

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**TESIS**

**EVALUACIÓN DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR LOS  
COSTOS EN LA CARRETERA BAMBAMARCA – MARAÑÓN SECTOR KM86.**

Para Optar Título Profesional de:

**INGENIERO DE MINAS**

Presentado por:

**Bach. CORTEZ LUCANO, Misael.**

Asesor:

**MCs. Ing. GONZALES YANA, Roberto Severino.**

**Cajamarca - Perú**

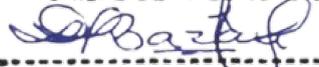
**2024**

## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

### - FACULTAD DE INGENIERÍA -

- Investigador:** CORTEZ LUCANO MISAEI  
**DNI:** 47372764  
**Escuela Profesional:** ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS
- Asesor:** M. Cs. Ing. Gonzales Yana Roberto Severino  
**Facultad:** Ingeniería
- Grado académico o título profesional**  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
- Tipo de Investigación:**  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
- Título de Trabajo de Investigación:**  
EVALUACIÓN DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR LOS COSTOS EN LA  
CARRETERA BAMBAMARCA – MARAÑÓN SECTOR KM86  
**Fecha de evaluación:** 24/04/2025
- Software antiplagio:**       TURNITIN       URKUND (OURIGINAL) (\*)
- Porcentaje de Informe de Similitud:** 12%
- Código Documento:** Oide:3117: 452245756
- Resultado de la Evaluación de Similitud:**  
 APROBADO     PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 24/04/2025

|   |  |
|---|--|
|  | <p>UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA<br/>FACULTAD DE INGENIERÍA<br/>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN</p>  <p>-----<br/>Dra. Ing. Laura Sojta Bazán Díaz<br/>DIRECTORA</p> |
| <hr/> <p><b>FIRMA DEL ASESOR</b><br/><i>Roberto Severino Gonzales Yana</i></p>      | <hr/> <p><b>UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI</b></p>   |



**ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.**

TITULO : "EVALUACIÓN DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR LOS COSTOS EN LA CARRETERA BAMBAMARCA – MARAÑON SECTOR KM86."

ASESOR : M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto por el Oficio Múltiple N° 0242-2025-PUB-SA-FI-UNC, de fecha 28 de mayo de 2025, de la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, a los **seis días del mes de junio de 2025**, siendo las once horas (11:00 a.m.) en el Auditorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Geológica (Ambiente 4J – 210), se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

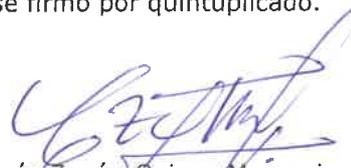
- Presidente : Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.
- Vocal : Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.
- Secretario : M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada: "EVALUACIÓN DE LA PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA OPTIMIZAR LOS COSTOS EN LA CARRETERA BAMBAMARCA – MARAÑON SECTOR KM86", presentado por el Bachiller en Ingeniería de Minas **MISAEEL CORTEZ LUCANO**, asesorado por el M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : ..... <sup>03</sup> ..... PTS.  
 EVALUACIÓN PÚBLICA : ..... <sup>11</sup> ..... PTS.  
 EVALUACIÓN FINAL : ..... <sup>14</sup> ..... PTS. .... <sup>CATORCE</sup> ..... (En letras)

En consecuencia, se lo declara <sup>APROBADO</sup> con el calificativo de <sup>CATORCE</sup> acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las <sup>12:00 pm</sup> horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

  
 Dr. Ing. Crispín Zenón Quispe Mamani.  
 Presidente

  
 Dr. Ing. Alejandro Claudio Lagos Manrique.  
 Vocal

  
 M.Cs. Ing. Víctor Ausberto Arapa Vilca.  
 Secretario

  
 M.Cs. Ing. Roberto Severino Gonzales Yana.  
 Asesor

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por brindarme la vida y las fuerzas necesarias para cumplir cada una de mis metas trazadas.

Mi agradecimiento a mi alma mater, Universidad Nacional de Cajamarca, a la escuela profesional de Ingeniería de Minas, a los docentes, por los conocimientos impartidos durante mi etapa universitaria y en especial a mi asesor.

De igual manera, un agradecimiento a la empresa SUPERCONCRETO DEL PERÚ SAC, por haberme brindado las puertas e iniciar el mundo laboral y con ello, permitirme desarrollar esta investigación, principalmente al área de Perforación y voladura en carreteras.

**CORTEZ LUCANO MISAEL.**

## **DEDICATORIA**

A DIOS, fuente de toda sabiduría, por brindarme salud, fortaleza, y guiarme a cumplir los objetivos en mi vida

A mis queridos padres, hermanos, ya que a pesar de la distancia siempre me motivaron a salir a delante sea cual sea las circunstancias que se me presente.

A mis amigos e interesados en saber el tema de voladuras en carretera.

**CORTEZ LUCANO MISAEL**

## ÍNDICE

|   | Pág.        |
|---|-------------|
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....   | <b>i</b>    |
| <b>DEDICATORIA</b> .....  | <b>ii</b>   |
| <b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....  | <b>viii</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....  | <b>ix</b>   |
| <b>ASBTRAC</b> .....  | <b>x</b>    |
| <b>CAPÍTULO I</b> .....   | <b>1</b>    |
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>1</b>    |
| <b>CAPÍTULO II</b> .....  | <b>2</b>    |
| <b>MARCO TEÓRICO</b> .....  | <b>2</b>    |
| 2.1.1. Antecedentes internacionales. ....   | 2           |
| 2.1.2. Antecedentes Nacionales. ....  | 2           |
| 2.1.3. Antecedentes locales.....  | 3           |
| 2.2.1. Geología y Geotecnia las rocas .....   | 4           |
| 2.2.1.1. Rocas ígneas .....   | 4           |
| 2.2.1.2. Rocas sedimentarias .....  | 5           |
| 2.2.1.3. Rocas metamórficas.....  | 6           |
| 2.2.2. Principales tipos de Rocas y su influencia en la perforación y voladura..... | 7           |
| 2.2.3. Clasificación de material de excavación en obras de construcción.....        | 8           |
| 2.2.4. La perforación .....   | 9           |
| 2.2.4.1. Técnicas de perforación .....  | 10          |
| 2.2.4.2. Sistemas de montajes de las perforadoras.....                              | 10          |
| 2.2.4.3. Equipos de Perforación en carretera.....                                   | 11          |
| 2.2.4.4. Selección de equipo de perforación en carreteras. ....                     | 11          |
| 2.2.5. La voladura .....  | 12          |
| 2.2.5.1. Variables de diseño de las voladuras.....                                  | 12          |
| 2.2.5.2. Explosivos usados en la voladura de carreteras .....                       | 13          |
| 2.2.6. Definición del método de voladura controlada .....                           | 14          |
| 2.2.7. Diseño de planillas de voladura .....  | 15          |
| 2.2.7. Métodos de diseño de voladura.....   | 16          |
| 2.2.7.1. Método de Konya y Ahs .....  | 16          |

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| 2.2.7.2. Método de Langefors.....   | 18        |
| <b>CAPÍTULO III.....</b>  | <b>22</b> |
| <b>MATERIALES Y METODOS .....</b>   | <b>22</b> |
| 3.1.1 Ubicación .....   | 22        |
| 3.1.2 Accesibilidad.....  | 24        |
| 3.1.3. Geología Regional.....   | 25        |
| 3.1.4. Geología local .....   | 26        |
| 3.1.4.1. Fisiografía .....  | 26        |
| 3.1.4.2. Estratigrafía.....   | 26        |
| 3.1.4.3. Litoestratigrafía .....  | 27        |
| 3.1.5. Caracterización del macizo rocoso.....                                     | 28        |
| 3.1.6. Voladuras en Carretera .....   | 29        |
| 3.1.6.1. Factores que afectan al diseño de voladuras .....                        | 29        |
| 3.1.7. Programa de trabajo en perforación y voladura en carreteras.....           | 30        |
| 3.1.8. Diagrama de flujo del proceso de voladura. ....                            | 31        |
| 3.1.9. Responsabilidades del área de planeamiento de perforación y voladura. .... | 32        |
| 3.1.10. Diagrama de perforación y voladura .....                                  | 32        |
| 3.2.1. Definición de Variables .....  | 33        |
| 3.2.2. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación.....                      | 33        |
| 3.3.1. Instrumentos de recolección de datos.....                                  | 34        |
| 3.3.2. Instrumentos de recolección de datos.....                                  | 34        |
| 3.4.1. Etapa de gabinete.....   | 34        |
| 3.4.2. Etapa de campo .....   | 34        |
| 3.4.3. Etapa de gabinete.....   | 35        |
| 3.4.4. Perforación en carreteras .....  | 35        |
| 3.4.4.1. Perforación con Martillos neumáticos manual.....                         | 37        |
| 3.4.4.2. Perforación con equipo mecanizado (Rockdrill).....                       | 43        |
| 3.4.5. Voladura en carreteras .....   | 48        |
| 3.4.5.1. Carguío de Taladros con explosivos.....                                  | 48        |
| 3.4.5.2. Preparación para el disparo .....  | 51        |
| 3.4.6. Voladura controlada en carreteras.....                                     | 53        |
| 3.4.7. Medidas en tiros cortados y/o tiros fallados .....                         | 53        |

|   | Pág.      |
|---|-----------|
| 3.4.8. Parámetros y diseño de carga.....                                    | 54        |
| 3.4.8.1. Diseño de carga para taladros perforados con martillos RH.....     | 54        |
| 3.4.8.2. Diseño de cargas para taladros perforados con rockdrill.....       | 56        |
| <b>CAPÍTULO IV .....</b>  | <b>64</b> |
| <b>ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>                              | <b>64</b> |
| 4.1.1. De acuerdo al expediente técnico.....                                | 64        |
| 4.1.2 Resultados de la investigación .....                                  | 65        |
| 4.2.1. Análisis de precios unitarios con martillos Neumaticos RH .....      | 68        |
| 4.2.2. Análisis de precios unitarios con equipo hidráulico (rockdrill. .... | 70        |
| <b>CAPÍTULO V .....</b>   | <b>72</b> |
| <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>                                  | <b>72</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                                     | <b>73</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1: Formación Geológica a la que pertenece la presente investigación.....         | 27   |
| Tabla 2: Parámetros de diseño de perforacion propuesto para martillo manuales RH. .... | 42   |
| Tabla 3: Parámetros de diseño propuesto para equipo Hidráulico. ....                   | 47   |
| Tabla 4: Explosivos empleados en el diseño de voladura .....                           | 54   |
| Tabla 5:Diseño propuesto en el carguío de taladros con martillos neumaticos RH .....   | 55   |
| Tabla 6: Parámetros de perforación propuestos con rockdrill.....                       | 56   |

## ÍNDICE DE CUADROS

|   | Pág. |
|---|------|
| cuadro 1: Clasificación de rocas por su origen. ....  | 7    |
| Cuadro 2: Accesibilidad al tramo I .....  | 25   |
| cuadro 3:Accesibilidad al tramo II.....   | 25   |
| Cuadro 4: Responsabilidades del area de planeamiento de perforación y voladura.....   | 32   |
| Cuadro 5: Diagrama de perforacion y voladura .....  | 32   |
| Cuadro 6. variables de estudio del Proyecto de investigación. ....  | 33   |
| Cuadro 7: Análisis de precios unitarios en movimiento de tierras (Excavación material suelto, roca suelta, roca fija) tramo II..... | 36   |
| Cuadro 8: Análisis de precios unitarios roca fija y roca suelta tramo II. ....  | 37   |
| Cuadro 9: Resumen del diseño de perforacion y voladura con equipo Rockdrill .....   | 58   |
| Cuadro 10: Costos de perforacion y voladura en corte de roca fija.....  | 64   |
| Cuadro 11: Partidas de corte de roca fija. ....   | 65   |
| Cuadro 12: Comparación de costos en corte de roca fija.....   | 65   |
| Cuadro 13:Comparación de rendimientos de avance en ejecución. ....  | 66   |
| Cuadro 14: Comparación de rendimiento de corte en roca fija.....  | 67   |
| Cuadro 15: Análisis de costos unitarios en corte de roca fija.....  | 69   |
| Cuadro 16: Análisis de Precios unitarios en corte roca fija con equipo hidráulico. ....   | 71   |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   | Pág. |
|---|------|
| Figura 1: Perforación en roca dura tipo arenisca. Fuente: Propia del autor. ....        | 8    |
| Figura 2: Perforación en roca muy dura tipo cuarcita. Fuente: Propia del autor. ....    | 9    |
| Figura 3: Ubicación del proyecto. Fuente: Expediente técnico (2012).....                | 22   |
| Figura 4: Trazo de la Carretera Bambamarca-Marañón. Fuente: Google Earth.....           | 23   |
| Figura 5: Accesibilidad al Proyecto: FUENTE:(Expediente Técnico) .....                  | 24   |
| Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de voladura. Fuente: Consorcio Vial Bambamarca. | 31   |
| Figura 7: Perforación de bolones de roca con martillo neumático RH. ....                | 39   |

|  | Pág. |
|--|------|
| Figura 8: Inicio de la perforacion de corte de talud hasta tener un ancho operativo para el rockdrill. ....                  | 40   |
| Figura 9: Perforación con martillos neumáticos RH en corte de talud. ....  | 41   |
| Figura 10: Diseño de malla propuesto para martillos neumáticos RH.....   | 42   |
| Figura 11: Talud después de la voladura con martillos neumaticos. Carretera Bambamarca – Marañón.km86+250 .....              | 43   |
| Figura 12: Perforación con Rockdrill en corte de talud (avance con perforación frontal). Carretera Bambamarca- Marañón. .... | 45   |
| Figura 13: Perforación con equipo hidráulico vertical. Carretera Bambamarca- Marañón. ...                                    | 46   |
| Figura 14: Diseño de la malla de perforación propuesto con equipo rockdrill. ....  | 48   |
| Figura 15: Diseño de propuesto de carguío de taladros con martillos neumaticos RH .....                                      | 56   |
| Figura 16: Diseño del taladro propuesto con equipo Rockdrill. ....   | 59   |
| Figura 17: Zona antes del corte de talud en roca fija, donde muestra el trazo. ....  | 60   |
| Figura 18: Zona de acceso después del empleo de perforación y voladura. Carretera Bambamarca – Marañón. ....                 | 61   |
| Figura 19:Diseño propuesto en el precorte con equipo hidráulico rockdrill. ....  | 62   |
| Figura 20: Talud después de la voladura aplicando el precorte con equipo hidráulico. Carretera Bambamarca-Marañón. ....      | 63   |
| Figura 21: Comparación de costos en corte de roca fija en la carretera Bambamarca-Marañón. ....                              | 66   |
| Figura 22:Rendimientos de avance por día. ....   | 67   |
| Figura 23: Comparación de rendimientos de corte en roca fija.....  | 68   |

## LISTA DE ABREVIATURAS

|            |  |
|------------|--|
| LD         | : Lado derecho   |
| MF         | : Material Suelto.   |
| RF         | : Roca Fija  |
| RS         | : Roca suelta.   |
| M3         | : Metros Cúbicos.  |
| KG         | : Kilogramos.  |
| Tn         | : Tonelada.  |
| Kg/M3      | : Kilogramos por Metro Cúbico.   |
| $\sigma_c$ | : Resistencia a la Compresión de la Roca.                                |
| D          | : Diámetro de Taladro.   |
| UND        | : Unidad   |
| \$         | : Dólar americano.   |
| EV         | : Relación Burden – Espaciamiento.                                       |
| RH         | : Haryson.   |
| RMR        | : Rock Mass Rating.  |
| RQD        | : Rock Quality Designation.  |
| TNT        | : Trinitrotolueno.   |
| FC         | : Factor de Carga.   |
| FP         | : Factor de Potencia.  |
| s/m3       | : Soles por Metro Cúbico.  |
| PE-3N      | : Denominación al Tramo Norte de la Carretera Longitudinal de la Sierra. |
| %          | : Porcentaje.  |
| H          | : Altura de Banco.   |
| Prog.      | : Progresiva   |

## RESUMEN

En el Perú, existen una serie de empresas que se dedican, al mejoramiento, rehabilitación y construcción de carreteras, cuyas actividades de excavación o explanación longitudinal y/o transversal necesitan de la perforación y voladura en rocas sueltas y rocas fijas. La presente investigación tiene como primordial objetivo; optimizar los costos de perforación y voladura en la “Construcción y Mejoramiento de la Carretera PE-3N (Bambamarca) – Paccha – Chimbán – Pión – L.D. con Amazonas (Emp. AM – 103 El Triunfo)”. Se han considerado las teorías básicas del diseño de perforación y voladura como referencia, de la mano con los datos reales medidos en campo. Los resultados obtenidos con un óptimo diseño de perforación y correcto carguío en los taladros se determinaron: con martillos neumaticos los costos son de 21.50 s/m<sup>3</sup> y con equipo hidráulico rockdrill los costos asciende a 21.91 s/m<sup>3</sup>, logrando optimizar los costos en las partidas de metrados, 02.02.03 corte en roca fija: 2.81 s/m<sup>3</sup> con el empleo de los martillos Neumaticos RH y 2.45 s/m<sup>3</sup> con el empleo del equipo hidráulico rockdrill. Así como también, se logró determinar, el avance de ejecución del proyecto, siendo así; con el equipo hidráulico el avance es en 70% más de lo programado en el expediente técnico y finalmente se estandarizo los precios unitarios.

Palabras claves: Perforación y voladura, optimización, roca fija, roca suelta, producción.

## **ASBTRAC**

In Peru, there are a number of companies dedicated to the improvement, rehabilitation and construction of roads, whose longitudinal and/or transverse excavation or leveling activities require drilling and blasting in loose and fixed rocks. The main objective of this research is to optimize the costs of drilling and blasting in the “Construction and Improvement of the PE-3N (Bambamarca) – Paccha – Chimbán – Pión – L.D. Highway with Amazonas (Emp. AM – 103 El Triunfo)”. The basic theories of drilling and blasting design have been considered as a reference, together with the real data measured in the field. The results obtained with an optimal drilling design and correct loading in the drills were determined: with pneumatic hammers the costs are 21.50 s/m<sup>3</sup> and with hydraulic rockdrill equipment the costs rise to 21.91 s/m<sup>3</sup>, achieving cost optimization in the measurement items, 02.02.03 cutting in fixed rock: 2.81 s/m<sup>3</sup> with the use of RH pneumatic hammers and 2.45 s/m<sup>3</sup> with the use of hydraulic rockdrill equipment. As well as, it was possible to determine the progress of the execution of the project, being thus; with the hydraulic equipment the progress is 70% more than scheduled in the technical file and finally the unit prices were standardized.

**Keywords:** Drilling and blasting, optimization, fixed rock, loose rock, production

## **CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN**

La evaluación de la perforación y voladura en la carretera Bambamarca- Marañón, permitirá ahorrar costos, y tomar las óptimas decisiones en: cantidad de equipos, tipos de explosivos, cantidad de personal y estimación de tiempos de ejecución de acuerdo con las condiciones geológicas, geotécnicas, topográficas y económicas en base, a un expediente técnico aprobado por la entidad pública o privada. Por lo que se formula la pregunta ¿Cómo influye la perforación y voladura en los costos de la carretera Bambamarca-Marañón? siendo su hipótesis: La elección correcta, de equipos en perforación y voladura permite optimizar los costos y maximizar su avance en la ejecución del proyecto.

La presente investigación, se justifica debido a que en un 40 % de todo el presupuesto, del proyecto está en la perforación y voladura, además de ello permitirá determinar los equipos, explosivos, recursos humanos con lo cual una empresa, privada o pública puede ejecutarla.

La presente investigación, posee como objetivo general optimizar los costos de perforación y voladura en carreteras, mientras que como objetivo específico se tiene: analizar los costos en perforación y voladura de la carretera, así como también; estandarizar los precios unitarios en perforación y voladura de la carretera Bambamarca-Marañón.

La presente tesis, está estructurada de la siguiente manera: Capítulo I, introducción; Capítulo II, antecedentes teóricos, bases teóricas; Capítulo III, ubicación geográfica de la zona donde se realizó la investigación, materiales y metodología utilizada; Capítulo IV, análisis y discusión resultados obtenidos; y Capítulo V, conclusiones y recomendaciones de la investigación.

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

#### **2.1.1. Antecedentes internacionales.**

Alonso, Castilla, & Herrera (2013) en su Manual: “Perforación y Voladura de rocas en minería”, el objetivo principal de su investigación, es promover la formación exclusivamente de los estudiantes y elaborar un manual que sirva de guía, cuando se necesiten realizar trabajos de construcción civil y minero, considerando los diversos, factores que pueda presentar la geología del terreno.

