> Grado de dureza en la Perforación de roca.....	41
<i>Figura 17</i> Velocidad de propagación de las ondas en la fragmentación de roca. ....	42
<i>Figura 18</i> Velocidad de las ondas longitudinales. ....	42
<i>Figura 19</i> Clasificación de la dureza de roca .....	43
<i>Figura 20</i> Esquema de la velocidad de detonación de la roca. ....	44
<i>Figura 21</i> Interacción de las ondas transversales de esfuerzo.....	45
<i>Figura 22</i> Rotura de la roca por esfuerzo de tracción y compresión.....	46
<i>Figura 23</i> Proceso de detonación en un taladro.....	46
<i>Figura 24</i> Efectos de la detonación en el interior de un taladro.....	47

<i>Figura 25</i> Distribución de la energía útil de trabajo versus energía perdida en el disparo.....	48
<i>Figura 26</i> Tipos de falla de la roca.....	50
<i>Figura 27</i> Plano de buzamiento, Rumbo.....	52
<i>Figura 28</i> Rumbo respecto al plano de la malla de perforación.....	52
<i>Figura 29</i> Perforar taladros inclinados .....	55
<i>Figura 30</i> Variabilidad de perforación respecto al buzamiento en la voladura.....	56
<i>Figura 31</i> Organización y Formación de Comités S&SO.....	59
<i>Figura 32</i> Características mecánicas de la roca.....	64
<i>Figura 33</i> Prueba de compresión de la roca. ....	65
<i>Figura 34</i> Esquema de análisis evaluación y control del riesgo. (Elaboración propia). ....	66
<i>Figura 35</i> Mapa geológico de la ciudad de Huarney .....	69
<i>Figura 36</i> Colinas de andesitas porfíricas cubiertas por material eólico. ....	70
<i>Figura 37</i> Miembro Los Morros ubicado en las inmediaciones del A.H. Miramar. ....	71
<i>Figura 38</i> Terrazas aluviales presentes en el extremo sureste de la ciudad de Huarney.....	72
<i>Figura 39</i> Conglomerados de diversos diámetros presentes en el sector noreste de la ciudad de Huarney (A.H. La Victoria).....	73
<i>Figura 40</i> Corte en las inmediaciones del cementerio de Huarney. Se observa capas de arena fina con niveles delgados de gravilla angulosa. ....	74
<i>Figura 41</i> Depósitos marinos presentes, desde Puerto Huarney hasta playa Huanchaquito. ....	75
<i>Figura 42</i> Depósitos eólicos acumulados en el litoral de las playas en Huarney.....	76
<i>Figura 43</i> Depósitos eólicos acumulados en el litoral de las playas en Huarney. ....	76
<i>Figura 44</i> Secuencia de una observación planeada de trabajo .....	77
<i>Figura 45</i> Categorías Seguras / Riesgosas.....	75
<i>Figura 46</i> Tendencia de comportamiento riesgoso, y seguro en la etapa de entrenamiento.....	76
<i>Figura 47</i> Meses siguientes, donde el personal ya estaba capacitado y entrenado .....	77

**Índice de Anexos**

<b>Contenido</b>	<b>Pág.</b>
<b>Anexos A</b> Matriz de consistencia .....	83
<b>Anexos B</b> Panel fotográfico .....	84
<b>Anexos C</b> Plano de ubicación de la obra.....	90
<b>Anexos D</b> Cuadros estadísticos .....	91

## **CAPITULO 1 : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1 Descripción de la realidad problemática**

La voladura de rocas se considera un trabajo de alto riesgo, El índice de frecuencia en la voladura en relación con otros tipos de accidentes es menor, no obstante, su índice de gravedad es mayor, generalmente con consecuencias muy graves que no solamente afectan al trabajador causante de la falla, sino también a las demás personas, equipos e instalaciones que le rodean.

Según estadísticas en el ámbito mundial y local, los accidentes con material explosivo, son producidos en su mayoría por actos sub estándares y pocas veces por condiciones sub estándares.

La falta de entrenamiento y la ausencia de supervisión eficaz demuestran la alta tasa de accidentabilidad, llegando de 80% a 90% de los accidentes fatales.

Aunque no es razón primordial tratar el aspecto personal, hay al menos 10 factores humanos que causan accidentes, en el caso especial de la manipulación de explosivos y voladura, deben ser tomados muy en cuenta por todos los involucrados, especialmente por los supervisores responsables de la voladura; estos son:

#### **1.1.1 Negligencia:**

Son actos que transgreden las normas de seguridad establecidas, generan situaciones de riesgo que puede condicionar un accidente.

#### **1.1.2 Estado anímico del operario:**

El consumo de alcohol y drogas contribuyen al colaborador; pierda la concentración, adicionado a un cansancio genere situaciones críticas de incidentes.

#### **1.1.3 Rapidez en las labores:**

Actuar sin pensar o muy apresuradamente conduce a comportamientos peligrosos.

#### **1.1.4 Indiferencia:**

El descuido, falta de atención; no estar alerta o soñar despierto induce a cometer errores en el trabajo.

**1.1.5 Distracción:**

Interrupciones por otros cuando se están realizando tareas delicadas o peligrosas, problemas familiares, bromas pesadas, mal estado de salud.

**1.1.6 Curiosidad:**

Hacer una labor desconocida simplemente para saber si lo que sucede es riesgoso, siempre se debe preguntar a la supervisión.

**1.1.7 Instrucción inadecuada:**

El personal recibe órdenes de la supervisión poco acertadas y sin conocimiento técnico en manipulación con explosivos

**1.1.8 Malos hábitos de trabajo:**

La persistencia en realizar errores continuos; donde existen estándares de trabajo, entre ellos están: no usar los elementos de seguridad obligatorios.

**1.1.9 Ausencia de planificación:**

Es un motivo importante para que ocurra un incidente peligroso.

El supervisor debe tener presente que los accidente ocurren por error en el comportamiento o alguna condición sub estándar no visible o no detectada, pero que son previsible; que la capacitación constante y adecuada es condición para la seguridad, y que el trabajo en equipo, es una responsabilidad compartida. Se debe actuar siempre con criterio y responsabilidad, tener experiencia en el trabajo, tratar bien al colaborador, manteniendo teniendo el liderazgo y ser perseverante en el seguimiento detallado de todas las etapas del trabajo.

Demostrar competencia en la gestión documentaria en el manejo de explosivos y características, especificaciones de los explosivos y demás insumos que emplea, evaluando las condiciones de trabajo y del entorno laboral (accesibilidad, vigilancia y demás). En voladura una sola persona debe ser responsable de todo el proceso de disparo; debiendo delegar funciones, pero al final, todos deben coordinar con él; e informarle verazmente todos los detalles a su cargo.

El empleo de explosivos en minería, obras de construcción; están normados en todo el mundo por reglamentos específicos en cada país. En el Perú corresponden a la DICSCAMEC «Reglamento de Control de

Explosivos de uso civil» en: importación, comercialización, transporte de explosivos.

En el transporte multimodal (marítima, fluvial, terrestre) es fundamental reducir los riesgos de incendio, detonación, robo y manipuleo de explosivos por personas no autorizadas; debe ser efectuado solamente por personas competentes con suficiente conocimiento de sus características como: sensibilidad, simpatía, en otras características y efectuarse su traslado sólo en vehículos en perfectas condiciones de transporte, llevando los banderines, extintores y demás implementos de reglamento. En la manipulación de explosivos se debe evitar el maltrato del material explosivo, por los operarios encargados de cargar o descargar el vehículo, muchas veces por desconocimiento o apuro arrojan las cajas al suelo o las estiban desordenadamente. Los agentes de voladura tipo ANFO o emulsión a pesar de tener menor sensibilidad que las dinamitas y las emulsiones e hidrogeles (sensibilizados al detonador y explosiones fortuitas) por necesitar mayor energía para el arranque, no dejan de ser explosivos, y deben ser tratados con las mismas normas de cuidado. Cualquier detonador o retardo independientemente de su construcción es muy sensible al daño mecánico y debe ser tratado con mucho cuidado.

## **1.2 Problema General**

- ❖ ¿Se realizó la estandarización para el control de tiros cortados en la construcción de torres de alta tensión?

## **1.3 Problemas Específicos**

- ❖ ¿Se realizó avances de modelización en el proceso de voladuras de rocas denominado tiro cortado?
- ❖ ¿Se realizó la revisión minuciosa del proceso de los diversos incidentes para evitar los tiros cortados?

## **1.4 Objetivo Generales**

La presente investigación objetivos tiene por objetivo:

Difundir los diversos impactos ambientales inducidos por la voladura de rocas en el sector construcción y minero.

Promover la estandarización del procedimiento seguro de voladura de rocas

Informar a las comunidades aledañas que en los procesos de construcción se realizan procesos de voladura; usando ciencia y tecnología con responsabilidad socio-ambiental, protegiendo sus bienes y/o vidas.

### **1.5 Objetivos Específicos**

Conocer los avances logrados a la fecha en la modelización de una problemática crítica en el proceso de la voladura de rocas denominado: "Tiro Cortado". que produce mayores daños tanto personales como materiales.

La revisión minuciosa del proceso, y reportar los diversos incidentes para evitar los Tiros Cortados; y de ellos elegir y recomendar el proceso más adecuado.

Evitar daños personales y/o materiales a la zona circundante a la obra y sobre todo a las comunidades aledañas.

### **1.6 Alcances.**

Los alcances de la presente investigación estarán enfocados al personal en general y en especial al personal técnico en explosivos; en función directa de los datos de campo obtenidos del monitoreo de cada proceso sistemático en cada cuadrilla. la retro alimentación constante entre el supervisor y el personal técnico es utilizada para evitar la desviación de los procedimientos operativos para evitar los tiros cortados.

### **1.7 Metodología.**

La metodología está basada en el estudio del proceso en el campo, donde al existir una desviación detectada por el supervisor o capataz de cuadrilla; La retro alimentación se dará en función directa al proceso correcto; es decir los procedimientos de trabajo seguro.

## CAPITULO 2 : MARCO TEORICO

### 2.1 Antecedentes

**Mendoza M. (2012).** Perú. Huancayo. “optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera paraíso-ecuador”, Su preocupación principal es mejorar los parámetros de perforación y voladura; para resolver la problemática utiliza modelos matemáticos de Holmberg.

**Poma F. (2012).** Perú, Lima. “Importancia de la Fragmentación de la Roca en el proceso Gold Mill”, Su problemática era solucionar por qué en la etapa de fragmentación de roca, el tamaño de los fragmentos era superior a lo estimado.

**Vilella W (2012).** Perú. Lima. “Análisis de factibilidad para el uso del anfo Pesado a base de emulsión gasificable en Minera Yanacocha”. Su principal problema era determinar las ventajas del anfo pesado en la fragmentación de la roca, dado los parámetros entregado en el modelo matemático de Langerford; disminuyendo el costo de utilización de otros agentes explosivos de voladura.

**Villena C (2013).** Perú Lima. “Modelo Matemático para predecir el lanzamiento de fragmentos de roca en Minería Superficial”. Utiliza el modelo matemático del doctor Alan Bauer, y Langerford, asimismo utiliza para contrastar el modelo matemático, la teoría matemática del movimiento Parabólico. Llegando a predecir la distancia del lanzamiento de los fragmentos rocoso en la voladura de roca, concluyendo que el problema no es el lanzamiento de la roca, sino el control de la voladura para la fragmentación de la roca.

#### **Optimización de parámetros críticos en la voladura de rocas.**

El método utilizado para la selección de variables, será con criterio que nos entregue la menor fragmentación posible, respetando las restricciones tales como: Fly Rock, Decibeles, Velocidad Pico de Partícula.

La inter dependencia de las demás variables están en función de las variables principales, que procederemos a describirlas:

Burden: Variable principal, parametrizada por la altura del banco a fragmentar y el diámetro del equipo de Perforación; estos parámetros van relacionados directamente proporcional.

Espaciado: Está función del Burden, esta variable definirá la geometría de la malla de perforación

Sobre perforación Estará en función del Burden, dependiendo de las condiciones geomecánicas (RMR) del macizo rocoso, para un terreno de mayor dureza se requerirá una mayor sobre perforación para obtener un piso de banco regular

Taco: Relacionada con el Burden, y dependerá de las restricciones impuestas en cuanto a Fly Rock, Polvo, etc

Diámetro taladro: Estará en función de la altura de banco, alturas de banco mayores requieren diámetros mayores para resultados adecuados.

Densidad Explosivo: Depende de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso en estudio, y se estará limitado por las restricciones impuestas en cuanto a Fly Rock, Polvo, etc.

Factor de Potencia: Depende de las condiciones geomecánicas del macizo rocoso, y estará limitado por las restricciones impuestas en cuanto a Fly Rock, Polvo, etc.

## **2.2 Diseño de los parámetros de voladura.**

Variables físicas controlables:

Las variables que intervienen en una voladura y sobre las cuales podemos tener control son:

- Diámetro del taladro o barreno.
- Profundidad del taladro o barreno.
- Sobre perforación.
- Tamaño del taco.
- Material del taco.
- Espaciamiento entre taladros o barrenos.
- Numero de taladros o barrenos por voladura.
- Dirección del movimiento de la roca.
- Tacos intermedios.

Por lo tanto, dadas las dimensiones físicas, podemos controlar el tiempo de la voladura; en tal sentido el encargado de la voladura puede:

Seleccionar el retardo para lograr una voladura geométrica.

Seleccionar el sistema de iniciación para lograr secuencias apropiadas de la salida de los taladro o barrenos.

Planear el patrón de voladura cuidando la variabilidad de detonación de los fulminantes o iniciadores

Diseñar un modelo matemático que controle la vibración.

Utilizar un modelo matemático adecuado para lograr la máxima fragmentación, mínimo golpe de aire, reducir el Fly rock y tener control el nivel de fondo propuesto técnicamente.

Asimismo para tener los resultados confiables, el proveedor debe ofrecer:

- Un sistema de iniciación seguro y confiable.
- Un explosivo adecuado a las condiciones ambientales que solucione:
  - Problemas de agua.
  - Que tenga mayor energía liberada al momento de detonar.

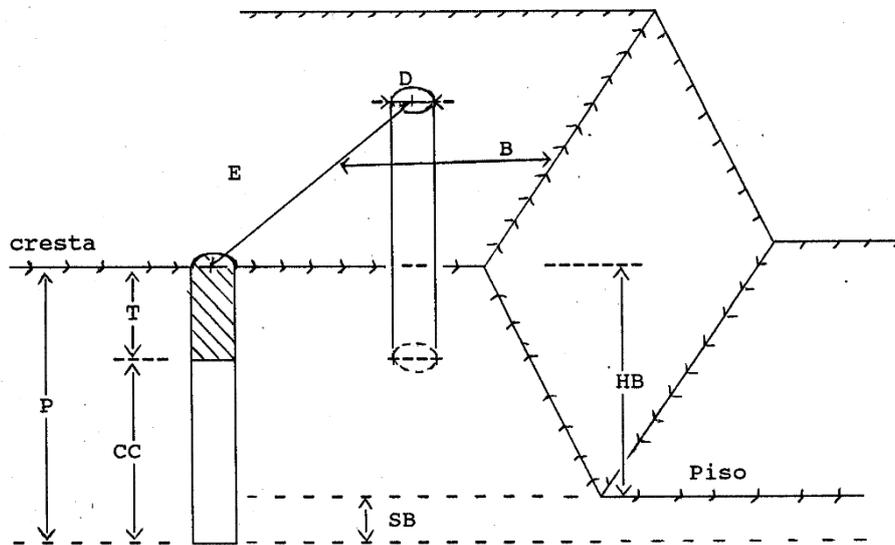
Variables no controlables:

Las variables sobre las cuales podemos tener control son:

- Geología local.
- Características de la roca.
- Disposiciones legales y sus reglamentos.
- Cercanías de las estructuras a proteger.

Dado las variables mencionadas, se requiere que el supervisor de voladura modifique el diseño estándar ya que pueden alterar el diseño de voladura de roca; para superar la postura de estas limitaciones y sacar provecho de ellas.

Las variables y parámetros utilizados en el diseño de voladura son demostrados en la siguiente figura, con los símbolos correspondientes que se manejaran en las ecuaciones para su determinación.



*Figura 1* Sección esquemática de un banco demostrando las variables de diseño (sin escala)

D= Diámetro del taladro o barreno (plg, mmm).

B= Burden o Bordo (Ft, Mt).

T= Taco (Ft, Mt).

CC= Carga de columna explosiva (Ft, Mt).

P= Profundidad del taladro o barreno (Ft, Mt).

SB= sobre perforación o sub-barrenación (Ft, Mt).

E= Espaciamiento entre taladros o barrenos (Ft, Mt).

Otras variables utilizadas en el diseño.

De= Diámetro del explosivo (plg, mm).

Ge= Densidad del explosivo (gr/Cm<sup>3</sup>).

Gr= Densidad de la roca (Ton/Mt<sup>3</sup>).

Sti= Potencia relativa del explosivo.

Dc= Densidad de carga en el taladro o barreno (Lb/Ft, Kg/Mt).

Ti= tiempo de salida de los taladros o barrenos (ms).

### 2.2.1 Accesorios de voladura usados.

La voladura para la construcción de estas zapatas, para torres de alta tensión se empleará como accesorios de voladura, FANEL DUAL (Famesa), mecha de seguridad para iniciar el chispeo.

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL FANEL DUAL:



*Figura 2* Fanel dual

El FANEL DUAL. Es un sistema de iniciación no eléctrico que fue desarrollado para minería subterránea, superficial y obras civiles. Su principal característica radica en eliminar la necesidad de mantener y almacenar varios tiempos de retardo.

El FANEL DUAL está compuesto de los siguientes elementos:

**Fulminante de superficie:** Se encuentra ensamblado en uno de los extremos de la Manguera Fanel, lleva un bloque plástico tipo hongo y posee un elemento de retardo en un Fulminante N° 3.

**Fulminante de profundidad:** Este se encuentra ensamblado en el otro extremo de la Manguera Fanel y posee un elemento de retardo en un Fulminante N° 12.

**Manguera Fanel o tubo de choque:** Está fabricada con un material termoplástico de alta resistencia mecánica e interiormente está cubierta por una sustancia reactiva que al ser activada conduce una onda de choque cuya presión y temperatura son suficientes para iniciar al Fulminante.

**Etiqueta:** Indica el tiempo de retardo en milisegundos, primero se encuentra el tiempo de retardo del Fulminante de profundidad, seguido por el de superficie.

**Conector plástico tipo "Hongo":** Es un bloque plástico diseñado para facilitar la conexión y asegurar el contacto entre la Manguera Fanel y el Fulminante de Superficie, permitiendo ensamblar hasta 6 mangueras.

**DEL CONECTADOR PLÁSTICO TIPO “HONGO” FANEL® DUAL**

Material		Plástico
Color del bloque plástico	17ms	Beige
	25ms	Rojo
	35ms	Verde
	42ms	Celeste
	50ms	Azul
	65ms	Blanco
	75ms	Blanco
	100ms	Magenta
	109ms	Magenta
	150ms	Anaranjado
	200ms	Amarillo
	300ms	Negro

*Figura 3* Características del Conector tipo Hongo

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA MECHA DE SEGURIDAD:**

La Mecha de Seguridad es un accesorio de voladura y un componente del sistema tradicional de iniciación. Se caracteriza por ser flexible y posee un núcleo central de pólvora, el cual transmite y direcciona al fuego hasta el fulminante, a una velocidad uniforme; está recubierta por varias capas de diferentes materiales que garantizan la continuidad de la combustión y compactación. Estos componentes se encuentran protegidos por un recubrimiento de material plástico.

Todo el conjunto establece que la Mecha de Seguridad tenga una impermeabilidad, y resistencia a la humedad, a la abrasión y a los esfuerzos mecánicos; así como evita que el fuego se transmita de uno a otro tramo de Mecha de Seguridad cuando están cerca, minimizando la producción de chispas laterales.

La Mecha de Seguridad es utilizada para iniciar el Fulminante Común, nombro algunas de las condiciones de seguridad:

La Mecha de Seguridad debe cortarse perpendicularmente a su eje.

Evitar la caída del núcleo de pólvora de la Mecha de Seguridad por la manipulación brusca de las puntas cortadas o por cualquier otro caso

Colocar la Mecha de Seguridad en contacto con la carga explosiva del fulminante, cuidando de no dejar espacios vacíos.

Características técnicas:

Tabla 1 *Características técnicas de la mecha de seguridad*

	Mecha de seguridad blanca
Color de recubrimiento plástico	Blanco
Núcleo de pólvora (g/m)	6,1 ± 0,7
Tiempo de combustión a.n.m. (s/m)	160 ± 10
Diámetro externo (mm)	5,2 ± 0,2
Impermeabilidad	Muy buena

### 2.2.2 Tipos de Explosivos usados en la voladura.

La voladura para la construcción de estas zapatas, para torres de alta tensión se empleará como agentes de voladura ANFO y como iniciador de columna La DINAMITA SEMIGELATINA, mecha de seguridad para iniciar el chispeo.

#### **Características técnicas de la dinamita semi gelatina:**

Es un explosivo fabricado a base de Nitroglicerina, es sensible al Fulminante Común N° 6 que presenta un alto poder rompedor y tiene buena resistencia al agua.

Esta dinamita es empleada en trabajos en minería superficial, subterránea y obras civiles utilizándose en rocas de dureza intermedia a dura, proporcionando buenos resultados en cuanto a la fragmentación.

Puede utilizarse como iniciadores de columnas de nitro-carbonitratos (ANFO), en taladros de diámetros pequeños o intermedios.



Figura 4 Dinamita semi gelatinosa.

## Características técnicas

Tabla 2 *Características técnicas de la dinamita semi gelatinosa.*

	DINAMITA FAMESA SEMIGELATINA® 45	DINAMITA FAMESA SEMIGELATINA® 65	DINAMITA FAMESA SEMIGELATINA® 80
Densidad relativa (g/cm <sup>3</sup> )	1,12 ± 0,1	1,14 ± 0,1	1,16 ± 0,1
Velocidad de detonación (m/s)	confinado (*)	5 200 ± 300	5 400 ± 300
	s/confinar (**)	3 500 ± 300	3 700 ± 300
Presión de detonación (kbar)	76	83	91
Potencia relativa en peso *** (%)	65	70	75
Fuerza hess (mm)	22	22	23
Volumen normal de gases (l/kg)	880	910	920
Resistencia al agua	Buena	Muy Buena	Muy Buena
Categorías de humos	Primera	Primera	Primera

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL ANFO:

Es un agente explosivo granular compuesto con Nitrato de Amonio en forma de prills, es mezclado por un combustible líquido y un colorante. Se utiliza principalmente en minería superficial como también en minería subterránea, obras civiles y donde el tipo de roca sea blanda o semidura.

Es recomendable utilizarlo en labores donde exista una buena ventilación y ausencia de afloramiento de agua, en minería superficial, minería subterránea, obras civiles y trabajos de tunelería.

Características técnicas:

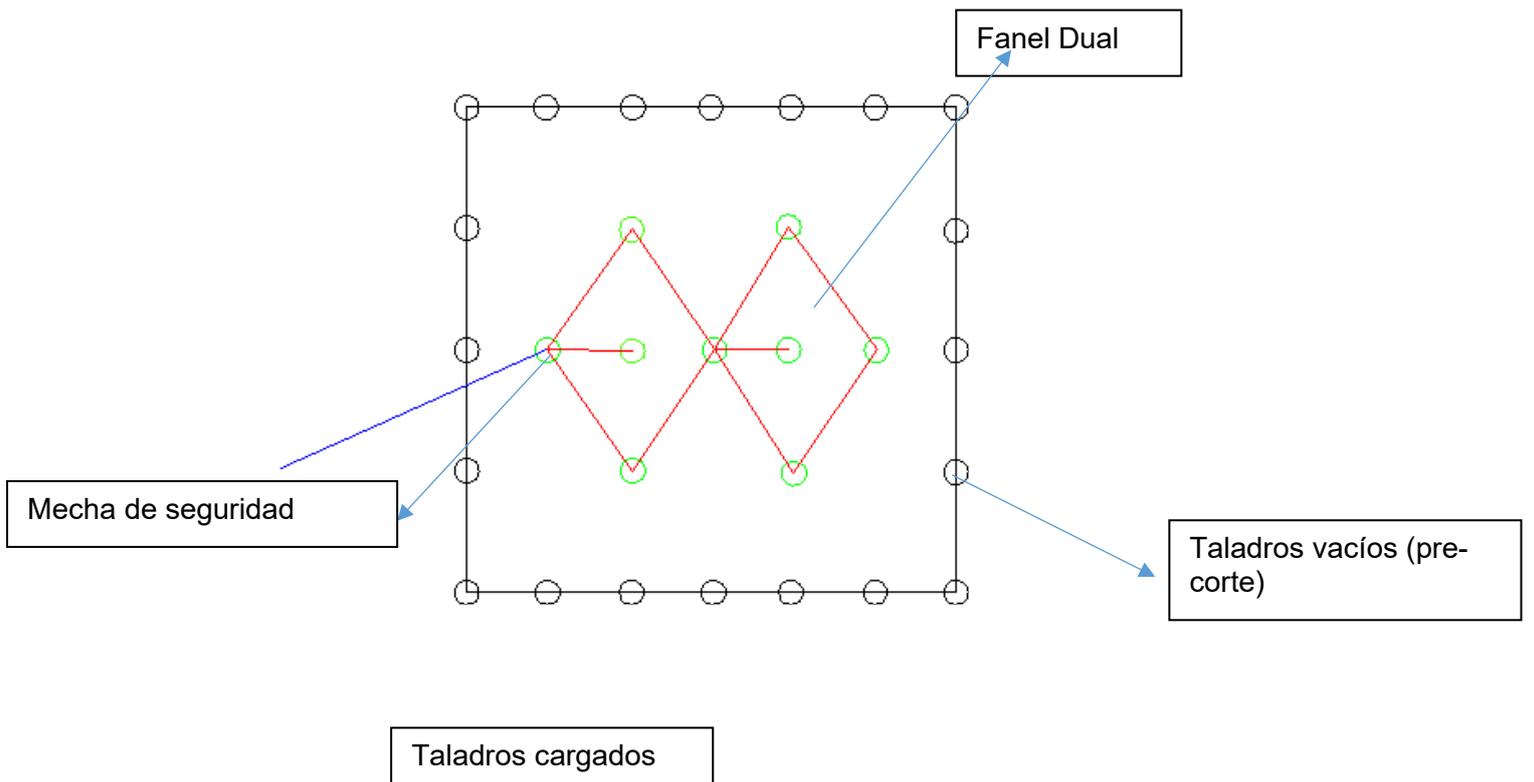
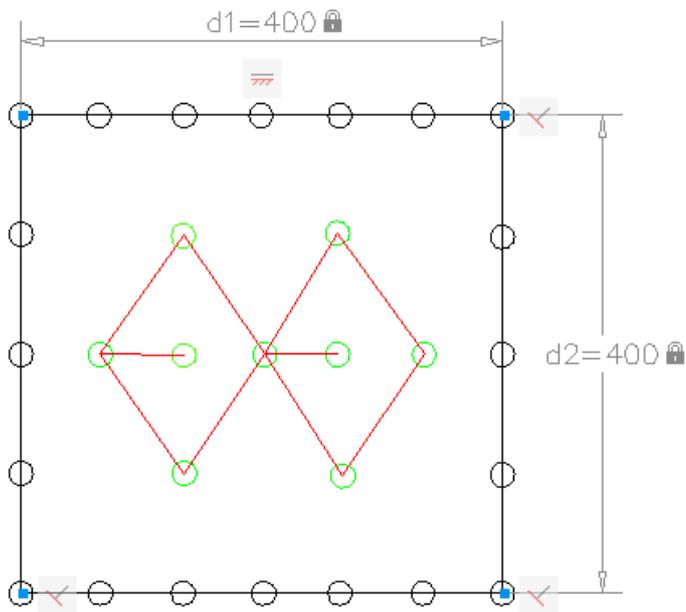
Tabla 3 *Velocidad de detonación del ANFO.*

Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	0,80 ± 0,05	
Velocidad de detonación (m/s) (*)	3 000 ± 300	
Energía teórica	Por peso (cal/g)	932
	Por volumen (cal/cm <sup>3</sup> )	746
Energía relativa	Por peso (%)	100
	Por volumen (%)	100
Presión de detonación (kbar)	51	

\* Confinado en tubo de 2 pulgadas de diámetro.

