

Hilario Carrasco Kolque

CARRASCO KOLQUE, HILARIO-EXCAVACIÓN CON PERFORACIÓN Y VOLADURA CONTROLADA PARA LA AMPLIA...

 Quick Submit

 Quick Submit

 Universidad Politécnica del Perú

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3161645971

Fecha de entrega

21 feb 2025, 12:00 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

21 feb 2025, 12:04 a.m. GMT-5

Nombre de archivo

PARA_LA_AMPLIACION_DE_LA_SECCION_DEL_T_NEL_KARKATERA_ABANC.docx

Tamaño de archivo

2.5 MB

88 Páginas

16,109 Palabras

90,757 Caracteres

17% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 20 palabras)

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 12%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 0% Publicaciones
- 12% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Trabajos del estudiante Universidad Alas Peruanas	4%
2	Internet repositorio.unamba.edu.pe	4%
3	Trabajos del estudiante Universidad Politécnica del Perú	3%
4	Internet repositorio.uap.edu.pe	2%
5	Internet repositorio.unsch.edu.pe	<1%
6	Internet repositorio.uncp.edu.pe	<1%
7	Trabajos del estudiante Instituto Superior de Artes, Ciencias y Comunicación IACC	<1%
8	Trabajos del estudiante Universidad Continental	<1%
9	Internet dspace.unitru.edu.pe	<1%
10	Internet www.sellosmecanicos.com.ar	<1%
11	Internet repositorio.continental.edu.pe	<1%

12	Internet	www.ptolomeo.unam.mx:8080	<1%
13	Trabajos del estudiante unasam	unasam	<1%
14	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
15	Internet	www.coursehero.com	<1%
16	Internet	docplayer.es	<1%
17	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
18	Internet	www.scribd.com	<1%
19	Internet	rockeng.utoronto.ca	<1%
20	Internet	vsip.info	<1%

UAP

**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS
VICERRECTORADO ACADÉMICO
ESCUELA DE POSGRADO**

**EXCAVACIÓN CON PERFORACIÓN Y VOLADURA CONTROLADA
PARA LA AMPLIACION DE LA SECCION DEL TÚNEL
KARKATERA ABANCAY-APURÍMAC-PERÚ, AÑO 2023**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
MAESTRO EN MINERÍA Y MEDIO AMBIENTE**

**PRESENTADO POR:
Bach. HILARIO CARRASCO KOLQUE
CÓDIGO ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4653-2347>**

**Asesor : Dr. RICHARD MARIANO CUCHO PUCHURI
Codigo orcid: <https://orcid.org/0000-0003-4040-7537>**

**ICA – PERÚ
2024**

HOJA DE INFORMACIÓN BÁSICA

GENERALIDADES

Título: Excavación con Perforación y Voladura controlada para la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay – Apurímac – Perú. Año 2023

Autor: Bach: Hilario Carrasco Kolque

Asesor:

Doctor Richard Mariano Cucho Puchuri

Tipo de investigación:

Básica o fundamental

Enfoque de la investigación:

Cuantitativa

Línea de la investigación:

Desarrollo de estrategias para contrarrestar los efectos del cambio climático

Localidad:

Distrito Abancay, Provincia Abancay y Región Apurímac

Duración de la investigación:

Del 02 enero al 30 diciembre del 2023

Dedicatoria

A mis entrañados padres José Gil (†) y Mercedes (†), que se esforzaron para que mis metas se realizaran y en todo momento me inculcaron los valores de respeto, honradez y amor a mis semejantes. También se lo dedico a mi amada esposa Trinidad y querida hija Katusca, así mismo a mis hermanos que me apoyaron en el desarrollo de esta investigación.

Agradecimiento

A mis compañeros de la maestría de la Universidad Alas Peruanas, que con su paciencia y prudencia han hecho que sea realidad esta investigación, también al Dr. Richard Mariano Cucho Puchuri que, con sus conocimientos nos ha encaminado a que este trabajo sea haga realidad y a mi hija Katusca por su incondicional apoyo en esta investigación.

Reconocimiento

A la Universidad Alas Peruanas que nos proporcionó la ayuda y oportunidad de realizar la investigación del tema que me apasiona en mi vida profesional, así también agradecer a mi centro de trabajo la Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac y al Dr. Richard Cucho por su conocimiento y sapiencia.