#### **2.1.2. Antecedentes Nacionales.**

Espinoza & Quispe (2020) en su investigación titulada “Determinar la relación entre perforación, voladura, especificaciones técnicas y los costos unitarios en las partidas de movimiento de tierras a nivel de roca fija para carreteras” tuvo como objetivo determinar en qué medida, el considerar la teoría de perforación y voladura en las partidas de movimiento de tierras a nivel de roca fija, influye al momento de elaborar los costos unitarios. Se realizó una investigación cuantitativa, cualitativa, descriptiva y explicativa, Se revisaron 10 expedientes técnicos aprobados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que finalmente se determinó que estos costos es posible optimizar hasta en un 64%.

Montesinos, (2017) en su investigación “Voladura Controlada para Talud Final en la construcción de la carretera Lima-Canta-La viuda UNISH” tuvo como objetivo, disminuir la sobre excavación, mantener la estabilidad de taludes finales y minimizar las vibraciones, por lo que debido a este estudio, se presentan unas consideraciones generales sobre el precorte, se profundiza en la influencia, que el explosivo tiene sobre el precorte, así como la determinación teórico – práctica de los parámetros, necesarios para su realización efectiva; se hace también mención a las particularidades, que supone el uso de explosivos en esta técnica, su aplicación práctica; como resultado se logra reducir y distribuir mejor las concentraciones, de cargas

explosivas, de tal manera se logra también disminuir la sobreexcavación y el debilitamiento de las paredes finales y circundantes del talud.

Ramos & Apaza, (2019) según su investigación: “Reducción del daño generado por voladura a taludes finales por medio, de técnicas de precorte para yacimiento tipo pórfido de gran escala superficial” tiene como primordial objetivo, realizar el diseño de precorte, en una mina a tajo abierto, desde el inicio de sus operaciones, considerando varios aspectos técnicos como la geología, geotecnia, planeamiento, operaciones y seguridad para ello, se han considerado las teorías básicas, de precorte como referencia, de la mano con los datos reales medidos en campo, además se plantea técnicas de precorte, acorde al tipo de roca con los ajustes determinados, a través de las pruebas del inicio, hasta llegar al diseño mejorado.

### **2.1.3. Antecedentes locales.**

Peña, (2017) en su investigación “Gestión de procesos y optimización de costos en voladura aplicando un agente gasificante ecoamigable, en Minera La Zanja S.R.L. Cajamarca” tuvo como objetivo, determinar la influencia de la gestión de procesos, en la optimización de costos, al utilizar un agente gasificante eco amigable para voladura. Los resultados resolvieron, que los indicadores de gestión de procesos tienen una influencia positiva de parte del uso del agente gasificante eco amigable, denotando que en los casos donde se tiene un mayor uso del agente gasificante, también se tienen indicadores de gestión de procesos altos, mientras que, en el caso de la influencia de los indicadores de gestión y la optimización de costos, los resultados arrojan que cuando estos indicadores, son elevados el ahorro en costos ha ido incrementando.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

En el tema de perforación y voladura es importante conocer el tema de mecánicas de rocas.

### **2.2.1. Geología y Geotecnia las rocas**

Dada la amplitud de los conceptos geológicos, de una forma simplificada las rocas se pueden clasificar, en base a su composición, relaciones geométricas de sus partículas (textura) y características genéticas, en los siguientes grupos: rocas ígneas, rocas metamórficas y rocas sedimentarias. (Gonzales de Vallejo, 2004).

#### **2.2.1.1. Rocas ígneas**

Proviene del magma ígneo, que es una masa de roca fundida, formada de silicatos, gases y vapor de agua, ubicada en la zona más externa del manto y en la zona inferior de la corteza terrestre. Las rocas ígneas en general, son densas, duras y competentes, pero tienden a descomponerse por acción del intemperismo y otros procesos de alteración que paulatinamente las transforman en arcilla, caolín, sílice y otros detritos. (EXSA, 2009).

Su enfriamiento dio lugar a la formación de sistemas de fisuras de contracción (disyunción) que muchas veces son típicos para cada tipo de roca (cúbica, columnar, tubular, etc.) los que inciden directamente en el resultado de las voladuras, con la preformación de bolonería. Por su origen y textura se clasifican en:

#### **A. Rocas Intrusivas o Plutónicas**

Se enfriaron lentamente a profundidad por lo que se presentan como grandes cuerpos subyacentes (batolitos), muestran textura granular gruesa. Ejemplo: granito, gabro, diorita, diabasa.

## **B. Rocas Volcánicas, Extrusivas o Lavas**

Salieron a superficie de la tierra en estado de fusión, y se enfriaron bruscamente a poca profundidad o en superficie.

## **C. Rocas Filonianas o Hipobisales:**

Son aquellas formadas en condiciones intermedias entre la intrusiva y la extrusiva. La roca filoniana, de textura granular fina e intermedia, densa y generalmente oscura, se presentan como interestratificación y dique por inyección en grietas o fallas preexistentes en rocas más antiguas. Ejemplo: diques de turmalina, de pegmatita, y otros. (Manuel practico de voladura – Exsa).

### **2.2.1.2. Rocas sedimentarias**

Se han formado, por desintegración de rocas preexistentes, cuyos detritos fueron transportados, acumulados y compactados en extensas cuencas marinas durante muy largos períodos de tiempo. También por la descomposición y acumulación de vegetales y vida animal o por la precipitación química y decantación de soluciones minerales. (Gonzales de Vallejo, 2004).

Las rocas sedimentarias, no muestran cristales sino fragmentos irregulares o granos redondeados, de tamaños y distribución variables. Se clasifican en:

#### **A. Sedimentarias Detríticas o Clásticas:(clasto = partícula)**

Proviene de rocas desintegradas, arrastradas por ríos y depositadas, en capas que son sometidas durante un considerable período de tiempo a elevadas temperaturas y presiones. Se clasifican por el tamaño de sus granos en: -Gruesas: brechas, conglomerados, gravas. -Medias: arenisca, arcosas. -Finas: pizarras, lutitas, arcillas, filitas.

#### **B. Sedimentarias Químicas**

Proviene del transporte, de partes duras de organismos marinos mezclados con arena y arcillas, este transporte es provocado por las corrientes costeras. Se clasifican en:

- Calcáreas: calizas, dolomita, travertinos,
- Silíceas: sílex, diatomita.
- Alumínicas: laterita, bauxita.
- Ferruginosas: limonita, taconita.
- Salinas: sal, yeso, anhidrita, gema.

### **C. Sedimentarias Orgánicas**

Están formadas por restos orgánicos. Ejemplos: carbón (lignito, antracita), diatomita.

(Manuel práctico de voladura – Exsa).

#### **2.2.1.3. Rocas metamórficas**

Resultan de la transformación profunda de rocas ígneas o sedimentarias por calor, grandes presiones y cambios químicos, debidos a fenómenos geológicos de gran magnitud, como los de granitización.

Cuadro 1: Clasificación de rocas por su origen.

| CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS POR SU ORIGEN | TIPO DE ROCA              | ASPECTO FÍSICO  | FAMILIA DE ROCAS   |
|--|---------------------------|---|--|
| ROCAS ÍGNEAS                             | Plutónicas o intrusivas   | Textura granular, gruesa.<br>Cristalización gruesa a profundidad                          | Granito<br>Diorita   |
|  | Hipobisales o filonianas  | Textura media<br>Cristalización cerca de superficie                                       | Pegmatitas<br>Dikes  |
|  | Volcánicas o efusivas     | Textura fina<br>Cristalización en superficie<br>Lavas o derrames<br>Piroclastos o cenizas | Vítrea:<br>Obsidiana<br>Félsíticas:<br>Riolitas<br>Porfíricas:<br>Andesitas<br>Fragmentables:<br>Brechas |
| SEDIMENTARIAS                            | Mecánicas                 | Formadas por transporte y deposición mecánica de detritos.                                | Areniscas<br>Gravas  |
|  | Químicas                  | Por solución y deposición o precipitación química.  | Calizas  |
|  | Orgánicas                 | Por deposición de restos orgánicos.   | Calizas<br>Diatomitas  |
| METAMÓRFICAS                             | Regionales por orogénesis |   | Gneis  |
|  | De contacto o locales     | Térmico, hidrotermal ( acción de soluciones y calor)                                      | Mármol   |

Fuente: Manual Práctico voladura Exsa(2009).

### 2.2.2. Principales tipos de Rocas y su influencia en la perforación y voladura

Al momento, de realizar la excavación vamos a encontrar con diferentes tipos de rocas como pueden ser: calizas, areniscas, pizarras, graníticas, volcánicas. (Espinoza & Quispe, 2020).

De acuerdo al tipo de roca podemos realizar el uso de los explosivos, aceros de perforación, personal humano e incluso el equipo mismo de perforación.

### 2.2.3. Clasificación de material de excavación en obras de construcción.

En nuestro país, las excavaciones en las obras civiles contemplan 3 tipos de materiales, practicadas con una clasificación visual, basada solo en una descripción geológica, y el tipo de excavación requerida: material suelto, roca suelta y roca fija. (Espinoza & Quispe , 2020).

**Caliza:** Fácil de excavar consumo reducido de explosivos y barrenos. Pueden encontrarse cavernas, a veces de grandes dimensiones, y manantiales de agua importantes.

**Arenisca:** Fácil de excavar; consumo de explosivos normalmente mayor que en la caliza; mayor consumo de barrenos. Suelen presentar discontinuidades con rellenos de arena.



Figura 1: Perforación en roca dura tipo arenisca.

**Pizarras:** De excavación fácil; según su naturaleza e inclinación de los estratos, suele encontrarse presencia de humedad del macizo rocoso. La pizarra puede ir asociada al yeso y al carbón.

**Rocas cuarcitas:** Generalmente difícil de excavar; requiere un alto consumo de explosivo, así como también, genera el desgaste de los aceros de perforación.



Figura 2: Perforación en roca muy dura tipo cuarcita.

#### **2.2.4. La perforación**

La perforación, es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos, hoyos o blast holes. En perforación tienen gran importancia la resistencia al corte o dureza de la roca (que influye en la facilidad y velocidad de penetración) y la abrasividad. Esta última influye en el desgaste de la broca y por ende en el diámetro final, de los taladros cuando ésta se adelgaza (brocas chupadas). (Espinoza & Quispe , 2020).

#### **2.2.4.1. Técnicas de perforación**

Como parte de la operación de fragmentar el macizo rocoso existen diversas técnicas de perforar y con los diversos equipos a utilizar; en carretera el uso en su gran mayoría es de martillos neumáticos manual, así como también del equipo hidráulico (track drill o rock drill).

Los dos grandes métodos mecánicos, de perforación de rocas son los rotopercutivos y rotativos.

**Método rotopercutivo:** son los más utilizados en casi todos los tipos de rocas, tanto si el martillo se sitúa en cabeza, como en el fondo del barreno.

**Método rotativo:** se subdividen a su vez en dos grupos, según que la penetración se realice por trituración, empleando triconos o por corte utilizando brocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas.

Según la resistencia a compresión de las rocas y el diámetro de perforación, se pueden delimitar distintos métodos de perforación, según se refleja en la Figura 3. Sin embargo, en obras de construcción, lo habitual son los métodos rotopercutivos en la perforación de rocas, mientras; en minería a cielo abierto, también se utiliza la perforación rotativa. (Pequera, 2018).

Por otro lado, según el tipo de trabajo que se realice en minería u obra pública, de superficie los equipos que más se utilizan y diámetros más comunes, para voladuras en banco se presenta en la siguiente figura. (Lopez & Pernia, 1987).

#### **2.2.4.2. Sistemas de montajes de las perforadoras**

En los trabajos, a cielo abierto o en construcción civil los sistemas de montajes de las perforadoras son: chasis ligeros con neumáticos, carros de orugas y sobre camión. Mencionar que los primeros intentos, para mecanizar los trabajos en canteras, consistieron en la utilización de vagones de perforación con ruedas.

### **2.2.4.3. Equipos de Perforación en carretera**

Actualmente, en la construcción de proyectos viales, donde se hace uso de la perforación se emplean tres tipos de perforadoras.

#### **Manuales**

Estos equipos, son empleados en su gran mayoría en carreteras de pequeña magnitud, son equipos de percusión con aire comprimido, para ejecutar taladros pequeños (25 a 50 mm de diámetro), para trabajo horizontal o al piso (pick hammer) y para taladros verticales al techo (stoppers, Harysoon). Emplean barrenos de acero integrales o cónico, terminados en una broca fija tipo bisel, o barrenos con broca acoplable.

#### **Mecanizadas**

Este tipo de maquinaria, son las más utilizadas en carretera, son equipos de percusión y de rotopercusión, montadas en chasis sobre ruedas u orugas. Para taladros hasta 150 mm (6" de diámetro) y 20 m de profundidad. Ejemplo los wagon drill, track drill, jumbos neumáticos o hidráulicos y rockdrill, que emplean barrenos acoplables con brocas intercambiables.

#### **Mecanizadas rotatorias**

Este tipo de máquina, es rara vez empleado en carreteras, generalmente de grandes dimensiones para uso en tajos abiertos, montadas sobre camión o sobre orugas con traslación propia, con motor rotatorio independiente y perforación por presión (pull down o presión de barra) con brocas rotatorias tricónicas de 6" a 15" de diámetro, siendo las más comunes de 6", 9 7/8", 11 1/4" y 12 5/8".

### **2.2.4.4. Selección de equipo de perforación en carreteras.**

En carreteras, existen diversos tipos y marcas de equipos de perforación para diferentes condiciones de trabajo. Su selección, se basa en criterios económicos, diseño mecánico, mantenimiento y servicio, capacidad operativa, adaptabilidad a los demás equipos

de la operación, y de condiciones generales del lugar de trabajo (acceso, tipo de roca, topografía, fuentes de energía). (Espinoza & Quispe , 2020).

Los principales criterios para la elección de equipos de perforación en una carretera se describen a continuación:

**Tipo de tamaño de la perforadora:** De acuerdo a diversos criterios: tipo de aplicación, tipo de roca, fragmentación de la roca, diámetro del taladro, materiales explosivos y condiciones ambientales.

**Marca y modelo del equipo:** Una vez decidido el tipo de equipo, se estimará el costo de propiedad y operación por hora, tarifas horarias de equipos, en US\$/m<sup>3</sup> y otros aspectos como soporte de servicio, tiempo de entrega, etc.

**Otros.** Impacto financiero, alquiler/venta, MARC, duración del contrato, (< a 3 años), (5 a 10 años), costo de energía.

### **2.2.5. La voladura**

De acuerdo con los criterios, de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados, dentro de los taladros perforados en roca originan una alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. (Gaona Gonzales, 2015)

#### **2.2.5.1. Variables de diseño de las voladuras**

**Diámetro del taladro:** Es el diámetro, con el que se construye el barreno de perforación, este depende principalmente del equipo que se emplea para su construcción

**Inclinación de la perforación:** El componente principal, del movimiento de las rocas es perpendicular al eje de los barrenos, por lo que cuando estos se inclinan el material se proyecta hacia arriba y hacia adelante (Long, 2003). En teoría, el desplazamiento horizontal, es máximo cuando el ángulo de los barrenos es de 45°, pero en la práctica lo habitual es utilizar inclinaciones no superiores a los 30°. Esto es debido a las características

de los equipos de perforación, que, en algunos casos, incluso aconsejan la perforación vertical, como sucede con los grandes equipos rotativos con rocas duras (Centro Tecnológico de Voladura EXSA S. A, 2009).

**Densidad del Explosivo:** Es el peso específico g/ cm<sup>3</sup> (a mayor densidad, mayor potencia), varía entre 0,7 a 1,6 g/cm<sup>3</sup>. Todo explosivo tiene una densidad crítica encima de la cual ya no detona.

**Resistencia a la compresión de la roca ( $\sigma_c$ ):** Esta propiedad determina la energía, que se necesita aplicar para la perforación del macizo rocoso y acondiciona en gran parte los parámetros y características de la operación de perforación y voladura.

**Dimensiones de la voladura:** comprende el área superficial delimitada por el largo del frente y el ancho o profundidad del avance proyectado (m<sup>2</sup>) por la altura de bando o de corte (H), en m<sup>3</sup>.

#### 2.2.5.2. Explosivos usados en la voladura de carreteras

Los explosivos usados en la voladura en carreteras, está conformado por explosivos primarios, cuyo proceso de iniciación es no electrónica (pirotécnica), a continuación se detalla dichos explosivos.

**Cebo:** Es un tipo de iniciador, compuesto por un explosivo y un fulminante conectado a un tipo de mecha, cuyo explosivo puede ser una emulsión o dinamita.

**Anfo o Agente de Voladura:** Mezcla explosiva adecuadamente balanceada en oxígeno. Está formulada con un 93 % a 94.5 % de Nitrato de Amonio en Esfera y 6.5 % a 5.5 % de combustible líquido, pudiendo ser petróleo residual, o la combinación de petróleo residual más aceite quemado. (Contreras J. , 1993).

**Booster:** El Booster de pentolita, corresponde a un moderno explosivo desarrollado a base de PENT (tetranitrato de pentaeritrol, también conocido como pentrita) y TNT (trinitrotolueno) como materias primas. Algunas de sus principales características son el

desarrollar una alta presión de detonación, lo que lo convierte en un excelente iniciador de cargas poco sensibles.

**Dinamita 65 %:** Es un explosivo sensible al fulminante común, contiene un compuesto sensibilizador como medio principal para desarrollar energía (TNT). de alto poder rompedor y muy buena resistencia al agua, el porcentaje 65 indica la cantidad de agente explosivo y el restante porcentual su contenido de inertes como aserrín. (EXSA, 2009).

**Mecha lenta o mecha de seguridad:** Es un accesorio para voladura, que posee capas de diferentes materiales que cubren el reguero de pólvora. Tiene, como objeto, transmitir el fuego hasta el fulminante, a fin de producir la detonación.

- Alma o relleno de pólvora 65g/m.
- Velocidad de combustión 145 s/m.

**Fulminante común:** Es una cápsula cilíndrica de aluminio, cerrado en un extremo, en cuyo interior lleva una determinada carga de explosivo primario (fulminato de mercurio -  $\text{Hg}(\text{CNO})_2$ ) muy sensible a la chispa de la mecha de seguridad. Permite iniciar, el proceso de la detonación. (EXSA, 2009).

**Cordón detonante o pentacord:** El cordón detonante reforzado es un cordón detonante compuesto por un núcleo de nitro Penta (PETN) envuelto externamente por hilos de polipropileno, y una cobertura plástica, teniendo como acabado una cobertura de cera. (Lopez & Pernia, 1987).

**Retardo Pirotécnico Bidireccional:** Es un sistema no eléctrico, de retardo bidireccional, compuesto por dos fulminantes montados en conectores plásticos y unidos por un tubo de choque transmisor de señal.

## 2.2.6. Definición del método de voladura controlada

Se define a la voladura controlada, como el conjunto de modelos matemáticos que sirven para mejorar la competitividad del macizo rocoso circundante. Es evitar daños a la roca

remanente y tratar de dejar después de la operación unitaria de perforación y voladura de rocas una superficie rocosa competente, lisa y bien definida. (Perez, 2017).

Ventajas de voladura controlada en carreteras

- ❖ Generan, una geometría en el corte de talud, esto da importancia económica.
- ❖ Genera estabilidad al macizo rocoso.
- ❖ Evita la sobrecavación.

#### **Desventajas de voladura controlada**

- ❖ Elevado costo en comparación a la voladura convencional.
- ❖ Demanda de mayor tiempo en la elaboración.
- ❖ En material detrítico incompetente puede no tener resultados efectivos.

#### **2.2.7 Diseño de planillas de voladura**

En carreteras el diseño de voladuras, depende del diseño de topografía, sin embargo, nos encontramos con variables las cuales si se pueden realizar una evaluación:

- Diámetro del taladro.
- Longitud de taladro.
- Sobre perforación.
- Tamaño del taco.
- Material del taco.
- Espaciamiento entre taladros.
- Número de taladros por voladura.
- Dirección del movimiento de la roca.
- Tacos intermedios.
- Taladros de precorte.