### 2.2.3 Diseño de Malla.

Malla empleada fue una cuadrada de 4m X 4m, con una profundidad de taladro de 4m,



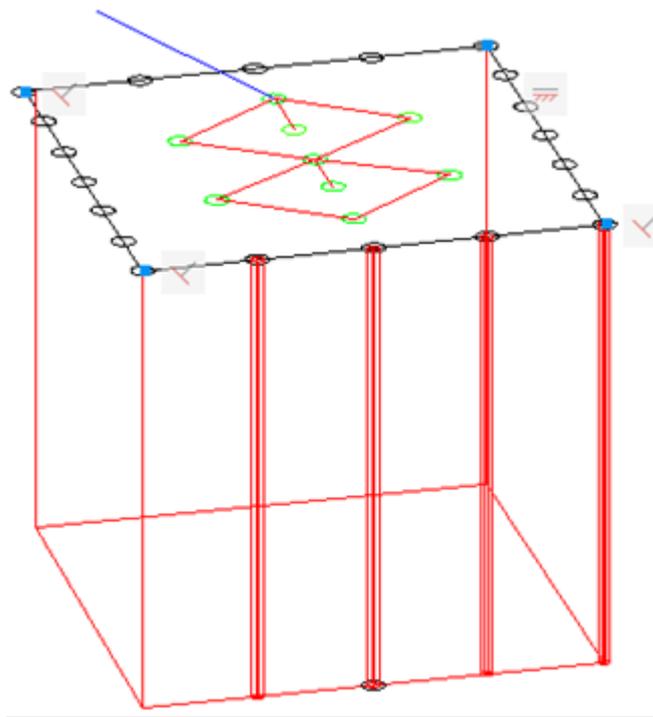


Figura 5 Modelo tridimensional de la malla de voladura

#### 2.2.4 Cantidad de material desalojado.

La cantidad de material que logra ser desalojado producto de la voladura, se calcula por una simple multiplicación de dimensiones y a subes este resultado es multiplicado por la densidad promedio del material desalojado, obteniéndose el peso del material desalojado. Que procederá a ser acarreada  
 Calculo para obtener el material a ser desalojado:

Densidad de la roca=2.6 Tn/m<sup>3</sup>

Tabla 4 *Calculo del material desalojado en una zapata.*

Dimensiones de la malla(m)	4*4
Profundidad del taladro perforado(m)	4
Volumen desalojado por la voladura(m <sup>3</sup> )	4*4*4
Densidad promedio de la roca 2.6 Tn/m <sup>3</sup>	4*4*4*2.6
Peso del material desalojado (Tn)	166.4

Este material fue trasladado por mini cargadores frontales BOTCAT, si las condiciones del terreno lo permiten, otra forma era usando buggies (carretillas).

## **2.3 Análisis de causa efecto**

El Cambio del agente explosivo, el mejoramiento de la malla, el análisis geo mecánico de la roca y el procedimiento óptimo para realizar un disparo es un factor importante para evitar los tiros cortados. Los factores mencionados son importantes para evitar la exposición a la activación de un fulminante o buster dentro de un taladro por detonar; ya que con las buenas prácticas podemos evitar al colaborador exponerse a este nivel de riesgo grande; donde la consecuencia sería la muerte.

La probabilidad de ocurrencia de existir el tiro cortado en baja, pero, aun así, si se diera el caso, la desactivación sería un éxito ya que se puede evitar mediante el procedimiento: Desactivación de explosivos en tiros cortados o tiros sopladados. Mediante este procedimiento se inhibe la detonación del explosivo con agua.

### **2.3.1 Hombre.**

El personal operador de explosivos, tiene que regirse a la ejecución del proceso "Observación planeada de trabajo" ejecutada por el supervisor o capataz, quien tiene la labor exhaustiva de su cumplimiento operativo y corregir cualquier desviación en su ejecución del proceso. En este proceso de observación el control administrativo se convierte en control de ingeniería.

### **2.3.2 Maquina.**

Perforadora:

la Perforadora con barra de avance que puede ser usada para realizar taladros horizontales e inclinados. Se usa mayormente para la construcción de galerías, subniveles y rampas. Utiliza una barra de avance para sostener la perforadora y proporcionar comodidad de manipulación al perforista.

La perforadora utilizada en estas operaciones fue una STOPER, cuyas características técnicas se describen a continuación.



*Figura 6* Partes de una Perforadora. Manual. Stoper

### 2.3.3 Método

El método de perforación es vertical, verificando la linealidad para evitar un disparo erróneo, que pudiera desencadenar en un tiro cortado, el barreno va cambiando de tamaño de acuerdo a la profundidad del taladro generado. Llegando a una profundidad máxima de 3.5 metros de profundidad; manteniendo la verticalidad en cada proceso de perforación roto percusiva.

### 2.4 Propuesta de mejora.

Los procedimientos de perforación y voladura pueden ser mejorados incluyendo en las operaciones procedimientos de seguridad más descriptivos y explícitos de tal forma que la ejecución de estos procedimientos, evite los errores en la parte operativa, tales como:

- Desviación de los taladros
- Accidentes por mal manejo de la perforadora STOPER
- Accidentes al llenar aceite en la lubricadora
- Tiros cortados por mala manipulación de los conectores del Fanel dual
- Tiros cortados por mal cebado con dinamita.

Todos estos procedimientos de seguridad deben estar acompañados de capacitaciones y entrenamiento continuo al personal que se encargara de la perforación y carguío de los taladros.

#### 2.4.1 Metodología.

La metodología a utilizar es basada en la observación preventiva, siguiendo el formato de observación planeada de trabajo. Siguiendo el protocolo establecido en el formato de acuerdo a la secuencia sistemática operativa.

## **2.5 Desarrollo de la propuesta de mejora.**

Para la implementación de las mejoras necesarias, es de vital importancia establecer protocolos de trabajo los cuales describirán los procedimientos y pasos a seguir en cada una de las actividades, describiendo pormenorizadamente cada una de estas.

La primera propuesta constara:

### **2.5.1 Mejora en el Planeamiento de las Labores**

Para mejorar el planeamiento de cada actividad a realizar, se debe tomar en cuenta la realidad de cada uno de los procesos, las limitaciones que el proceso operativo impone de tal forma que la ejecución sea lo más armonioso posible, de tal manera que al ejecutar las actividades estas no desencadenen en una serie de errores y malas decisiones, que ocasionen un incidente o un accidente.

### **2.5.2 Mejora de Control en La Ejecución de Labores.**

Debido al protocolo planteado, es necesario la ejecución sistemática de cada secuencia en el proceso, el supervisor o capataz es el primero en recibir el entrenamiento por parte del Supervisor de voladura, supervisor de seguridad. El objetivo principal es evitar el tiro cortado y por ende evitar la exposición del personal a un riesgo que es la detonación del búster o fulminante y por ende la muerte del personal.

## **2.6 Beneficios en seguridad.**

Entre los beneficios encontrados en la voladura controlada; utilizando el protocolo de Observación Planeada de trabajo:

- Mejor proceso de voladura.
- Disparos eficaces.
- Ausencia en la exposición a riesgos mayores.
- Continuidad en el proceso constructivo.
- Ausencia de gases de combustión.
- Menor dilución. (casi nula).
- Reducción de ondas de vibración.
- Mejor control en el proceso de excavación, realizando voladura.
- Forma impecable de la excavación.
- Menor costo en el proceso constructivo.
- Control en el fly rock.

## **2.7 Beneficios en el ambiente.**

Entre los beneficios encontrados, tenemos los siguientes:

- Ausencia de contaminación sonora
- Disminución de la vibración alrededor del área afectada.
- Estabilidad del área circundante.
- Disminución de la contaminación de material pétreo.
- Disminución de gases de combustión de la voladura.

## **2.8 Marco conceptual de explosivos.**

### **2.8.1 Explosivo.**

Los materiales explosivos que son utilizados en procesos unitarios mineros son mezclas de sustancias que pueden estar en estado: sólido, líquido o gaseoso, que al reaccionar en un proceso químico óxido-reducción, se transforman en segundos en sub productos, gaseosos y condensados, cuyo volumen inicial se convierte en trazas de gases que llega a alcanzar muy altas temperaturas y en consecuencia muy elevadas presiones.

### **2.8.2 Combustión.**

Proceso físico químico, pudiendo ser reacción oxido - reducción, con gran desprendimiento de calor , en presencia de una entalpia de reacción; en forma acelerante o retardante.

### **2.8.3 Deflagración.**

Es una reacción química exotérmica donde la transmisión y expansión de gases a presión se realiza a velocidad inferior a la velocidad del sonido. El tiempo de deflagración es de 100 a 200 milisegundos.

### **2.8.4 Detonación**

Es una reacción físico química con gran desprendimiento de calor efectuado a una velocidad superior a la velocidad del sonido; llamado velocidad supersónica, en presencia de una onda de presión expansiva.

### **2.8.5 Explosión.**

Según mi experiencia es un fenómeno de naturaleza física, que tiene como resultado la liberación de energía muy rápida, considerada como instantánea. La explosión es un efecto mas no una causa.

En la experiencia práctica se consideran varias clases de explosión definiendo sede acuerdo al daño que pudiesen ocasionar a los diversos materiales:

**A. Explosión por descomposición violenta**

Es la liberación instantánea de energía generada por una descomposición violenta de materiales explosivos inestables: Fulminantes, agentes de voladura produciéndose un proceso de detonación.

**B. Explosión en el aire (oxidación violenta).**

Es la liberación de energía en el aire; generada por oxidación muy violenta de una masa de vapor, gas o polvo inflamable (gasolina, grisú en las minas de carbón); expandiéndose en el medio.

**C. Explosión nuclear**

Es la liberación instantánea de energía nuclear a alta velocidad.

**D. Explosión por exceso de presión**

Este la explosión, como resultado de la liberación súbita o instantánea de la energía generada por un exceso de presión en recipientes, envases o calderos que puede originarse por diversos factores como mal funcionamiento de válvulas, sobre calentamiento, etc.

**2.8.6 Termoquímica de explosivos**

Son los cambios cambios de energía interna en procesos de reacciones oxido reducción, manifestándose con entalpías de calor.

La energía potencial liberada a través del proceso de detonación se transforma en energía cinética o mecánica. Debido a Ley de Conservación de la Energía ( Isac Newton), se deduce que en cualquier sistema aislado la cantidad de energía se mantiene constante, pudiendo cambiar su forma física, así:

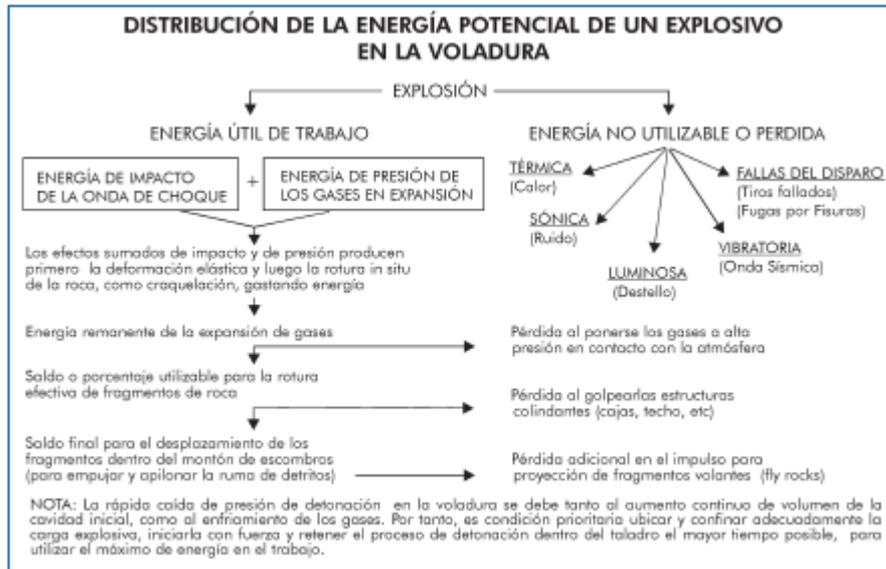
$$E_p + E_c = \text{cte} \dots \dots \dots (\text{conservación de energía})$$

Donde:

$E_p$ : Energía Potencia acumulada.

$E_c$ : Energía cinética.

Del 100% de la energía suministrada por un agente explosivo, no todo se transforma en energía útil.



*Figura 7* Energía Potencial en un Explosivo

Los agentes explosivos comerciales deben suministrar suficiente energía liberada después de la detonación para fracturar la roca, fragmentarla en su mínima expresión, desplazar los fragmentos y apilarlos adecuadamente.

Según “( El manual Práctico de explosivos, EXA p 11-12)”. Los parámetros termoquímicos de mayor importancia de un proceso de reacción son: presión, calor de explosión, balance de oxígeno, volumen de gases, temperaturas de explosión y energía disponible que en forma simple se definen como:

#### A. Presión

Efecto de la acción expansiva de los gases calientes de una explosión, principal factor para poder fragmentar la roca; ya que es un parámetro importante.

##### a. Presión de detonación

Es la presión que existe en el plano de Chapman “CJ” detrás del frente de detonación, en el recorrido de la onda de detonación. Es función de la densidad y del cuadrado de velocidad y su valor se expresa en kilobares (kbar) o en megapíxeles (MPa). En los explosivos comerciales varía entre 500 y 1 500 MPa.

Debido a la teoría hidrodinámica:

$$PD = \rho_e \times VOD \times W \times 10^{-5}$$

donde:

PD : presión de detonación, en kbar.

$\rho_e$  : densidad del explosivo, en g/cm<sup>3</sup>.

VOD : velocidad de detonación, en m/s.

W : velocidad de partícula (productos), en m/s.

10<sup>-5</sup> : factor de conversión.

Considerando que en el plano de Chapman "CJ" se mueve a muy alta velocidad, mientras que la del movimiento de los productos de explosión (W) sólo alcanza un valor de 0,25VOD, se tiene como valor experimental medio que:

W(velocidad de partículas) = 0,25 Detonación,

### 2.8.7 Presión de explosión

Es la presión de los gases producidos después de la detonación, cuando estos todavía ocupan el volumen inicial del explosivo antes de cualquier expansión. El valor estimado de la presión de explosión, se puede considerar al 50 % de la presión de detonación. Un ejemplo considerado es la presión de explosión de la dinamita:

P explosion = 0,5 P detonacion

P explosion = 0,5 x 66 = 33 kbar

### 2.8.8 Presión de taladro o de trabajo

Es la presión de expansión que ejercen los gases liberados; haciendo presión sobre las paredes del taladro, antes de iniciarse la deformación de la roca, para después fragmentarla. Este parámetro depende de la densidad de carguío y se define con el siguiente ejemplo:

Imaginemos un taladro perfectamente llenado, la presión promedio en las paredes del taladro es teóricamente igual a la presión de explosión. Matematicamente es algo inferior, ya que la presión de explosión presupone un fenómeno instantáneo, cuando realmente la transformación físico química del explosivo en gas se produce en un milisegundo aproximadamente o menos. Considerando esta pérdida de milisegundos se origina una pérdida de presión, La curva presión versus tiempo lo demuestran.

De acuerdo a modelos matemáticos se llega a concluir:

Ptaladro = Pexplosion x dc 2.5

donde:

dc : densidad de carguío.

Considerando al agente explosivo: Dinamita:

$d_c: 0,8$  y  $0,9$  g/cm<sup>3</sup>.

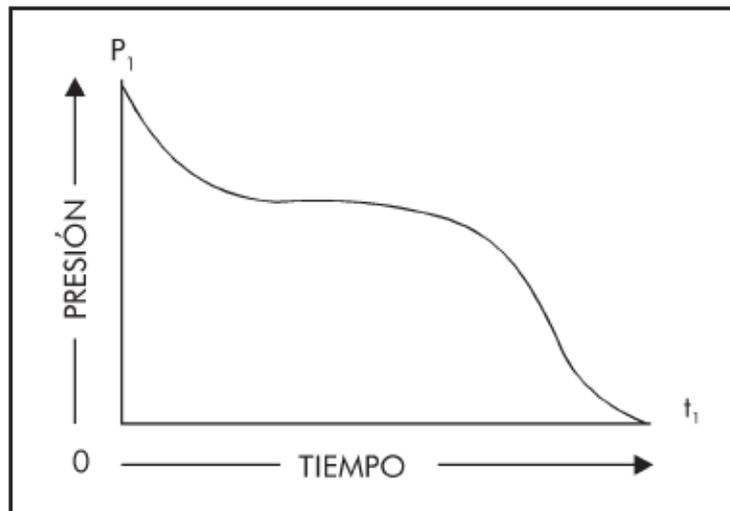
$P_{\text{explosion}} : 33$  kbar, tendremos:

$$P_{\text{taladro}} = 33 \times (0,9)^{2,5} = 25 \text{ kbar}$$

$$P_{\text{taladro}} = 33 \times (0,8)^{2,5} = 19 \text{ kbar}$$

El modelo matemático pierde confianza para densidad de carguío demasiado baja.

“La presión de explosión decae rápidamente hasta alcanzar la “presión de taladro”, la que igualmente disminuye con la expansión de las paredes del taladro hasta alcanzar el valor de 1 atm (101,325 kPa) al ponerse en contacto con el aire libre” Exa SA, 2014, Manual Práctico de Explosivos, p 13).



*Figura 8* Decaimiento de la presión del Taladro respecto al tiempo.

### 2.8.9 Calor de explosión

Denominado como: calor liberado generado por el proceso de detonación de un agente explosivo como producto de su activación. Producida una explosión a presión constante; se ejerce principalmente un trabajo de expansión o compresión, “la Primera Ley de la Termodinámica” estableciendo el siguiente modelo matemático:

$$Q_w = \Delta((U_p + (P \times V)))$$

donde:

$Q_w$  : calor liberado por la explosión.

V : volumen.

$Q_w = - \Delta H_p$

P : presión.

$U_p$  : energía interna del explosivo.

Así el calor de explosión a presión constante es igual al cambio de entalpía y puede estimarse estableciéndose el balance térmico de la reacción química”.

(Exa SA, 2014,Manual Práctico de Explosivos, p 14).

### 2.8.10 Volumen de explosión

“Llamado volumen que ocupan los gases producidos por cada kilogramo de agente explosivo en condiciones normales; este proceso ocurre luego de detonar el agente explosivo”: (Exa SA, 2014,Manual Práctico de Explosivos, p 14)

$V = 1 \text{ mol-gr} = 22.4 \text{ Lts}$

V : Un volumen de gas

1 mol-gr: Una Molécula – gramo.

22.4 Lts : Volumen de gas a condiciones normales.

#### 2.1.12 Fly Rock.

Es la fragmentación de la roca proyectada en cualquier dirección , como producto de una detonación, éste efecto se da por las siguientes causas:  
Inadecuado balance de oxígeno.

Inadecuada malla de iniciación.

Defectos geológicos en el macizo rocoso.

## 2.9 Breve Historia de los explosivos.

### 2.9.1 Pólvora negra

“La historia de los explosivos en la minería comienza con la pólvora negra, también denominada pólvora. Fue un explosivo primario usado en minería por aproximadamente 300 años, desde la década de 1620 hasta 1920.

La pólvora negra aumentó la productividad de la minería pero fue la causa de miles de accidentes. Los fusibles primitivos se fabricaban llenando vainas de trigo o plumas de ganso con pólvora. La carga con frecuencia detonaba inesperadamente delante del minero que quedaba

ciego, se lesionaba o moría”. ( Dino, Nobel, 2013,Historia, Inglaterra, <https://www.dynonobel.com/south-america/about-us/our-company/history>).

### 2.2.2 Fusible de seguridad.

“En 1831, se inventa un nuevo método para encender la pólvora negra en Inglaterra por William Bickford para reemplazar los fusibles de pluma de ganso rellenos de pólvora negra. Se denominó fusible de seguridad, y consistía en un cable impermeable, relleno de pólvora, que podía insertarse en el orificio de explosión. Encendido con un fósforo, se quemaría a una velocidad bastante lenta y predecible dando al minero tiempo para alejarse a un lugar seguro antes de la explosión.

Después de la introducción del fusible de seguridad, los encargados de minas y cirujanos informaron que el número de personas muertas y lesionadas y de los accidentes por explosiones se redujo en un 90% en el distrito minero de estaño de West Cornwall”. ( Dino, Nobel, 2013,Historia, Inglaterra, <https://www.dynonobel.com/south-america/about-us/our-company/history>).

### 2.9.2 Nitroglicerina.

“En 1846, un químico italiano llamado Sobrero experimentaba con los efectos del ácido nítrico sobre la glicerina. Se produjo una explosión y se hizo evidente el potencial de la nitroglicerina.

La nitroglicerina, un líquido transparente, resultó ser mucho más potente para romper la roca que la pólvora negra y comenzó a usarse en la minería y la construcción. Sin embargo, en ese momento, nadie comprendía totalmente sus características y con frecuencia explotaba inesperadamente, o no explotaba”

( Dino, Nobel, 2013,Historia, Inglaterra, <https://www.dynonobel.com/south-america/about-us/our-company/history>).

### 2.9.3 Anfo

“En la década de 1950 se conoció que un combustible podía mezclarse con el nitrato de amonio, un fertilizante agrícola usado ampliamente, para producir un agente económico para las explosiones tan potente como la dinamita. Esta mezcla, conocida como ANFO, era especialmente adecuada para las cargas a granel en grandes pozos (donde la dinamita

no era adecuada), pero tenía sus limitaciones. Una es la falta de resistencia al agua; la otra es su baja densidad”.

#### **2.9.4 Geles con base de Agua**

“Para superar las desventajas del ANFO, un científico de Utah, el Dr. Melvin Cook, inventó y patentó explosivos de nitrato de amonio a base de agua denominados "explosivos con mezcla pastosa". En su ensayo inicial en el campo mezcló los ingredientes en una carretilla. Como esto resultó en un éxito, se diseñaron camiones exclusivos para llevar los ingredientes no explosivos al sitio de la explosión donde podían mezclarse para producir un explosivo impermeable, de alta densidad especialmente adecuado para las condiciones de roca dura y húmeda encontradas en las minas de mineral de hierro y cobre.

IRECO, la compañía fundada por el Dr. Cook en 1962, se incorporó a la organización Dyno Nobel en 1984”.

#### **2.9.5 Nonel**

“Desde los días de Alfred Nobel, se han usado tapas eléctricas de explosión y/o cables de detonación para iniciar explosiones.

Luego en la década de 1970 Per Anders Persson, un científico sueco, revolucionó la industria de la explosión con su invento del sistema de iniciación no eléctrica NONEL®. Este sistema utiliza un fenómeno de explosión con polvo en un tubo de plástico esencialmente vacío para activar el detonador en el extremo del tubo. El NONEL es relativamente inmune a los riesgos eléctricos y no genera ruido como los sistemas de cables.

El sistema NONEL fue inventado en Nitro Nobel – una compañía sueca, históricamente parte de Dyno Nobel”

#### **2.9.6 Emulsiones**

“La invención de las emulsiones, otro tipo de explosivo a base de agua, revolucionó la carga a granel de pozos de diámetro pequeño, tanto superficiales, como subterráneos. En la actualidad, los explosivos de emulsión dominan el mercado de los explosivos. La consistencia de la emulsión va desde un flujo delgado y libre hasta un flujo espeso y viscoso. Dyno Nobel, anteriormente IRECO, es líder en la industria en

formulaciones de emulsión, gasificación química para el control de la densidad y sus varios sistemas de entrega”.