ÍNDICE

DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	Error! Bookmark not defined.
RECONOCIMIENTO.....	Error! Bookmark not defined.
INDICE DE TABLAS	9
INDICE DE FIGURAS.....	10
RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
INTRODUCCIÓN	13
1 CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Descripción de la Realidad Problemática.....	15
1.2.Delimitación de la investigación	16
1.2.1.Delimitación espacial	16
1.2.2.Delimitación social	17
1.2.3.Delimitación temporal	17
1.2.4.Delimitación conceptual	17
1.3.Problema de la investigación.....	17
1.3.1.Problema principal	17
1.3.2.Problemas específicos	17
1.4.Objetivos de la Investigación:	18
1.4.1.Objetivo General.....	18
1.4.2.Objetivos Específicos	18
1.5.Justificación e importancia y limitaciones de la Investigación:.....	18
1.5.1.Justificación	18
1.5.2.Importancia	19
1.6.Factibilidad de la investigación.....	19
1.7.Limitaciones del estudio	19
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	20
2.1.Antecedentes del Problema	20
2.1.1.Antecedentes Internacionales	20
2.1.2.Antecedentes Nacionales	22
2.2.Bases Teóricas o Científicas.....	25
2.2.1.Definición de la variable Excavación con perforación	25

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS 27

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR DE BIENIAWSKI (1989)..... 27

Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca 28

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON 29

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE DE GSI..... 31

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA 36

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA..... 36

PROPIEDADES DE ROCA INTACTA..... 37

CONSIDERACIONES DE PROCESOS DE PERFORACIÓN 43

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EXPLOSIVOS 47

2.3.Definición de términos Básicos 47

3 **CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES 50**

3.1.Hipótesis general..... 50

3.2.Hipótesis Específicos 50

3.3.Definición conceptual y operacional de las variables 50

3.3.1.Variable excavación con perforación 50

3.3.2.Variable voladura controlada 51

3.4.Operacionalización de las variables 52

4 **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN 53**

4.1.Tipo y nivel de Investigación 53

4.1.1.Tipo de Investigación..... 53

4.1.2.Nivel de Investigación 53

4.2.Diseño y Método de la Investigación 53

4.2.1.Método de Investigación..... 53

4.2.2.Diseño de Investigación: 54

4.3.Población y muestra de la investigación 55

4.3.1.Población..... 55

4.3.2.Muestra 55

4.4.Técnicas e instrumentos de recolección de datos 55

4.4.1.Técnicas..... 55

4.4.2.Instrumentos..... 55

4.4.3.Validez y confiabilidad 55

4.4.4.Procesamiento y análisis de datos 56

	4.4.5.Ética de la Investigación	57
5	CAPÍTULO V: RESULTADOS	58
	5.1.Análisis Descriptivo	58
	5.1.1.Variable Excavación con perforación	58
	5.1.2.Variable Voladura controlada	62
	5.2.Análisis Inferencial	66
6	CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	71
	CONCLUSIONES	73
	RECOMENDACIONES	74
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	75
	ANEXOS	79
	Anexo N°1: Matriz de consistencia	80
	Anexo N°2: Cuestionario sobre Formación Profesional	81
	Anexo N°3: Cuestionario sobre Desempeño Docente	82
	Anexo N°4: Ficha de validación del instrumento	83
	Anexo N°5: Copia de la data procesada	85
	Anexo N°6: Consentimiento informado	86
	Anexo N°7: Autorización de la entidad donde se realizó el trabajo de campo	87
	Anexo N°8: Declaratoria de autenticidad de tesis	88

1

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Variable Excavación con perforación	63
Tabla 2: D1 Topográfica	65
Tabla 3: D2 Geológica	66
Tabla 4: D3 Mecánica de rocas	67
Tabla 5: Variable Voladura controlada	68
Tabla 6: D1 Sección del túnel	69
Tabla 7: D2 Número de taladros	70
Tabla 8: D3 Cantidad de explosivos.....	71
Tabla 9: Prueba de Normalidad	72
Tabla 10: Contrastación de Hipótesis General	73
Tabla 11: Contrastación de Hipótesis Especifica 1	74
Tabla 12: Contrastación de Hipótesis Especifica 2	75
Tabla 13: Contrastación de Hipótesis Especifica 3	76

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Variable Excavación con perforación.....	64
Figura 2: D1 Toográfica.....	65
Figura 3: D2 Geológica	66
Figura 4: D3 Mecánica de rocas.....	67
Figura 5: Variable voladura controlada.....	68
Figura 6: D1 Sección del túnel.....	69
Figura 7: D2 Número de taladros	70
Figura 8: D3 Cantidad de explosivos	71

RESUMEN

El objetivo de la presente tesis fue determinar el nivel de relación entre la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

En el desarrollo de las variables se consideró como dimensiones de la excavación con perforación a la topográfica, geológica y mecánica de rocas, así como también para el desarrollo de la variable voladura controlada las dimensiones sección del túnel, números de taladros y cantidad de explosivos.