## 2.2.7. Métodos de diseño de voladura

### 2.2.7.1. Método de Konya y Ahs

Konya propone la siguiente fórmula para hallar el burden.

$$B = 3.15 * \phi_e * \sqrt[3]{\frac{\rho_e}{\rho_r}}$$

$\phi_e$  = diametro del taladro del explosivo

$\rho_r$  = Densidad de la roca

$\rho_e$  = densidad del explosivo

En cambio, Ash, Considera un constante kb que depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado:

Considera un constante kb que depende de la clase de roca y tipo de explosivo empleado:

$$kb = 0.1573 \sqrt[3]{\frac{d_e}{d_r}} * \sqrt[3]{VE^2}$$

Donde:  $d_e$ : densidad de explosivo

$d_r$ : densidad de la roca

VE: relación entre burden y espaciamiento

Consiste en aplicar, para el diseño de una voladura en banco, cinco relaciones que son:

- Relación de Burden:  $Kb = B / (D * 0.0254)$

B = Burden Máximo en metros

D = diámetro del hoyo en pulgadas

- Relación de Profundidad de taladro:  $Ke = H / B$  ; (Ke entre 1,5 y 4).

H: Profundidad del taladro en metros.

- Relación de sobre perforación:  $Ks = J / B$  ; (Ks entre 0,2 y 1).

J: sobreperforación

- Relación de Taco:  $Kt = T / B$ ; (Kt entre 0,7 y 1,6).

T: taco en metros

- Relación de espaciamento:  $K_s = S / B$

S: espaciamento en metros.

$K_s = 2,0$  para iniciación simultánea de taladros.

$K_s = 1,0$  para taladros secuenciados con retardos largos.

$K_s = 1,2$  a  $1,8$  para taladros secuenciados con retardos cortos.

#### Espaciamento:

✓ Para disparos simultáneos de hoyos en la misma fila, o para disparos por fila, el espaciamento es:  $S = (1.8 - 2) * B$ . Normalmente esto sería un diseño trabado si fuera un disparo con muchas filas, La fragmentación no es tan buena como con retardos secuenciales.

✓ El corte será más alto y el lanzamiento de material hacia atrás mayor, ocurre si:

$S = (1.0 - 1.2) * B$ . Donde el encendido de los hoyos es secuencial. Esto debería ser para un diseño cuadrado o rectangular de varias filas.

Sobreperforacion: La cantidad usual de sobreperforacion usada es de:

$$J = (0.2 - 0.3) * b$$

En taladros de gran diámetro en rocas duras, pesadas y homogéneas se puede usar un factor de sobreperforacion de 0.4 para evitar problemas de patas y eliminar promontorios en el piso.

Cualquier sobreperforacion en exceso de esto es una pérdida de tiempo, dinero y explosivo, puesto que mientras más profundo se perfora, mayor será el ángulo del cráter. Si continúan problemas de patas y pisos es más ventajoso utilizar un explosivo más potente o mejor acoplamiento, en el fondo del hoyo que profundizar la pasadura o disminuir la malla.

Taco: Una buena aproximación para controlar el ruido y la proyección de piedras, es:

$$T = 0.7 * B$$

Cualquier valor menor que este provocará mucho ruido, exceso de proyección de piedras y formación de cráter en la región del collar del hoyo.

Profundidad del taladro: Se deben de tomar en cuenta, El taladro no debe ser menor que 1.0 veces el burden y si es sobre 4 veces el Burden se puede requerir inclinación múltiple.

La mayoría de los taladros están en el rango de 2.6 a 3.0 veces el Burden y no necesitan el segundo iniciador, que no solo es innecesario y caro, sino que también divide el proceso de fragmentación.

### 2.2.7.2. Método de Langefors

Langefors y Kihlstrom proponen la siguiente expresión para calcular el Burden máximo y a partir de ello encontrar los demás parámetros de diseño para voladura en bancos.

$$B_{max} = \frac{D}{35.6} * \sqrt[2]{\frac{P * WRS}{C * F * EV}}$$

Donde:

D: Diámetro de perforación en mm.

P: Grado de retardo, que es la cantidad de carga en kg/m<sup>3</sup> del volumen nominal del tiro (densidad de explosivo).

WRS: Potencia relativa en peso del explosivo (1 a 1.4).

F: Grado de fijación de los tiros, depende de la inclinación de los taladros perforados.

F = 1 : Taladro vertical (90°)

F = 0.9 : Taladro de 70°

F = 0.85 : Taladros de 63°

C: Constante específica de la roca. Es la cantidad de explosivo necesario para fragmentar 1m<sup>3</sup> de roca, normalmente en voladuras a tajo abierto y en rocas duras se toma un valor de C= 0.4.

$$C = \frac{\rho_r - 1.29}{3.5} + 0.05$$

Donde:

$\rho_r$  = Densidad de la roca. Sin embargo, este valor puede modificar según:

$$B = 1.4 - 1.5\text{m} \quad C'' = C + 0.75$$

$$B < 1.4\text{m} \quad C'' = 0.07/B + C$$

EV: Relación Espaciamento – Burden y puede estar entre 1 a 2.

**Altura de banco: H (m)**

$$H = \frac{L + J}{\text{Sen}\alpha}$$

$\alpha$  = Inclinación del taladro respecto a la horizontal

L = Longitud de taladro (m)

J = Sobreperforación (m)

**Espaciamento: S (m)**

$$S = EV * B$$

**Taco: T (m)**

$$T = B1$$

**Burden Práctico (m)**

✓  $B1 = B_{\text{max}} * (1 - 0.03 * L)$  ..... Para voladuras con filas múltiples.

✓  $B1 = B_{\text{max}} - 0.50 * L$  ..... Para voladuras con una fila.

Donde:

L = Longitud de perforación (m).

**Concentración de carga de carga de fondo: Qbk (kg/m)**

$$Qbk = P * \left(\frac{D}{36}\right)^2$$

**Longitud de carga de fondo: Hb (m)**

$$HB = 1.3 * B$$

**Concentración de la carga columna:  $Q_{pk}$  (kg/m)**

$$Q_{pk} = 0.5 * Q_{bk}$$

Donde:

$Q_{bk}$  = Concentración de carga de fondo (kg).

**Carga de fondo:  $Q_b$  (kg)**

$$Q_b = HB * Q_{bk}$$

Donde:

$HB$  = Longitud de carga de fondo (m).

$Q_{bk}$  = Concentración de carga de fondo (kg).

**Carga de columna:  $Q_p$  (kg)**

$$Q_p = H_p * Q_{pk}$$

Donde:

$H_p$  = Longitud de carga columna (m).

$Q_{pk}$  = Concentración de carga columna (kg).

### 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**Optimización:** Se refiere al proceso de hacer que algo funcione de la mejor manera posible o de obtener el mejor resultado con los recursos disponibles. Implica encontrar la solución más eficiente y efectiva a un problema o tarea específica.

**Área cargada con Explosivos:** Es el área, donde se manipula material explosivo durante el proceso de carga. También conocido como el “Área de carga”.(EXSA, 2009).

**Área de Voladura:** Es el área, en donde el material disparado de una detonación no puede causar daño a personas o a la propiedad por las previsiones tomadas.

**Mástil:** Guía de Acero vertical larga, ubicado en el brazo del rock drill y track drill, que sirve para mantener y estabilizar la penetración de la barra, para realizar el taladro, así como el portante del martillo de perforación. (Contreras J. , 1993).

**Vigía:** Es la persona encargada de bloquear y cuidar el acceso que toda persona u animal este fuera del radio de influencia de voladura.

**Barreno o barra de perforación:** Es un accesorio metálico tubular, de gran tamaño y diámetro para hacer taladros para voladura.

**Compresora neumática:** Es el equipo encargado de brindar aire comprimido a una presión necesaria para realizar la perforación.

**Broca:** Es un accesorio de la barra el cual tiene el contacto directo con el corte de roca por roto percusión, el cual puede ser de bisel o botones. (Contreras, 1993).

## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. GENERALIDADES

#### 3.1.1 Ubicación

El proyecto de investigación, se desarrolló en las provincias de Hualgayoc y Chota de la región Cajamarca; Su ámbito de influencia directo comprende los distritos de Bambamarca, Chalamarca, Paccha, Chadín, Choropampa, Chimbán, se trata de una vía de categoría departamental colectora de la red vial nacional Cajamarca -Hualgayoc - Bambamarca - Chota – Río Marañón. Se desarrolla en pisos ecológicos variados entre los 2503 m.s.n.m y 530 m.s.n.m, en el espacio geográfico ubicado en el curso del río Llaucano, tributario del Marañón.

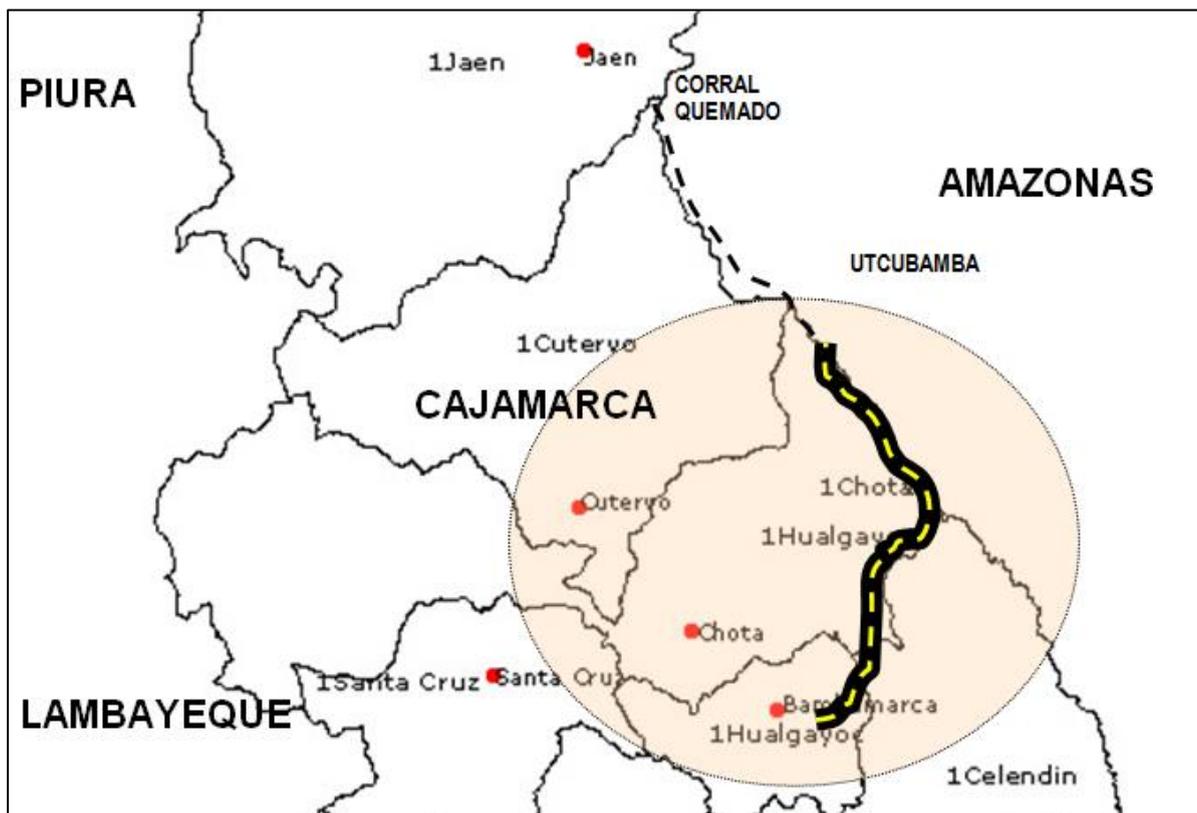


Figura 3: Ubicación del proyecto. Fuente: Expediente técnico (2012).



### 3.1.2 Accesibilidad

Las vías de acceso a la zona del proyecto:

Desde Cajamarca a la zona del proyecto por vía terrestre es, siguiendo la red vial Bambamarca-Paccha-Chimbán-Piñón-LD. con Amazonas (El Triunfo)



Figura 5: Accesibilidad al Proyecto: Fuente: Consorcio Vial Bambamarca (2012).

A continuación, detallamos en cuadros las distancias y tiempos que se emplearán desde Cajamarca a la zona del proyecto.

## PARA EL TRAMO I

Este tramo carretero, tiene como punto de Inicio la ciudad de Bambamarca, barrio Amazonas, altura del Puente Año Mayo.

Cuadro 2: Accesibilidad al tramo I

| Origen / Destino            | Distancia (Km.) | Velocidad (Km./h) | Tiempo (Horas) |
|-----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Cajamarca – Bambamarca      | 119             | 40.00             | 3.00           |
| Bambamarca – Inicio Tramo I | 1.50            | 20.00             | 0.10           |
| TOTAL                       | 120.50          |                   | 3.10           |

Fuente: Consorcio Vial Bambamarca. (2012)

## PARA EL TRAMO II

Se inicia inmediatamente después del Primer tramo en la localidad de Chadín (Km. 36+000) con una altitud de 2454 m.s.n.m; pasando en su recorrido por los distritos de Chimbán, y como punto final puente sobre el río Marañón.

cuadro 3:Accesibilidad al tramo II.

| Origen / Destino                      | Distancia (Km.) | Velocidad (Km./h) | Tiempo (Horas) |
|---------------------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
| Cajamarca – Bambamarca                | 119             | 40                | 3.00           |
| Bambamarca – Chadín (Inicio Tramo II) | 36              | 20                | 1.80           |
| TOTAL                                 | 155             |                   | 4.80           |

Fuente. Consorcio vial Bambamarca (2012).

### 3.1.3. Geología Regional

La geología del área, de influencia del Proyecto está conformada por diversas formaciones geológicas y litología variada. Las formaciones que se encuentran en el área de influencia son: las formaciones pertenecientes de la Era, periodo cretáceo y época superior e inferior

Las formaciones geológicas que se encuentran en el área de influencia principalmente corresponden al sistema o periodo cretáceo, en donde destacan por presentar una litología de rocas sedimentarias como calizas, areniscas, lutitas y arcillas, etc.

#### **3.1.4. Geología local**

El mapa litológico-estructural contiene información base de los estudios de levantamiento geológico de la Carta Geológica Nacional a escala 1:100 000, realizados en la región Cajamarca por la Dirección de Geología Regional, cuya información se encuentra en los boletines de INGEMMET.

##### **3.1.4.1. Fisiografía**

Las unidades fisiográficas, que se encuentran a lo largo del proyecto corresponden a la cordillera occidental de los Andes, caracterizada por una topografía variada. La fisiografía del área, de influencia del proyecto se caracteriza por presentar un paisaje de colina alta moderadamente empinada, ladera de montaña fuertemente empinada, ladera de montaña moderadamente empinada y montaña moderadamente empinada teniendo como basamento calizas, areniscas lutitas.

El relieve, es ondulado a fuertemente accidentado recortado por quebradas y algunos torrentes poco profundos, con derrumbes antiguos y recientes en pendientes muy empinadas.

##### **3.1.4.2. Estratigrafía**

Teniendo como, base referencial al estudio geológico del INGEMMET, las cartas de la Paccha (13-g), Chota (14-f), Celendín (14-g), a escala 1:12,500 y el cartografiado de campo hecha por el consultor podemos afirmar que, en la carretera estudiada, podemos encontrar unidades litológicas del sistema Cretácico.

Como, consecuencia de estos eventos, la litología estudiada, presenta una gran heterogeneidad, pasando por facies líticas sedimentarias (calizas y areniscas blanquecinas de gran potencia y cuarzosas de tamaño de grano de grueso a medio, así como también lutitas).

### 3.1.4.3. Litoestratigrafía

La litología del proyecto en investigación es de mucha variabilidad. Se encuentran exposiciones de roca sedimentaria rocas caliza y areniscas en un porcentaje bastante mayor. de acuerdo al Expediente técnico la litoestratigrafía correspondiente es a la formación geológica oyotún.

#### Formación Oyotún (Ji – o)

Se observa aglomerados volcánicos de color gris oscuro, litológicamente, está constituido por capas delgadas a medianas de andesitas y dacitas de color gris a gris verdosa, en los tramos encontrados esta formación esta moderadamente fracturado, se observan dacitas con ojos de cuarzo y fragmentos de líticos alterados incrustados en las rocas, andesitas de color gris verdoso resistente al golpe de la picota. (Delgado, 2012).

Tabla 1: Formación Geológica a la que pertenece la presente investigación.

| PROGRESIVAS (Km) |        |     |        |
|------------------|--------|-----|--------|
| Del:             | 74+450 | Al: | 77+250 |
| Del:             | 79+520 | Al: | 83+500 |
| Del:             | 84+430 | Al: | 90+950 |

FUENTE: Expediente Técnico (2012).

También, se pueden observar dentro de esta formación oyotún algunas estructuras geológicas, como son: los sinclinales (prog. km81+100).

De acuerdo con lo antes mencionado, los principales grupos de suelo y rocas se han agrupado en dos grandes unidades de clasificación:

- Depósitos aluviales y pluviales

Los depósitos aluviales los conforman las llanuras aluviales y terrazas (medias y bajas), a diferentes niveles sobre los valles principales y tributarios mayores; son depósitos semiconsolidados; algunos de ellos presentan cierto grado de consolidación, erosionados por los ríos actuales.

Los depósitos pluviales, por su origen, forman conos o abanicos deyectivos en las desembocaduras de los ríos o quebradas, que muchas veces llegan a confundirse con las terrazas aluviales; el material que las constituye es heterométrico y mal clasificado; por lo general, los fragmentos de rocas son sub-angulosos a sub-redondeados, dentro de una matriz fina, permeables, medianamente consolidados; son susceptibles a la erosión fluvial, derrumbes y deslizamientos. Geomorfológicamente se asocian directamente a las unidades de abanicos proluvial/aluviales.

- Rocas volcánico-sedimentarias

Los Volcánicos Oyotún, expuestos en el sector noroccidental de la región, al oeste de Jaén, norte y noreste de Cutervo (Callayuc, Tambillos), valles de los ríos Chontalí, Huancabamba, Tabaconas, sector de San Ignacio (Chirinos). Litológicamente, se trata de afloramientos macizos e irregulares de bancos medianos a gruesos de piroclásticos y derrames, con intercalaciones sedimentarias formadas por tobas, grauvacas y areniscas feldespáticas.

### 3.1.5. Caracterización del macizo rocoso

En base a las descripciones de los macizos rocosos y la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos, se utiliza la clasificación geomecánica de macizos rocosos RMR (Rock Mass Rating), índice mediante el cual se evalúa la competencia del macizo rocoso.

En términos generales los parámetros evaluados fueron la resistencia a compresión simple de la roca, el índice RQD (Rock Quality Designation), el espaciamiento de las discontinuidades, el estado de las discontinuidades, la presencia de agua en el macizo rocoso y por último la orientación de las discontinuidades.

|                    |                    |                 |                    |                |                   |
|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
| <b>RMR</b>         | <b>100 - 81</b>    | <b>80 - 61</b>  | <b>60 - 41</b>     | <b>40 - 21</b> | <b>20 - 0</b>     |
| <b>DESCRIPCION</b> | <b>I MUY BUENA</b> | <b>II BUENA</b> | <b>III REGULAR</b> | <b>IV MALA</b> | <b>V MUY MALA</b> |

### 3.1.6. Voladuras en Carretera

Las voladuras en carretera, se realiza en la excavación del material rocoso, en el que hace uso de explosivos, para su fragmentación y posteriormente su eliminación hacia un depósito de material, y con ello, liberando un acceso vial para la transitabilidad vehicular.

Estas voladuras, deben ser ejecutadas teniendo como objetivo principal la estabilidad de taludes, sin embargo; en carretera también se realiza voladuras en bolones que sobresalen durante el corte de explanación en material suelto.

#### 3.1.6.1. Factores que afectan al diseño de voladuras

El diseño de voladuras, en carreteras está basada en la aplicación de técnicas de cálculo en un medio heterogéneo, en el cual los resultados obtenidos pueden influir, en gran medida en la ejecución correcta del proyecto vial.

Para el cálculo del explosivo en una voladura en carretera, se evaluaron aquellos, factores sobre los que es posible actuar y los que viene impuestos por condicionantes ajenos que no pueden ser modificados:

**Factores que afectan al rendimiento de la voladura:** la cantidad de explosivo adecuada en cada caso, la correcta distribución de energía del explosivo y un correcto confinamiento de energía.

**Factores Geométricos:** dentro de los factores controlables de las voladuras se consideran el diámetro del taladro; la altura de banco; la longitud de taladro, inclinación, número y distribución de taladros.

**Factores inherentes al explosivo:** los cuales son principalmente la densidad del explosivo, la velocidad de detonación, la presión de detonación, la potencia del explosivo, la carga de explosivo, la energía del explosivo y la secuenciación de la detonación.

**Factores inherentes a la roca:** el macizo rocoso es un medio heterogéneo por definición. Así, existen parámetros que no se pueden controlar, pero que sí es imprescindible tener en cuenta, para la obtención de un rendimiento óptimo de voladura.