Sistemas de entrega.

“Antes de la década de 1950 virtualmente todos los explosivos se produjeron en forma empacada y se cargaban a mano. En la actualidad, de los casi 5 mil millones de libras de explosivos consumidos en América del Norte al año, el 95% se entrega en el pozo por medio de métodos de carga a granel.

Las compañías que ahora son parte de la organización Dyno Nobel no solo son pioneras en equipos de entrega de explosivos a granel, sino que continuamente desarrollan sistemas más seguros, más eficientes y más rentables”.(Dino,Nobel, 2013, Historia, Inglaterra, <https://www.dynonobel.com/south-america/about-us/our-company/history>).

## **2.10 Características de los explosivos.**

Los agentes explosivos tienen propiedades físico químicas, teniendo relación directa con su estado. Algunas determinan su aspecto y estado físico, otras determinan su factibilidad con la seguridad en determinadas condiciones naturales de la roca y del ambiente donde se encuentre..

Asimismo determinan el rendimiento del agente explosivo en su aplicación en proceso de la voladura de rocas; a lo mencionado se las conoce como “propiedades de disparo”.

En suma, ésta debe garantizar la estabilidad del explosivo en su manipulación, transporte, almacenamiento y su uso, pero existen características que generan inconvenientes como la segregación, exudación, desensibilización, endurecimiento, entre otros factores que deben prevenirse para su correcto uso.

### **2.10.1 Plasticidad**

Definido como la capacidad que posee un cuerpo para adaptarse, bajo la acción de una acción mecánica, adoptar la forma intencionada y mantenerla después de retirarse dicha acción mecánica, como se observa con los agentes en forma de emulsiones y agentes explosivos plásticos. La propiedad de plasticidad disminuye de forma inversamente proporcional al tiempo de duración y el frío.

Plasticidad  $\propto$  1 / Tiempo de duración.....Ecuacion 1

Plasticidad  $\propto$  1 / Exposición al frío .....Ecuacion 2

### **2.10.2 Viscosidad**

“Es la consistencia espesa de un fluido debido a la fricción interna de las moléculas, causada por su resistencia a fluir o cambiar inmediatamente de forma cuando se les somete a tensiones cortantes. En este caso cuanto se presenta más viscosidad, más lento el cambio. La viscosidad es propia de los fluidos: aceites, emulsiones y slurries. A mas viscosidad del agente explosivo, mayor es la adherencia en las paredes del taladro fisurado , mientras que losagentes explosivos acuosos tienden a filtrarse por las grietas.

### **2.10.3 Fluidiez**

Propiedad de los fluidos definida como: capacidad de desplazarse que corresponde a los cuerpos líquidos y gases, donde su conformación molecular tienen poca adherencia entre sí misma y adoptan la forma del lugar que los contiene (ejemplo: Nitroglicerina y Nitroglicol). La Viscosidad y la fluidiez son propiedades importantes en el carguío mecanizado de agentes explosivos acuosos a granel, como las emulsiones.

### **2.10.4 Flujo (free flowing)**

Es la propiedad de un agente explosivo (tipo granular seco), para fluir libremente; cuando es vertido desde el recipiente que lo contiene y transportarse libremente por un conducto durante el carguío neumático hacia un taladro de voladura de roca.

El flujoes una propiedad importante de los agentes explosivos no encartuchados diseñados para carguío neumático, como Examon y ANFO. Dependiendo directamente del contenido de humedad del agente explosivo; Cuando la humedad se incrementa del 0,5 al 1% la fluidiez del agente explosivo decae abruptamente.

### **2.10.5 Tendencia a compactación**

Referido a la factibilidad que presentan algunos agentes explosivos para adherirse molecularmente al compactarse y con espacios intersticiales en partículas casi nulos; formando una masa coherente, con total pérdida de su fluidiez y considerable reducción para su detonación. Generalmente ésta situación ocurre frecuentemente con el Nitrato de Amonio y para

que no ocurra estas situaciones de pérdida de detonación; se tiene que mezclar con algún agente antiaglomerante (anticaking), como diatomita o productos orgánicos(hidrocarburos).

#### **2.10.6 Friabilidad**

Los agentes explosivos que presentan friabilidad, tienden a cambiar de estado físico , pulverizándose cuando sus partículas colisionan mutuamente; éste cambio se da generalmente cuando son manipulados excesivamente, transportados en carretera en bolsones llamados Big Bag, vertidos con excesiva presión de aire; por lo tanto diríamos el siguiente postulado:

“Friabilidad depende de la Fragilidad de los partículas del agente explosivo”

Esta característica debe ser considerada para el transporte multimodal a gran distancia por malas carretera, transporte fluvial, transporte marítimo; donde los gránulos se pulverizan con el maltrato del viaje.

Centrándonos como característica en la roca; la friabilidad es una característica que presentan los tipos de minerales y rocas; caracterizada por la facilidad de fracturarse fácilmente. Una roca friable es adecuada para voladura.

#### **2.10.7 Homogeneidad**

Una característica de los agentes explosivos acuosos y dinamitas es su textura uniforme y en los agentes explosivos pulverulentos es su grado de pulverización, mientras que en los agentes explosivos granulares suelta ésta propiedad se refiere a la distribución de sus granos por su tamaño, según su diámetro de malla; llamado “composición granulométrica.

Un agente explosivo muy fino tiende a llenar por completo el taladro, mejorando el grado de acoplamiento y de compactación, pero corriendo el riesgo de desensibilizarse.

Las características mencionadas se determinan por análisis de malla utilizando un juego de tamices de aperturas cada vez más pequeñas para fraccionar la muestra por tamaños, indicándose el porcentajes de malla ( size).

### **2.10.8 Porosidad**

Definido como el radio del volumen de intersticios o huecos contenidos en un material uniforme; respecto a su propio volumen o masa. Es un factor físico de gran importancia en los gránulos del ANFO, debido a esta característica física tiene la capacidad de absorber al petróleo en la preparación de los nitrocarbonitratos como el Examon y el ANFO.

## **2.11 Características físicas de los explosivos**

### **2.11.1 Potencia.**

Es la energía disipada capaz para producir efectos mecánicos debido a la reacción físico químico , En los agentes explosivos como la dinamita, el parámetro de medida de la potencia en la dinamita es con el porcentaje de nitroglicerina, en la actualidad se calcula con la potencia relativa por peso y volumen.

### **2.11.2 Densidad.**

Es la relación que involucra la masa y el volumen, en la mayoría de los explosivos su densidad varia entre 0.8 y 1.6 gr/cm<sup>3</sup>, Asimismo es un factor muy importante para calcular la carga necesaria para realizar voladura de roca, mientras mayor es la densidad del explosivo, mayor será su eficacia.

### **2.11.3 Sensibilidad.**

Es la facilidad de iniciación de una reacción explosiva fortuita, la sensibilidad depende de su composición molecular, densidad, confinamiento, tamaño de cristales, incremento de temperatura, otros factores que afectan la sensibilidad:

- Efecto mecánico: impacto y fricción.
- Temperatura ambiente (calor).
- Chispa eléctrica y al fuego.
  - Excesiva humedad.
- Carga iniciadora (detonador o cebo).

#### 2.11.4 Resistencia al agua.

Es la capacidad de resistencia del agente explosivo a la exposición del agua sin perder eficiencia ni sensibilidad.

Tabla 5 Resistencia de los explosivos al agua.

Tipo de explosivo	Densidad	Resistencia al agua
Gelatina 75	1.38	Buena
Semexsa 65	1.12	Moderada
Semexsa 45	1.08	Baja
Exadit 65	1.04	Pobre
Exadit 45	1.00	Muy Pobre

Fuente Manual Práctico de explosivos p.34

#### 2.11.5 Estabilidad química.

Es la capacidad que tiene el agente explosivo para mantenerse químicamente estable en el tiempo y detener su sensibilidad cuando ha sido almacenado bajo las condiciones especificadas, los factores que alteran la estabilidad química son: condiciones climáticas: variación de calor y frío, humedad, materias primas de calidad, contaminación, envases e instalaciones de almacenamiento. Cuando se deteriora un agente explosivo se tiene ciertas características: cristalización, aumento de viscosidad y aumento de densidad.

#### 2.11.6 Velocidad de detonación.

“Es la velocidad de la onda de detonación que se propaga en el explosivo, por lo tanto es el principal parámetro físico que define el ritmo de liberación de energía.

$$\uparrow \text{VOD} \propto \uparrow \text{ET} \propto \downarrow \text{EG}$$

VOD: Velocidad de detonación.

ET: Energía de Tensión.

EG: Energía de gases

Quiere decir: aumento VOD implica una aumento de la energía de tensión (ET) y por consiguiente una disminución de la energía de los gases (EG).

Los factores que afectan a la velocidad de detonación:

La densidad de carga.

El diámetro de carga.

El confinamiento.

La iniciación y el envejecimiento.

### **2.11.7 Velocidad de detonación para explosivos confinados.**

El rango de las velocidades de detonación en gases se encuentran entre 1800 m/s hasta 3000 m/s. Asimismo las velocidades para explosivos sólidos son mayores de 4 000 m/s hasta 10 300 m/s. La fuerza producida confinada dentro del taladro, donde el agente explosivo se encuentra confinado es más pequeña, mientras que la presión se incrementa. Por consiguiente sucede que la velocidad de detonación es mayor que si el explosivo hubiera detonado al aire libre..

### **2.11.8 Impedancia.**

La impedancia se define como el producto de la velocidad de detonación del explosivo y su densidad. Para un agente explosivo, la impedancia es el producto de la densidad en el taladro del agente explosivo y su velocidad de detonación, mientras que en la roca la impedancia se define como la multiplicación de la velocidad de las ondas P y la densidad de la roca. El modelo matemático de igualamiento de las impedancias(roca y explosivo), rocas masivas y de alta resistencia (con velocidades P en el rango de 4,500 a 6,000 m/s); se fragmentan mejor con un explosivo con alta densidad y alta velocidad de detonación. La impedancia de los explosivos nunca alcanza la impedancia máxima de la roca, debido a la baja densidad de los explosivos comerciales.

Las ondas Primarias o P, Son aquéllas ondas donde las partículas vibran en la misma dirección de la propagación de la onda. Son ondas de compresión, su velocidad es mayor que los demás tipos de ondas y pueden transmitirse por los líquidos.

En la roca la energía de choque es el segundo factor importante luego generación y utilización de la energía de levantamiento (heavy). Estas rocas se benefician del uso de explosivo de baja velocidad de detonación y es en ésta aplicación que el uso de explosivos aluminizados se adecua mejor.

Según "Autores como McKenzie (1984) y el ISEE (1998) han sugerido que para lograr la máxima utilización de la energía del explosivo en el

proceso de fragmentación es necesario equiparar la impedancia del explosivo lo más cercana posible a la impedancia de la roca.

$$\rho_{\text{explosivo}} \times \text{VOD} = \rho_{\text{roca}} \times P_{\text{wv}}$$

Dónde:

$\rho_{\text{explosivo}}$  = Densidad del explosivo cargada dentro de un taladro.

VOD = Velocidad de detonación del explosivo

$\rho_{\text{roca}}$  = Densidad de la roca

$P_{\text{wv}}$  = Velocidad de propagación de la onda a través del macizo rocoso.

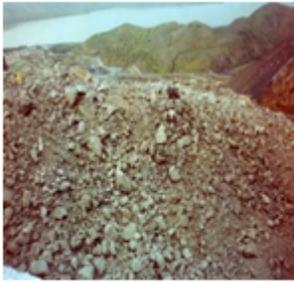
Fragmentación en función a las Impedancias			
$\rho_{\text{exp}} \cdot \text{V.O.D} = \rho_{\text{Rock}}$	$P_{\text{wv}}$	$\rho_{\text{exp}} \cdot \text{V.O.D} > \rho_{\text{Rock}}$	$P_{\text{wv}}$
			

Figura 9 Variación de la Impedancia respecto a la fragmentación

### 2.11.9 Características de los humos

Según mi experiencia: cuando un explosivo comercial detona como producto de la reacción exotérmica se produce como productos:

Polución.

Oxidos Nitrosos. (NO-NO<sub>2</sub>)

Oxidos de carbono. (CO-CO<sub>2</sub>)

Sulfuros con contenido de aluminio y sulfuro (H<sub>2</sub>S, SO<sub>3</sub> y AlO<sub>2</sub>)

Después de producido la reacción entre la lista de gases inocuos generados existe un porcentaje de gases irritantes tóxicos, asfixiantes y letales llamados en conjunto "humos", como el monóxido de carbono y el bióxido de nitrógeno. De acuerdo a la proporción contenida de estos gases tóxicos se ha establecido escalas de clasificación por grado de toxicidad para la exposición del personal trabajador después del disparo, teniendo como ejemplo a la siguiente del USBM (Buró de Minas de USA):

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO <sub>2</sub> )
1 <sup>ra</sup>	de 0 a 0,16 pie <sup>3</sup>
2 <sup>da</sup>	de 0,16 a 0,33 pie <sup>3</sup>
3 <sup>ra</sup>	de 0,33 a 0,67 pie <sup>3</sup>

Cuya equivalencia métrica según el ISO es:

CATEGORÍA	VOLUMEN DE GASES NOCIVOS (CO, NO <sub>2</sub> )
1 <sup>ra</sup>	de 0 a 4,53 dm <sup>3</sup>
2 <sup>da</sup>	de 4,53 a 9,34 dm <sup>3</sup>
3 <sup>ra</sup>	de 9,34 a 18,96 dm <sup>3</sup>

*Figura 10 Nocividad de gases según volumen*

“Según el DS 023 -2017 EM, los límites permisibles para exposición normal de 8 horas en labores subterráneas son:

*Tabla 6 Concentración Máxima Permissible*

Gas Permitido	Concentración
Monoxido de Carbono	50ppm
Dioxido de Nitrogeno	5ppm
Dioxido de Carbono	0.5%

Fuente: DS 023 – 2017 EM

Cuando detonan los explosivos, generando la fragmentación de la roca, van a generar el espacio confinado. En el espacio confinado generado con la desalojo de la roca fracturada, permanece los gases mencionados, los mismos que serán desalojados por el efecto venturi de forma natural; se considera 30 minutos como máximo; previo monitoreo de su atmosfera para su ingreso dentro de la excavación.

## **2.12 Rocas generalidades**

Según la clasificación geología las rocas se clasifican en:

- A. Rocas ígneas.
- B. Rocas sedimentarias.
- C. Rocas metamórficas.

### 2.12.1 Rocas ígneas.

Afloran del magma interior fundido, en forma de intrusiones y lavas. Debido a su origen y textura se clasifican como:

- a. Intrusivas o plutónicas
- b. Extrusivas, efusivas o volcánicas
- c. Filonianas o hipoabisales

#### 2.12.1.1 **Rocas ígneas intrusivas**

Las rocas intrusivas, en su proceso de afloramiento presenta enfriamiento durante su ascensión, por lo que se presentan grandes cuerpos subyacentes (batolitos), muestran textura granular gruesa, donde los cristales de sus minerales componentes presentan dimensiones aproximadamente similares entre sí e intercrecimiento, denominada rocas cristalinas. Ejemplo: granito, gabro, diorita.

#### 2.12.1.2 **Rocas ígneas extrusivas**

Una característica de las rocas extrusivas es el enfriamiento enfriaron súbito a poca profundidad o en la superficie, de esta forma no todos sus componentes se cristalizaron simultáneamente; simultáneamente, la mayoría de sus componentes no tuvo tiempo de cristalizarse, quedando como una matriz de grano fino que engloba a algunos cristales mayores dispersos (fenocristales), por lo que también se les denomina rocas porfiríticas o pórfidas. Algunas son muy densas (como el basalto) mientras que otras son de menor densidad como los tufos volcánicos, que incluso porosas como la pómez. Normalmente se presentan como mantos o capas son arrojados con la lava y cenizas volcánicas. Ejemplo: basalto, andesita,

Riolita(rocas duras), tufo volcánico tipo sillar.

#### 2.12.1.3 **Rocas ígneas filonianas**

La denominación de estas rocas filonianas, hipo abisales y sub volcánicas son de textura granular fina e intermedia, densas y generalmente oscuras, se presentan en los diques y inter estratificaciones por inyección en grietas o fallas preexistentes en rocas más antiguas. Estas rocas filonitas son rocas ígneas intrusivas que se originan cuando el magma se dirige hacia la superficie a través de filones y se solidifica en su interior.

Generalmente el magma forma pequeñas masas tubulares. Ejemplo los diques de turmalina, pegmatita, lamprófidos y otros.

Las rocas ígneas tienen la característica de ser rocas: de mayor densidad, duras y competentes con RMR mayor a 60; es decir no representan fracturas, pero tienden a descomponerse por acción del intemperismo y otros procesos de alteración que paulatinamente las transforman en arcilla, caolín, sílice y otros detritos. Como consecuencia de su enfriamiento rápido; origina la formación de fracturas de tipo contracción (disyunción) que muchas veces son típicas para cada tipo de roca (cúbica, columnar, tubular, etc.); éstas características inciden directamente en el resultado de las voladuras de rocas.

#### **2.12.1.4 Rocas sedimentarias**

Se han formado por la desintegración de rocas preexistentes, cuyos detritos fueron transportados por acción fluvial o eólica, las capas se acumulan y compactan entre sí, formando cuencas marinas durante muy largos períodos de tiempo.

También se forman por la descomposición y acumulación de vegetales y vida animal, otra forma de formación de rocas sedimentarias, es por la precipitación química y decantación de soluciones minerales. La formación se da por la enorme presión soportada por su propio engrosamiento; consolidado en forma estratificada o bandeadas (litificación o diagénesis), estratos o mantos que posteriormente han sido intensamente plegados y fallados por eventos tectónicos. Por consiguiente, aparte de los planos de separación entre capas, muestran fisuramiento originado por tensiones (diaclasas), que indudablemente también influyen en la mecánica de voladura.

#### **2.12.1.5 Rocas metamórficas**

El proceso de metamorfismo en la roca es el resultado de la transformación profunda de rocas ígneas o sedimentarias por efecto de: calor, grandes presiones y cambios químicos debidos a metamorfismos geológicos de gran magnitud, como los de granitización.

La permanencia de la solidificación de la roca durante el proceso de cambio, es la característica principal para retener la característica inicial, por lo que suele decirse que han sido recocidas (proceso térmico y con alta presión y sin cambios de composición, se denomina Metamorfismo

Isoquímico), pero también la roca puede cambiar o tener metamorfismo meta somático; este cambio ocurre cuando se producen cambios de composición por migración y sustitución de materiales mediante procesos de alteración, como los de silificación, cloritización.

Debido a su composición, textura y dureza, son posibles reconocerlas de acuerdo a su yacimiento, además su reconocimiento práctico se basa en aspectos físicos notorios como la exfoliación en láminas (pizarras, filitas, esquistos) o como el bandeamiento (gneiss) y también por el origen de la roca madre (gneiss y micacita provenientes de granito; mármol, proveniente de caliza; filita procedente de pizarras o lutitas; también son la serpentina, skarn).

AGRUPAMIENTO DE ROCAS POR SUS GRANOS O MINERALES (TAMAÑO Y TEXTURA)	
I.- Rocas Ígneas (o volcánicas)	
Rocas Fanero cristalinas (plutónicas)	Equivalente de grano fino o vidriado (efusivas)
Granito	Riolita
Cuarzo monzonita	Cuarzo latita
Granodiorita	Riodacita
Tonolita	Dacita
Gabro cuarcífero	Basalto cuarcífero
Sienita	Traquita
Monzonita	Latita
Diorita	Andesita
Gabro	Basalto
Nefelina	Fonolita

Figura 11 Agrupamiento de Roca según su Tamaño y Textura.

III.- Rocas Metamórficas						
MINERALES	TEXTURA					
	Densa	Granular	Pizarrosa	Filitica	Esquistosa	Gnéssica
* Cuarzo	-----	Cuarcita	-----	-----	-----	-----
* Cuarzo y mica	-----	-----	-----	Esq. cuarcífero	-----	-----
* Metamórficos de contacto	Horn	Feld	-----	-----	-----	-----
* Clorita	-----	-----	Pizarra	Filita	Esq. clorítico	-----
* Mica	-----	-----	Pizarra	Filita	Esq. micáceo	Gneiss Micáceo
* Mica con cuarzo y/o feldespato	-----	-----	Pizarra	Filita	Esquisto	Gneiss
* Hornblenda	-----	Anfibolita	-----	-----	Esq. de hornblenda	Gneiss de hornblenda
* Calcita	Mármol	Mármol	-----	-----	-----	-----
* Dolomita	Mármol	Mármol	-----	-----	-----	-----
* Silicato calcáreo	Skarn	Skarn	-----	-----	-----	Skarn
* Serpentina	-----	Serpentina	-----	-----	Serpentina	-----

Figura 12 Clasificación de rocas sedimentarias.

Las rocas presentan características geológicas y mecánicas, además de los factores condicionantes para realizar la voladura de roca; estas características

determinarán realmente el tipo de explosivo que deberá emplearse para fracturar la roca de forma eficiente y económicamente. Por lo tanto, es muy importante que además de conocer las propiedades de los agentes explosivos, se considere el grado de aspaviento que puedan presentar los parámetros de la roca:

- A . Densidad
- B . Humedad .
- C . Compacidad y porosidad
- D . Sismicidad.

II.- Rocas Sedimentarias		
SEDIMENTO ORIGINAL	ROCA CONSOLIDADA	EQUIVALENTE METAMÓRFICO
Grava (más de 2 mm) Arena (de 0,02 a 2 mm) de: * Cuarzo principalmente * Cuarzo y feldespato * Fragmentos de rocas básicas Silt (de 0,002 a 0,02 mm) * Laminar * Sin láminas Ceniza o polvo volcánico Sedimentos calcáreos * Ca CO <sub>2</sub> principalmente * Dolomita principalmente	Conglomerado  Arenisca Arkosa Grauwaka  Arcilla esquistosa Argilita Toba  Caliza Dolomita	Conglomerado  Cuarcita Arkosa Grauwaka  Filita, Esquisto, Gneiss  Mármol Mármol dolomítico

- E . Dureza.
- F . Grado de fisuramiento.
- G. Resistencia mecánica a la tensión y compresión
- H. Textura y estructura geológica. Variabilidad.
- I . Coeficiente de expansión o esponjamiento.
- J. Peso específico.

TENACIDAD O COHESIÓN DE ROCAS Y MINERALES					
(Resistencia al aplastamiento, rotura, desgarre, flexión o doblado)					
1. ALTA:	Elástica.- Flexible.- Dúctil.- Séctil.- Maleable.-	Puede doblarse pero vuelve a su forma original. (Inelástica). Se dobla, pero no recupera su forma. Suceptible a ser estirada como hilo. Puede cortarse en capas o láminas con la navaja. Se puede moldear con martillo en láminas delgadas.			
2. BAJA:	Quebradiza o Friable.-	Salta en fragmentos, fácil de pulverizar. (Las rocas casi en su totalidad son friables; su grado de fragmentación depende de la tenacidad y de los planos de debilidad estructural que presenten, fallas, fisuras, planos de clivaje, etc.).			
COEFICIENTES DE DUREZA, ABRASIÓN Y TENACIDAD AL GOLPE EN ROCAS VARIAS					
Tipo	Dureza	P.D.N (1)	Abrasión (desgaste) (2)	Tenacidad	P.D.N. (3)
GRANITO	95	7%	18,0	4,9	19%
ROCAS VERDES	81	10%	20,0	6,5	17%
CALIZA	27	22%	2,6	1,9	13%
MÁRMOL	56	9%	7,5	2,7	17%
ARENISCA	31	23%	1,5	1,8	9%
PIZARRA	56	9%	3,3	3,7	17%
<p>1.- Altura de rebote de martillo con punta de diamante en cm con el escleroscopio de Shore P.D.N. porcentaje de desviación normal <math>EC = P/S</math> en <math>kg/cm^2</math>, donde EC es el esfuerzo.</p> <p>2.- Pérdida de volumen en % de la muestra original por desgaste de molino de acero, a presión de 0,6 <math>kg/cm^2</math> a 30 rpm <math>ED=V, -V, /S...</math> (ensayo de abrasión Deval, máquina Dorry).</p> <p>3.- Altura de caída de martillo patrón en cm hasta la rotura de la muestra, con probeta de roca de 1" de altura por 1" de diámetro. PDN: Porcentaje de desviación normal. El granito corresponde a dureza 6 a 8 en la escala de Mohs.</p>					

Figura 13 Dureza de roca.