La investigación fue básica, de nivel descriptivo correlacional, hipotética deductiva no experimental.

Se consideró una población de 30 ingenieros civiles y de mina con una muestra censal. Posteriormente se aplicó mediante la técnica de la encuesta y como instrumentos dos cuestionarios.

Posterior a la realización de la prueba de normalidad, se evidenció que los datos no siguieron una distribución paramétrica. En consecuencia, para el análisis inferencial, se optó por aplicar el coeficiente de correlación Rho de Spearman, teniéndose como resultado de la hipótesis general que: Existe relación significativa entre la excavación con perforación y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación de nivel muy alto de 0,810.

PALABRAS CLAVE: Excavación con perforación y voladura controlada

ABSTRACT

The objective of this thesis was to determine the level of relationship between excavation with controlled drilling and blasting in the expansion of the Karkatera Abancay-Apurímac tunnel section, 2023.

In the development of the variables, topographic, geological and rock mechanics were considered as dimensions of the excavation with drilling, as well as for the development of the controlled blasting variable, the tunnel section dimensions, numbers of drills and quantity of explosives.

The research was basic, correlational descriptive level, non-experimental deductive hypothetical.

A population of 30 civil engineers and a census sample were considered. Subsequently, it was applied using the survey technique and two questionnaires as instruments.

After the normality test, it was obtained that the data were non-parametric, and in the analysis of the inferential statistics, Spearman's Rho was used, resulting in the general hypothesis that: There is a significant relationship between excavation with drilling and controlled blasting in the expansion of the Karkatera Abancay-Apurímac tunnel section, 2023, with a very high level correlation coefficient of 0.810.

KEYWORDS: Excavation with controlled drilling and blasting

INTRODUCCIÓN

La presente investigación científica tiene como propósito fundamental relacionar las variables de: la Perforación y Voladura Controlada para ampliar la sección del túnel Karkatera, las cuales se desarrollaron en un enfoque cuantitativo, el cual se ejecutará en el distrito de Abancay, Provincia de Abancay y Región Apurímac; la que permitirá a la población hacer uso adecuado mediante una carretera transitable, en la que existe un tramo de Túnel denominado Karkatera la que se ampliara la sección y contar con una vía para dar acceso a las comunidades aledañas y llegar a la localidad de Huanipaca, que se acortara el tiempo para los visitantes de turistas nacionales y extranjeros que puedan visitar al Complejo Arqueológico de Choquequirao; por lo cual me he propuesto realizar la investigación titulada Excavación con Perforación y Voladura controlada para la ampliación de la sección del túnel Karkatera de Abancay – Apurímac - Perú. Año 2023.

El trabajo de investigación cumple todos los procesos metodológicos que exige la investigación científica, respetando la rigurosidad de la investigación establecida por RENATI y la SUNEDU, el cual surgió como: El proceso constructivo de un Túnel tiene las siguiente partidas: la excavación, sostenimiento, carguío, transporte, drenaje, ventilación, iluminación y seguridad; en consecuencia la Excavación es la primera partida, el cual se puede realizar por tres métodos: excavación con perforación y voladura, excavación con rozadoras y excavación con Tuneladoras TBM, en la investigación se plantea mediante el método de excavación con perforación y voladura, la cual cuenta con los siguientes parámetros específicos, en la perforación: parámetros Topográficos, Geológicos y Mecánica de Rocas; con la Topografía se determinara la longitud del túnel, dirección del túnel y la pendiente del túnel; con la Geología se determinarán las estructuras geológicas de la roca (Estratos, fallas, discordancias, diques, fracturas, etc), el tipo de roca y otros factores geológicos y con la Mecánica de Rocas, que es parámetro fundamental que define la excavación de un Túnel, mediante la obtención de las propiedades físicas y mecánicas del macizo rocoso, que son determinados en el laboratorio y en in situ. Con la Topografía, se inicia la obtención de datos, que consiste en levantamiento superficial de precisión, en donde se obtendrán planos en 2D, 3D, secciones longitudinales y secciones transversales, el equipo

a utilizar pueden ser Drones, GPS Diferencial y Estación Total, los parámetros Geológicas se determinaran en base al levantamiento Topográfico realizando las mediciones de todas las litologías mediante una cartografía, midiendo la presencia de las diferentes litologías, esta operaciones se realizará con estación total y niveles laser, y la mecánica de rocas que obtendrán las propiedades física (Peso Específico, Absorción y Peso Específico Aparente) y Propiedades Mecánicas (Resistencia a la compresión de la Roca, RMR, Q de Barton, RQD, CEC, etc.).