### 3.1.7. Programa de trabajo en perforación y voladura en carreteras

El Programa de trabajo, consiste en diseñar la malla de perforación y voladura teniendo en cuenta las variables que se muestra en el siguiente diagrama:

#### Variables Controlables

- ❖ Diámetro del taladro.
- ❖ Número de caras libres
- ❖ Configuración y tamaño de la voladura.
- ❖ Secuencia de iniciación
- ❖ Dirección de salida de la voladura.
- ❖ Sistema de iniciación
- ❖ Longitud de taladro
- ❖ Secuencia de retardos.
- ❖ Longitud de sobreperforación.
- ❖ Geometría de la carga
- ❖ Inclinação del taladro.
- ❖ Método de carguío
- ❖ Altura de banco/altura de corte.
- ❖ Tamaño de fragmentación
- ❖ Altura de taco.
- ❖ Malla
- ❖ Relación Burden/Espaciamiento.

#### Variables no controlables

- ❖ Geología
- ❖ Propiedades geomecánica del macizo rocoso
- ❖ Condiciones atmosféricas
- ❖ Presencia de agua
- ❖ Inclinação del talud.

3.1.8. Diagrama de flujo del proceso de voladura.

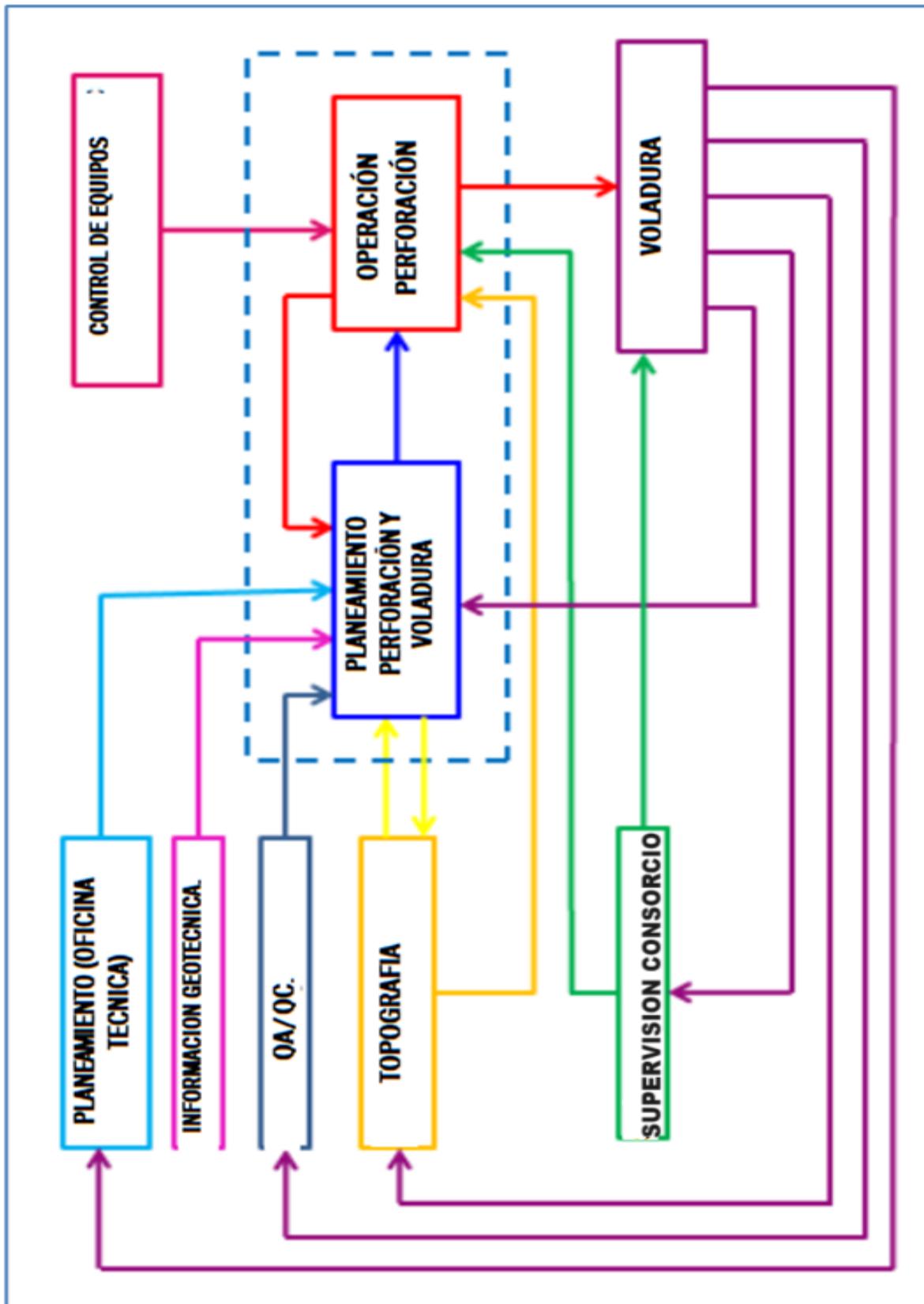
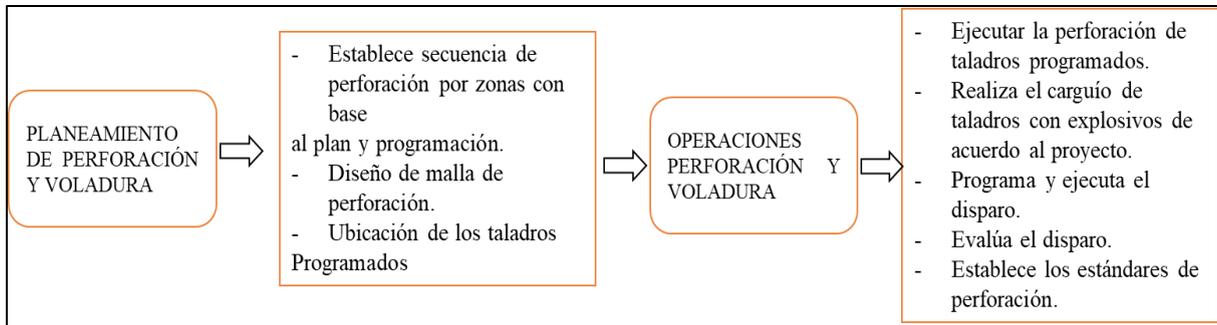


Figura 6: Diagrama de flujo del proceso de voladura. Fuente: Consorcio Vial Bambamarca.

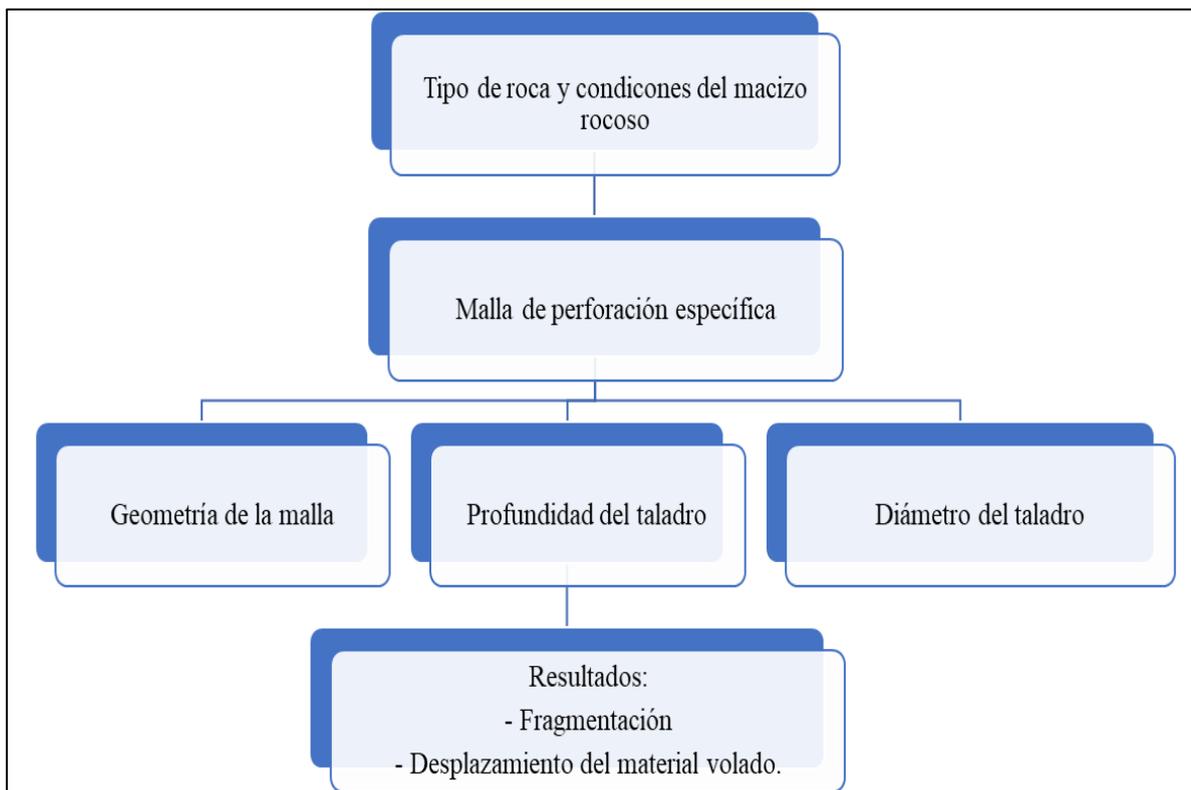
### 3.1.9. Responsabilidades del área de planeamiento de perforación y voladura.

Cuadro 4: Responsabilidades del area de planeamiento de perforación y voladura



### 3.1.10. Diagrama de perforación y voladura

Cuadro 5: Diagrama de perforacion y voladura



## 3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.2.1. Definición de Variables

En la investigación se han identificado las siguientes variables:

#### Variables Independientes

**Perforación en carreteras:** Operación mecánica que consiste en hacer taladros en el macizo rocoso a fin de generar el corte de talud o plataforma y con ello llegar al ancho de vía de acuerdo al expediente técnico.

**Voladura en carreteras:** Acción de fragmentar el macizo rocoso y con ello facilitar el transporte de material excedente hacia los DME (depósito de material excedente).

#### Variables dependientes

**optimización de costos:** mejores resultados óptimos en costos de perforación y voladura

Cuadro 6. variables de estudio del Proyecto de investigación.

| variable independiente   | variable dependiente                             |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"><li>• perforación en carretera</li><li>• voladura en carretera</li></ul> | optimización de costos en perforación y voladura |

### 3.2.2. Tipo, nivel, diseño y método de la investigación

#### ❖ Tipo de investigación

**Investigación aplicada:** Esta investigación por su naturaleza que presenta el problema y por tener propósitos prácticos inmediatos, ya que se aplicará los conocimientos teóricos a una determinada situación concreta y tener consecuencias prácticas que de ella se deriven.

#### ❖ Nivel de investigación

**Descriptiva:** Esto porque se va a describir las variables de estudio, costos, perforación y voladura

**Correlacional:** busca determinar cuál es la relación entre nuestras variables (perforación, voladura y sus costos unitarios)

❖ **Diseño de investigación**

no Experimental:

❖ **Método de investigación**

**Deductivo e Inductivo:** se observarán aspectos particulares para llegar a conclusiones generales que puedan ser aplicadas en la perforación y voladura en carreteras.

### **3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **3.3.1. Instrumentos de recolección de datos**

**Observación directa:** Para la recopilación de información de los trabajos en campo.

**Análisis documental:** Revisión de fuentes bibliográficas referidas al tema de investigación (libros, informes de tesis, revistas).

#### **3.3.2. Instrumentos de recolección de datos**

- ❖ Libreta y fichas de campo para anotaciones diaria
- ❖ Laptop: para el procesamiento y análisis de datos.
- ❖ Microsoft Word y Excel.
- ❖ Softwares mineros para voladura.
- ❖ Formatos de protocolos de voladura.

### **3.4. PROCEDIMIENTO.**

#### **3.4.1. Etapa de gabinete**

En esta etapa se realizó la planificación del trabajo basado en la revisión bibliográfica sobre el tema del proyecto en investigación.

#### **3.4.2. Etapa de campo**

A partir de la información recopilada se verificó y procedió a la recolección de datos de campo.

### **3.4.3. Etapa de gabinete**

A partir de la toma de datos en campo se procedió al análisis, depuración y procesamiento de la información, así como el diseño y su aplicación en campo.

### **3.4.4. Perforación en carreteras**

La perforación en carreteras, está dado, en material rocoso y también en bolones grandes, que no pueden ser transportados por los camiones(volquetes), en este proyecto de investigación se realiza la evaluación de perforación y voladura, por lo que se eligió la perforación con martillo manual neumático y con rockdrill.

La presencia, de roca suelta y roca fija hace que se emplee perforación y voladura de acuerdo a la planilla de metrados.

De acuerdo a la planilla de metrados que existe en todo el tramo II 4,033287.50 m<sup>3</sup> a realizar eliminación de corte (material suelto, roca suelta y roca fija), la perforación manual con RH, exclusivamente es en su gran mayoría, usado en bolonería (roca suelta). A continuación, se muestra el análisis de costos unitarios en roca suelta y roca fija.

Cuadro 7: Análisis de precios unitarios en movimiento de tierras (Excavación material suelto, roca suelta, roca fija) tramo II.

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS |  |  |               |                        |                 |                   |                    |           |
|-------------------------------|--|--|---------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|-----------|
| Presupuesto                   | 401003                                       | "CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PE-3N(BAMBAMARCA-PACCHA-CHIMBÁN-PION-L.D. CON AMAZONAS(EMP.AM-103 EL TRIUNFO))" |               |                        |                 |                   |                    |           |
| Subpresupuesto                | 003  | TRAMO II CONSTRUCCION (CHADIN-CHIMBAN-PION PUENTE SOBRE EL RÍO MARAÑÓN)  |               |                        |                 |                   | Fecha presuepuesto | 6/03/2017 |
| Partida                       | 02.02.01                                     | <b>(909701020190-04010003-01)*CORTE EN MATERIAL SUELTO</b>   |               |                        |                 |                   |                    |           |
| Rendimiento                   | m3/Día                                       | MO 600.000   | EQ. 600.0000  | Costo unitario por: m3 |                 |                   | <b>5.59</b>        |           |
| Codigo                        | Descripcion Recurso                          |  | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b>       | <b>Cantidad</b> | <b>Precio s/.</b> | <b>Parcial s/.</b> |           |
|                               | Mano de Obra                                 |  | hh            | 0.2000                 | 0.0027          | 24.21             | 0.07               |           |
| 0147010001                    | CAPATAZ                                      |  | hh            | 0.2000                 | 0.0027          | 15.12             | 0.04               |           |
| 1470110003                    | OFICIAL                                      |  | hh            | 0.2000                 | 0.0267          | 13.51             | 0.36               |           |
| 1470110004                    | PEON   |  |               |                        |                 |                   | <b>0.47</b>        |           |
|                               | Equipos                                      |  |               |                        |                 |                   |                    |           |
| 0337010001                    | HERRAMIENTAS MANUALES                        |  | %MO           |                        | 3.0000          | 0.47              | 1.40               |           |
| 0349040094                    | EXCAVADORA SOBRE ORUGAS 325HP 2-3.8 yd3      |  | hm            | 0.4000                 | 0.0053          | 430.57            | 2.28               |           |
| 0349040096                    | TRACTOR SOBRE ORUGAS DE 190-240 HP           |  | hm            | 0.6000                 | 0.0080          | 354.07            | 2.83               |           |
| Partida                       | 02.02.02                                     | <b>(909701020191-04010003-01)*CORTE EN ROCA SUELTA</b>   |               |                        |                 |                   |                    |           |
| Rendimiento                   | m3/Día                                       | MO 360.000   | EQ. 360.0000  | Costo unitario por: m3 |                 |                   | <b>12.90</b>       |           |
| Codigo                        | Descripcion Recurso                          |  | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b>       | <b>Cantidad</b> | <b>Precio s/.</b> | <b>Parcial s/.</b> |           |
| 909701020192                  | *EXCAVACIÓN, DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUDES |  | m3            |                        | 1.0000          | 6.84              | 6.84               |           |
| 909701020324                  | *PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA SUELTA        |  | m3            |                        | 1.0000          | 6.06              | 6.06               |           |
|                               |  |  |               |                        |                 |                   | <b>12.90</b>       |           |
| Partida                       | 02.02.03                                     | <b>(909701020193-04010003-01)*CORTE EN ROCA FIJA</b>   |               |                        |                 |                   |                    |           |
| Rendimiento                   | m3/Día                                       | MO 345.000   | EQ 345.0000   | Costo unitario por: m3 |                 |                   | <b>24.36</b>       |           |
| Codigo                        | Descripcion Recurso                          |  | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b>       | <b>Cantidad</b> | <b>Precio s/.</b> | <b>Parcial s/.</b> |           |
| 909701020194                  | *EXCAVACIÓN, DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUDES |  | m3            |                        | 1.0000          | 9.19              | 9.19               |           |
| 909701020325                  | *PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA SUELTA        |  | m3            |                        | 1.0000          | 15.17             | 15.17              |           |
|                               |  |  |               |                        |                 |                   | <b>24.36</b>       |           |

Fuente: Expediente técnico Bambamarca – Marañón (2012).

Como se observa, la partida de movimiento de tierras en costo de excavación en material suelto tiene un costo de s/.5.59; roca suelta s/. 12.90 y roca fija s/.24.36.

Los costos, en el que se va ejecutar con perforación y voladura se detalla en el siguiente cuadro.

Cuadro 8: Análisis de precios unitarios roca fija y roca suelta tramo II.

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS |  |  |             |           |                        |            |              |  |
|-------------------------------|--|--|-------------|-----------|------------------------|------------|--------------|--|
| Partida                       | 02.02.03                               | (909701020322-04010003-01)*PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA FIJA (R.FIJA/P) |             |           |                        |            |              |  |
| Rendimiento                   | m3/Día                                 | MO 400.000   | EQ 400.0000 |           | Costo unitario por: m3 |            | <b>15.95</b> |  |
| Codigo                        | Descripcion Recurso                    |  | Unidad      | Cuadrilla | Cantidad               | Precio s/. | Parcial s/.  |  |
|                               | <b>Mano de Obra</b>                    |  |             |           |                        |            |              |  |
| 0147010001                    | CAPATAZ                                |  | hh          | 0.2000    | 0.0040                 | 24.21      | 0.10         |  |
| 0147010003                    | OFICIAL                                |  | hh          | 4.0000    | 0.0800                 | 15.12      | 1.21         |  |
| 0147010004                    | OPERARIO                               |  | hh          | 4.0000    | 0.0800                 | 18.62      | 1.49         |  |
|                               |  |  |             |           |                        |            | <b>2.80</b>  |  |
|                               | <b>Materiales</b>                      |  |             |           |                        |            |              |  |
| 0227020013                    | FULMINANTE #6                          |  | m           |           | 1.0000                 | 0.63       | 0.63         |  |
| 0227020009                    | MECHA O GUIA RAPIDA                    |  | m           |           | 1.0000                 | 0.69       | 0.69         |  |
| 0227020023                    | DINAMITA AL 65%                        |  | kg          |           | 0.1600                 | 10.83      | 1.73         |  |
| 2270200097                    | BARENO 5"x7/8"                         |  | u           |           | 0.0170                 | 400.2      | 6.80         |  |
|                               |  |  |             |           |                        |            | <b>9.86</b>  |  |
|                               | <b>Equipos</b>                         |  |             |           |                        |            |              |  |
| 0337010001                    | HERRAMIENTAS MANUALES                  |  | %MO         |           | 3.0000                 | 2.80       | 0.84         |  |
| 0349010002                    | COMPRESORA NEUMATICA 250-330 CFM, 87HP |  | hm          | 1.0000    | 0.2000                 | 67.62      | 1.35         |  |
| 0349060006                    | MARTILLO NEUMATICO DE 29 KG            |  | hm          | 4.0000    | 0.8000                 | 23.30      | 1.86         |  |
|                               |  |  |             |           |                        |            | <b>3.30</b>  |  |
| Partida                       | 02.02.02                               | (909701020191-04010003-01)*CORTE EN ROCA SUELTA                          |             |           |                        |            |              |  |
| Rendimiento                   | m3/Día                                 | MO 5200.000  | EQ 520.0000 |           | Costo unitario por: m3 |            | <b>9.95</b>  |  |
| Codigo                        | Descripcion Recurso                    |  | Unidad      | Cuadrilla | Cantidad               | Precio s/. | Parcial s/.  |  |
|                               | <b>Mano de Obra</b>                    |  |             |           |                        |            |              |  |
| 0147010001                    | CAPATAZ                                |  | hh          | 0.2000    | 0.0031                 | 24.21      | 0.08         |  |
| 0147010023                    | CONTROLADOR OFICIAL                    |  | hh          | 1.0000    | 0.0154                 | 15.12      | 0.23         |  |
| 0147010025                    | PERFORISTA OFICIAL                     |  | hh          | 4.0000    | 0.0615                 | 15.12      | 0.93         |  |
| 0147010004                    | PEON                                   |  | hh          | 8.0000    | 0.1231                 | 13.51      | 1.66         |  |
|                               |  |  |             |           |                        |            | <b>2.90</b>  |  |
|                               | <b>Materiales</b>                      |  |             |           |                        |            |              |  |
| 0227020008                    | GUIA LENTA                             |  | m           |           | 0.6500                 | 0.69       | 0.45         |  |
| 0227020023                    | DINAMITA AL 65%                        |  | kg          |           | 0.1400                 | 10.83      | 1.52         |  |
| 2270200097                    | BARENO 5"x7/8"                         |  | u           |           | 0.0063                 | 400.2      | 2.52         |  |
|                               |  |  |             |           |                        |            | <b>4.49</b>  |  |
|                               | <b>Equipos</b>                         |  |             |           |                        |            |              |  |
| 0337010001                    | HERRAMIENTAS MANUALES                  |  | %MO         |           | 3.0000                 | 2.90       | 0.09         |  |
| 0349010002                    | COMPRESORA NEUMATICA 250-330 CFM, 87HP |  | hm          | 1.0000    | 0.0154                 | 67.62      | 1.04         |  |
| 0349060006                    | MARTILLO NEUMATICO DE 29 KG            |  | hm          | 4.0000    | 0.0615                 | 23.30      | 1.43         |  |
|                               |  |  |             |           |                        |            | <b>2.56</b>  |  |

Fuente: Expediente técnico. Bambamarca – Marañón (2012).