CLASIFICACIÓN DE ROCAS POR SU DUREZA RELATIVA - ESCALA PROTODIAKONOV					
CAT.	GRADO DE DUREZA	TIPO DE ROCAS	COEFICIENTE DUREZA	PESO VOLUMETRICO $t/m^3$	COEFICIENTE DE EXPANSIÓN
I	Extremadamente duras, altamente tenaces	Cuarcitas y basaltos muy duros y densos	20	2,8 a 3,0	2,2
II	Muy duras y tenaces	Granitos muy duros frescos, pórfidos	15	2,6 a 2,7	2,2
III	Duras, tenaces	Granito compacto y rocas graníticas (ácidas), calizas y areniscas muy duras, conglomerados cementados, minerales de hierro compactos, andesita, gneiss.	10	2,5 a 2,6	2,2
IV	Duras, con tenacidad intermedia	Calizas duras, granito blando, areniscas duras, mármol duro, dolomitas	8	2,5	2,0
V	Relativamente duras, intermedias	Arenisca común, minerales de hierro. Esquistos arcillosos y arenáceos, pirita, filita	6	2,5	2,0
VI	Dureza media, tenacidad intermedia y baja	Esquisto arcilloso duro, arenisca dura, calcita, conglomerado blando.	4	2,8	2,0
VII	Semiduras, intermedias a friables	Diferentes tipos de esquistos no duros, caliza	3	2,5	1,8
VIII	Blandas, Friables Terrosas, Sueltas	Arcilla compacta, hulla Grava, arena suelos, Loes (acarreo aluvial), turba	1 0,8 0,5	1,8	1,3 a 1,4
IX	Movedizas	Detritos, suelos aguados	0,3		

Figura 14 Clasificación de la roca

CLASIFICACIÓN GENERALIZADA DE ROCAS PARA VOLADURA		
TENACES	INTERMEDIAS	FRIABLES
Gneiss Granito - gabro Aplita Sienita - monzonita Diorita - granodiorita Basalto - dolerita Norita Caliza silificada Cuarcita - chert Hematita silicea - <i>hornfeld</i> Minerales de hierro densos (magnetita- pirrotita) Andesita - dacita frescas Pórfidos duros: diques y lamprófidos duros: diques y lamprófidos densos Cuarzo con oro - wolframio	Riolita Andesita Dacita Traquita Fonolita Obsidiana (vidrio volcánico) Toba y brecha volcánica Arenisca cementada Pizarra metamórfica Caliza - dolomita Mármol - baritina Conglomerado cementado Pórfido de cobre Minerales de Cu, Pb, Zn, Sn. Minerales de hierro (Marcasita - siderita - hematita - pirita marita)	Rocas alteradas varias Serpentina Yeso - anhidrita Pizarra - filita Lutita - arcilla compacta Conglomerado y brecha no cementada Carbón - antracita Marga Caliza ligera Travertino Arenisca Pómez - tufita Minerales de hierro: Limonita - ocre Antracita Suelos compactos
El grado de alteración (meteorismo), la presencia y orientación de planos de debilidad (fisuras, clivaje, fallas, etc.) y los cambios físico-químicos producidos por metasomatismo, silificación, etc., producen cambios en la resistencia de las rocas, lo que se debería tener en cuenta para su clasificación para voladura y uso en obras de construcción.		

Figura 15 Clasificación de la roca para Planeamiento de Minado

GRADO DE DUREZA - SU INFLUENCIA EN LA PERFORABILIDAD DE LAS ROCAS				
RELACIÓN ENTRE LA DUREZA DE LA ROCA, EL TIPO Y VELOCIDAD DE PERFORACIÓN				
Roca o mineral	Tipo de perforadora	Dureza Mohs	Se raya con:	Velocidad de perforación
Diamante	De percusión	10,0	Diamante	Lenta
Carborundo		9,5	"	
Zafiro		9,0	"	
Crisoberilo		8,5	"	
Topacio		8,0	"	Lenta/media
Zirconio		7,5	"	
Cuarcita		7,0	"	
Chert		6,5	Cuarzo	Media
Roca trapeciana		6,0	"	
Magnetita		5,5	Vidrio	Media/rápida
Esquistos	5,0	Navaja		
Apatito	4,5	"		
Granito	4,0	"		
Dolomita	3,5	Moneda (cobre)	Rápida	
Caliza	3,0			
Galena	2,5	Uña		
Potasio	2,0			
Yeso	1,5			
Talco	1,0	"		

La dureza de la roca, su grado de abrasividad (contenido mineral) y su estructura afectan de distinta manera a la decisión sobre la técnica de perforación a utilizar. Percusión simple: percusión/rotación; rotación con trituración; rotación con corte por rayado (botones o diamantes) etc. y de las correspondientes brocas a emplear (de bisel, en cruz, tricónica, diamantina, etc.)

Figura 16 Grado de dureza en la Perforación de roca

FRECUENCIAS SÍSMICAS DE ALGUNAS ROCAS			
Ondas sísmicas longitudinales	Velocidad de propagación en las rocas (m/seg)		
Capa meteorizada	300	a	900
Aluviones modernos	350	a	1 500
Arcillas	1 000	a	2 000
Margas	1 400	a	4 500
Conglomerados	2 500	a	5 000
Calizas	4 000	a	6 000
Dolomitas	5 000	a	6 000
Sal	4 500	a	6 500
Yeso	3 000	a	44 000
Anhidrita	3 000	a	6 000
Gneiss	3 100	a	5 400
Cuarzitas	5 100	a	6 100
Granitos	4 000	a	6 000
Gabros	6 700	a	7 300
Dunitas	7 900	a	8 400
Diabasas	5 800	a	7 100

Fuente: C. Figueroa: *Tratado de Geofísica Aplicada*.

Figura 17 Velocidad de propagación de las ondas en la fragmentación de roca.

Promedios de laboratorio y campo	Ondas longitudinales $V_L$ (m/s)		
Agua	1 450		
Suelo	100		
Arena, Morrena suelta	200	a	800
Arcilla, Limo, Gravas	500	a	1 500
Morrena compacta	1 500	a	2 700
Pizarra arcillosa	870	a	3 840
Arenisca	1 410	a	4 200
Rocas fisuradas meteorizadas	1 900	a	4 000
Granito fresco (sano)	5 500		
Granito y rocas verdes (Grannaca)	4 000	a	5 500
Granito parcialmente descompuesto, con vetas	3 150		
Granito muy descompuesto	660		
Granito muy descompuesto y friable	450		
Gabro	5 500	a	6 800
Caliza normal	4 920	a	6 060
Caliza normal cretácica	2 200		
Caliza normal carbonífera	3 050	a	3 600
Caliza normal ordovícica	4 090		(estratificada)
	5 320		
Pórfido cuarífero	4 870	a	5 330
Mineral de sulfuro con pirita y blenda	3 950	a	6 550
Pizarras negras con pirrotita	3 890	a	5 500
Diabasa	3 170	a	6 950
Basalto	5 578		
Dunita	8 047		
Esquistos	2 286	a	4 694

Velocidad de la onda transversal $V_t$ (m/s)			
Diabasa	3 840 a 3 901	Caliza dolomítica	3 261
Gabro	3 657 a 3 718	Arenisca cuarcítica	3 383 a 4 084
Granito	2 103 a 3 292	Esquisto	2 895 a 3 200

Figura 18 Velocidad de las ondas longitudinales.

Tipo de roca	Condiciones
ROCA I	Muy competente
ROCA II	Muy competente a medianamente competente
ROCA III	Medianamente competente
ROCA IV	Medianamente competente a incompetente
ROCA V	Incompetente a muy incompetente
ROCA VI	Muy incompetente

Figura 19 Clasificación de la dureza de roca

## 2.14 Mecanismo de Fragmentación de la Roca con Explosivos.

### 2.14.1 Detonación

Es la primera fase inicial de un proceso de fragmentación, en la cual los elementos básicos de un explosivo (comburente y combustible), mediante una reacción exotérmica se convierten en productos formando gases con elevada presión y temperaturas, la detonación es un reacción química exotérmica más rápida que se conoce.

De acuerdo a la experiencia para los explosivos comerciales utilizados en la voladura para construcción de zapatas en transmisión de energía, las presiones de detonación detrás del frente de detonación varían de 2000 MPa (20 Kbares) a 27500 MPa (275 Kbares). Esta variable depende principalmente de la densidad y VOD del explosivo. El intervalo de tiempo necesario para completar la detonación, es unos microsegundos, para una carga pequeña esférica y milisegundos para una carga cilíndrica larga.

Adicionalmente, Otros factores que afectan la presión de detonación; es el tiempo de detonación, asimismo las formas geométricas, dimensiones y la VOD de la carga.” 1

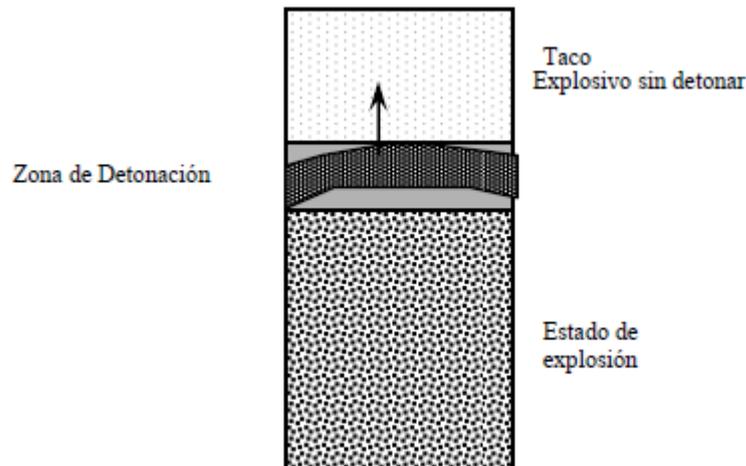


Figura 20 Esquema de la velocidad de detonación de la roca.

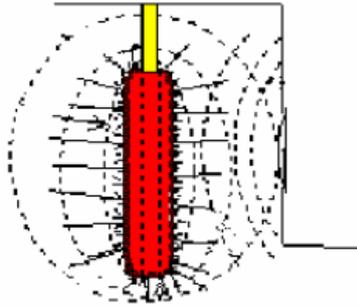
### 2.14.2 Propagación de las Ondas de Choque.

La segunda fase que continúa es la propagación de ondas de choque y de esfuerzo (tensión) a través del macizo rocoso. Esta alteración originada por la onda de presión transmitida a través del macizo rocoso, es resultado, de la rápida expansión del gas a altas presiones, produciendo el impacto en las paredes del Taladro. La geometría de la dispersión de ondas depende de varios factores, tales como ubicación del punto de iniciación, VOD y velocidad de la onda de choque en la roca.

Por lo general, el fallamiento de la roca originado por tensiones de compresión, tensión y cizallamiento; ocurre en una zona cerca de la carga, este proceso ocurre donde la energía de la onda es máxima; en esta zona la roca se pulveriza. A medida que el frente de onda viaja hacia el exterior, se produce una tendencia a comprimir el material en el frente de onda. En ángulos rectos a este frente de compresión, existe otro componente que se conoce como el esfuerzo tangencial. Si este esfuerzo mencionado es de suficiente magnitud, puede causar fallamiento por tensión en ángulos rectos a la dirección de propagación. Los fallamientos mayores son originados por la tensión en la roca, los fallamientos mayores se espera que ocurran en el perímetro radial del taladro, en las discontinuidades o donde hay un cambio en la variación de la impedancia. La magnitud de estos esfuerzos siempre decaerán con la distancia a la carga, Esta magnitud de los componentes de los

esfuerzos son: Esfuerzos de compresión, tensión, cizallamiento y los componentes de los esfuerzos combinados de cualquier frente de onda.

La interacción de ondas transversales de esfuerzo, en un maciso maciso fisurado, es un tema de investigación; considerando la importancia esta situación en las nuevas teorías de voladura de rocas.



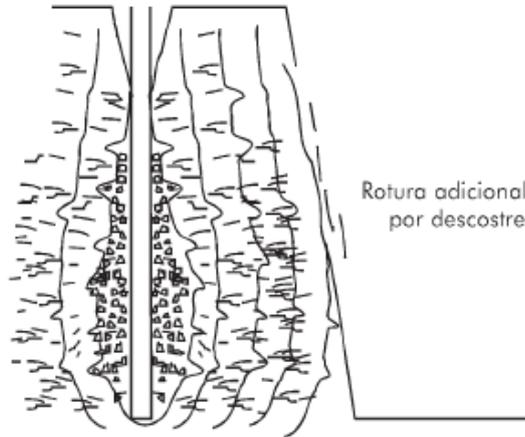
*Figura 21* Interacción de las ondas transversales de esfuerzo.

### **2.15 Expansión de gases. (p 24 Manual de voladura ENAEX SA 2012)**

Durante y después de la propagación de la onda de esfuerzo, los gases a alta

Temperatura y presión, producen un campo de esfuerzo de tensión alrededor del taladro; producto de ello se expande el taladro original, extendiendo grietas radiales formadas y a su vez penetrando en cualquier discontinuidad (fig.xxxx). En esta fase existen controversias sobre el principal mecanismo de fragmentación.

Los gases que se encuentran en la nueva cavidad formada alrededor del taladro, penetraron en las discontinuidades y generan el impulso hacia el medio; debido a la detonación, principalmente responsables del desplazamiento del material fragmentado.



Rotura adicional por descostre

Figura 22 Rotura de la roca por esfuerzo de tracción y compresión.

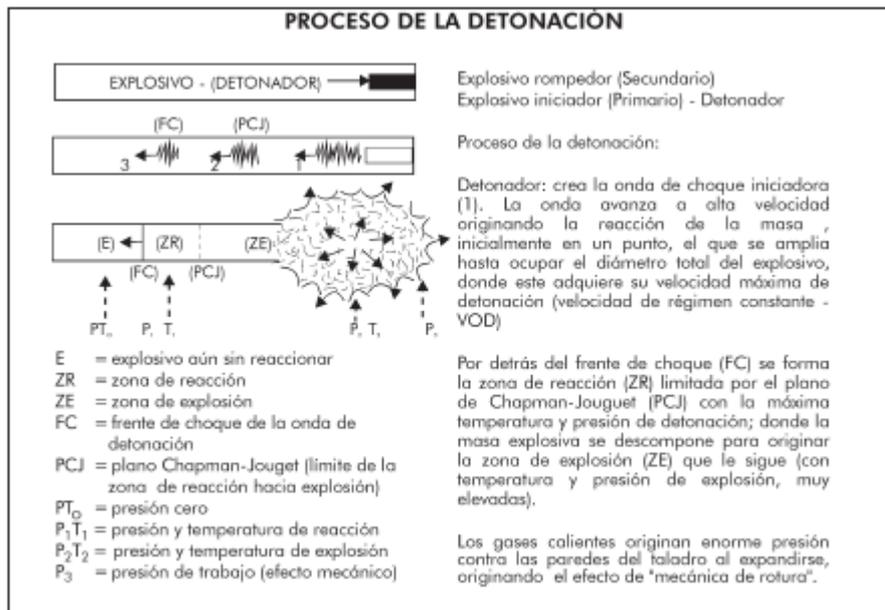


Figura 23 Proceso de detonación en un taladro.

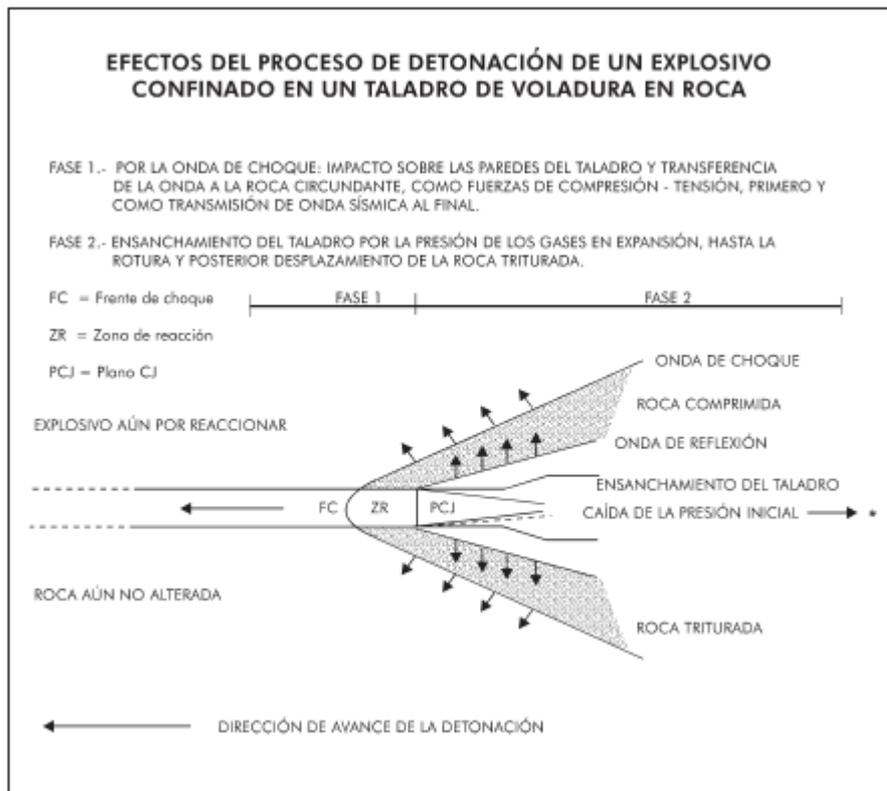


Figura 24 Efectos de la detonación en el interior de un taladro.

### 2.15.1 Teoría de la Explosión en la Voladura de rocas.

Sabemos que la explosión, es un fenómeno físico, además es el resultado de la liberación de energía tan rápida que se considera instantánea. Entonces la explosión llegaría a ser un efecto y no una causa.

A continuación nombramos los tipos de explosión:

### 2.15.2 Explosión por descomposición muy rápida

“La liberación instantánea de energía generada por una descomposición muy rápida de materias inestables requiere una materia inestable (explosivo) y un procedimiento de detonación.”<sup>2</sup>

### 2.15.3 Explosión por oxidación muy rápida del aire.

La liberación de energía generada por oxidación muy rápida de un vapor, gas o polvo inflamable (gasolina, grisú en las minas de carbón).

### 2.15.4 Explosión nuclear

La fusión nuclear libera en forma instantánea una gran energía, tal como sucede en una bomba de hidrógeno.

### 2.15.5 Explosión por exceso de presión

Es el resultado de la liberación instantánea de la energía generada por un exceso de presión en recipientes donde se encuentra comprimido: pudiendo ser: calderos o envases donde por diversos factores como calentamiento, mal funcionamiento de válvulas u otros motivos; pueden originar este evento.

### 2.15.6 Ignición espontánea

Puede producirse cuando tiene lugar un proceso de combustión durante el proceso de oxidación lenta de la materia; sin una fuente externa de calor, su velocidad de oxidación es lenta; pero va aumentando hasta que el producto se inflama por sí solo, este proceso es auto ignición, ocurriendo en: carbón mineral acumulado, nitrato de amonio apilado sin ventilación.

Para los explosivos, a consecuencia de la fase de detonación y pasando el plano Chapman y Jouget, ocurrirá una descompresión y baja de temperatura de los gases hasta alcanzar la condición de densidad y presión que se conoce como condiciones del estado de explosión.



*Figura 25* Distribución de la energía útil de trabajo versus energía perdida en el disparo.

## **2.16 Geología y sus efectos en la Performance de la voladura de roca.**

Los diversos factores que afectan la performance de la voladura de roca, es la edad y los diversos eventos geológicos que han sufrido la roca, El maciso rocoso presentan diversas estructuras secundarias que influyen en su fracturamiento con explosivos. Entre ellas tenemos:

### **A. Estratificación o bandeamiento (bending, layering)**

Son Planos paralelos que dividen a los estratos de la roca sedimentaria de iguales o diferentes características litológicas; esta situación también ocurre también ocurre con menos frecuencia en la roca granito. Generalmente ayudan a la fragmentación.

### **B. Esquistocidad**

Es el Bandeamiento laminar de poco espesor que presentan ciertas rocas metamórficas de grano fino, donde existe tendencia a desprenderse. Se rompen fácilmente.

### **C. Fractura (joints, fisuras o juntas)**

En el maciso rocoso esta característica es producida por el desplazamiento en las familias de rocas, estas franturas se presentan en forma perpendicular o paralela a los planos de estratificación o mantos en derrames ígneos, con grietas de tensión (diaclasas), grietas de enfriamiento (disyunción) y otras.

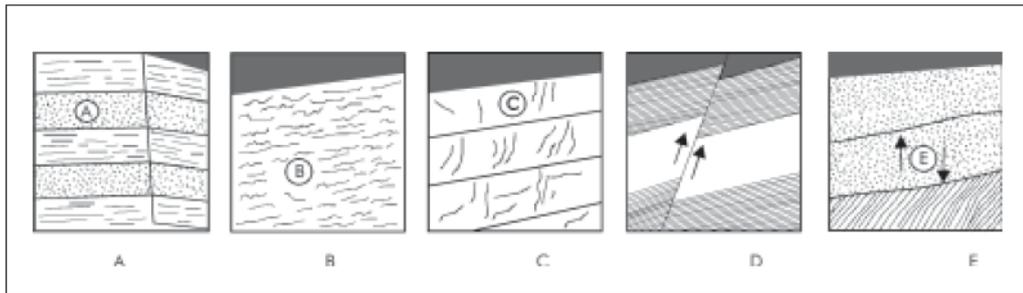
l espaciamiento entre juntas es variable y en algunos casos presentan sistemas complejos entrecruzados. Las aberturas también variables, puede o no contener material de relleno como limonitas o arcillas.

### **D. Fallas (faults)**

Las Fracturas que presentan desplazamiento entre dos bloques o familias Usualmente contienen material de relleno de grano fino (arcilla, panizo, milonita). Durante la perforación reducen los rangos de penetración, generando trabamiento a los barrenos. Las rocas son propicias a sobrerotura (over break, back break) junto a los planos de falla.

### **E. Contactos**

Presentes en planos de contacto o discontinuidades entre estratos o capas del mismo material en las distintas clases de rocas dentro de un maciso rocoso.



*Figura 26* Tipos de falla de la roca.

Influencia de estas estructuras en la Voladura de Rocas.

Las desventajas existentes son:

La pérdida de energía a través de las fisuras en roca; esta situación se debe por la fuga del gas por las aberturas.

Casos:

La existencia de algunas estructuras, diaclasas y fisuras ampliamente separadas, es una desventaja en la fragmentación por los siguientes motivos:

- Existencia de fallas de confinamiento.
- Interrupción de las ondas sísmicas o de tensión.
- Baja dureza de la roca.
- Pre formación de pedrones sobre dimensionados.
- Disparos cortados en taladros por escape de gases(soplo).
- Menor rango de perforación y desviación vertical de los taladros..

Algunas soluciones fiables:

- Uso de explosivos densos y de alta velocidad de detonación.
- Utilización de cargas espaciadas (decks).
- Utilización Intervalos de iniciación más cortos entre taladros (favorable para una mejor fragmentación y este factor reduce las vibraciones).
- Ajustar la malla de perforación, mayor hacinamiento de malla.

Estructuras apretadas

Esta característica del maciso rocoso es una ventaja, mejor transmisión de las ondas de tensión, acompañada de una mejor fragmentación y control del disparo. Las rocas que presentan baja resistencia con con bandeamiento apretado entre capas, con las lutitas y esquistos, presentan una buena fragmentación.

Debido a la existencia de los aspectos técnicos, pueden bajar costos en estas condiciones:

- Explosivos y cebos de menor velocidad de detonación y densidad, las rocas que favorecen esta característica son: areniscas, lutitas, esquistos, etc.
  - Tiempos de intervalo más largos resultan más efectivos para el desplazamiento y son favorables para reducir las vibraciones.
  - Incremento en rangos de velocidad de perforación.
  - Se incrementa la producción ampliando el burden , espaciamiento y aumentando el diámetro de taladro pero debe controlarse la vibración.
- stratificación plana u horizontal

#### **Estructuras predecibles.**

- La perforación vertical en estratos horizontales reduce la probabilidad de que se pierda verticalidad de los barrenos.
- En los taladros verticales y rectos los planos perpendiculares no afectan su desviación.
- En estas condiciones son factibles de aplicar opciones técnicas en mallas, inclinación de taladros y sistemas de inclinación para mejorar la voladura.

Por otro lado estratos o discontinuidades en ángulo pueden desviar los taladros.

#### **D. Rumbo y buzamiento (strike and dip) de estratos y fallas**

El rumbo indica la dirección de la estructura (con relación a los puntos cardinales o norte geográfico) y el buzamiento el ángulo de inclinación con respecto a la horizontal. Ambos indican cuando o no los taladros atravesarán perpendicular o transversalmente a las estructuras.

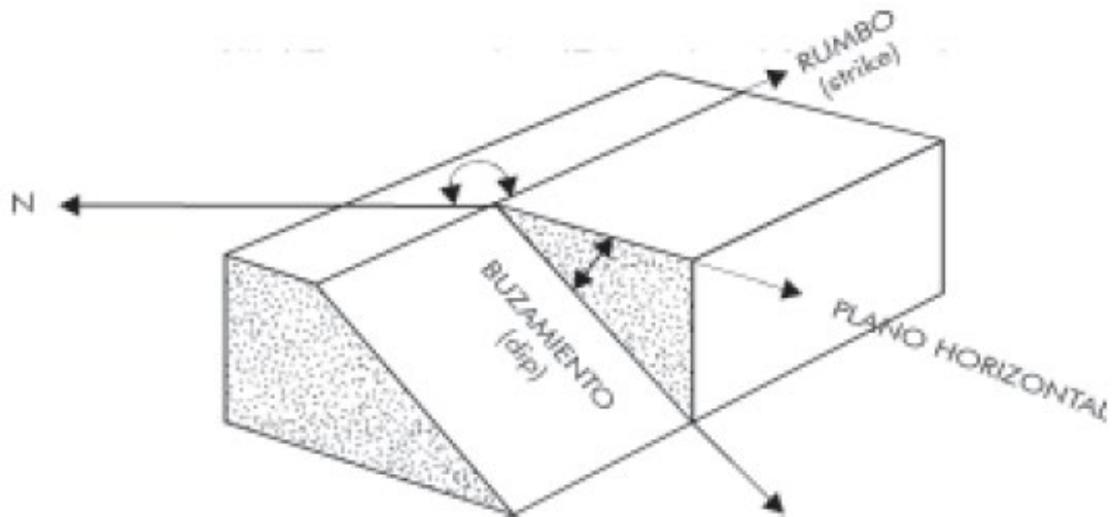


Figura 27 Plano de buzamiento, Rumbo

a. Rumbo

Pasos:

1. Rumbo en ángulo con la cara libre Fracturas o fallas en ángulo con la cara libre

Contribuyen a mejor fragmentación con aceptable rotura final y rotura hacia atrás (back break), buena condición para voladura.

2. Rumbo perpendicular a la cara libre Fractura o fallas perpendiculares a la cara libre (entre los espaciamentos de taladros) tienden a contribuir con rotura de bloques, poca rotura final y considerable rotura hacia atrás; mala condición para

Voladura.

3. Rumbo paralelo a la cara libre Fallas y fracturas provocan fracturamiento

sobredimensionado, mala rotura final pero generalmente una pared posterior estable; mala condición para fragmentación por voladura.

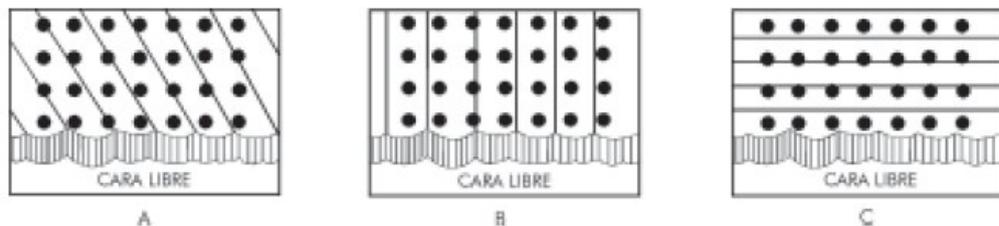


Figura 28 Rumbo respecto al plano de la malla de perforación.

Efectos negativos en la performance de la voladura:

- Roca con estructuras complicadas.
- Zonas de incompetencia.
- Rocas con zonas competentes intercaladas con zonas incompetentes.

#### Soluciones factibles

Efectuar voladuras de prueba, si esto es posible.

Diseñar la voladura para que la cara libre se desplace en un ángulo con las estructuras geológicas. Esto puede o no ser posible y puede involucrar alteraciones en los intervalos de retardo.

Procurar la mejor distribución de la carga explosiva para sobreponerla a las estructuras, aplicando algunas de las siguientes opciones:

- Ampliar los espaciamientos paralelos a las fisuras y reducir los burdenes perpendiculares a las fisuras.
- Aplicar la malla en echelón si fuera conveniente.
- Enfocar la dirección del ángulo de movimiento de las salidas.

Reducir la malla.

Emplear menor diámetro de taladros, lo que proporciona mejor distribución del explosivo y notoriamente mayor control de la voladura.

Perforar taladros satélites entre los taladros de producción.

Experimentar con diferentes intervalos de retardo.

Intervalos cortos son a menudo efectivos en estructuras sobresalientes.

#### b. Buzamiento

Casos:

##### 1. Perforación y voladura con el buzamiento a favor

En este caso se puede esperar lo siguiente: mayor rotura hacia atrás, ya que la gravedad trabaja contra la operación de voladura. Mejor utilización de la energía

del explosivo porque los estratos yacen hacia los taladros presentando menor resistencia al empuje. Piso del banco más plano o regular con menos problemas

de bancos, mayor desplazamiento desde la cara libre lo que resulta en una mejor formación de la pila de escombros. Por otro lado hay la posibilidad de piedras

volantes de la cresta del banco.

Soluciones factibles:

1. El empleo de taladros inclinados reduce la rotura hacia atrás.
2. Ampliando el tiempo de retardo de la inclinación de la última fila de taladros se puede lograr un buen perfil de la cara final del banco.
2. Perforación y voladura con el buzamiento en contra Menor rotura hacia atrás debido a que los estratos buzando dentro del banco. La resistencia al pie del banco se incrementa dificultando su salida, por lo que se requiere mayor carga explosiva de fondo, piso del banco irregular, menor desplazamiento desde la cara libre, que resulta en una pila de escombros más elevada.

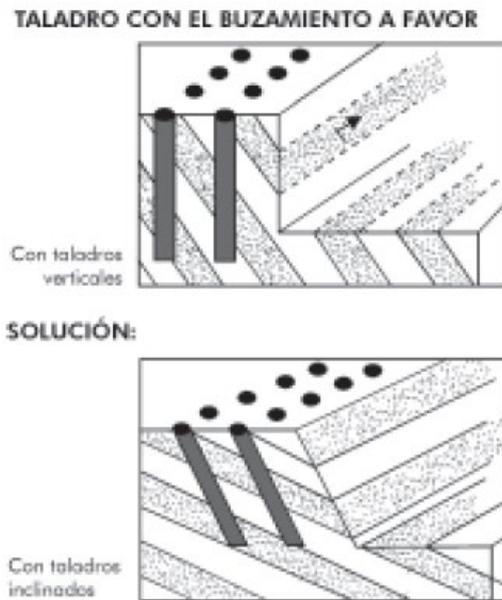
Soluciones factibles

Si se presentan lomos o toes:

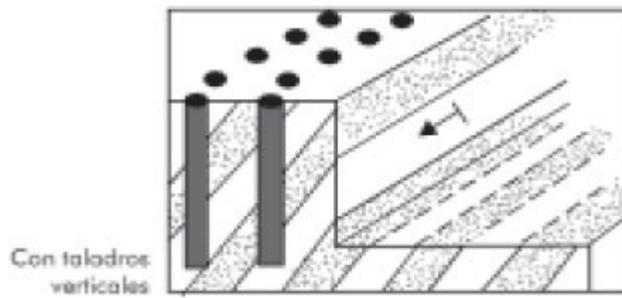
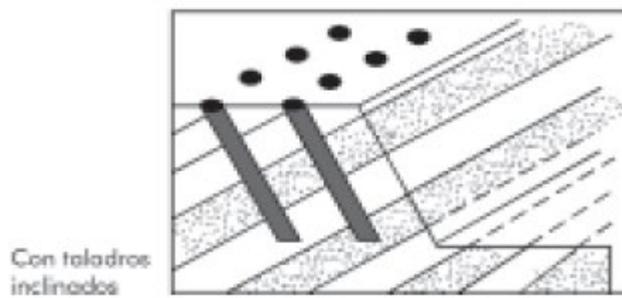
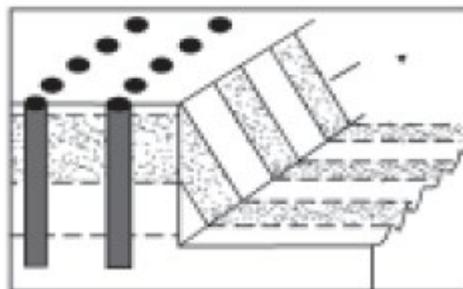
1. Perforar taladros inclinados para eliminar la posibilidad de lomos.
  2. Perforar taladros satélites para eliminar los lomos.
  3. Explosivos de alta energía en las áreas de formación de lomos pueden ayudar a mejorar el nivel del piso, la sobreperforación adicional también puede ayudar a mejorar el nivel del piso.
  3. Perforación y voladura con el rumbo en contra
- En esta situación se espera encontrar las condiciones más desfavorables para la perforación y voladura.

1. Piso del banco irregular, frecuentemente con forma "dentada" cuando se intercalan estratos de rocas de diferentes características.
2. Rotura hacia atrás irregular, con entrantes y salientes.

3. Desfavorable orientación de la cara libre, que requiere de trazos de voladura adecuados.



*Figura 29* Perforar taladros inclinados

**TALADRO CON EL BUZAMIENTO EN CONTRA****SOLUCIÓN:****TALADRO CON EL RUMBO EN CONTRA**

*Figura 30* Variabilidad de perforación respecto al buzamiento en la voladura.

## CAPITULO 3 : METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1 Tipo de investigación

Este estudio de investigación obedece a la investigación descriptiva y a la vez evaluativa, midiendo de manera cualitativa y cuantitativa con la mayor precisión posible las cinco variables operativas ejecutadas dentro del proceso constructivo de formación de zapatas y pilastras, para evitar los tiros cortados; producto de voladura en un macizo rocoso.

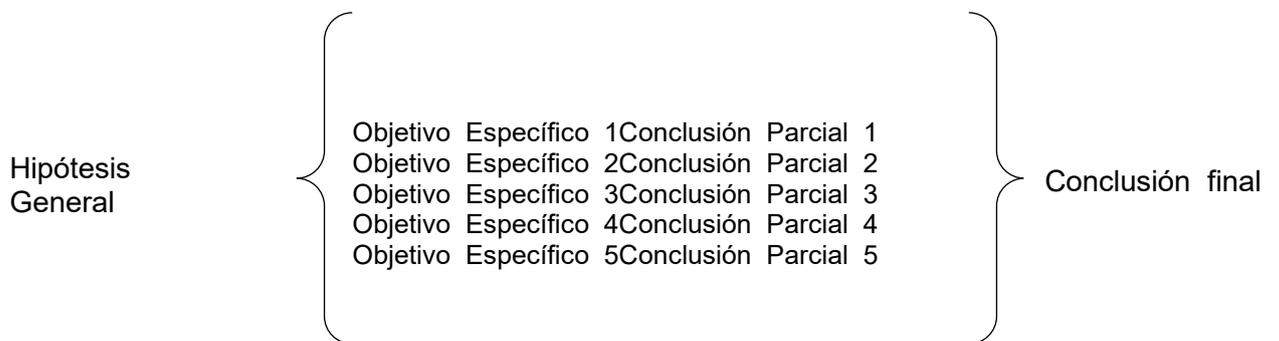
### 3.2 Nivel de investigación.

Por la naturaleza del estudio de investigación, corresponde a un nivel de estudio descriptivo, explicativo y correlacionado de procedimientos operativos.

### 3.3 Método de la investigación

Los principales métodos que se utilizaron en el presente estudio de investigación fueron: Análisis de procedimiento, Capacidad de síntesis, Inductivo, Descriptivo y Estadístico.

La cartilla en análisis en el presente estudio, tiene objetivos específicos y objetivo final; esquematizado en la forma siguiente:



La estadística nos direccionara la tendencia de las conclusiones parciales, para concluir finalmente sobre el trabajo realizado.

### 3.4 Población y muestra

En el proyecto Construcción de la Línea de Transmisión Zapallal - Tujillo; se constituyó de la forma siguiente:

El personal netamente operativo lo conforman una parte de Personal Técnico Capacitado y el personal ayudante; quienes generalmente provienen del área local, es decir propiamente de la zona de influencia que es Huarmey y Casma. En el proceso de selección de personal; se basó de acuerdo a los procedimientos administrativos y de control de calidad que están estipulados en: Procedimiento: Contratación de Personal, que contempla los siguientes parámetros:

Determinación de Necesidades de las tareas de la Obra

Determinación de las habilidades, experiencias, intereses, y actitudes de los solicitantes.

Determinar la capacidad física y Estado de Salud del solicitante mediante un examen médico.

A continuación, presentamos el organigrama de la organización, la conformación del Comité de Seguridad y Salud Ocupacional (según el Reglamento de Seguridad para Actividades Eléctricas) y una matriz; donde categorizamos al personal operativo y administrativo.

### 3.5 Hipótesis General

- Se evita los tiros cortados al seguir un protocolo de parámetros críticos

### 3.6 Hipótesis Específicas

- El control de parámetros críticos tales como procedimientos operativos, factores de trabajo, geomecánica del macizo rocos, herramientas y equipos como métodos de trabajo y finalmente las herramientas de gestión.

### 3.7 Definición de variables

VARIABLES INDEPENDIENTE	VARIABLE DEPENDIENTE
Control de tiros cortados	Construcción de líneas de transmisión.

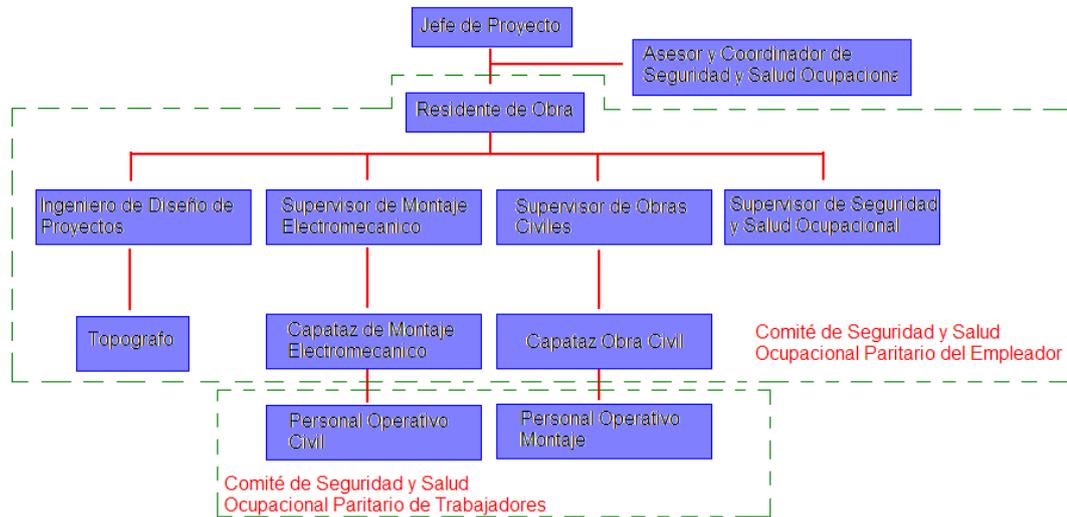


Figura 31 Organización y Formación de Comités S&SO

Tabla 7 *Requisitos Mínimos por Categoría*

Categoría de Personal	Proceso	Requerimientos Mínimos
Topógrafo	T, ME y OC	Grado Técnico
Topógrafo Ayudante	T, ME y OC	Técnico
Montajista Operario	ME	LP+ Exp. ME
Montajista Oficial	ME	ET +Exp. ME
Ayudante	ME y OC	SI
Operario Civil	OC	LP + Exp. ME
Capataz Montaje	ME	LP + Exp. ME
Capataz Civil	OC	LP + Exp. ME
Oficial Civil	OC	Exp. ME
Conductores Vehiculares	Unidades T, ME y OC	SC + Lic. A2
Técnico de Voladura	OC	Técnico + Lic. Discamec + Exp. OC
Operario de Equipos	ME y OC	SC + Lic. A2+ Exp. Obras

Operario de Maquinaria Pesada	ME y OC	SC + Lic. A2 + Exp. Obras +EP
-------------------------------	---------	-------------------------------

Fuente propia

Tabla 8 *Leyenda*

<b>Leyenda:</b>	T=	Topografía
	ME=	Montaje Electromecánico y Puesta en Servicio.
	OC=	Obra Civil.
	ET	Estudios Técnicos.
	LP	Lectura de Planos.
	EXP	Experiencia en operaciones con explosivos.

Tabla 9 *Cuadrilla de perforación y Voladura:*

Categoría de Personal	Lugar	Requerimientos Mínimos
Cuadrilla 1	Huarmey	Técnico Explosivos 1+ Ayudante 1.
Cuadrilla 2	Huarmey	Técnico Explosivos 2+ Ayudante 2.
Cuadrilla 3	Casma	Técnico Explosivos 3+ Ayudante 3.
Cuadrilla 4	Casma	Técnico Explosivos 4+ Ayudante 4.
4 cuadrillas	2 sectores	8 personas

Fuente propia.

### **3.8 Diseño de la investigación**

La preocupación por los procesos en la construcción del Proyecto Líneas de Transmisión de 220Kv y 500Kv, en todos sus etapas del proceso siempre fue muy peligroso, y con más razón de voladura de rocas, necesaria ya que nuestra diversidad de suelos existentes en la costa peruana. En el proyecto mencionado hubo permiso para utilizar explosivos en el proceso constructivo, pero no hubo estándares sobre los cuales se deben trabajar.

En el sentido expuesto se realizó la siguiente metodología basado en la elaboración de la cartilla de Observación Sistemática de Trabajo, que tiene por objetivo analizar en cinco etapas resaltantes; que intervienen en el proceso de voladura de rocas.

La elección de los cinco parámetros identificados, obedecen a objetivos específicos parciales de gran importancia en el proceso previo a la voladura de roca, estos procesos pasamos a describirlos:

#### **3.8.1 Factores de trabajo.**

##### ***3.8.1.1 Acceso al lugar de trabajo.***

Tenemos que identificar el lugar de trabajo, la cota de la torre puede estar en cualquier tipo de suelo, en algunos casos con gradiente ( falda de cerro), o en un terreno llano; es importante trazar su ruta de acceso, y ésta debe ser definida por el topógrafo teniendo los siguientes criterios para su elección:

Accesibilidad.

Mínima distancia.

Seguridad.

Menor gradiente, llegando a un máximo de 10%.

##### ***3.8.1.2 Planificación de Trabajo***

En la planificación de trabajo se debe tratar temas operativos, ésta planificación de trabajo debe ser evaluada antes del día a ejecutarse el trabajo y debe ser difundida en resumen antes de llegar a la cota de la torre; en la reunión operativa se debe tratar los siguientes parámetros:

Evaluación de riesgos en el proceso y su control.

Secuencia de proceso.

Tiempos y movimientos.

Método de trabajo.

Supervisión eficaz en los procesos.

### **3.8.1.3 Superficie de Trabajo en el Punto de la Torre.**

La superficie de trabajo puede variar desde la superficie llana hasta una superficie con gradiente de 70°, y a una altura de 80 a 150 metros de altura donde es importante saber controlar la labor operativa ya que estamos hablando de trabajos en altura, donde el riesgo es caída a desnivel es casi inminente.

### **3.8.1.4 Levantamiento de barricadas.**

El levantamiento de barricadas, obedece al riesgo e caída de roca suelta posicionado en la parte superior a la excavación, que por gravedad o por vibración producto de la voladura de roca, éste fragmento de roca puede caer a la excavación generando una accidente.

Esta barricada debe formarse con sacos rellenos con material desalojado de la excavación o en su defecto con arena proveniente de material de préstamo.

### **3.8.1.5 Habilitación de Plataformas de Trabajo.**

La habilitación de plataformas de trabajo está en función de los parámetros:

Gradiente del cerro, se considera el control para una gradiente mayor a 60°.

### **3.8.1.6 Humedecimiento del área de trabajo.**

La aridez de los suelos en el litoral, es un estándar. Al realizar excavaciones o realizar movimiento de tierra se debe tener en cuenta humedecer para controlar el polvo y mantener visible la superficie de trabajo, para observar los defectos que tuviera el macizo rocoso y ello nos permite caracterizar el macizo rocoso.

## **3.8.2 Geomecánica del Macizo Rocos.**

### **3.8.2.1 Defectos Mecánicos del Macizo Rocos**

Se entiende por defectos mecánicos a todo tipo de fracturamiento con espaciado variable; en distintas direcciones y en diferentes longitudes. Donde el fracturamiento simple se conoce como "Juntas" y el fracturamiento de mayor magnitud con algún desplazamiento de dos rocas contiguas tiene la connotación de "Fallas".

Juntas. Es una rajadura simple en un mismo plano de división; donde no existe desplazamiento rocoso adyacente.

Fallas Plegamiento, Empujes. Los términos citados corresponden a defectos rocosos mayores; generando el plano de falla, en grandes dimensiones.

#### **3.8.2.2 Defectos Químicos del Macizo Rcoso.**

Referido a las diversas reacciones químicas que se manifiesta en la roca debido a sus componentes que la integra con la humedad o cuerpos de agua del medio exterior, que puede ser superficial o subterráneo.

### 3.8.2.3 Determinación del tipo de roca.

#### A 12.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-MECÁNICAS DE VARIOS TIPOS DE ROCAS

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (Kg/cm <sup>2</sup> )	DENSIDAD (Tm /m <sup>3</sup> )
Andesita	1.500-2.500	2,5 a 2,8
Arcillita	280-800	2,2 a 2,7
Arenisca	80-2.000	1,6 a 2,9
Basalto	2.000-4.000	2,7 a 2,8
Caliza	800-1.500	1,5 a 2,8
Conglomerado	1.400	2,0 a 2,7
Cuarcita	900-4.700	2,3 a 2,7
Dacita	1200-5000	2,5 a 2,75
Diabasa	1.600-2.400	2,8 a 3,1
Dolomía	360-5.600	2,2 a 2,9
Esquisto	108-2.300	2,7 a 2,9
Gabro	1500-2800	2,8 a 3,1
Gneis	1.500-3.000	2,5 a 2,8
Granito alterado	108-1.450	2,5 a 2,6
Granito sano	800-2.700	2,5 a 2,8
Grauvaca	2.000-2.500	2,6 a 2,7
Marga	35-1.970	2,6 a 2,7
Mármol	800-1.500	2,6 a 2,8
Micacita	200-653	2,4 a 3,2
Pizarra	2.000-2.500	2,7 a 2,8
Riolita	800-1600	2,45 a 2,6
Traquita	3.300	2,70
Yeso	40-430	2,2 a 2,3

Figura 32 Características mecánicas de la roca.

Para determinar el tipo de roca, el equipo se capacitó en técnicas de reconocimiento del tipo de roca con las, asimismo realizo un taller de entrenamiento en la Universidad Nacional de Ingeniería, en el laboratorio de Mineralogía.

#### **Determinación cualitativa de la dureza de la roca**

Para determinar la dureza de la roca, se realiza pruebas insitu, que nos muestran de manera practica y aproximada la dureza de la roca, para luego comparar el rango de resistencia a la compresión simple de manera aproximada, podemos describir la dureza de la roca.

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA COMPRESIÓN SIMPLE (Kg/cm <sup>2</sup> )	HUELLA Y SONIDO
Muy blanda	10-15	El material se disgrega completamente con un golpe del pico del martillo y se deshace con navaja.
Blanda	50-250	El material se indenta de 1,5 a 3 mm con el pico del martillo y se deshace con la navaja.
Media	250-500	El material NO se deshace con la navaja. La muestra sostenida en la mano se rompe con UN (1) golpe de martillo.
Moderadamente dura	500-1000	La muestra se rompe con VARIOS golpes de martillo.
Dura	1000-2500	La muestra depositada en el suelo se rompe con UN (1) golpe.
Muy dura	> 2500	La muestra se rompe con dificultad a golpes con el pico del martillo. Sonido MACIZO.

### 3.8.3 Herramientas y equipos.

*Figura 33* Prueba de compresión de la roca.

La gestión del área de mantenimiento, se plasma en el estado operativo de los equipos y herramientas utilizadas en proceso constructivo.

#### 3.8.3.1 Estado de equipos

El uso de herramientas y equipos en buen estado de mantenimiento para realizar el proceso minero constructivo, es de suma importancia tenerlo en buen estado: citamos los equipos utilizados en el proceso:

Perforadoras.

Martillos Neumáticos.

Compresores.

Brocas.

Barrenos

#### 3.8.3.2 Sistema de seguridad de equipos.

El primer filtro o control de inspección es en almacén, ya que el personal técnicamente entrenado realiza la inspección visual y operativa del equipo, el segundo filtro es el operador y se verifica antes de llevarlo a campo. Asimismo el check list de cada equipo queda registrado en el formato para su auditoria. Los sistemas de seguridad en su funcionamiento son evaluados minuciosamente para establecer en la cartilla "seguro".

#### 3.8.3.3 Mecánica Corporal en el uso de Equipos.

La mecánica corporal es el confort de la utilización del equipo y la posición adoptada, ergonómicamente correcto para mantener la relación unidireccional y secuencial. en el proceso de la perforación utilizando la perforadora Jack Leg, o en la utilización de un martillo neumático ergonómicamente correcto al realizar el proceso de rompimiento mecánico de la roca.

### 3.8.3.4 Método de trabajo en el uso de equipos.

El método de trabajo es un secuenciamiento operativo que toma como base una evaluación de riesgos del entorno, para elegir que método de perforación es usual al caso presentado, y como realizarlo de tal forma que sea correcto.

### 3.8.4 Herramientas de Gestión de seguridad y Salud.

La ley 29783 “Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo” establece controles de gestión en cada proceso operativo, Los controles adoptados son analizados y adoptados para su registro diario.

#### 3.8.4.1 Procedimiento Correcto de Trabajos Críticos.

La identificación de peligros, la caracterización de riesgos, la evaluación y el control de riesgos; son las herramientas importantes para establecer procedimientos de Trabajo; para realizar una excavación para la construcción de zapatas y Pilastras en el proceso constructivo de Transmisión de energía.

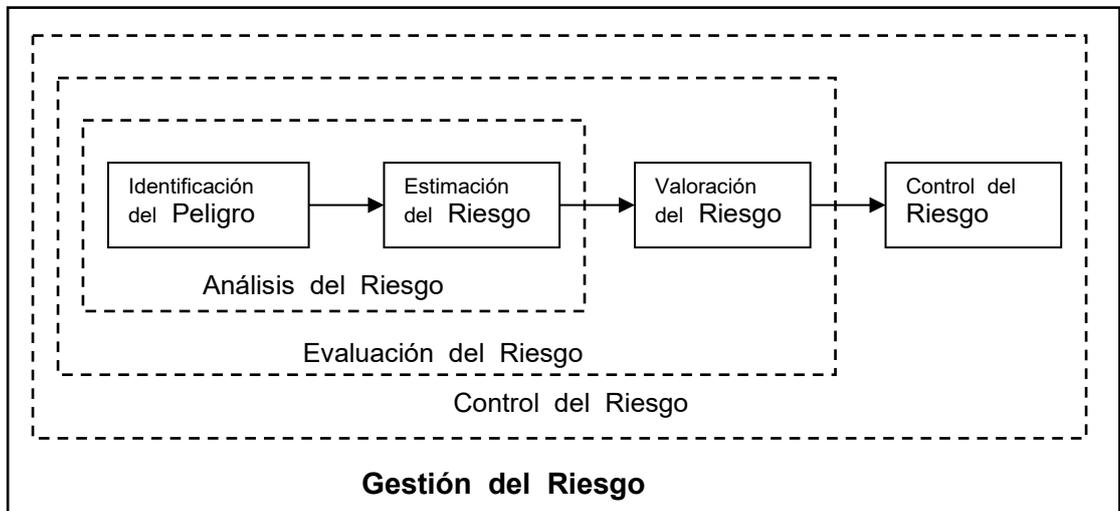


Figura 34 Esquema de análisis evaluación y control del riesgo.