Según, el expediente técnico como se observa en su análisis de precios unitarios, considera compresora 250-330 pcm para martillos neumaticos, mas no para equipo hidráulico (rockdrill).

#### 3.4.4.1. Perforación con Martillos neumáticos manual

Esta perforación, es realizada con los martillos neumaticos manuales RH, usados en boloneria y corte de talud, para esta perforación se hace uso de los siguientes materiales y/o herramientas.

- Compresora de aire de 180cfm,250cfm,350 cfm, etc.

- Martillos neumáticos RH u otro modelo.
- Mangueras de aire de  $\frac{3}{4}$  pulg de polietileno.
- Epp adecuado para el personal
- Barrenos de 3 pies, 5pies, 8pies,10 pies, etc.
- Brocas cónicas de 38mm.
- Barrenos integrales y/o barrenos cónicos

### **Perforación con martillos neumáticos en bolonería**

- No existe, una fórmula empírica que identifique la cantidad de taladros en cada roca (bolón), debido a su forma irregular, se aplica la experiencia del maestro perforista.
- La longitud de taladro va desde 3 pies hasta 10 pies perforados, dependiendo del tamaño de bloque de roca a fragmentar.
- El diámetro de taladro es de 1.5 pulgadas.
- A mayor cantidad de taladros perforados en cada bolón de roca, permitirá mejor controlar el carguío.



Figura 7: Perforación de bolones de roca con martillo neumático RH.

#### **Perforación con martillos neumáticos en corte de talúd.**

- En carreteras, es importante la perforación con martillos RH, debido a que, las secciones de corte en talud superior no tienen el ancho necesario como para ingresar un equipo mecanizado.
- Se realiza perforación vertical, con los primeros disparos se genera plataforma y a partir de ello, se continúa con el corte con martillos o ya con equipo mecanizado.



figura 8: Inicio de la perforacion de corte de talud hasta tener un ancho operativo para el rockdrill.

- Generalmente, el personal ejecuta la perforación con arnés y línea de vida, anclados a un punto fijo.
- Se observa, en la figura anterior que las primeras detonaciones sirvieron para generar una plataforma, posteriormente seguir ejecutando el corte, de acuerdo a las secciones de corte remarcadas en campo por topografía.
- Logrado, la formación de plataforma con los primeros disparos ya se puede realizar el diseño de malla a perforar.



Figura 9: Perforación con martillos neumáticos RH en corte de talúd.

### **Diseño de mallas para perforación con martillos Neumáticos RH**

Una vez, generado plataforma durante los primeros cortes de sección de acuerdo a topografía y aun cuando el ancho operativo para el ingreso de un equipo mecánico no es lo suficiente se realiza, el diseño adecuado en forma triangular para la mejor fragmentación de roca.

El diseño propuesto con martillos neumaticos RH se adjunta a continuación, basándose en el método de Konya.

$$B = 3.15 * \phi e * \sqrt[3]{\frac{\rho e}{\rho r}}$$

Tabla 2: Parámetros de diseño de perforacion propuesto para martillo manuales RH.

| PARÁMETROS                   | SÍMBOLO  | VALOR | UND.MEDIDA        |
|------------------------------|----------|-------|-------------------|
| Altura de banco              | H        | 3.50  | M                 |
| Densidad de la roca          | $\rho_r$ | 2.80  | g/cm <sup>3</sup> |
| Factor: burden/espaciamiento | EV       | 0.50  |                   |
| Densidad del explosivo       | P        | 0.80  | g/cm <sup>3</sup> |
| Diámetro del explosivo       | $\phi_e$ | 1.00  | Pulg              |
| Burden                       | B        | 2.07  | M                 |
| Espaciamiento                | S        | 1.04  | M                 |
| Sobreperforación             | J        | 0.50  | M                 |

A continuación, se muestra el diseño propuesto para la perforación con martillos neumáticos RH.

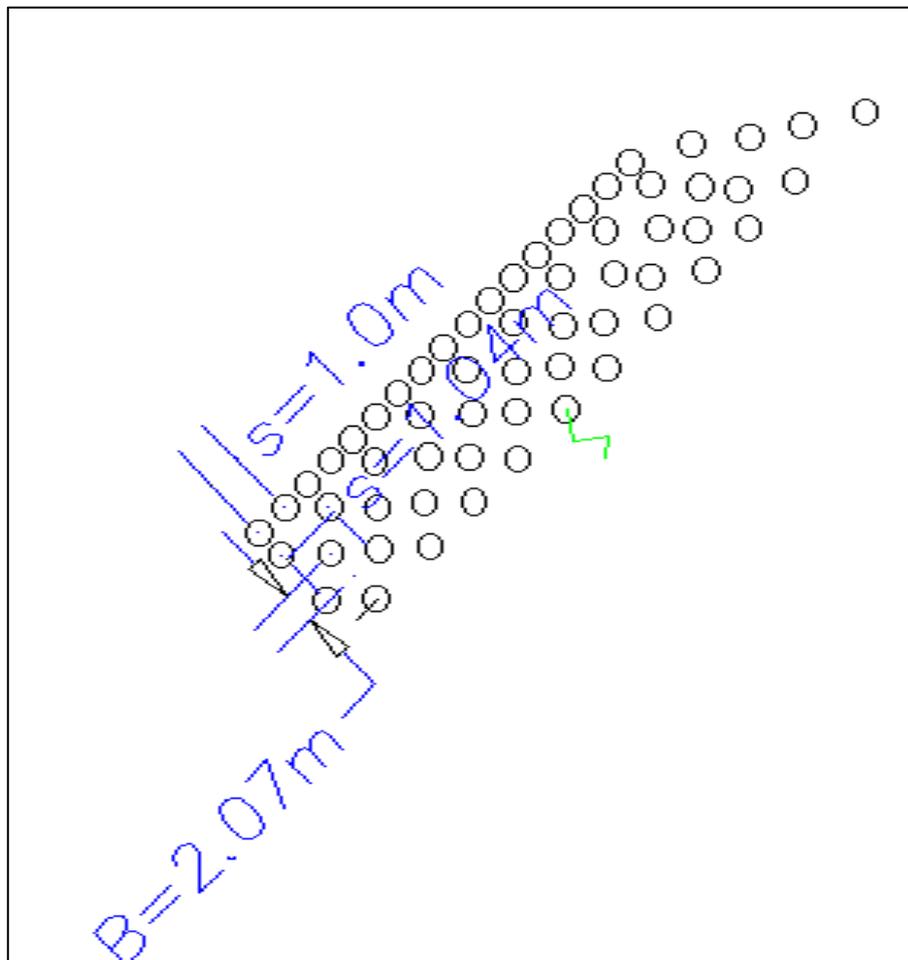


Figura 10: Diseño de malla propuesto para martillos neumáticos RH.

Es evidente, que con la perforación con martillos neumáticos manuales, se realizará un considerable número de taladros para tener una voladura eficiente, además de ello, el avance

de perforación en los taladros de precorte, el tiempo de perforación es considerable, debido a la inclinación del corte de talud indicado por el area de topografía y planeamiento. El diseño propuesto es lo óptimo para realizar el corte de talud en roca empleando la perforación manual.

Con martillos neumaticos manuales RH, la perforación optima se realizó hasta 10 pies de longitud a condiciones normales. Es importante, mencionar que, el cuidado del talud durante la voladura.



Figura 11: Talúd después de la voladura con martillos neumaticos. Carretera Bambamarca – Marañón.km86+250

Como se observa en la fig.10 realizado la voladura con martillos neumaticos RH, en el km86+250, se nota el precorte, lo cual da una estabilidad en el talud, para continuar con la siguiente perforación hasta llegar al nivel de plataforma, de acuerdo al trazo.

#### **3.4.4.2. Perforación con equipo mecanizado (Rockdrill).**

Perforadora hidráulica- Furukawa HCR 1200 para perforación de taladros verticales e inclinados según el diseño de malla en trochados y plataformas.

La topografía se encargará del levantamiento y el área a realizar la perforación. Al instalarse a perforar en áreas estrechas considerar riesgos en altura. Si hay bolones u otro tipo

de material que pudiera desplazarse durante la tarea de perforación o traslado, solicitar asistencia al coordinador o supervisor.

### **Perforación en bolones de rocas con equipo hidráulico (rockdrill).**

Antes de perforar un bolón, esta deberá contar con espacio suficiente para ejecutar movimientos sin riesgo alguno. Previo a perforar un bolón, verificar la estabilidad del bolón y de la máquina, no perforar un bolón si se manifiesta inestable (Que pueda volcarse).

Al momento de realizar la perforación verificar el tamaño de bolón de roca, esto conlleva a definir el número de taladros a realizar con el objetivo de fragmentar dicho bolón de roca, así como también la longitud de taladro, la longitud de taladros, así como numero de taladros dependerá del tamaño del bloque y su ubicación.

### **Perforación en apertura con rockdrill**

En apertura la perforación con rockdrill consiste en realizar taladros inclinados con el objetivo de avanzar horizontalmente, dejando plataforma para que posteriormente se realice la perforación vertical por bancos. Esta perforación se debe realizar con bastante seguridad, ya que se tiene que verificar el ancho para que ingrese el rockdrill. Tal como se muestra en la figura.

Posteriormente a ello ingresa el equipo de limpieza(excavadora) realizando una eliminación lateral o destinado hacia uno de los DME aprobado por el supervisor, una vez realizado dicha limpieza nuevamente se ingresa a realizar la perforación, de esta manera se viene dando el ciclo en apertura con perforación y voladura de manera continua.

En cuanto al diseño de malla, se realiza una vez realizado la limpieza, básicamente va a depender del material rocoso que se presente conforme se avanza dicha apertura.



Figura 12: Perforación con Rockdrill en corte de talud (avance con perforación frontal). Carretera Bambamarca- Marañón.

### **Perforación en bancos con rockdrill.**

Esta perforación se realiza de forma vertical mediante taladros largos que varían desde una barra a más dependiendo de la geología que se presente, el tipo de roca. Para ello es importante el diseño de malla, el número de taladros, los aceros de perforación, lubricantes, etc. Esta perforación es la que permite en su mayor avance, mayor producción, sin embargo, en carreteras, es muy importante el cuidado del talud a ello se tiene que aplicar las técnicas de una voladura controlada.



Figura 13: Perforación con equipo hidráulico vertical. Carretera Bambamarca- Marañón.

### **Diseño de malla para equipo rockdrill**

Empleando el equipo hidráulico Rockdrill, el diseño de malla más conveniente es triangular, además; es importante la perforación del precorte, con el objetivo de generar estabilidad del talud.

El diseño propuesto para perforación con rockdrill se adjunta a continuación, basándose en el método de Langerfors.

$$B = \frac{D}{35.6} * \sqrt{\frac{P * WRS}{C * F * EV}}$$

Con los parámetros obtenidos en campo se empezó a diseñar la malla de perforación.

Tabla 3: Parámetros de diseño propuesto para equipo Hidráulico.

| PARÁMETROS                      | SÍMBOLO  | VALOR  | UND. MEDIDA       |
|---------------------------------|----------|--------|-------------------|
| Altura del banco                | H        | 10.00  | m                 |
| Densidad de la roca             | $\rho_r$ | 2.60   | t/m <sup>3</sup>  |
| Constante de roca               | C        | 0.42   |                   |
| Factor de fijación              | F        | 0.85   |                   |
| FACTOR:<br>Espaciamiento/Burden | EV       | 1.15   |                   |
| Densidad del explosivo          | P        | 0.80   | g/cm <sup>3</sup> |
| Potencia relativa en peso       | WRS      | 100.00 | cal/g             |
| Diámetro de perforación         | De       | 63.50  | mm                |

Encontramos el valor de C (constante de la roca)

$$C = \frac{\rho_r - 1.29}{3.5} + 0.05$$

$$C = \frac{2.60 - 1.29}{3.5} + 0.05$$

$$C = 0.4242$$

- Encontramos el valor del burden: B

$$B = \frac{D}{35.6} * \sqrt{\frac{P * WRS}{C * F * EV}}$$

$$B = \frac{63.5}{35.6} * \sqrt{\frac{0.80 * 100}{0.42 * 0.85 * 1.15}}$$

$$B = 2.48m$$

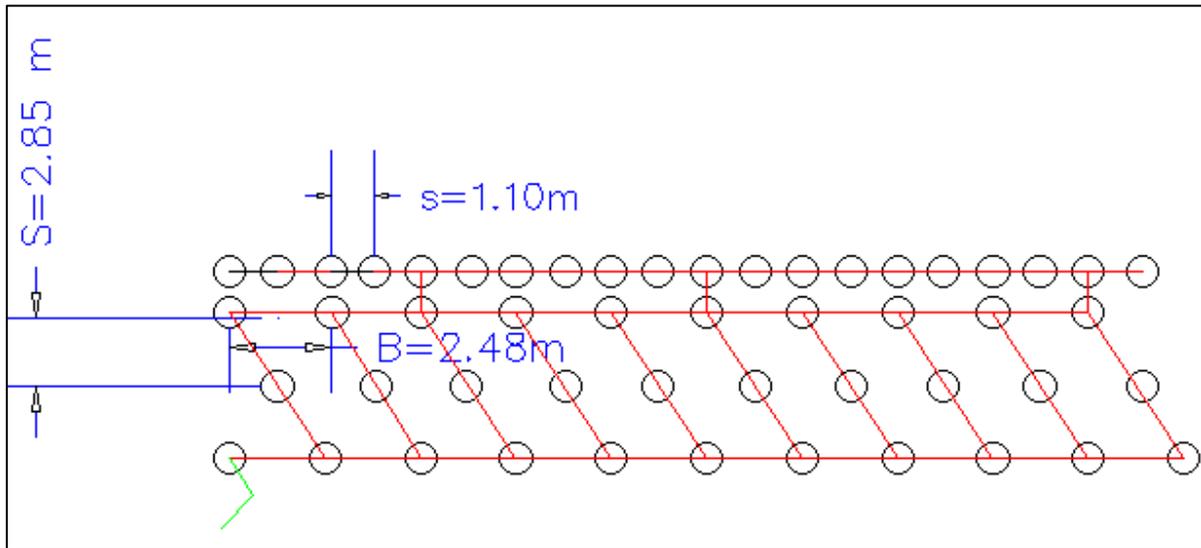
- Encontramos el valor del Espaciamiento: S

$$EV = \frac{S}{B}$$

$$1.15 = \frac{S}{2.48}$$

$$S = 2.85 \text{ m}$$

Figura 14: Diseño de la malla de perforación propuesto con equipo rockdrill.



En cuanto, a los taladros de precorte se propuso 1.10 m de espaciamiento y con un ángulo de inclinación  $70^\circ$  con el objetivo de generar estabilidad al talud.

### 3.4.5. Voladura en carreteras

La voladura en carreteras se realiza con el objetivo de fragmentar la roca y con ello hacer posible su eliminación hacia los DME autorizados, sin embargo, se tiene que tener en cuenta algunos factores como cuidar el talud, el tema social en la afectación, etc.

#### 3.4.5.1. Carguío de Taladros con explosivos

En carreteras el uso de explosivos es tan importante como en toda operación de voladura, es por ello, que estas operaciones serán ejecutadas exclusivamente por personal que posea licencia de manipulador de explosivos otorgado por la SUCAMEC.

#### Preparación de Cebos (primado):

- Los cebos se preparan obligatoriamente después de terminada la perforación y su número no debe ser mayor a los necesarios del número de taladros perforados
- Coloque el cordón detonante o el fulminante (en caso de ser usado) siempre a lo largo del cartucho.

- No se deben rajar los cartuchos de explosivos. Para primarlos se harán los agujeros necesarios usando un punzón de cobre, bronce o madera, nunca con un clavo.
- No usar material que se encuentre defectuoso, en caso del anfo; que no esté mojado.
- Colocar el cordón detonante completamente dentro del iniciador, fijándolo en esa posición para eliminar toda posibilidad de que se suelte, tener cuidado con el cordón detonante los posibles cortes o chancones al momento de realizar el taqueo.
- Coloque sus herramientas en un lugar protegido y alejado del disparo a unos 300 m.
- Se prohíbe preparar cebos en los polvorines.
- Se baja el cebo en el taladro de Voladura (antes de cargar con explosivos) hasta tocar el fondo del taladro y se levanta el cebo por una distancia de un (0.2) metro. Esto asegura un buen contacto con el explosivo y el iniciador (cuando se carga el taladro) quedando el cebo separado de la masa de polvo y desechos que pudieran encontrarse en el fondo del taladro.
- A medida que el cebo baje en el taladro los manipuladores deben guiar los tubos o cordón, evitando que se enreden o corten.
- Fijar los extremos del cordón detonante (de un metro de largo) a una piedra para evitar

#### **Carguío de Taladros de Voladura:**

Se implementará un contenedor de madera liviano revestido con pintura ignífuga de color claro y con tapa para el almacenamiento provisional, en campo, principalmente de los accesorios mientras se realice la operación de carguío de taladros.

El área debe estar despejada de máquinas, equipos y personas ajenas a esta operación. Se revisará la condición de cada taladro (Cinta métrica - wincha), los cuales serán registrados para tener un control los siguientes parámetros:

- Profundidad del taladro.

- Buscar la presencia de agua y su profundidad, en tal caso se cargará utilizando mangas de plástico.
- Los taladros que presentan vacíos se identifican porque la wincha marca una profundidad mayor a la que pide el corte o porque el cebo no queda en la columna explosiva, en este caso se igualará los taladros hasta la profundidad deseada. Se señalarán estos taladros, luego se cebará y cargará en manga con la cantidad de explosivo del diseño, posteriormente se dejará caer la manga lentamente hasta que llegue al fondo, básicamente estos taladros vacíos se presentan en roca fracturada.
- Detectar cualquier evidencia de condición anormal.
- Limpiar el collar de los taladros, introducir dentro del taladro el atacador de madera para constatar trozos sueltos de roca que dificulten la carga.
- Rellenar el taladro a la profundidad especificada que se pueden caer dentro del taladro.
- Tratándose de taladros cargados con emulsión, los cebos deben ser cargados con pesas para impedir que floten siempre y cuando exista la presencia de agua.
- Si existe la presencia de agua en el taladro se recomienda usar solo emulsión sin anfo o de ser necesario usar mangas lo cual impide el material explosivo haga contacto con el agua o humedad.
- En taladros inclinados para que el material explosivo llegue al fondo del taladro el carguío debe ser realizado mediante mangas adecuadas de acuerdo al diámetro del taladro perforado.
- El taqueo debe ser realizado con bastante precaución sin realizar ningún choque con el Cordón detonante, ya que evitaremos de esa manera los tiros cortados.
- El material para el taqueo debe ser seleccionado con el fin de tener mayor compactación con ello evitar los tiros soplados.