(Elaboración propia).

Los

Trabajos en altura.

Trabajos en espacios confinados.

Trabajos en caliente.

Transporte de explosivos.

Manipulación de explosivos.

Movimiento de suelo con excavadora.

#### **3.8.4.2 Check List de Equipos.**

La lista de chequeo de equipos es el registro físico de la evaluación técnica del personal operario en el lugar de trabajo, los equipos evaluados en la lista son:

Perforadora mecánica.

Perforadora Eléctrica.

Martillo Neumático.

Compresora.

Brocas.

Tubos acerados.

Barrenos.

#### **3.8.4.3 Protocolo de ingreso**

#### **3.8.4.4 La excavación.**

El protocolo de ingreso a la excavación es una herramienta de gestión operativa sistemática y secuenciada, de análisis y evaluación de la seguridad antes de iniciar el ingreso a una excavación donde se va a realizar voladura de roca, los parámetros evaluados son:

Tipo de suelo

Talud de la excavación.

Sismicidad del suelo.

Control de fragmentos rocosos en la ladera superior de la excavación.

Evaluación de las paredes de la excavación.

Ingreso a la excavación.

Desate de roca suelta en las paredes de la excavación.

#### **3.8.4.5 Señalización del área de Trabajo.**

La señalización en el área de trabajo es de vital importancia, ya que nos alerta de forma preventiva la realización de trabajos en un área específica y los riesgos asociados: En la construcción de líneas de transmisión la señalización se debe especificar en las diversas situaciones críticas:

Perímetro de la excavación

Riesgos detectados en área de trabajo.

Acceso al área de trabajo.

Presencia de cruces de Línea existentes energizadas.

Carretera carroable, curvas peligrosas.

Aislamiento de tramos de vías cuando haya riesgo de caída vertical de fragmentos rocosos, entre otras labores.

### **3.8.5 Procedimientos Operativos**

Dentro de los procesos operativos más relevantes para la actividad podemos nombrar todos los procedimientos relacionados a las actividades unitarias mineras:

Almacenamiento y Transporte de explosivos.

Perforación.

Voladura.

Desate de roca suelta.

Carguío y acarreo de fragmentos rocosos.

Transporte de roca suelta.

Desactivación de explosivos en taladros.

Eliminación de explosivos

Los procedimientos mencionados, se citan en los anexos con más detalles de su realización.

Instrumentos de recolección de datos

-Geología

La información base considerada es el Cuadrángulo Geológico de Huarmey y Huayllapampa editado por INGEMMET a escala 1/100,000 (Boletín N°33, Hoja: 21-g). Se observa que el área del proyecto se emplaza sobre afloramientos de la Formación en el área llamada La Zorra compuesto por rocas piroclásticas bien estratificadas, seguidas del Miembro Los Morros conformado por andesitas porfíricas bien meteorizadas. Asimismo, afloran hacia la dirección sureste y suroeste de la ciudad de Huarmey, una secuencia de depósitos aluviales del Terciario conformados por conglomerados mal estratificados, Figura 29. Finalmente, en el área de estudio afloran una serie de depósitos del Cuaternario Reciente como aluviales constituidos de gravas gruesas a finas bien clasificadas y fluviales que ocupan el cauce del río Huarmey. En el borde costero están presentes depósitos marinos constituidos de arenas de grano fino redondeadas.

Asimismo, en el extremo éste de la ciudad de Huarney ( en el área denominada La quebrada y el cementerio) afloran depósitos Fluviales que se asientan sobre las zonas de cultivo y los depósitos eólicos, compuestos principalmente por arenas y limos.

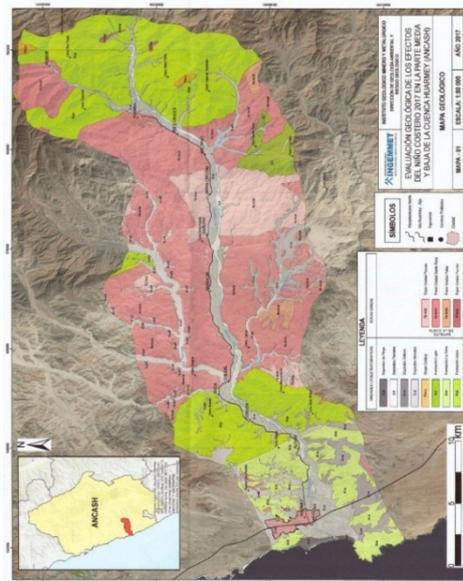


Figura 35 Mapa geológico de la ciudad de Huarney

### 3.8.6 Rocas Volcánicas

La Formación La Zorra: Constituida principalmente por flujos piroclásticos en capas delgadas bien estratificadas. Está unidad aflora en el extremo este de la ciudad de Huarney (zonas de Santo Domingo y Campanario) y en el extremo noreste, en las inmediaciones de la zona denominada Pampa Tres Piedras. Dentro de esta formación se tiene las siguientes subunidades:

Unidad: Los Morros: Aflora en el extremo norte de la ciudad de Huarney, prolongándose desde la playa Peje Saper hasta playa Honda y en el extremo noreste, afloran junto a la formación La Zorra. Litológicamente está constituida por rocas volcánicas andesita porfirítica con fragmentos tipo amigdaloides (cavidades esféricas formadas rocas volcánicas debido a los gases generados durante la erupción). Los Morros considera una serie de flujos de lodo piroclástico (ceniza, lapillis, etc.) producidos por

erupciones submarinas. Las rocas volcánicas se encuentran meteorizadas, ligeramente oxidadas, rugosas y fracturadas. Su color varía de gris a negro (Figuras 30 y 31) cubiertas por material eólico.



*Figura 36* Colinas de andesitas porfíricas cubiertas por material eólico.

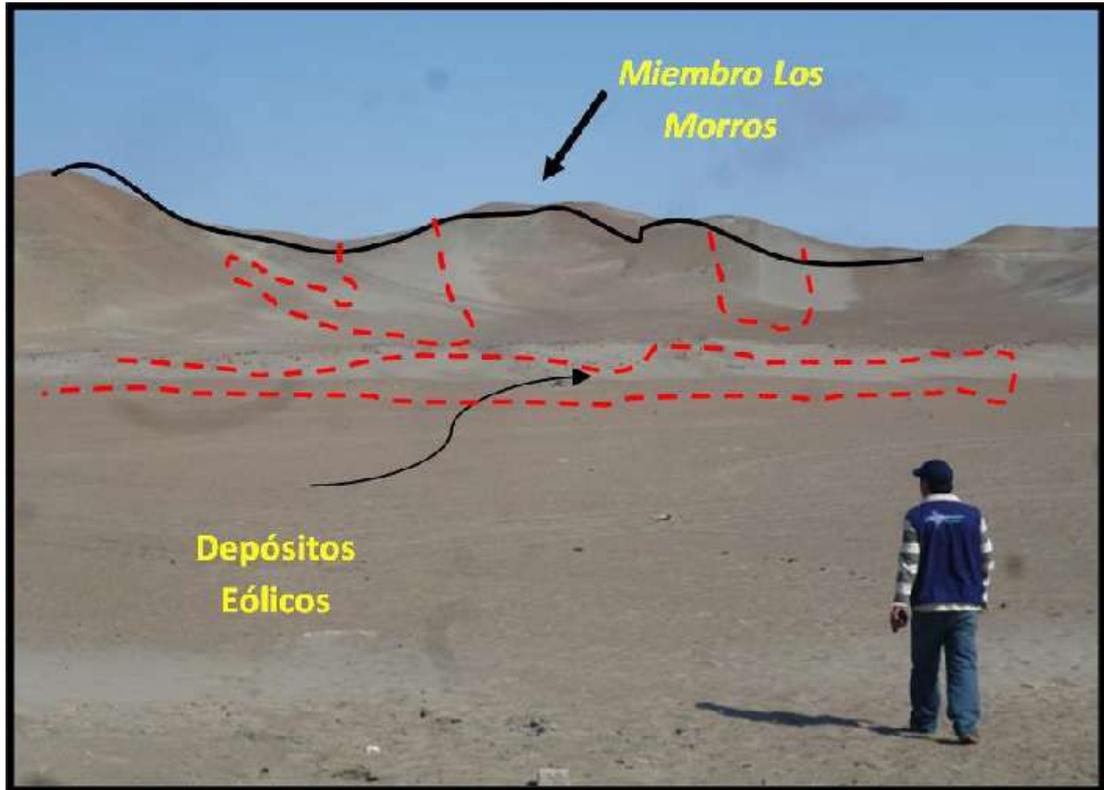


Figura 37 Miembro Los Morros ubicado en las inmediaciones del A.H. Miramar.



*Figura 38* Terrazas aluviales presentes en el extremo sureste de la ciudad de Huarmey.

Depósitos aluviales del Periodo Terciario: Son antiguas acumulaciones de sedimentos que por erosión fueron transportados por los ríos de la región y depositados a lo largo del valle y quebradas secas o desérticas formando las terrazas y los conos de deyección. Se encuentran conformados por gruesos conglomerados mal clasificados, mal estratificados y gravas polimícticas, que van desde angulosas a redondeadas, en matriz arenosa, limosa y arcillosa con espesores del orden de 30 metros. Estos depósitos afloran claramente en el extremo sureste de la ciudad de Huarmey (zona Lecheral Alto) y a la entrada a Puerto Huarmey (Figuras 32 y 33).



*Figura 39* Conglomerados de diversos diámetros presentes en el sector noreste de la ciudad de Huarmey (A.H. La Victoria).

### **3.8.7 Depósitos del Cuaternario**

Están constituidos por los siguientes tipos de depósitos:

.- Depósitos Aluviales: Estas acumulaciones ocupan el mayor porcentaje de área de la ciudad de Huarmey y sobre ellas, se encuentra asentada la población. Los depósitos

afloran al norte, centro y sur de la ciudad, y están conformados por clastos angulosos subredondeados, mal clasificados y moderadamente oxidados, en una matriz de arenas de grano fino a medio con presencia, en menor porcentaje, de limos (Figura 34). Depósitos Fluviales: Los depósitos fluviales son acumulaciones de gravas y arenas redondeadas a sub-redondeadas con matriz areno-limoso y arcillas estratificadas formadas por acumulación reciente en el río Huarmey y quebradas presentes en el área de estudio. La dirección del transporte de los materiales a través del río, se realiza en dirección de Noreste a suroeste (Figura 35).



*Figura 40* Corte en las inmediaciones del cementerio de Huarmey. Se observa capas de arena fina con niveles delgados de gravilla angulosa.

Depósitos Marinos: Son depósitos de arena de grano fino redondeados y semiconsolidados que forman estructuras sedimentarias tipo ripples (ondulaciones formadas por el viento). Afloran a lo largo del litoral de la ciudad de Huarmey



*Figura 41* Depósitos marinos presentes, desde Puerto Huarney hasta playa Huanchaquito.

Depósitos Eluviales: Estas acumulaciones se originan por la intensa meteorización in situ del substrato rocoso de una formación rocosa pre-cuaternaria. Están constituidos por material fino, como arcillas, limos y arenas que se encuentran al noreste de la ciudad de Huarney. Sobre estos depósitos se desarrollan zonas de cultivo (Figura 37).

.- Depósitos Eólicos: Constituidos por acumulaciones de arenas finas redondeadas

y limos que conforman lomadas que se encuentran cubriendo pequeñas depresiones y superficies planas. Estos depósitos presentan ligeras coberturas orgánicas producto de la humedad que existe en la zona. Se aprecia claramente, en algunos sectores como la Isla Manache (extremo noroeste de la ciudad de Huarney) y en las inmediaciones del poblado La Cruz (Figura 38).



*Figura 42* Depósitos eólicos acumulados en el litoral de las playas en Huarney.



*Figura 43* Depósitos eólicos acumulados en el litoral de las playas en Huarney.

La metodología ejecutada, es mediante el monitoreo de las labores, previamente capacitado al personal en los temas propuestos antes de empezar el proyecto los que están incluidos en el plan de capacitaciones propuesta en el programa de seguridad y salud en el trabajo. La diferencia es que todo programa tiene entrenamientos y capacitaciones en el transcurso del proyecto; en el proyecto ejecutado los entrenamientos se dieron antes de ejecutarse el proyecto: La inducción general y en las siguientes semanas se capacitaron al personal en los temas técnicos.

Capacitación al personal técnico de explosivos y supervisión.

Los entrenamientos y capacitaciones al personal técnico en explosivos, se realizó aparte; ya que se trató temas técnicos y de producción en la labor.

El entrenamiento a la cuadrilla de explosivos se dió en campo como modo de ensayo, y estuvo a cargo del Ingeniero de Minas.

Capacitación a la supervisión en el llenado de cartilla: OPT

La observación Planificada de Trabajo es una herramienta que nos permite identificar comportamientos operativos seguros, asentando una cultura de seguridad; cualquier desviación de comportamiento es identificada en el momento y es modificada por el supervisor, generando así el ciclo de OPT:



*Figura 44* Secuencia de una observación planeada de trabajo

La seguridad operacional asociado a seguridad del entorno de trabajo, es el reflejo de los items estudiado por el supervisor para evaluar en campo a cada cuadrilla de operarios de explosivos.

El proceso de gestión OPT, permite conocer los errores en un proceso secuencial de acuerdo a los temas propuestos, identificado el error en el comportamiento, se realiza la acción correctiva y luego se realiza la retro alimentación al colaborador y culminado éste proceso; al final de la jornada laboral se da un reforzador positivo.

La observación durante el proceso de análisis operativo, es secuencial sobre los siguientes ítems:

1. Factores de trabajo.
2. Geomecánica del macizo rocoso.
3. Herramientas, equipos método de trabajo
4. Herramientas de gestión SST.
5. Procedimientos Operativos.

Indicadores estadísticos de resultados.

Técnicas y procedimientos de recolección de datos.

Procedimientos operativos de trabajo seguro.

Dentro los procedimientos operativos a considerar consideramos:

Almacenamiento y Traslado de explosivos.

Perforación.

Voladura.

Carguío y acarreo de fragmentos rocosos.

Desactivación de explosivos en taladros.

Eliminación de explosivos y accesorios.

Cuando realizamos la observación planeada de trabajo en base a los procedimientos escritos de trabajo seguro; se evalúa dos términos: seguro ( el proceso está de acuerdo a la especificación técnica). Inseguro ( el proceso tiene desviaciones de comportamiento y por n ende de proceso); es decir debe ser corregido de inmediato.

Protocolo de Almacenamiento, Manipulación y transporte de Explosivos.

En base a la ley Ley No. 30299, se establece que el almacenamiento de explosivos se debe realizar en un polvorín, que cumple las condiciones de seguridad establecidas en la ley. En Huarmey (Provincia de ancash) el polvorín

se encuentra en el distrito de la victoria (cercano a la playa y a una distancia de 200 metros de la población).

La SUCAMEC otorga la autorización de adquisición y uso de explosivos y materiales relacionados a aquellas personas naturales o jurídicas que por la naturaleza de sus propias actividades, requieren adquirir explosivos o materiales relacionados para su uso exclusivo en dichas actividades. También otorga la referida autorización a la persona jurídica contratada por operadores autorizados para la exploración y explotación de zonas mineralizadas o para fines constructivos, a fin de realizar trabajos especializados. Esta autorización es emitida con una vigencia de un año, plazo que cual puede ser renovado.

Manipulación de explosivos.

Todo personal que manipula explosivos debe tener licencia de SUCAMEC, esta vigencia dura tres años, y es otorgada a personal que lleva un curso de manipulación y traslado de explosivos.

Traslado de explosivos hacia el punto de trabajo.

Todo traslado de explosivos y materiales relacionados dentro de territorio nacional debe ser autorizado por la SUCAMEC, mediante la emisión de la correspondiente Guía de Tránsito. Se pueden gestionar y emitir tantas solicitudes de autorización y tantas Guías de Tránsito como unidades de transporte se requiera para ejecutar el traslado de los explosivos y materiales relacionados.

La Guía de Tránsito es el documento a través del cual se materializa la autorización para el traslado de explosivos y materiales relacionados emitida por la SUCAMEC. Dicha guía especifica el punto de partida y de destino de los referidos bienes. Lo dispuesto por la guía no puede ser modificado salvo causas de fuerza mayor, debidamente justificadas y comunicadas a la SUCAMEC.

La custodia para el traslado de explosivos o materiales relacionados es prestada por personal de la Policía Nacional del Perú o por empresas especializadas de seguridad privada que cuenten con la autorización correspondiente, en la obra el traslado de explosivos se realiza con camionetas y su custodia se realiza en otra camioneta.

Destino final de explosivos.

La SUCAMEC ordena la destrucción o el reprocesamiento de los explosivos o materiales relacionados si son elaborados, almacenados, trasladados,

importados o ingresados al país sin autorización previa de la SUCAMEC; los residuos generados, residuos generados en su utilización deben ser eliminados y declarados anualmente en un manifiesto.

Protocolos de ingreso a excavaciones después de la voladura.

Cuando se inicie los disparos secuenciados en los taladros, contabilizando cada disparo en cada taladro, y se contabilice tantas detonaciones respecto a cada taladro; se concluirá que no existe un tiro cortado, y ningún tiro soplado. Entonces se debe esperar 20 minutos para poder ingresar y extraer los fragmentos rocosos.

Para un mejor control de gases remanentes; el personal debe realizar mediciones de gases procedentes de los disparos. Adicionalmente el personal debe ingresar con respiradores con cartucho para gases en caso se requiera. Evaluación de comportamiento en el proceso operativo de voladura.

El comportamiento operativo en el proceso de voladura comienza con la evaluación del Procedimiento de voladura: en el se establece el secuenciamiento:

Perforación.

La perforación debe ser vertical, evitando ángulos de inclinación, siguiendo el proceso de perforación mecanizada.

Voladura.

Para el proceso de voladura, se sigue el subproceso:

Procedimiento en la instalación de la carga explosiva en el interior del taladro.

Procedimiento en la instalación del amarre del cordón detonante en la malla.

Procedimiento de iniciación de iniciación de la carga explosiva:

Para que un explosivo pueda detonar es necesario iniciarlo, lo que se efectúa normalmente mediante los denominados "accesorios de voladura", que comprenden a los fulminantes o detonadores, mecha de seguridad y mecha rápida, conectadores, retardadores, cordones detonantes, cables, explosores e instrumentos de control como ohmímetros y otros. La utilización de estos accesorios debidamente seleccionados y combinados para cada caso, da lugar a los procedimientos empleados para iniciar la detonación de una voladura, conocidos como métodos de iniciación o de encendido de explosivos" (Manual de Voladura. Exa.2012, p.

## CAPITULO 4 : ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

El análisis de los resultados consta de dos etapas, la primera etapa muestra el periodo de entrenamiento, que duro un mes y dos semanas, en esta etapa; el personal perforista y técnico en voladura fue entrenado en los parámetros de la variable independiente, es decir es un periodo inconcluso donde fueron entrenados en campo, bajo contexto de mediano riesgo.

En la segunda etapa, la oficina técnica liberó las torres donde el contexto era agresivo y peligroso. Donde pudieran ocurrir los tiros cortados; por la característica presente en cada torres. es decir las torres donde los suelos y el lugar eran peligrosos, de esta forma se estudió las tendencias dada la observación planeada de trabajo con los parámetros independientes.

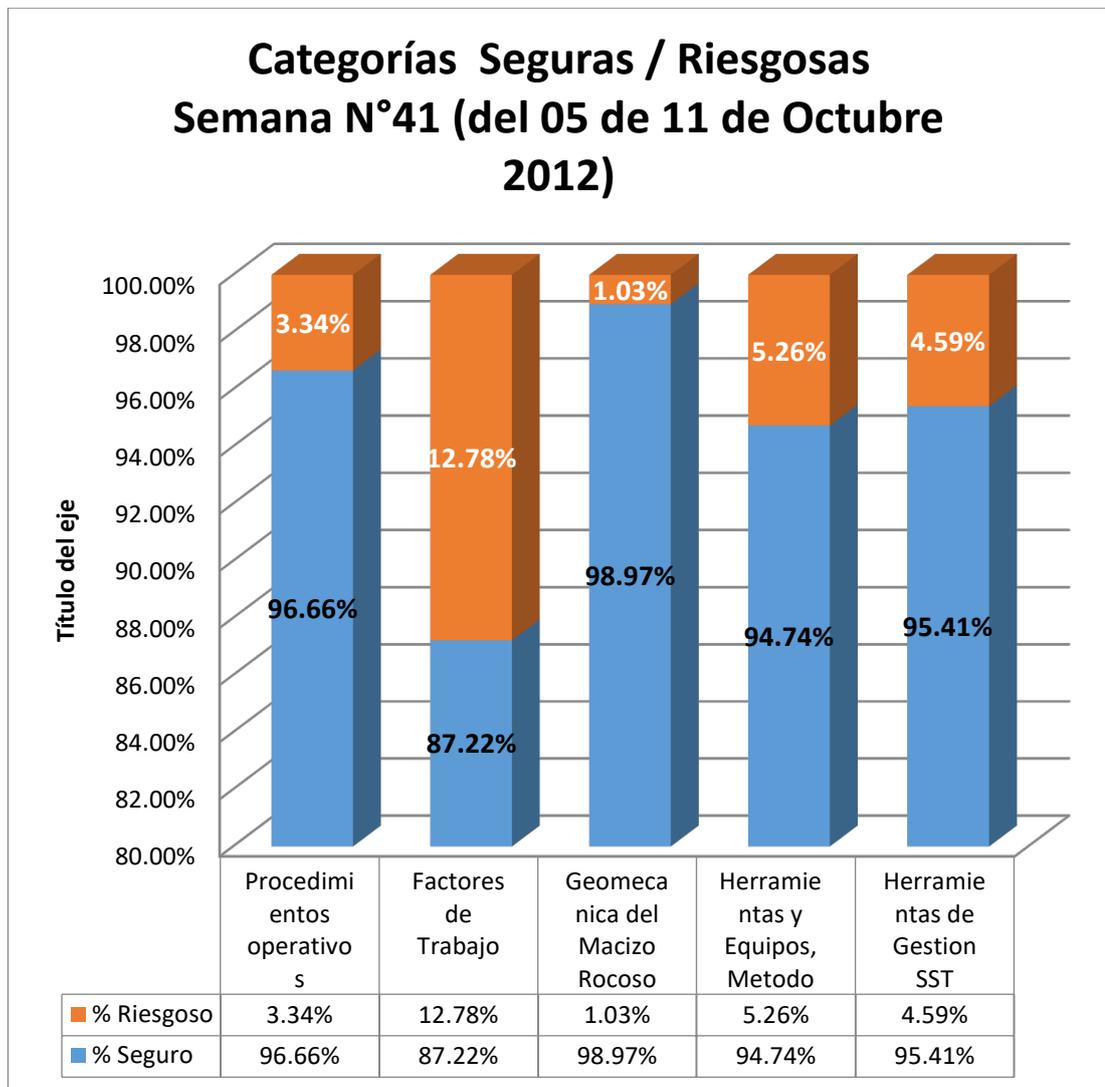


Figura 45 Categorías Seguras / Riesgosas

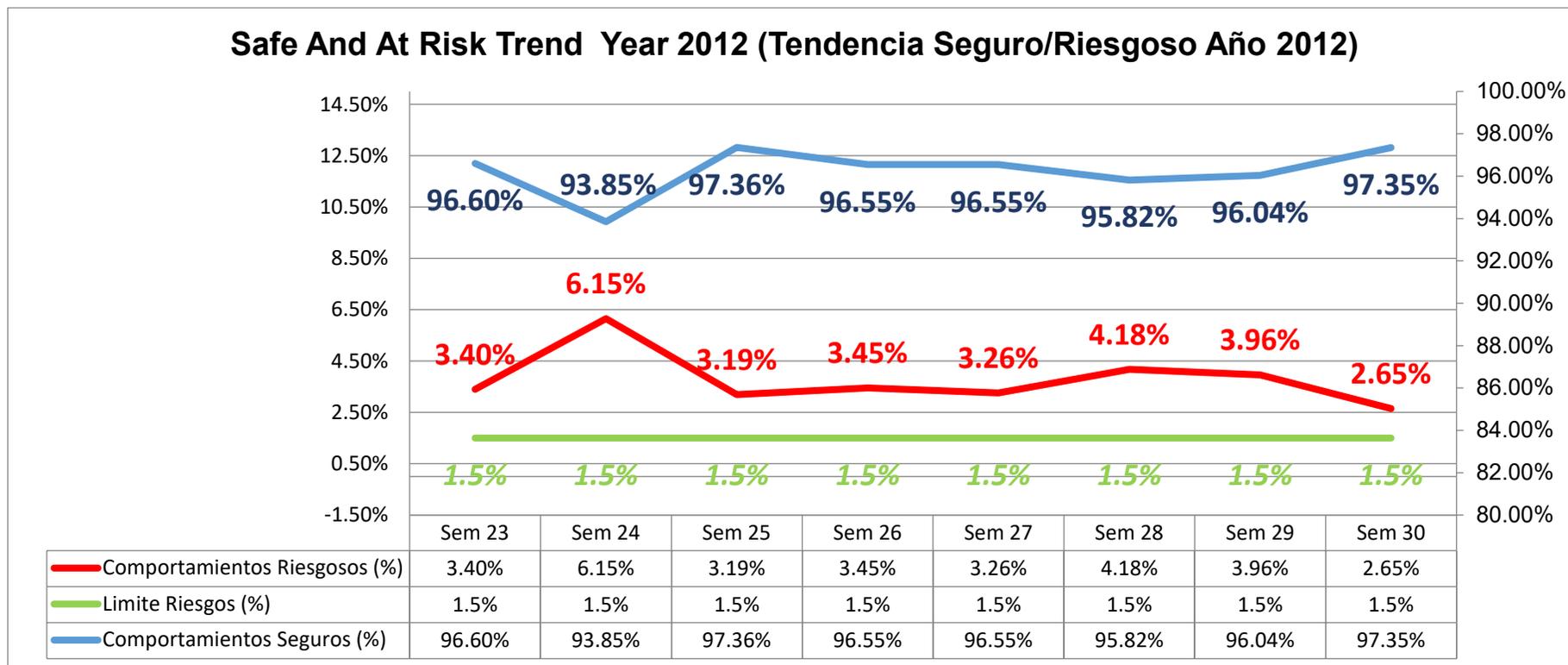


Figura 46 Tendencia de comportamiento riesgoso, y seguro en la etapa de entrenamiento

En las primeras semanas donde el personal de Perforación y Voladura no tenía ningún tipo de entrenamiento, solo su experiencia acumulada en el tiempo, ejecuto trabajos de inherentes a su labor. El área técnica solo entrego las torres donde el suelo era semi duro o un RMR 40 - 50. Y las condiciones de terreno no eran tan hostiles. En general a baja altitud. En esta etapa el personal ya se encontraba recibiendo la Capacitación teórica y Práctica guiada. Por ejemplo, en la semana 24 el tipo de suelo complico a las cuadrillas; por lo que tuvieron errores en el tema de seguridad y producción.