### **3.4.5.2. Preparación para el disparo**

Con 24 horas de anticipación se solicitará el permiso de voladura a la Supervisión de Obra, a quien alcanzaremos el protocolo de voladura correspondiente incluyendo el diseño de malla perforación - voladura y el plano de ubicación de la zona de voladura donde se mostrará el radio de influencia tanto para equipos (300mt.) como para personal (500mt.), en el que a su vez se indicará la cantidad y ubicación de vigías para cerrar la zona de influencia de la voladura. El horario de disparo durante los 07 días de la semana será en el Turno día desde las 07:00am. hasta 17:00pm. por lo que se realizarán aproximadamente de 03 a 04 voladuras diarias de ser necesario; este horario estará sujeto a variaciones dependiendo a factores como (aspectos geológicos de la roca, condiciones del clima, condiciones del terreno, condiciones de diseño y disponibilidad de equipos). La modificación de este horario se realizará con la coordinación y autorización de la supervisión de Obra, la Residencia de Obra y el área de Seguridad y Medio Ambiente.

- Una vez concluida la perforación del frente a volar, se retirará los equipos de perforación hasta lugares seguros (fuera del área perforada) que a su vez estará debidamente demarcada y señalizada con cinta de color rojo y letreros.
- Estando despejada el área de voladura de cualquier equipo, se podrá iniciar la operación de carguío de taladros con los explosivos.
- Se retirará los explosivos del polvorín y se transportaran hasta el frente de voladura, que estará bien delimitado, para evitar ingreso de equipos y personal ajenos a esta operación.
- Solo personal necesario y autorizado, por la SUCAMEC, preparará los cebos o iniciadores en el “frente de voladura” que estará señalizada con cinta roja.
- Se introducirán los cebos en los taladros y luego el ANFO que será cargado usando medidores para una correcta dosificación.

- Los vigías, contarán con una radio portátil con la frecuencia de operaciones de todo del proyecto.
- El área correspondiente a los taladros cargados con explosivos será delimitada con cinta roja y carteles indicando la presencia de taladros con explosivos, además por ningún motivo serán abandonados, y en caso que el personal de voladura tuviese que salir se dejará un vigía capacitado y acreditado por la SUCAMEC, para impedir el acercamiento de cualquier persona.
- Se realizará el retacado con ripio o material fino y para ello se utilizará atacadores de madera.
- El retacado tiene que ser bien realizado de tal manera de no tener tiros sopladados o fallidos.
- Luego se realizará el enmallado con cordón detonante, y se colocarán los conectores de superficie entre filas (Retardados de superficie).
- Inmediatamente antes del disparo, previa autorización se colocará el iniciador.
- Después de la confirmación de cierre de vías por cada uno de los vigías y de la verificación del área despejada dentro del radio de influencia (con camioneta y sirena), se dará inicio al disparo.
- El personal de disparo se alejará del área de influencia en una camioneta previamente encendida y enganchada en primera, listo para iniciar la marcha.
- Cinco minutos después de la voladura, personal de chispeo, realizará la inspección ocular del disparo para verificar que todos los taladros hayan salido. En el caso de existir algún tiro cortado, se informará a la supervisión y se actuará de acuerdo al reglamento de seguridad.

- Concluida la operación de voladura se comunicará al jefe de guardia para el reinicio de las operaciones y se retirará a los vigías de los puestos liberando el área de influencia.

#### **3.4.6. Voladura controlada en carreteras**

La voladura controlada en carreteras se realiza con el fin de cuidar el talud, existen taludes de más de 20m de altura, del mismo modo es usado para controlar el flay rock que esto trae un problema social con los cultivos, casas. Que se encuentran aledañas al acceso que se ejecuta un proyecto.

La voladura controlada también se realizará con el fin de no dañar a infraestructura cercana a la zona de trabajo (cables Eléctricos, postes, campamentos, equipos). El control de las proyecciones y vibraciones sísmicas serán con el diseño de voladura.

Se deberán usar cargas operantes bajas (detonación taladro por taladro), y factores de carga mínimos (0.20 kg/m<sup>3</sup>).

#### **3.4.7. Medidas en tiros cortados y/o tiros fallados**

- Si alguno reportara problemas de taladros o mallas cortadas (no detonadas), se evaluará de inmediato la posibilidad de volver a iniciarlos, avisando a los vigías que continúen manteniendo cerrado los accesos; de no ser factible se procederá a abrir el pase desamarrando toda la malla de voladura, colocando cinta roja y letreros de advertencia (peligro no pasar), para posteriormente iniciarlos.
- Cualquiera sea el caso, los encargados de la verificación inicial del área o áreas disparadas, una vez abierto el pase deben revisar nuevamente los mismos más detalladamente con el fin de descartar definitivamente cualquier inconveniente.
- Señalar con cinta roja el lugar donde se encuentren los tiros cortados; es responsabilidad del supervisor de Voladura, retirar al personal no vinculado a este trabajo.

- Para desactivar los tiros cortados se utilizará chorros de agua, para anular el ANFO y poder retirar el cebo del fondo de columna y de no ser posible se volverá a iniciarlos para dispararlos nuevamente, previa evaluación por parte del supervisor de voladura.
- Buscar restos de explosivos y recogerlos para eliminarlos posteriormente.
- Cuando se sospeche la presencia de un tiro fallado, se comunicará a los operadores para paralizar los trabajos realizados por los equipos, el supervisor de voladura revisara para descartar la presencia o no de tiros cortados, colocando vigías.

### 3.4.8. Parámetros y diseño de carga

Los parámetros usados en el diseño de carga se muestran a continuación, aplicando la fórmula de Langefors, basados tanto en una perforación con martillos neumaticos manual y en una perforación con rockdrill.

En cuanto a los explosivos utilizados, se describe a continuación.

Tabla 4: Explosivos empleados en el diseño de voladura

| ÍTEMS                               | UNIDAD | PU      |
|-------------------------------------|--------|---------|
| Anfo - rioxam                       | kg     | \$ 1.45 |
| Hidrogel 1" x 8" - Riogel Troner R3 | kg     | \$ 2.60 |
| Cordón detonante 3p                 | m      | \$ 0.21 |
| Fulminante Común # 8-45mm           | und    | \$ 0.20 |
| Mecha de seguridad blanca           | m      | \$ 0.20 |
| Retardo 25 ms                       | und    | \$ 2.33 |
| Retardo 42 ms                       | und    | \$ 2.33 |

Fuente: Oficina Técnica Superconcreto del Perú SAC. (2024).

#### 3.4.8.1. Diseño de carga para taladros perforados con martillos RH.

Realizado el diseño de malla para perforación con martillos neumaticos RH, se propuso el siguiente diseño para el carguío de taladros.

Tabla 5: Diseño propuesto en el carguío de taladros con martillos neumaticos RH

| <b>PARÁMETROS PARA DISEÑO</b>        | <b>SÍMBOLO</b> | <b>VALOR</b> | <b>UND.MEDIDA</b> |
|--------------------------------------|----------------|--------------|-------------------|
| Burden                               | B              | 2.07         | m                 |
| Espaciamiento                        | S              | 1.04         | m                 |
| Sobreperforación                     | J              | 0.50         | m                 |
| Taco                                 | T              | 0.91         | m                 |
| Longitud efectiva de perforación     | L              | 3.04         | m                 |
| Volumen arrancado                    | Vr             | 7.84         | m <sup>3</sup>    |
| Rendimiento de la perforación        | Rp             | 2.58         | m <sup>3</sup> /m |
| Concentración de la carga de columna | Qcc            | 1.35         | kg/m              |
| Longitud de carga de columna         | Hp             | 2.12         | m                 |
| Carga de columna                     | Qp             | 2.87         | kg                |
| Concentración de carga Fondo         | Qcf            | 2.70         | kg/m              |
| Longitud de carga fondo              | Lcf            | 0.69         | m                 |
| Carga de fondo                       | Qf             | 1.87         | kg                |
| Factor de carga                      | FC             | 0.60         | kg/m <sup>3</sup> |
| Factor de potencia                   | FP             | 0.22         | kg/tn             |

A continuación, se muestra en la figura siguiente el diseño que se propuso para el carguío de taladros con martillos neumaticos RH.

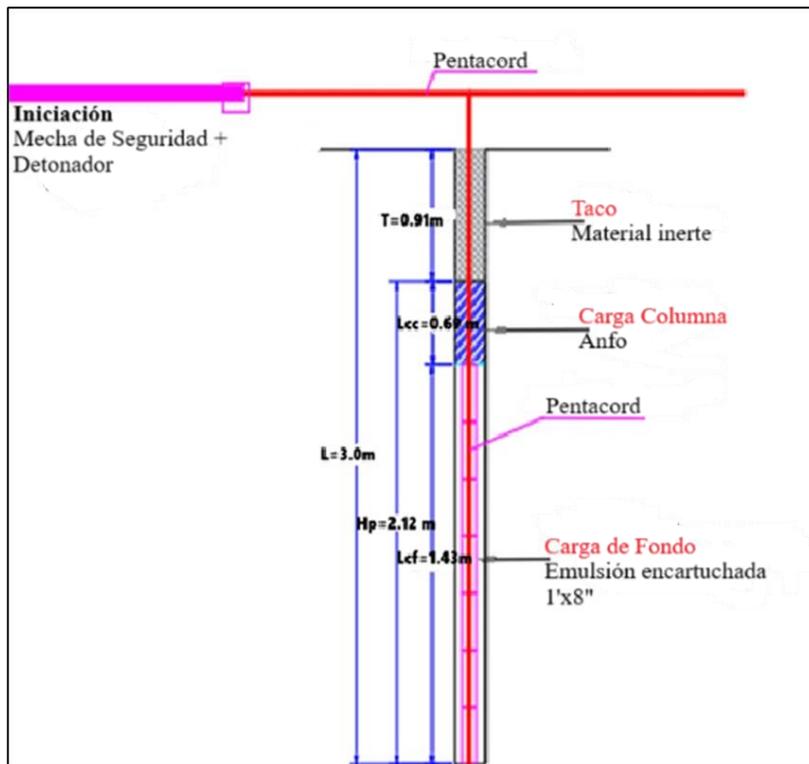


Figura 15: Diseño de carguío de taladros con martillos neumáticos RH

### 3.4.8.2. Diseño de cargas para taladros perforados con rockdrill.

Después de la perforación y con los parámetros obtenidos se realiza el diseño de carguío de taladros basados en el método de langerfors. En la tabla 8, se muestra los datos con los que se realizará el carguío.

Tabla 6: Parámetros de perforación propuestos con rockdrill

| PARÁMETROS DE PERFORACIÓN |                |        |                   |
|---------------------------|----------------|--------|-------------------|
| Altura del banco          | H              | 10.00  | M                 |
| Densidad de la roca       | $\rho_r$       | 2.60   | t/m <sup>3</sup>  |
| Constante de roca         | C              | 0.42   |                   |
| Factor de fijación        | F              | 0.85   |                   |
| FACTOR:                   | EV             | 1.15   |                   |
| Espaciamiento/Burden      |                |        |                   |
| Densidad del explosivo    | P              | 0.80   | g/cm <sup>3</sup> |
| Potencia relativa en peso | WRS            | 100.00 | cal/g             |
| Diametro de perforación   | D <sub>e</sub> | 63.50  | Mm                |
| <b>Burden</b>             | B              | 2.48   | M                 |
| <b>Espaciamiento</b>      | S              | 2.85   | M                 |
| Sobreperforación          | J              | 0.50   | M                 |

Con estos parámetros, encontramos el diseño de todos los taladros de producción.

**Taco: T (m)**

$$T = B$$

$$T = 2.48 \text{ m}$$

**Concentración de carga de carga de fondo: Qbk (kg/m)**

$$Qbk = P * \left(\frac{D}{36}\right)^2$$

$$Qbk = 0.80 * \left(\frac{63.5}{36}\right)^2$$

$$Qbk = 2.49 \text{ kg/m}$$

**Longitud de carga de fondo: Hb (m)**

$$Hb = 1.3 * B$$

$$Hb = 1.3 * 2.48$$

$$Hb = 3.22 \text{ m}$$

**Concentracion de la carga columna: Qpk (kg/m)**

$$Qpk = 0.5 * Qbk$$

$$Qpk = 0.5 * 2.49$$

$$Qpk = 1.24 \text{ kg/m}$$

**Longitud de la carga columna: Hp (m)**

$$Hp = L - (T + Hb) \dots (L = \text{Long. efectiva de perforación})$$

$$Hp = 10.07 - (2.48 + 3.22)$$

$$Hp = 4.38 \text{ m}$$

**Carga de fondo: Qb (kg)**

$$Qb = Hb * Qbk$$

$$Qb = 3.22 * 2.49$$

$$Qb = 8.02 \text{ kg}$$

**Carga de columna: Qp (kg)**

$$Qp = Hp * Qpk.$$

$$Qp = 4.38 * 1.24.$$

$$Qp = 5.45 \text{ kg}$$

En resumen, se adjunta en el cuadro 9, donde muestra los parámetros, de diseño de carga para cada taladro perforado de producción.

Cuadro 9: Resumen del diseño de perforacion y voladura con equipo Rockdrill

| <u>LANGFORS</u>                            |              | $B_{max} = \frac{D}{35.6} * \sqrt[2]{\frac{P * WRS}{C * F * EV}}$ |       |
|--|--------------|---|-------|
| $C = \frac{\partial_r - 1.29}{3.5} + 0.05$ |              |   |       |
| Altura del banco                           | H            | 10.00   | M     |
| Densidad de la roca                        | $\partial_r$ | 2.60  | t/m3  |
| Constante de roca                          | C            | 0.42  |       |
| Factor de fijación                         | F            | 0.85  |       |
| FACTOR: Espaciamento/Burden                | EV           | 1.15  |       |
| Densidad del explosivo                     | P            | 0.80  | g/cm3 |
| Potencia relativa en peso                  | WRS          | 100.00  | cal/g |
| Diametro de perforación                    | De           | 63.50   | Mm    |
| Burden                                     | B            | 2.48  | M     |
| Espaciamento                               | S            | 2.85  | M     |
| Sobreperforación                           | J            | 0.50  | M     |
| Taco                                       | T            | 2.48  | M     |
| Longitud efectiva de perforación           | L            | 10.07   | M     |
| Volumen arrancado                          | Vr           | 63.99   | m3    |
| Rendimiento de la perforación              | Rp           | 6.35  | m3/m  |
| Concentración de la carga de columna       | Qpk          | 1.24  | kg/m  |
| Longitud de carga de columna               | Hp           | 4.38  | M     |
| Carga de columna                           | Qp           | 5.45  | Kg    |
| Concentración de carga Fondo               | Qbk          | 2.49  | kg/m  |
| Longitud de carga fondo                    | Hb           | 3.22  | M     |
| Carga de fondo                             | Qb           | 8.02  | Kg    |
| Factor de carga                            | FC           | 0.21  | kg/m3 |
| Factor de potencia                         | FP           | 0.08  | kg/tn |

En el cuadro anterior, podemos observar el factor de carga y el factor de potencia, dos parámetros importantes en voladura.

A continuación, se muestra el diseño de carga de un taladro de producción, empleando el equipo hidráulico rockdrill.

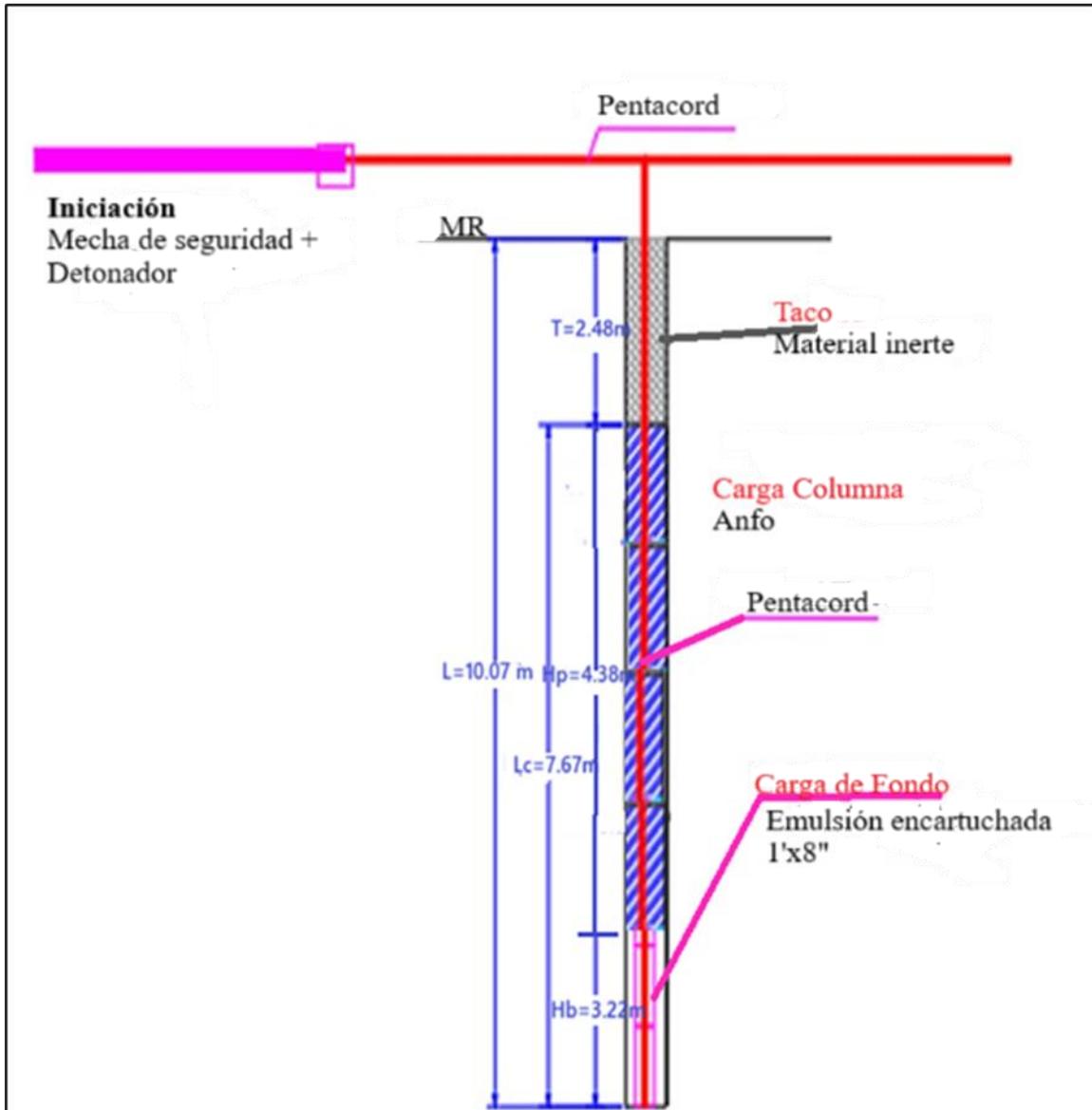


Figura 16: Diseño del taladro propuesto con equipo Rockdrill.



Figura 17: Zona antes del corte de talud en roca fija, donde muestra el trazo.

En la figura anterior, se muestra la zona señalada donde se empleará la perforación y voladura, haciendo uso del equipo hidráulico, el tipo de roca encontrada en este sector es la roca caliza, es una zona abrupta y accidentada con una pendiente bastante empinada.

El equipo usado para este trabajo es el rockdrill, iniciando en primera parte el avance mediante frontoneo, a medida que se realiza el avance se genera ancho de plataforma para poder realizar la perforación vertical(banqueo).



Figura 18: Zona de acceso después del empleo de perforación y voladura. Carretera Bambamarca – Marañón.

Como se muestra en la figura 17, el corte se realizó con el equipo rockdrill, mediante perforación y voladura dejando un talud estable de 25m de altura promedio

#### **Diseño de taladros de Precorte.**

En cuanto a los taladros de precorte, el diseño de carga es de una manera desacoplada "tipo rosario"

Los taladros de precorte se propuso que no se coloque taco, con el objetivo de cuidar el talud y posteriormente evitar un posible derrumbe. El espaciamiento de emulsion esta entre 60 y 70 cm.