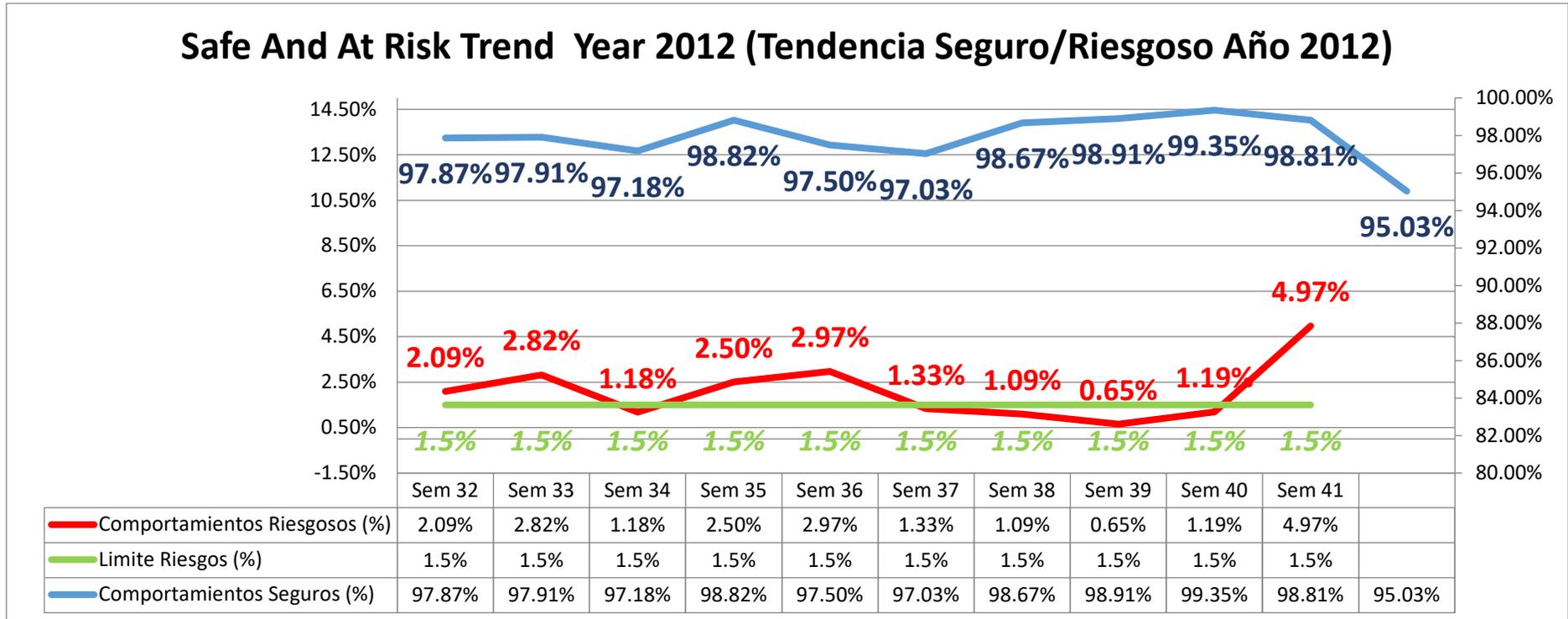


Figura 47 Meses siguientes, donde el personal ya estaba capacitado y entrenado

En los meses siguientes, donde el personal ya estaba capacitado y entrenado, se entregaron las torres donde el RMR era superior a 80, y las condiciones de entorno eran más hostiles para laborara; se obtuvo un bien rendimiento operativo y de seguridad. Los comportamientos riesgosos fueron superiores en la semana 41, ya que la geología, la hidro geología, y las lluvias fueron causantes del elevado riesgo. Pero aun así no hubo accidentes ni tiros cortados.

#### 4.1 PRUEBA DE HIPOTESIS

En la construcción de líneas de transmisión, se controlan los tiros cortados, monitoreando las variables críticas nombradas en la observación planeada de trabajo; las características de las variables independientes, deben ser capacitadas y entrenadas por personal competentes que tenga experiencia comprobada en perforación y voladura. En las cuatro semanas ejecutadas donde el personal ya contaba con el requisito para proceder a realizar el proceso constructivo dado la criticidad del entorno de trabajo. Se pudo controlar las fallas de origen constructivo. Es decir, las variables independientes fueron controladas y como consecuencia de ello se mejoró:

- La fragmentación de la roca.
- Fly rock.
- Menor dilución.
- Ausencia de tiros cortados.
- Disminución de ondas longitudinales.

Los autores mencionados en las discusiones anteriores, hacen mención a la problemática de fragmentación de la roca, donde el origen está en monitorear las variables críticas, bajo un protocolo de variables independientes.

## CAPITULO 5 : DISCUSIÓN

Norma Mendoza Muñoz en su tesis “Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera paraíso-ecuador.; utiliza el modelo matemático de Holmer como propuesta del diseño; en la práctica del perforista decide el modelo de malla de perforación, lo cual no hace efectivo la voladura, no hay un parámetro de seguimiento al proceso de Voladura. Entonces, con la OPT, si habría un seguimiento al proceso unitario minero para optimizar una Voladura controlada.

José Luis Poma Fernández en su Tesis” Importancia de la Fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill”, Utiliza parámetros de la fragmentación: Impedancia de la roca, secuenciamiento de la malla de perforación, factor de potencia, pero no tiene un protocolo de secuenciamiento de parámetros que haría más efectivo el proceso de fragmentación de la roca; si adicionamos un protocolo de seguimiento al proceso tendríamos menor falla en el proceso operativo minero unitario”.

Wilson Paúl Vilela Sangay en su Tesis “Análisis de factibilidad para el uso de Anfo pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha” Utiliza el Anfo como Emulsión matriz, teniendo los mismos resultados de fragmentación, en la tesis presente se utiliza el Anfo, para tener el mismo resultado, y tener más factor de confiabilidad en la fragmentación de la roca y adicionando a este proceso el protocolo que garantiza que se encuentre controlada los tiros cortados.

Christian Daniel Villena Alegre en su Tesis “Modelo matemático para predecir el lanzamiento de fragmentos de roca en minería superficial” Menciona el modelo matemático en la fragmentación del doctor : Langerford y Alan Bauer, prediciendo el ajuste del modelo para controlar el lanzamiento de Roca, que es una de las mejoras en el proceso planteado con el protocolo propuesto; obteniendo disminuyendo el el fly rock, demostrando que las variables no controladas se pueden controlar estableciendo protocolos en el proceso operativo.

## 5.1 CONCLUSIONES

Estableciendo el protocolo de la Observación planeada de trabajo sobre el proceso operativo, se puede controlar las variables dependientes y variables independientes, obteniendo un mejor performance el proceso operativo minero en el proceso constructivo de Construcción de líneas de transmisión de alta tensión.

- para establecer el proceso de la Observación Planeada de Trabajo dado un proceso operativo, se debe entrenar a la línea de mando, porque son los principales evaluadores del proceso.
- Siguiendo de forma secuencial el protocolo mencionado, se tiene menor Fly rock, que hace que el proceso sea seguro, obteniendo una mejor fragmentación de la roca.
- Adicionalmente se debe utilizar un modelo matemático para acompañar en su efectividad al proceso constructivo.
- El entrenamiento guiado realizado evito que se generara tiros cortados dado la supervisión en la observación planeada en los parámetros críticos.

## 5.2 RECOMENDACIONES

En el proceso de entrenamiento de la observación Planeada del proceso se debe realizar dos etapas:

1. Capacitación teórica.
2. Entrenamiento Práctico.

Estas dos etapas son importantes en el desarrollo de la utilización efectiva del protocolo.

- Las herramientas de trabajo, deben ser las apropiadas, ya que una mala planificación en la ubicación de torre y tipo de roca identificada, puede llegar a paralizar la actividad; ya que no se va a contar con las herramientas adecuadas para la labor operativa.
- Las variables independientes por analizar en la observación planeada de trabajo, están en función del área de contexto y de las amenazas presentes en el lugar del proceso a ejecutar.
- Se debe evaluar el área de influencia para la ejecución del proceso operativo planteado.
- Si hubiera una población cercana al proceso de observación planeada de trabajo, se debe establecer controles adicionales como instalar:
  1. Mallas de protección.
  2. Tiempos de iniciación largos.
  3. Controles adicionales para contención de una posible proyección de roca.
  4. Horario de disparos, y evacuar al personal que está en el entorno.

### 5.3 BIBLIOGRAFIA

- ❖ Mendoza, M. (2012) Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraíso – Ecuador”. Tesis de titulación.
- ❖ Poma, F. (2012) Importancia de la fragmentación de la roca en el proceso Gold Mill. Tesis de titulación de la universidad Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ❖ Vilella, W. (2012) Análisis de factibilidad para el uso del Anfo pesado a base de emulsión gasificable en minera Yanacocha. Tesis de titulación de la Pontificia Universidad Católica del Perú.
- ❖ Villena, C. (2013) Modelo matemático para predecir el lanzamiento de fragmentos de roca en minería superficial. Tesis de titulación de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- ❖ Romero, R. (2016) Voladura con detonadores electrónicos para optimizar la fragmentación y seguridad en el tajo Toromocho – Minera Chinalco Perú S.A. Tesis de titulación de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- ❖ Instituto geológico, minero y metalúrgico del Perú. Geología de los cuadrángulos de Chimbote, Casma y culebras.
- ❖ INGEMMET Lima – Perú (1995).
- ❖ EXA Manual Práctico de Voladura, (2000) 3° Edición, Lima – Perú.

## Anexos A

### Matriz de consistencia

Proyecto de investigación Descriptivo, explicativo y correlacionado de procedimientos operativos

<b>Problemas</b>	<b>Objetivos</b>	<b>Hipótesis</b>	<b>Variable</b>
<b>Problema general</b>	<b>Objetivo general</b>	<b>Hipótesis general</b>	<b>Variable independiente</b>
¿Se realizó la estandarización para el control de tiros cortados en la construcción de torres de alta tensión?	Estandarización del procedimiento seguro de voladura de rocas para evitar los tiros cortados.	Se evita los tiros cortados al seguir un protocolo de parámetros críticos.	Control de tiros cortados.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos generales</b>	<b>Hipótesis específicos</b>	<b>Variable dependiente</b>
¿Se realizó avances de modelización en el proceso de voladuras de rocas denominado tiro cortado?	Conocer los avances logrados a la fecha en la modelización de una problemática crítica en el proceso de la voladura de rocas denominado: "Tiro Cortado". que produce mayores daños tanto personales como materiales.	El control de parámetros críticos tales como procedimientos operativos, factores de trabajo, geomecánica del macizo rocoso, herramientas y equipos como métodos de trabajo y finalmente las herramientas de gestión.	Construcción de líneas de transmisión.
¿Se realizó la revisión minuciosa del proceso de los diversos incidentes para evitar los tiros cortados?	La revisión minuciosa del proceso, y reportar los diversos incidentes para evitar los Tiros Cortados; y de ellos elegir y recomendar el proceso más adecuado.		

## Anexos B

### Panel Fotográfico



Foto 1 Excavación con profundidad de 4 metros, donde se observa, personal en el interior de ella.



Foto 2 La utilización de barricadas en el control de desprendimiento de roca suelta en los taludes.



Foto 3 En la figura se observa el perfilamiento de las paredes de la excavación



Foto 4 El desalajo de material rocoso, con cuerdas, sin utilizar sistemas de restricción anti caídas.



Foto 5 El patio de La empresa PROANSA, en Huarney, departamento de Ancash.



Foto 6 Se observa la estratificación rocosa con RMR 40. Aquí no es necesario realizar voladura



Foto 7 Se observa el relieve de las lomas de Huarmey.

Ubicado en las Zorras.



Foto 8 También se utilizó Herramientas de poder, para no realizar voladura de rocas.



Foto 9 Personal realizando, excavación a un 20% de excavación.

		FECHA: Huancayo: 28/03/12
<b>PROYECTO</b>	CONSTRUCCION Y MONTAJE DE LA LINEA DE TRANSMISION de 500KV <b>Capatzen</b> - Trujillo. IIAMU II	
<b>ACTIVIDAD</b>	EXCAVACION TORRE 457,458,459	

**Para** : Luis Alberto Peña  
Residente General de Proyecto.

**CC** : Cesar Arrese Valladares  
Coordinador HSEQ

**De** : Antonio Cuno Salcedo  
Coordinador General HSEQ

Mediante el presente informo la supervisión en la torre 537: con el cumplimiento de la gestión en seguridad: AST, TF11, Reunión de seguridad a cargo del capataz Pepe. Asimismo se recomendó las medidas de seguridad en la excavación que van a realizar en dunas (dos patas faltantes).



Foto 10 Informe de conclusión de los procesos.



Foto 11 Se Observa al Ing. Antonio Cuno Salcedo, en plena auditoria con PDI.



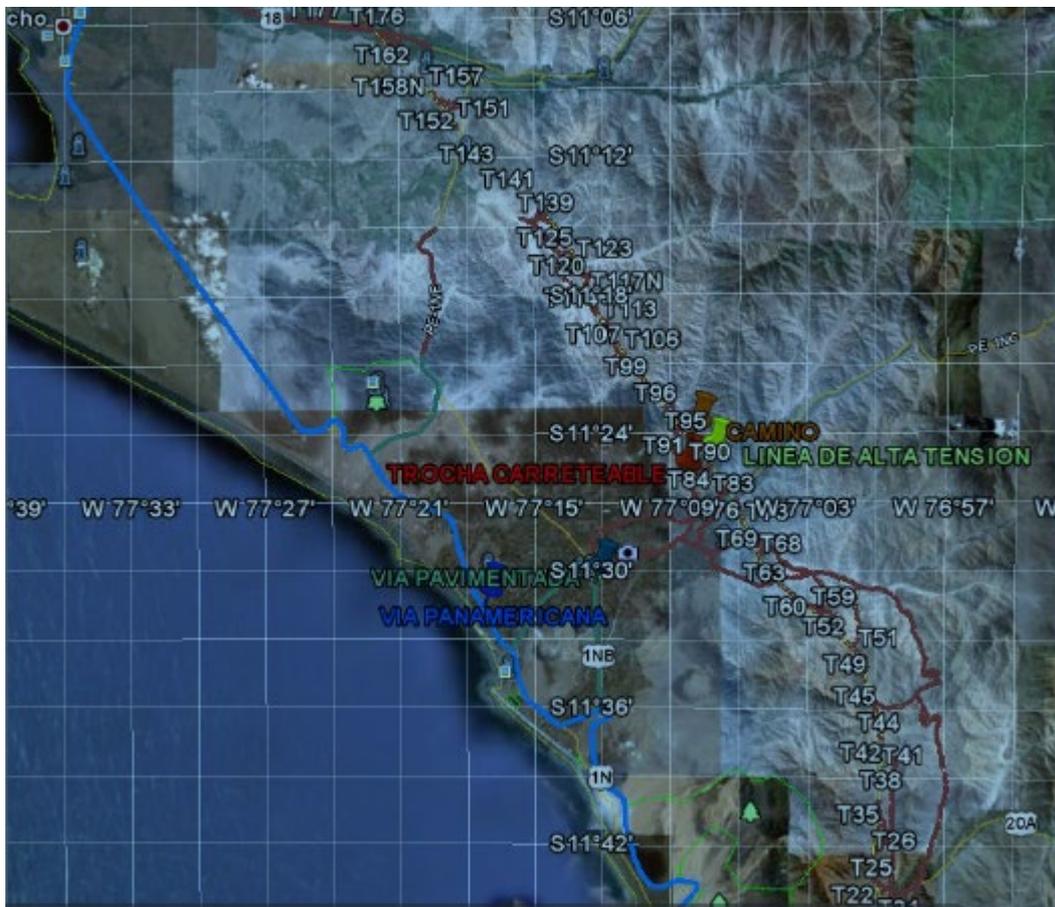
Foto 12 Reunión de Procesos Operativos, en obra con la supervisión. PDI

### Anexos C

Plano de la ubicación de la obra



Plano 1 Trazo de línea de transmisión.

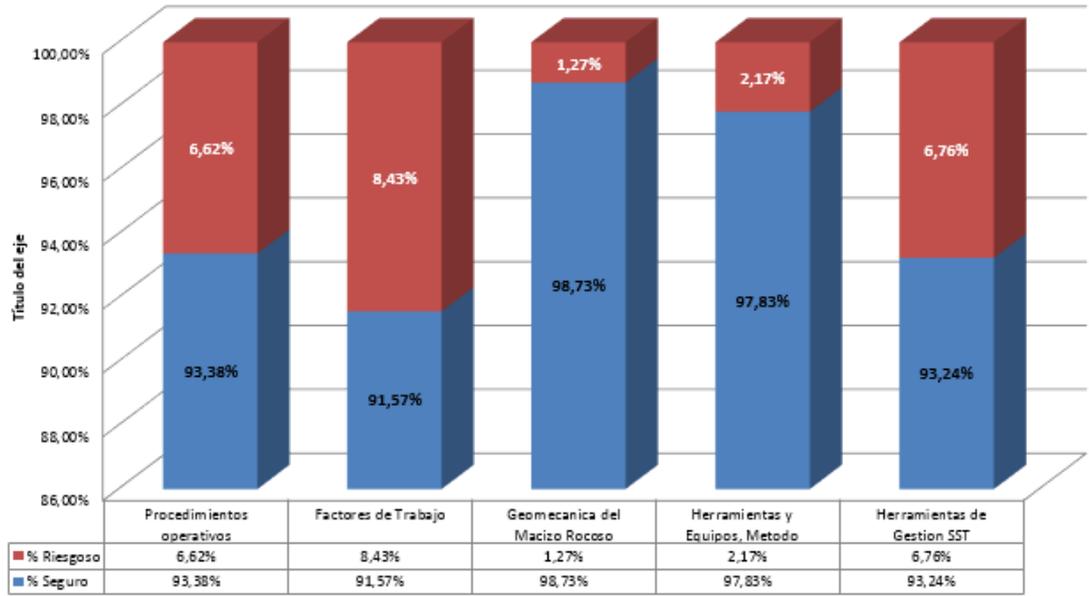


Plano 2 Trazado de ruta.

**Anexos D**

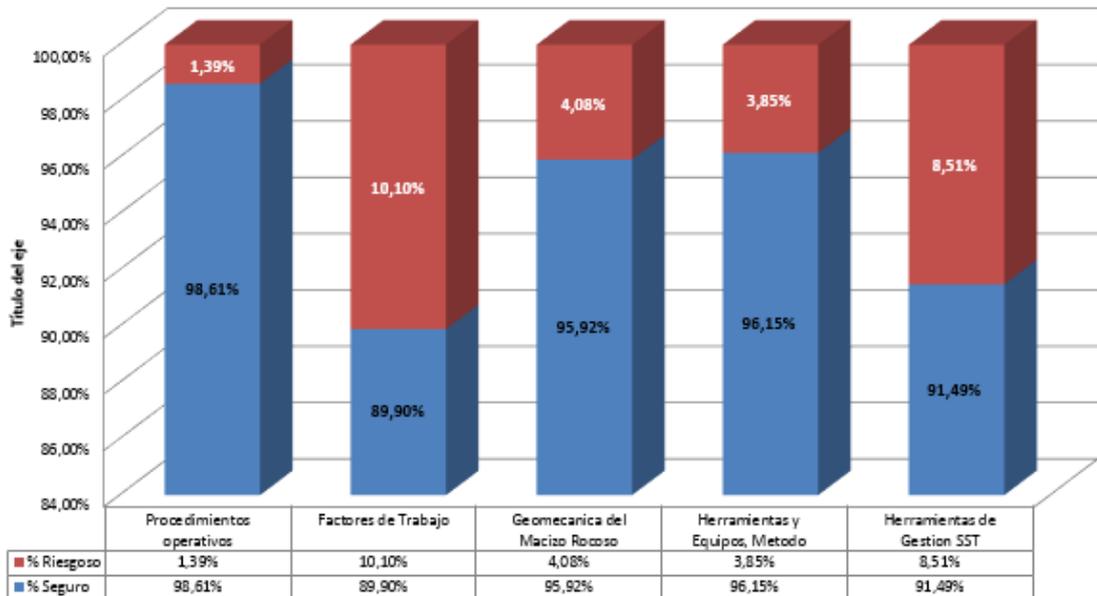
Cuadros estadísticos

**Categorías Seguras / Riesgosas  
Semana N°40 (del 28 de Septiembre al 04 Octubre 2012)**



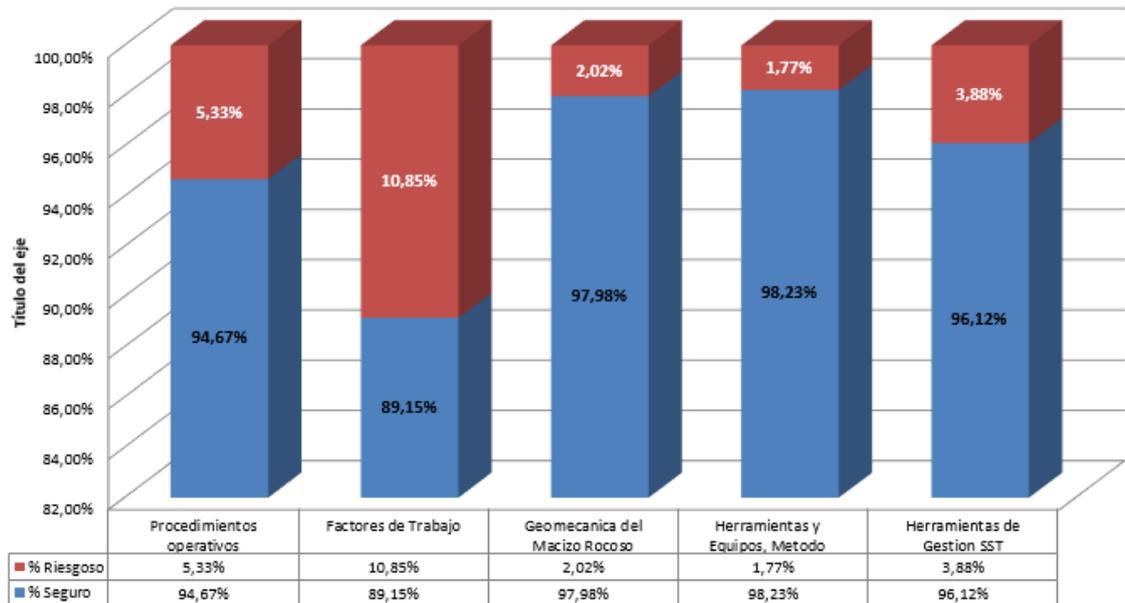
**Cuadro 1**

**Categorías Seguras / Riesgosas  
Semana N°39 (del 21 al 27 de Septiembre 2012)**

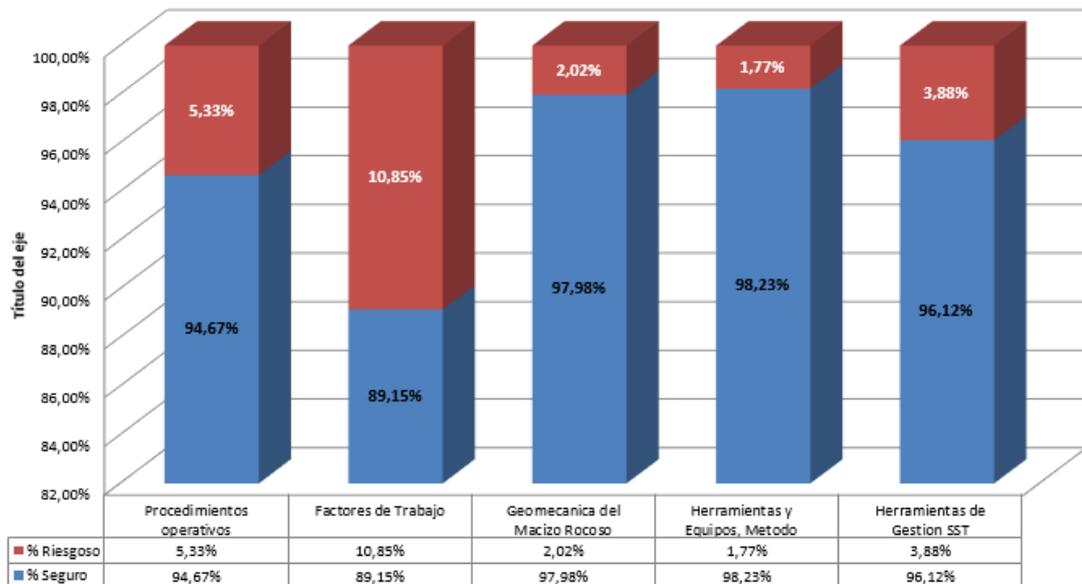


**Cuadro 2**

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°38 (del 14 al 20 de Septiembre 2012)**

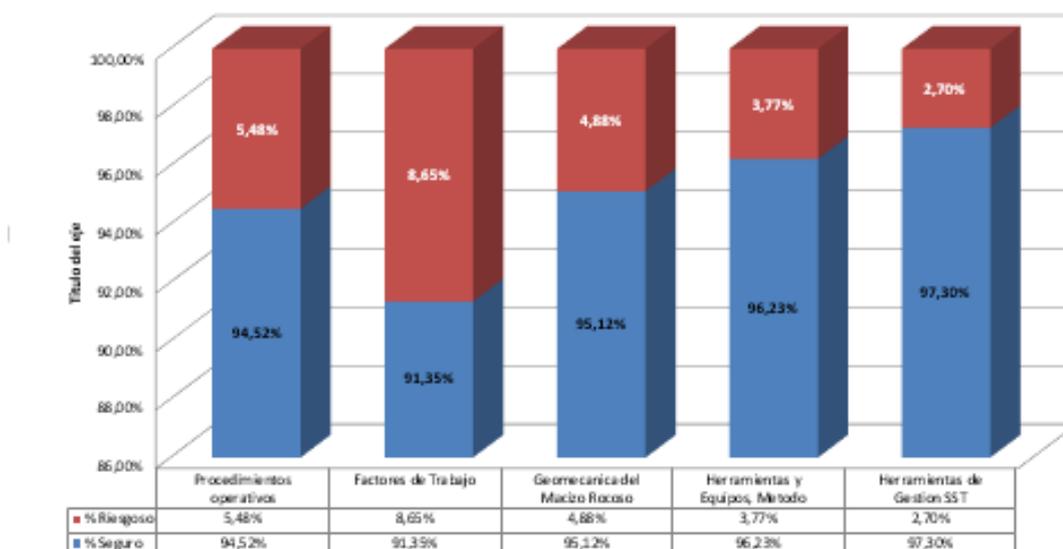


**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°38 (del 14 al 20 de Septiembre 2012)**



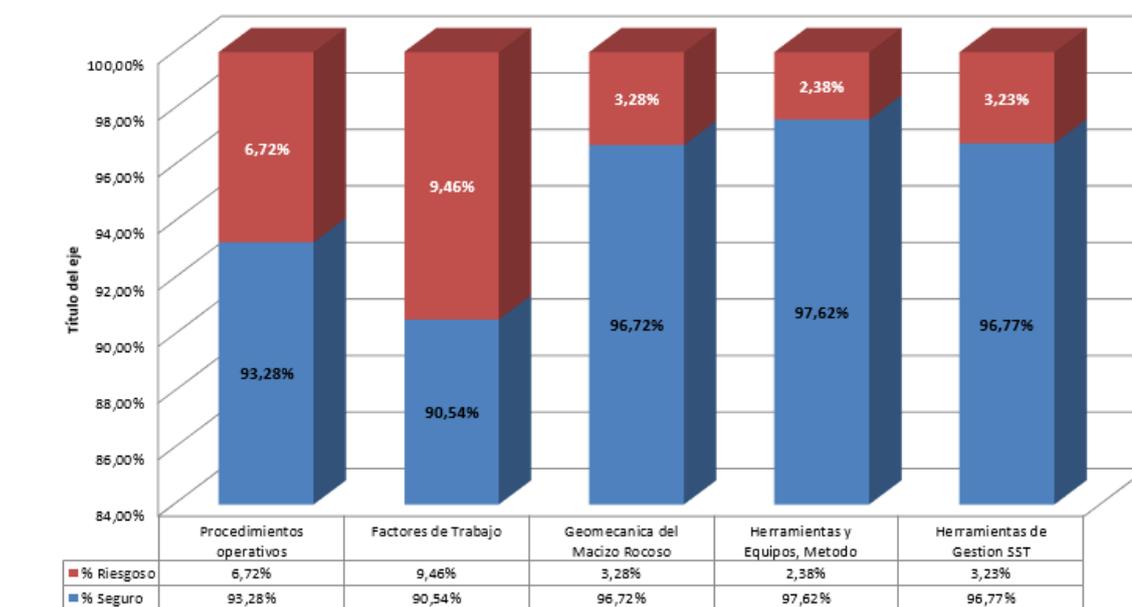
**Cuadro 3** El último mes dado el entrenamiento y evaluación; propicio un buen desarrollo en la ejecución de las labores, no hubo un tiro cortado, se evaluó bien los parámetros de ejecución de los procesos constructivos, los procesos unitarios minero constructivo.

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°37 (del 07 al 13 de Septiembre 2012)**



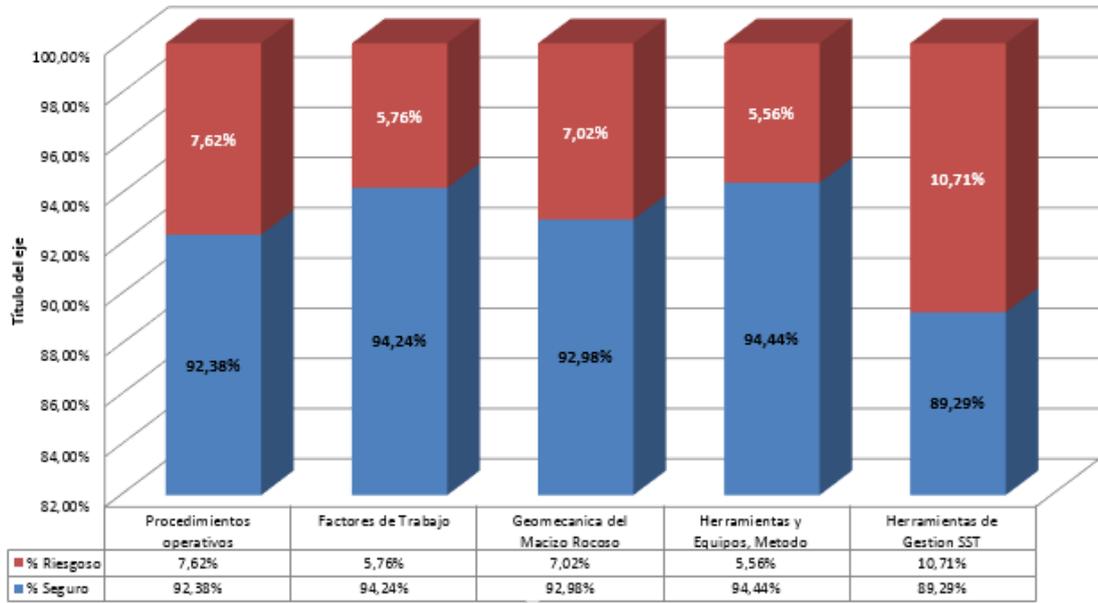
**Cuadro 4** Análisis estadístico de evaluación de la Observación planeada de Trabajo en periodo de entrenamiento

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°36 (del 31 al 06 de Septiembre 2012)**



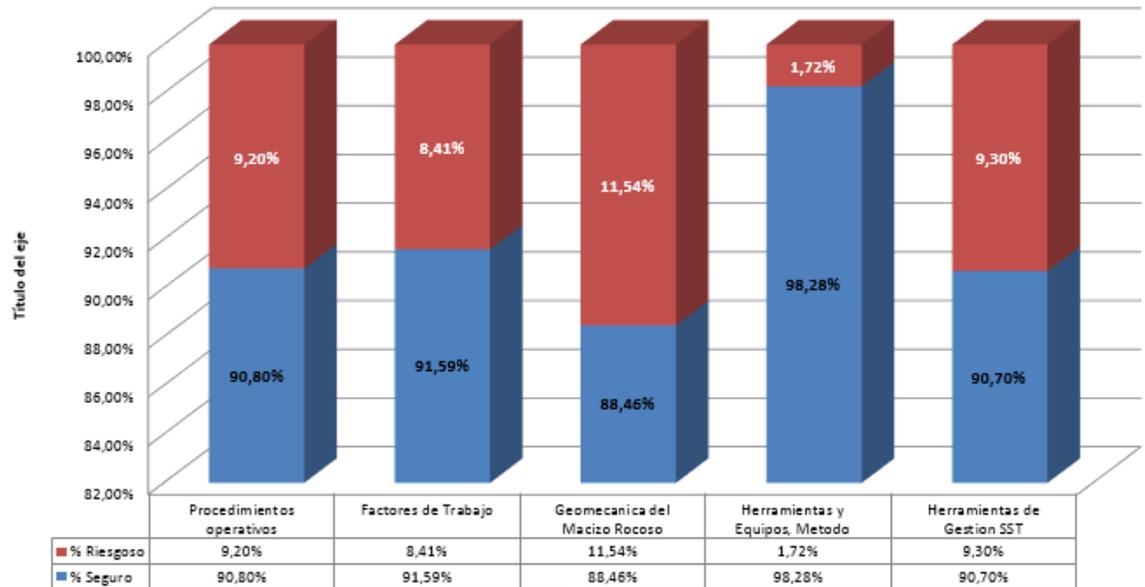
**Cuadro 5**

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°35 (del 24 al 30 de Agosto 2012)**



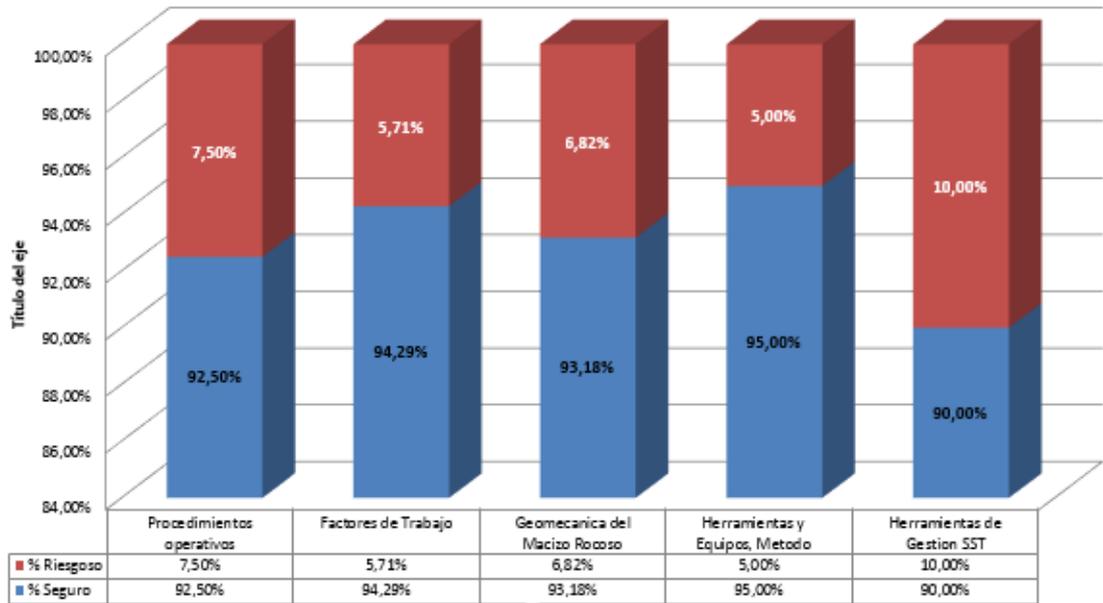
**Cuadro 6**

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°34 (del 17 al 23 de Septiembre 2012)**



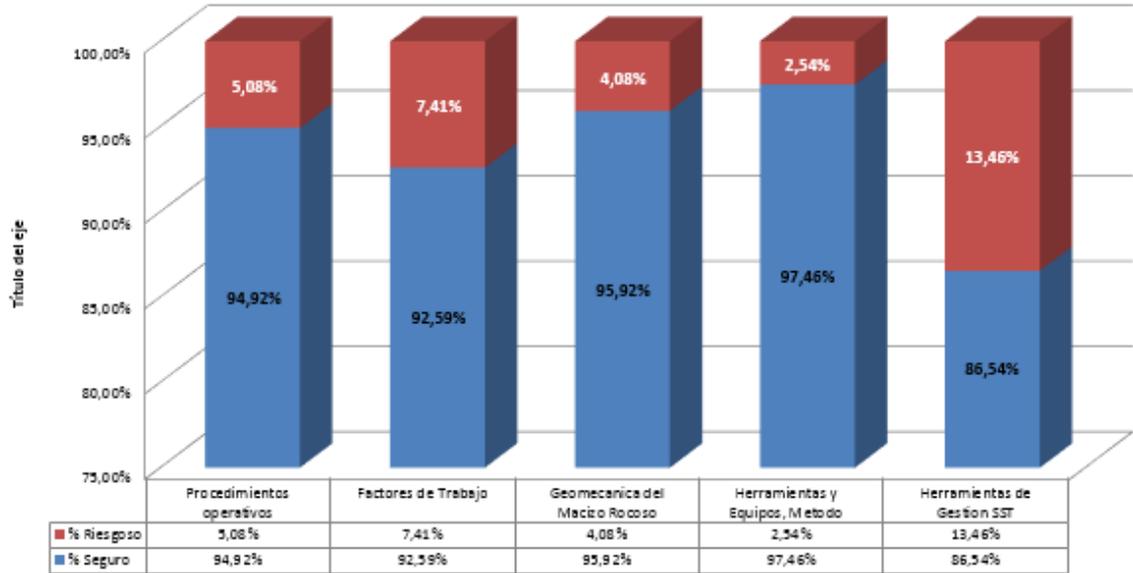
**Cuadro 7**

**Categorías Seguras / Riesgosas  
Semana N°33 (del 10 al 16 de Agosto 2012)**



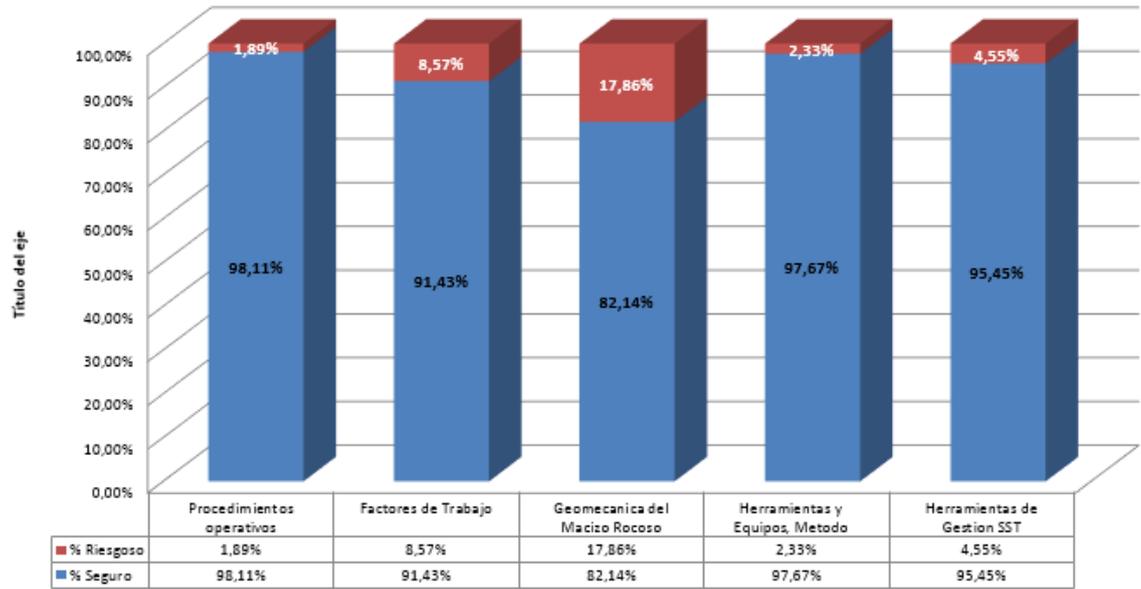
**Cuadro 8**

**Categorías Seguras / Riesgosas  
Semana N°32 (del 03 al 09 de agosto 2012)**



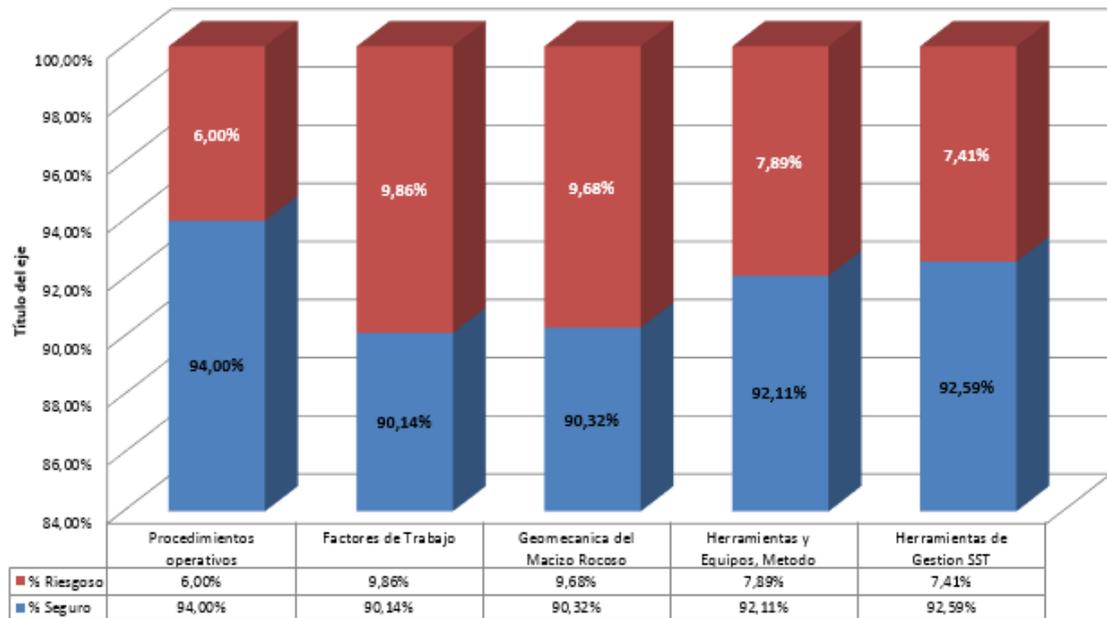
**Cuadro 9**

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°31 (del 27 de Julio al 02 de Agosto 2012)**



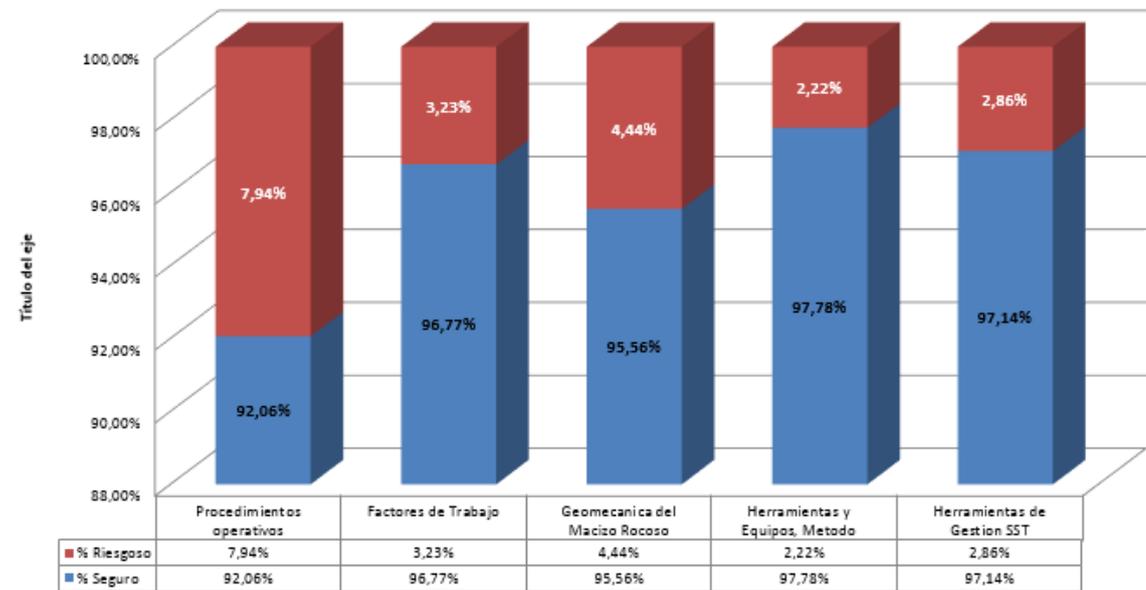
**Cuadro 10**

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°30 (del 20 de Agosto al 26 de Agosto 2012)**



**Cuadro 11**

**Categorías Seguras / Riesgosas**  
**Semana N°29 (del 13 de 19 de Agosto 2012)**



**Cuadro 12** Las condiciones de trabajo del entorno fueron favorables para el desenvolvimiento de las labores constructivas. Se observa la falta de seguimiento en los parámetros constructivos evaluados en el protocolo” Observación paneada de trabajo”.

**OBSERVACION PLANEADA DE TRABAJO**

Nombre del Observador \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_ Área de Trabajo: OBRAS CIVILES Empresa: PROANSA  
 Tiempo de Observación: 10 – 15 – 20 min. Día del Turno del Observado: \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ Horario: AM – PM – Noche Personas que Observó: 1 2 3 4 5 +  
 Especialidad: Operario perforista/ explosivos Rango Edad: 20-30 31-40 41-50 más \_\_\_\_\_ Turno: A – B – C

Categorías/Comportamientos	Seguro	Riesgoso	Para las Observaciones Riesgosas, incluya exactamente lo que usted vio y la respuesta del trabajador observado	comentarios del trabajador observado
<b>1.0 Factores de Trabajo</b>				
1.1 Acceso al lugar				
1.2 Comunicación /Planificación del Trabajo				
1.3 Superficie de Trabajo en el punto de torre				
1.4 Levantamiento de barricadas				
1.5 Habilitación de Plataformas de trabajo				
1.6 Humedecimiento del área de trabajo.				
<b>2.0 Geomecánica del Maciso Rocoso</b>				
2.1 Defectos mecánicos de la Roca				
2.2 Defectos Químicos de la Roca				
2.3 Determinación del tipo de Roca				
2.4 Determinación Cualitativa del RQD				
<b>3.0 Herramientas / Equipos / Método de Trabajo</b>				
3.1 Estado de equipos: Perforadora/ Martillo Neumático.				
3.2 Sistema de seguridad de los equipos.				
3.3 Mecánica corporal en el uso de equipos				
3.4 Método de Trabajo en el uso de equipos				
<b>4.0 Herramientas de Gestion SST</b>				
4.1 Procedimiento de Trabajos críticos				
4.2 Chek List Equipos				
4.3 Protocolo de Ingreso a excavaciones.				
4.4. Señalización de área de Trabajo.				
<b>5.0 Procedimientos operativos</b>				
5.1 Almacenamiento y Transporte de Explosivos				
5.2 Perforación				
5.3 Voladura				
5.4 Desate de Roca Suelta				
5.5 Carguio y Acarreo de fragmentos rocosos				
5.6 Transporte de Roca Suelta				
<b>5.7 Desactivación de Explosivos en Taladros</b>				
5.8 Eliminación de explosivos y accesorios				

N° de Comportamiento	Información Adicional (recopilada por el observador)

Sugerencias Generales de Seguridad del Observado	

Guía del Observador	Barreras	Partes del Cuerpo Expuestas	Comportamiento Riesgoso		
			Categoría	Barrera	Parte Ex. Lesión
1. Preséntese (use su nombre completo)	a. No se encuentra Disponible	1.Cabeza			
2. Pregunte si saben acerca del SBC. Si no lo conocen, describalo usando lo siguiente :	b. No ha Cambiado / malas condiciones	2. Ojos			
a. Programa que pertenece a la compañía Bechtel.	c. No esta de acuerdo que es riesgoso	3. Cara			
b. Proceso de Observación y Retroalimentación Positiva.	d. Distruido	4. Hombros			
c. La meta es lograr el 100% de comportamiento seguro.	e. Instrucción recibida (dada)	5. Pecho			
d. Es completamente anónimo – sin nombres.	f. Falta de Control / Supervisión	6. Brazos			
e. Busca hechos reales y no al (los) responsable(s).	g. Condición del Equipo / Instalación	7. Manos			
3. Pregúntele(s) si quiere(n) ser observado(s).	h. Presión del tiempo	8. Dedos			
4. Busque un lugar seguro para realizar la cartilla.	i. Falta de Entrenamiento/Capacitación	9. Espalda			
5. Observe por 10 minutos, aproximadamente.	j. Falta de interés personal / Motivación	10. Piernas			
6. Proporciones retroalimentación:	k. Falta de experiencia / inexperiencia	11. Pies			
a. Retroalimentación Positiva.	l. Fatiga	12. Respiración			
b. Aconseje conductas seguras.	m. No evalúo el riesgo	13. Audio (Oídos)			
c. Averigüe PORQUÉ? tiene comportamientos riesgosos	n. No esta conciente del riesgo	14.Cuerpo Entero			
d. Termine con un resumen de comportamientos seguros y positivos.	o. Cansancio				
7. De las gracias.	p. El EPP no es cómodo				
	q. Presión de la Supervisión				
	r. Otro (especifique)				

**DE SER NECESARIO, PIDA PERMISO AL CAPATAZ O SUPERVISOR ANTES DE COMENZAR – PRIMERO Y SIEMPRE ENTREGUE UNA RETROALIMENTACION POSITIVA NO DE INSTRUCCIONES – LOGREMOS UN COMPROMISO PARA INTENTAR CAMBIAR / MEJORAR LA CONDUCTA.**