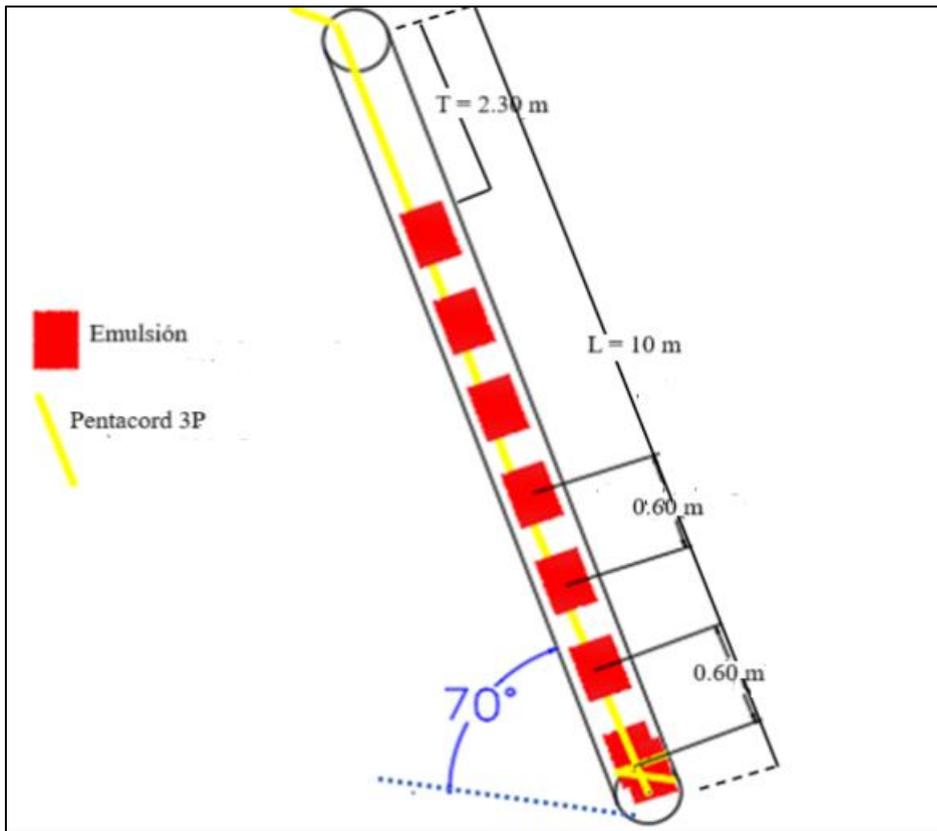


Figura 19: Diseño propuesto en el precorte con equipo hidráulico rockdrill.

En este diseño la distribución de cargas, son espaciadas cada 0.50m, dejando como taco libre 2.30m, en este diseño no se emplea Anfo, principalmente con el objetivo de estabilizar el talud.



Figura 20: Talud después de la voladura aplicando el precorte con equipo hidráulico. Carretera Bambamarca-Marañón.

En la figura.20 se observa la estabilidad de talud que se genera después de la voladura aplicando precorte, dejando un talud estable para continuar con la siguiente voladura en banco, hasta llegar el nivel de plataforma de acuerdo al diseño.

**CAPÍTULO IV  
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

**4.1. ANÁLISIS DE LOS COSTOS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA.**

**4.1.1. De acuerdo al expediente técnico.**

La perforación y voladura en carreteras, se encuentra dentro de la partida de Corte en **Roca fija** y en **Roca suelta**, siendo exclusivamente su empleo a detalle en roca fija.

Cuadro 10: Costos de perforacion y voladura en corte de roca fija.

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS |  |  |             |                        |            |             |              |
|-------------------------------|--|--|-------------|------------------------|------------|-------------|--------------|
| Partida                       | 02.02.03                               | (909701020322-04010003-01)*PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA FIJA (R.FIJA/P) |             |                        |            |             |              |
| Rendimiento                   | m3/Día                                 | MO 400.000   | EQ 400.0000 | Costo unitario por: m3 |            |             | <b>15.94</b> |
| Codigo                        | Descripcion Recurso                    | Unidad   | Cuadrilla   | Cantidad               | Precio s/. | Parcial s/. |              |
| <b>Mano de Obra</b>           |  |  |             |                        |            |             |              |
| 0147010001                    | CAPATAZ                                | hh   | 0.2000      | 0.0040                 | 24.21      | 0.10        |              |
| 0147010003                    | OFICIAL                                | hh   | 4.0000      | 0.0800                 | 15.12      | 1.21        |              |
| 0147010004                    | OPERARIO                               | hh   | 4.0000      | 0.0800                 | 18.62      | 1.49        |              |
|                               |  |  |             |                        |            |             | <b>2.80</b>  |
| <b>Materiales</b>             |  |  |             |                        |            |             |              |
| 0227020013                    | FULMINANTE #6                          | m  |             | 1.0000                 | 0.63       | 0.63        |              |
| 0227020009                    | MECHA O GUIA RAPIDA                    | m  |             | 1.0000                 | 0.69       | 0.69        |              |
| 0227020023                    | DINAMITA AL 65%                        | kg   |             | 0.1600                 | 10.83      | 1.73        |              |
| 2270200097                    | BARENO 5'x7/8"                         | u  |             | 0.0170                 | 400.2      | 6.80        |              |
|                               |  |  |             |                        |            |             | <b>9.86</b>  |
| <b>Equipos</b>                |  |  |             |                        |            |             |              |
| 0337010001                    | HERRAMIENTAS MANUALES                  | %MO  |             | 3.0000                 | 2.80       | 0.84        |              |
| 0349010002                    | COMPRESORA NEUMATICA 250-330 CFM, 87HP | hm   | 1.0000      | 0.2000                 | 67.62      | 1.35        |              |
| 0349060006                    | MARTILLO NEUMATICO DE 29 KG            | hm   | 4.0000      | 0.8000                 | 23.30      | 1.86        |              |
|                               |  |  |             |                        |            |             | <b>3.30</b>  |

Fuente: Expediente técnico Bambamarca- Marañón (2012).

Del cuadro anterior se observa:

- En los costos de acuerdo al expediente técnico se considera una perforación manual con martillos, usando una compresora de 250 pcm.
- No se considera una perforación hidráulica (rockdrill, trackdrill, etc.).
- Los materiales explosivos son pirotécnicos, no se considera: emulsión (tema de lluvia o presencia de agua), Cordón detonante (3P,5P,7P, etc.), Anfo.
- Para el desquinche y perfilado de talud, en el expediente técnico consideran un tractor.

Sin embargo, la partida de CORTE EN ROCA FIJA, a su vez incluye la 02 subpartidas: corte perforación y disparo en roca fija; Excavación, desquinche y perfilado de taludes.

Cuadro 11: Partidas de corte de roca fija.

|              |  |  |              |               |                        |                 |                   |                    |
|--------------|--|--|--------------|---------------|------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|
| Partida      | 02.02.02                                     | <b>(909701020191-04010003-01)*CORTE EN ROCA SUELTA</b> |              |               |                        |                 |                   |                    |
| Rendimiento  | m3/Día                                       | MO 360.000   | EQ. 360.0000 |               | Costo unitario por: m3 |                 |                   | <b>12.90</b>       |
| Codigo       | Descripcion Recurso                          |  |              | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b>       | <b>Cantidad</b> | <b>Precio s/.</b> | <b>Parcial s/.</b> |
| 909701020192 | *EXCAVACIÓN, DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUDES |  |              | m3            |                        | 1.0000          | 6.84              | 6.84               |
| 909701020324 | *PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA SUELTA        |  |              | m3            |                        | 1.0000          | 6.06              | 6.06               |
|              |  |  |              |               |                        |                 |                   | <b>12.90</b>       |
| Partida      | 02.02.03                                     | <b>(909701020193-04010003-01)*CORTE EN ROCA FIJA</b>   |              |               |                        |                 |                   |                    |
| Rendimiento  | m3/Día                                       | MO 345.000   | EQ 345.0000  |               | Costo unitario por: m3 |                 |                   | <b>24.36</b>       |
| Codigo       | Descripcion Recurso                          |  |              | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b>       | <b>Cantidad</b> | <b>Precio s/.</b> | <b>Parcial s/.</b> |
| 909701020194 | *EXCAVACIÓN, DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUDES |  |              | m3            |                        | 1.0000          | 9.19              | 9.19               |
| 909701020325 | *PERFORACIÓN Y DISPARO EN ROCA SUELTA        |  |              | m3            |                        | 1.0000          | 15.17             | 15.17              |
|              |  |  |              |               |                        |                 |                   | <b>24.36</b>       |

Fuente: Expediente Técnico Bambamarca-Marañón (2012).

Del cuadro anterior se puede observar que el costo de acuerdo al expediente técnico es de 24.36 s/m<sup>3</sup>.

#### 4.1.2 Resultados de la investigación

De acuerdo con la investigación, se realizó la evaluación de la perforación y voladura del Expediente técnico de la “Construcción y Mejoramiento de la Carretera PE-3N (Bambamarca) – Paccha – Chimbán – Pión – L.D. con Amazonas (Emp. AM – 103 El Triunfo)”, logrando optimizar en las partidas de metrados, 02.02.03 corte en roca fija: 2.81 s/m<sup>3</sup> con el empleo de los martillos Neumaticos RH y 2.45 s/m<sup>3</sup> con el empleo del equipo hidráulico rockdrill.

Cuadro 12: Comparación de costos en corte de roca fija.

| <b>CORTE EN ROCA FIJA</b> |                      |
|---------------------------|----------------------|
| Ítem                      | Costo/m <sup>3</sup> |
| Expediente Técnico        | S/ 24.36             |
| Martillos Neumáticos      | S/ 21.55             |
| Equipo Hidráulico         | S/ 21.91             |

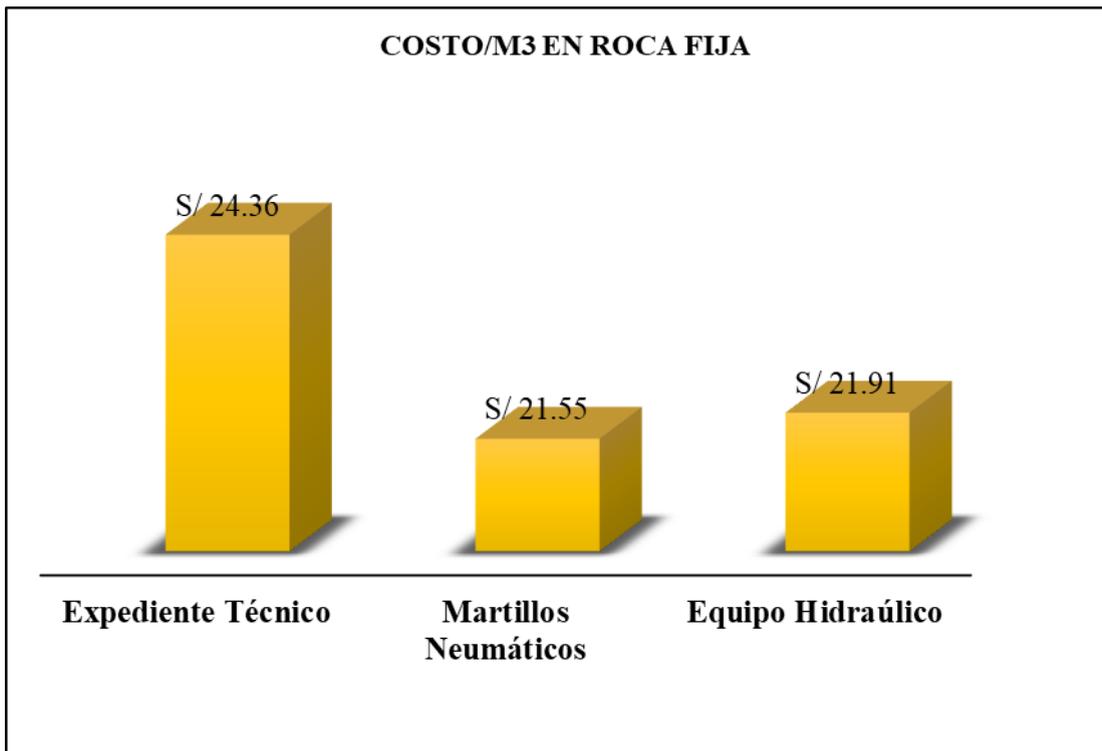


Figura 21: Comparación de costos en corte de roca fija en la carretera Bambamarca-Marañón.

Los costos optimizados se ven reflejados en el rendimiento para la ejecución del proyecto.

Se logró realizar el rendimiento con martillos neumaticos RH y con el equipo hidráulico, en lo cual, se evidencia que usando el equipo hidráulico rockdrill el avance es en un 71% más de lo programado en el expediente técnico, en cambio, utilizando los martillos neumáticos se tiene un déficit en un 31% en el avance programado, en corte de roca fija.

Cuadro 13: Comparación de rendimientos de avance en ejecución.

| RENDIMIENTO DE AVANCE | MES/M3 |
|-----------------------|--------|
| Martillos Neumáticos  | 69%    |
| Expediente tecnico    | 100%   |
| Equipo Hidráulico     | 171%   |

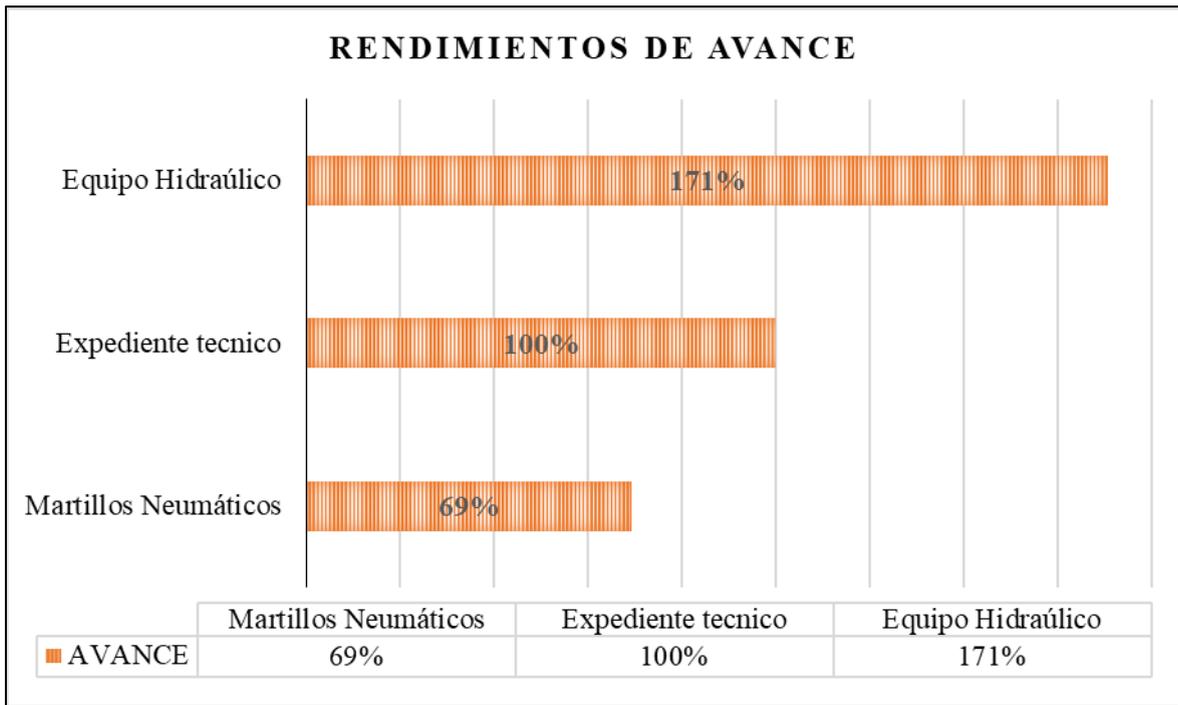


Figura 22: Rendimientos de avance por día.

Estos rendimientos repercuten en el avance y la proyección de ejecución del proyecto. Ésto es importante porque se ha visto en muchos proyectos , el tiempo retrazado en su avance, genera pérdidas económicas para la empresa que esta ejecutando dicha obra.

Cuadro 14: Comparación de rendimiento de corte en roca fija.

| <b>RENDIMIENTO DE ROCA FIJA VOLADA</b> |         |
|--|---------|
| ÍTEM                                   | M3/DÍA  |
| Expediente Técnico                     | 345.000 |
| Martillos Neumáticos                   | 239.262 |
| Equipo Hidráulico                      | 589.091 |

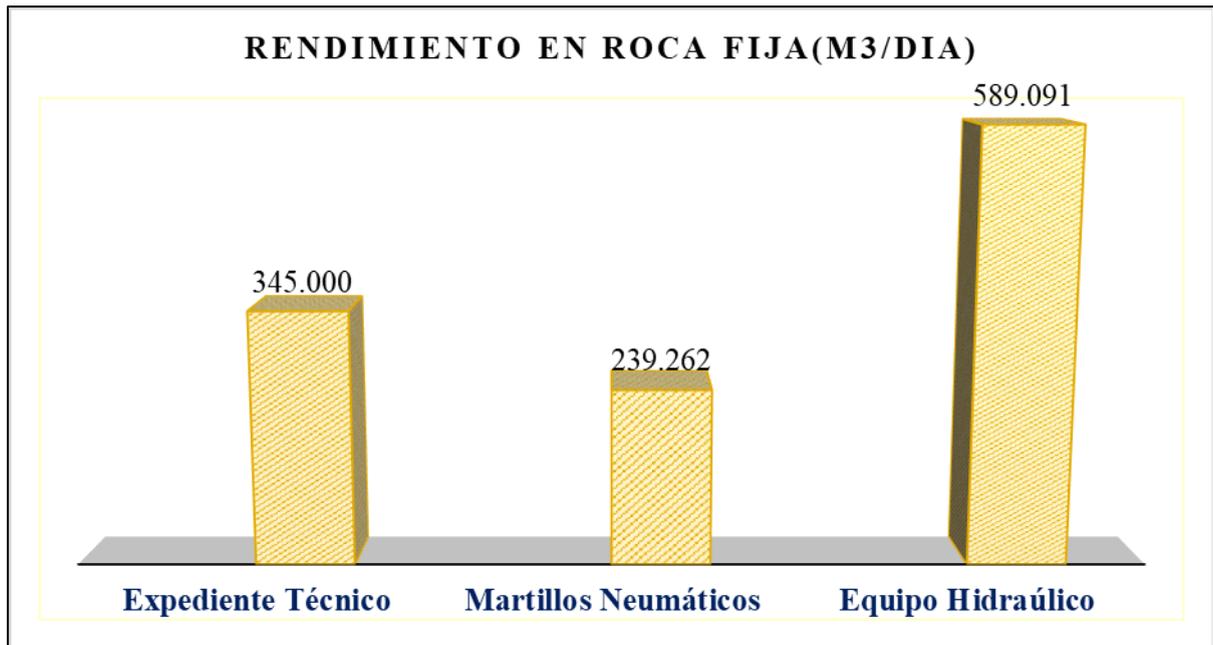


Figura 23: Comparación de rendimientos de corte en roca fija.

Como se observa en el gráfico anterior lo establecido por el expediente técnico por día se debe producir 345m<sup>3</sup>/día, es decir al mes se estima 10350 m<sup>3</sup>, usando; martillos neumáticos, al mes se llegaría 7177.86 m<sup>3</sup> y finalmente utilizando el equipo hidráulico la producción será de 17 672.73 m<sup>3</sup> de roca fija volada.

## 4.2. ANÁLISIS DE LOS PRECIOS UNITARIOS EN CORTE DE ROCA FIJA

De acuerdo a la investigación, se realizó el análisis de precios unitarios con martillos neumáticos y con equipo hidráulico.

### 4.2.1. Análisis de precios unitarios con martillos Neumáticos RH

El análisis, realizado durante la investigación son con los datos reales y precios actualizados, la partida con que se tiene que pagar los trabajos corresponde a la partida 02.02.03 Corte en Roca Fija, según el expediente técnico comprende tanto la perforación y voladura, así como también; el desquinche y perfilado de talud, en nuestro análisis incluye todo lo referente a la partida Corte en Roca Fija.

Cuadro 15: Análisis de costos unitarios en corte de roca fija.

| <b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO EN ROCA FIJA CON MARTILLOS NEUMATICOS</b> |   |  |           |  |             |              |  |
|---|---|--|-----------|--|-------------|--------------|--|
| <b>02.02.03</b>   | <b>CORTE EN ROCA FIJA</b>                 |  |           |  |             | <b>21.50</b> |  |
|   | Perforación y Voladura en Roca Fija       |  |           |  |             | <b>15.47</b> |  |
|   | Excavación, Desquinche y Peinado de Talud |  |           |  |             | <b>6.04</b>  |  |
| <b>Subpartida</b>   | <b>1.02.03.01</b>                         | <b>PERFORACIÓN Y VOLADURA EN ROCA FIJA</b>       |           |  |             |              |  |
| <b>Rendimiento</b>  | <b>m3/DIA</b>                             | <b>240.048</b>                                   |           | <b>Costo unitario directo por : M3</b> |             | <b>15.47</b> |  |
| Código  | Descripción del recurso                   | Unidad   | Cuadrilla | Cantidad                               | Precio S/.  | Parcial S/.  |  |
|   | <b>Mano de Obra</b>                       |  |           |  |             |              |  |
|   | Operario                                  | hh   | 3.0000    | 0.1000                                 | 24.64       | 2.46         |  |
|   | Oficial                                   | hh   | 3.0000    | 0.1000                                 | 19.15       | 1.91         |  |
|   | Peon                                      | hh   | 1.0000    | 0.0333                                 | 17.23       | 0.57         |  |
|   |   |  |           |  |             | <b>4.95</b>  |  |
|   | <b>Materiales</b>                         |  |           |  |             |              |  |
|   | Pentacord                                 | m  |           | 1.0294                                 | 0.11        | 0.11         |  |
|   | Fulminante                                | und  |           | 0.5882                                 | 0.1         | 0.06         |  |
|   | Emulsión                                  | kg   |           | 0.1003                                 | 1.3         | 0.13         |  |
|   | Anfo                                      | kg   |           | 0.7353                                 | 0.73        | 0.54         |  |
|   | Mecha Lenta                               | m  |           | 0.5882                                 | 0.1         | 0.06         |  |
|   | Retardo                                   | und  |           | 0.0083                                 | 1.17        | 0.01         |  |
|   | Brocas conicas 38mm                       | jgo  |           | 0.0042                                 | 400         | 1.67         |  |
|   | Barrenos conicos de 3-10 pie              | jgo  |           | 0.0042                                 | 1500        | 6.25         |  |
|   |   |  |           |  |             | <b>8.82</b>  |  |
|   | <b>Equipos</b>                            |  |           |  |             |              |  |
|   | HERRAMIENTAS MANUALES                     | %MO  |           | 3.0000                                 | 4.952347797 | 0.15         |  |
|   | COMPRESORA NEUMATICA 375                  | hm   | 1.0000    | 0.0140                                 | 110.41      | 1.55         |  |
|   |   |  |           |  |             | <b>1.69</b>  |  |
| <b>Sub partida</b>  | <b>1.02.03.02</b>                         | <b>EXCAVACION, DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUD</b> |           |  |             |              |  |
| <b>Rendimiento</b>  | <b>m3/DIA</b>                             | <b>312.062</b>                                   |           | <b>Costo unitario directo por : M3</b> |             | <b>6.04</b>  |  |
| Código  | Descripción Recurso                       | Unidad   | Cuadrilla | Cantidad                               | Precio S/.  | Parcial S/.  |  |
|   | <b>Mano de Obra</b>                       |  |           |  |             |              |  |
|   | Operario                                  | hh   | 1.0000    | 0.0256                                 | 24.64       | 0.63         |  |
|   | Oficial                                   | hh   | 1.0000    | 0.0256                                 | 19.15       | 0.49         |  |
|   | Peón                                      | hh   | 2.0000    | 0.0513                                 | 17.23       | 0.88         |  |
|   |   |  |           |  |             | <b>2.01</b>  |  |
|   | <b>Equipos</b>                            |  |           |  |             |              |  |
|   | Herramientas Manuales                     | %MO  |           | 3.0000                                 | 2.01        | 0.06         |  |
|   | Excavadora 336 Cat                        | hm   | 1.0000    | 0.0090                                 | 441.02      | 3.97         |  |
|   |   |  |           |  |             | <b>4.03</b>  |  |

#### **4.2.2. Análisis de precios unitarios con equipo hidráulico (rockdrill).**

El análisis de precios unitarios, está dado con los precios actualizados, en ello; se contempla el uso de un equipo rockdrill, aceros de perforación, explosivos y el uso de excavadora que, en el expediente técnico, no contempla en sus análisis de precios unitarios en esta partida.

Con los equipos y materiales actualizados se contempla el análisis de precios unitarios en la partida 02.02.03 Corte en roca fija, el cual nos costaría 21.91 soles el m<sup>3</sup>, incluyendo el desquinche y peinado de talud después de la voladura.

Cuadro 16: Análisis de Precios unitarios en corte roca fija con equipo hidráulico.

| <b>ANALISIS DE PRECIOS UNITARIO EN ROCA FIJA CON EQUIPO HIDRAULICO</b> |   |               |                  |                              |                   |                    |
|--|---|---------------|------------------|------------------------------|-------------------|--------------------|
| <b>02.02.03</b>  | <b>CORTE EN ROCA FIJA</b>                                   |               |                  |                              |                   | <b>21.91</b>       |
|  | <b>Perforación y Voladura en Roca Fija</b>                  |               |                  |                              |                   | <b>17.10</b>       |
|  | <b>Excavación, Desquinche y Peinado de Talud</b>            |               |                  |                              |                   | <b>4.81</b>        |
| Subpartida   | <b>1.02.03.01 PERFORACIÓN Y VOLADURA EN ROCA FIJA</b>       |               |                  |                              |                   |                    |
| Rendimiento  | <b>m3/DIA</b>   | 589.786       |                  | Costo unitario directo por : | <b>M3</b>         | <b>17.10</b>       |
| <b>Código</b>  | <b>Descripción Recurso</b>                                  | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>              | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>  |   |               |                  |                              |                   |                    |
|  | Operario  | hh            | 1.0000           | 0.014                        | 24.64             | 0.33               |
|  | Oficial   | hh            | 1.0000           | 0.014                        | 19.15             | 0.26               |
|  | Peón  | hh            | 1.0000           | 0.014                        | 17.23             | 0.23               |
|  |   |               |                  |                              |                   | <b>0.83</b>        |
| <b>Materiales</b>  |   |               |                  |                              |                   |                    |
|  | Pentacord   | m             |                  | 0.6100                       | 0.11              | 0.07               |
|  | Fulminante  | und           |                  | 0.1360                       | 0.10              | 0.01               |
|  | Emulsión  | kg            |                  | 1.4500                       | 1.30              | 1.89               |
|  | Anfo  | kg            |                  | 0.3400                       | 0.73              | 0.25               |
|  | Mecha Lenta   | m             |                  | 0.2700                       | 0.10              | 0.03               |
|  | Retardo   | und           |                  | 0.0034                       | 1.17              | 0.004              |
|  | Barras T38 - 63.5 mm  | und           |                  | 0.0020                       | 2,500.00          | 5.00               |
|  | Brocas T38-63.5 mm  | und           |                  | 0.0040                       | 750.00            | 3.00               |
|  | Shank T-38 - 63.5 mm  | und           |                  | 0.0020                       | 1,600.00          | 3.20               |
|  |   |               |                  |                              |                   | <b>13.44</b>       |
| <b>Equipos</b>   |   |               |                  |                              |                   |                    |
|  | Herramientas Manuales                                       | %MO           |                  | 3.0000                       | 0.83              | 0.02               |
|  | Perforadora Rockdrill                                       | hm            | 1.0000           | 0.014                        | 200.00            | 2.80               |
|  |   |               |                  |                              |                   | <b>2.82</b>        |
| Sub partida  | <b>1.02.03.02 EXCAVACION, DESQUINCHE Y PEINADO DE TALUD</b> |               |                  |                              |                   |                    |
| Rendimiento  | <b>m3/DIA</b>   | 766.721       |                  | Costo unitario directo por : | <b>M3</b>         | <b>4.81</b>        |
| <b>Código</b>  | <b>Descripción Recurso</b>                                  | <b>Unidad</b> | <b>Cuadrilla</b> | <b>Cantidad</b>              | <b>Precio S/.</b> | <b>Parcial S/.</b> |
| <b>Mano de Obra</b>  |   |               |                  |                              |                   |                    |
|  | Operario  | hh            | 1.0000           | 0.010                        | 24.64             | 0.26               |
|  | Oficial   | hh            | 1.0000           | 0.010                        | 19.15             | 0.20               |
|  | Peón  | hh            | 2.0000           | 0.021                        | 17.23             | 0.36               |
|  |   |               |                  |                              |                   | <b>0.82</b>        |
| <b>Equipos</b>   |   |               |                  |                              |                   |                    |
|  | Herramientas Manuales                                       | %MO           |                  | 3.0000                       | 0.82              | 0.02               |
|  | Excavadora 336 Cat  | hm            | 1.0000           | 0.009                        | 441.02            | 3.97               |
|  |   |               |                  |                              |                   | <b>3.99</b>        |

## **CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CONCLUSIONES**

Con diseño óptimo, en perforación y un correcto carguío de taladros **se optimizó** un ahorro 2.81 s/m<sup>3</sup> con el empleo de los martillos Neumaticos RH y 2.45 s/m<sup>3</sup> con el empleo del equipo hidráulico rockdrill, además nos conlleva a tener un avance del 70% más de lo programado.

Los precios unitarios en perforación y voladura son: con martillos neumáticos RH, 21.50 s./m<sup>3</sup> y con equipo hidráulico rockdrill, 21.90 s./m<sup>3</sup>, estandarizando de esta manera con nuestra investigación en el area de perforación y voladura en carreteras.

### **5.2. RECOMENDACIONES**

Se recomienda a la empresa ejecutora seguir evaluando la parte geológica y geotécnica del proyecto de la carretera, existiendo variabilidad en el macizo rocoso.

Evaluar la topografía en km85 para unir el trazo en km86, debido es una zona inestable y muy accidentada.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, J. B., Castilla, G. J., & Herrera, H. J. (2013). *Perforacion y Voladura en Rocas en Minería*. España - Madrid.
- Contreras, D. J. (1993). *Manual para el Control y Diseño de Voladuras en Obras de Carreteras*. Madrid: MOPT: Ministerio de Obras Pulicas y Transportes.
- Delgado, I. L. (2012). *Expediente Tecnico Bambamarca-Marañon*. Cajamarca, Peru.: CONSORCIO VIAL BAMBAMARCA.
- Espinoza, A. E., & Quispe , L. A. (2020). *Determinar la Relacion entre Perforacion y Voladura, Especificaciones Tecnicas y los Costos Unitarios en las Partidas de Movimiento de Tierras a Nivel de Roca Fija para Carreteras*. Lima - Peru.
- EXSA. (2009). *Manual Practico de Voladura -Exsa*.
- Gaona Gonzales, J. A. (2015). *Optimizacion de la Voladura mina La Virgen-de la minera San Simon., Huamachuco- Trujillo*. Piura-Peru.
- Gonzales de Vallejo, L. I. (2004). *Ingeniería Geológica*. Madrid.
- J, C. D. (1993). *Manual para el Control y Diseño de Voladuras en Obras de Carreteras*. Madrid: MOPT: Ministerio de obras publicas y transportes.
- Llanos Peña, R. L. (2017). *Gestión de procesos y optimización de costos en voladura aplicando un agente gasificante ecoamigable, en Minera La Zanja S.R.L. Cajamarca*. Cajamarca-Peru.
- Lopez, J. C., & Pernia, L. J. (1987). *Manual de Perforacion y Voladura en rocas*. España: Instituto Geologico y Tecnologico de España.
- Pacco Ramos, B. B., & Apaza Maquera, E. A. (2019). *Reducción del daño generado por voladura a taludes finales por medio de técnicas de precorte para yacimiento tipo pórfido de gran escala superficial*. Arequipa-Peru.
- Peña, R. L. (2017). *Gestion de Procesos y Optimizacion de Costos en Voladura Aplicando un Agente Gasificante, Ecoamigable en Minería la Zanja Cajamarca 2017*. Cajamarca - Peru .
- Pequera, D. V. (2018). *Maquinaria para Sondeos y Perforaciones*. Valencia- España.: <https://victoryepes.blogs.upv.es/2018/10/02/perforacion-por-extraccion-de-material/>.
- Perez, E. D. (2017). *Voladura Controlada para Talud Final en la Construcción de la Carretera Lima- La Viuda- Unish*. Puno - Peru.

Ramos, B. B., & Apaza Manquera, E. A. (2019). *Voladura a Taludes Finales por Medio de Tecnicas de Precorte a Yacimientos Tipo Porfidos a Gran Escala Superficial*. Arequipa - Peru.

Soluciones, E. (2019). *Manual Practico de Voladura*. Lima - Peru: 5ta Edicion.

## ANEXOS

|  |               |   |   |   |  |   |
|--|---------------|---|---|---|--|---|
| Rev.   | A             | "CONSTRUCCIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA PE-3N<br>(BAMBAMARCA) - PACCHA - CHIMBAN - PIÓN - L.D. CON<br>AMAZONAS (EMP. AM-103 EL TRIUNFO)" |  |   |  |   |
| FECHA:   | Mar-17        |   |   |   |  |   |
| <b>Tramo IIA : (Km. 36+000.00 al Km. 91+487.092)</b> |               |   |   |   |  |   |
| <b>02.02 MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>                   |               |   |   |   |  |   |
| <b>RESUMEN POR KM</b>                                |               | <b>02.02.01<br/>CORTE EN<br/>MATERIAL<br/>SUELTO</b>  | <b>02.02.02<br/>CORTE<br/>EN ROCA<br/>SUELTA</b>                                    | <b>02.02.03<br/>CORTE<br/>EN ROCA<br/>FJA</b> | <b>02.02.04 RELLENO<br/>PROPIO CON MAT.<br/>EXCEDENTE DE CORTE</b> | <b>ELIMINACION<br/>DE MATERIAL<br/>EXCEDENTE DE CORTE</b> |
| <b>TRAMO</b>   |               | <b>(M3)</b>   | <b>(M3)</b>   | <b>(M3)</b>                                   | <b>(M3)</b>  | <b>(M3)</b>   |
| km 036+000   | km 037+000    | 86513.65  | 0.00  | 0.00  | 358.54   | 86155.11  |
| km 037+000   | km 038+000    | 51095.05  | 0.00  | 0.00  | 47.17  | 51047.88  |
| km 038+000   | km 039+000    | 23042.86  | 6562.05   | 4374.70                                       | 221.08   | 33758.53  |
| km 039+000   | km 040+000    | 28838.99  | 911.43  | 607.62  | 8.79   | 30349.25  |
| km 040+000   | km 041+000    | 29625.81  | 4582.11   | 2128.12                                       | 28.65  | 36307.39  |
| km 041+000   | km 042+000    | 20395.18  | 1878.08   | 939.04  | 594.58   | 22617.72  |
| km 042+000   | km 043+000    | 36701.35  | 8714.27   | 4267.95                                       | 673.61   | 49009.96  |
| km 043+000   | km 044+000    | 21404.47  | 2438.36   | 975.34  | 1037.39  | 23780.78  |
| km 044+000   | km 045+000    | 22939.76  | 21131.43  | 5619.33                                       | 387.42   | 49303.10  |
| km 045+000   | km 046+000    | 28153.87  | 66027.78  | 20253.66                                      | 75.55  | 114359.76   |
| km 046+000   | km 047+000    | 42359.79  | 60474.96  | 13815.04                                      | 170.67   | 116479.12   |
| km 047+000   | km 048+000    | 36962.72  | 54222.99  | 12677.65                                      | 13.61  | 103849.75   |
| km 048+000   | km 049+000    | 26397.45  | 47827.26  | 34636.53                                      | 11.66  | 108849.58   |
| km 049+000   | km 050+000    | 69035.82  | 2053.66   | 0.00  | 352.97   | 70736.51  |
| km 050+000   | km 051+000    | 58058.30  | 0.00  | 0.00  | 13.45  | 58044.85  |
| km 051+000   | km 052+000    | 63650.31  | 23206.95  | 8006.10                                       | 7.44   | 94855.91  |
| km 052+000   | km 053+000    | 51547.81  | 37174.18  | 35191.94                                      | 1995.26  | 121918.67   |
| km 053+000   | km 054+000    | 56492.69  | 261.98  | 174.65  | 231.09   | 56698.23  |
| km 054+000   | km 055+000    | 40364.86  | 25846.68  | 15094.40                                      | 79.34  | 81226.59  |
| km 055+000   | km 056+000    | 25262.71  | 26449.34  | 22730.84                                      | 495.32   | 73947.57  |
| km 056+000   | km 057+000    | 24934.65  | 25371.73  | 43402.22                                      | 0.00   | 93708.59  |
| km 057+000   | km 058+000    | 53887.44  | 52644.26  | 26632.92                                      | 3641.94  | 129522.68   |
| km 058+000   | km 059+000    | 26883.04  | 26883.04  | 68968.72                                      | 3103.75  | 119631.06   |
| km 059+000   | km 060+000    | 16672.65  | 10859.64  | 26765.89                                      | 173.39   | 54124.79  |
| km 060+000   | km 061+000    | 37516.94  | 34180.66  | 28216.16                                      | 0.00   | 99913.76  |
| km 061+000   | km 062+000    | 12386.35  | 23212.64  | 50680.93                                      | 7.70   | 86272.22  |
| km 062+000   | km 063+000    | 61901.49  | 21394.24  | 17495.29                                      | 0.00   | 100791.02   |
| km 063+000   | km 064+000    | 62099.22  | 1922.16   | 961.08  | 24.34  | 64958.11  |
| km 064+000   | km 065+000    | 46103.61  | 0.00  | 0.00  | 87.64  | 46015.97  |
| km 065+000   | km 066+000    | 34832.07  | 20840.82  | 42364.89                                      | 16.07  | 98021.71  |
| km 066+000   | km 067+000    | 21964.44  | 15964.39  | 26892.98                                      | 17.42  | 64804.38  |
| km 067+000   | km 068+000    | 55307.72  | 7245.35   | 11074.75                                      | 62.08  | 73565.73  |
| km 068+000   | km 069+000    | 51394.00  | 4341.75   | 1447.25                                       | 157.40   | 57025.60  |
| km 069+000   | km 070+000    | 51930.94  | 19750.09  | 12286.91                                      | 32.76  | 83935.18  |
| km 070+000   | km 071+000    | 33635.42  | 41052.18  | 62153.00                                      | 807.08   | 136033.51   |
| km 071+000   | km 072+000    | 53214.71  | 22687.00  | 15124.67                                      | 882.91   | 90143.46  |
| km 072+000   | km 073+000    | 37286.56  | 12090.28  | 5885.24                                       | 54.16  | 55207.92  |
| km 073+000   | km 074+000    | 19229.67  | 18767.52  | 27528.55                                      | 69.65  | 65456.08  |
| km 074+000   | km 075+000    | 4883.23   | 8403.59   | 33614.37                                      | 550.40   | 46350.79  |
| km 075+000   | km 076+000    | 5014.96   | 15997.48  | 46437.59                                      | 14.39  | 67435.64  |
| km 076+000   | km 077+000    | 30137.40  | 34211.07  | 24573.94                                      | 273.14   | 88649.26  |
| km 077+000   | km 078+000    | 28509.84  | 15478.42  | 7739.21                                       | 6.86   | 51720.61  |
| km 078+000   | km 079+000    | 31057.71  | 0.00  | 0.00  | 941.64   | 30116.07  |
| km 079+000   | km 080+000    | 31746.94  | 0.00  | 0.00  | 666.18   | 31080.76  |
| km 080+000   | km 081+000    | 10650.41  | 14641.70  | 8231.93                                       | 2549.64  | 30974.41  |
| km 081+000   | km 082+000    | 11824.92  | 25536.48  | 16012.03                                      | 251.26   | 53122.16  |
| km 082+000   | km 083+000    | 21705.10  | 28940.13  | 21705.10                                      | 125.80   | 72224.53  |
| km 083+000   | km 084+000    | 21686.24  | 28914.99  | 21686.24                                      | 701.54   | 71585.93  |
| km 084+000   | km 085+000    | 16059.47  | 21412.62  | 16059.47                                      | 654.71   | 52876.85  |
| km 085+000   | km 086+000    | 38472.18  | 56521.23  | 85497.10                                      | 327.25   | 180163.26   |
| km 086+000   | km 087+000    | 15110.65  | 22665.97  | 37776.62                                      | 138.82   | 75414.41  |
| km 087+000   | km 088+000    | 22011.40  | 17161.83  | 18032.86                                      | 337.04   | 56869.05  |
| km 088+000   | km 089+000    | 26080.44  | 13990.07  | 26040.66                                      | 138.10   | 65973.06  |
| km 089+000   | km 090+000    | 67343.09  | 23954.67  | 7984.89                                       | 55.84  | 99226.81  |
| km 090+000   | km 091+000    | 41251.89  | 0.00  | 0.00  | 1399.51  | 39852.38  |
| km 091+000   | km 91+487.092 | 18599.10  | 0.00  | 0.00  | 1375.61  | 17223.49  |
| <b>TOTAL</b>   |               | <b>1962169.31</b>   | <b>1076801.46</b>   | <b>1020766.35</b>                             | <b>26449.61</b>  | <b>4033287.50</b>   |