Con la Perforación se determinará el número de talados, el Burden y Espaciamiento y con la voladura se obtendrá el explosivo a utilizar para la ampliación el túnel Karkatera. Para su viabilidad y funcionamiento se calculará la ampliación sección que permitirá el transporte mediante vehículos y llegar al distrito de Huanipaca ubicado al frente del Complejo Arqueológico de Choquequirao. En el Capítulo I, se realiza el planteamiento del problema, Capítulo II, se recabará el marco teórico conceptual, Capítulo III, se planteará la hipótesis y las variables, Capítulo IV, se realizará la metodología de investigación y Capítulo V, los resultados, Capítulo VI la discusión de resultados, conclusiones, recomendaciones y anexos que se indican en el índice respectivo.

1

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción de la Realidad Problemática.

Como sabemos en el presente trabajo de investigación mis variables de estudio son; método de excavación con perforación y voladura controlada para el Túnel Karkatera, las que se presentan en esta investigación en un contexto mundial o globalizado en referencia, excavar túneles es romper la roca, mediante la perforación y voladura, especialmente diseñados y utilizando las máquinas perforadoras denominadas Jumbos; luego se cargaran con explosivos en los taladros perforados, estas operaciones se realizaran para la ampliación de la sección del túnel Karkatera, permitiendo que sea viable y poner en uso para la población nacional e internacional, se debe mencionar que el mundo se cuenta con un creciente incremento de proyectos de construcción de túneles con el método de excavación con tuneladoras TBM y se redujo el uso del método de excavación con perforación y voladura de túneles, datos presentados en informes en la Revista: *Tunnelling and Underground Space Technology*, presentadas por los investigadores. (Lan;, Zhu;, Ji;, & Mao;, 2016) y (Geng, Wei, Meng, & Macias, 2016). Excavar un túnel con perforación y voladura, son procedimientos mecanizados, las que son planificados previamente y ejecutados para proyectos sostenibles, así mismo en la revista especializada sobre la construcción de túneles realizada por. Bäßler; en el año 2016 nos ubica en el contexto que nos muestra la variable de perforación y voladura en la excavación de Túneles.

Excavar un túnel con perforación y voladura posee desventajas frente a las excavaciones con Tuneladoras TBM o Rozadoras, pero en costos son muy inferiores las que nos permite excavar pequeñas longitudes, en todo caso excavar con TBM serán para longitudes mayores a 10 Km, las que justifican excavar porque no dañan al macizo rocoso y favorecer al sostenimiento del túnel, (Zheng, Zhang, & Zhao, 2016), para empezar las excavaciones con perforación y voladura se realizan ensayos de laboratorio y de campo, las que nos indicaran el soporte y la estabilidad del túnel, (Smith, 2016), (Young, KonKim, Son, & Jeon, 2016) y (Yang;, Wang;, & Zhou;, 2016)

**Tuneladora TBM Rc \leq 250 MPa****Rozadora de Roca Rc < 100MPa****Perforadora Jumbo Rc de 80 MPa a > 250 MPa**

Para excavar túneles, se determinarán los parámetros de Topografía, geología y Mecánica de rocas, (Cesano , Olofsson, & Bagtzoglou, 2000). La topografía debe ser un levantamiento de alta precisión y equipos de última generación, el levantamiento es por cuadriláteros por triangulación. (Fang, Lui, Zhang, & Lou, 2017). La geología evalúa la roca y rasgos estructurales existentes, en el lugar exacto de la recta del túnel determinado por topografía. (Yokota;, Yamamoto;, Shirasagi;, Koizumi;, Descour;, & Kohlhaas;, 2016), con la Mecánica de Rocas, se obtiene las propiedades físicas y propiedades Mecánicas de Rocas, mediante ensayos de laboratorio y campo. (Geng, 2016), (Rostami, 2016) y, (Smith;, 2016)

Con la investigación se logrará ensanchar y lograr ampliar la sección del túnel Karkatera, ubicado en la localidad de Abancay, mediante el método de excavación con perforación y voladura, aplicando los conocimientos de las ciencias de la Geología, Mecánica de Suelos y Mecánica de rocas; considerando que la excavación la primera partida y el de mayor costo del Proyecto de un Túnel que fluctúa entre el 45% al 50% del costo total del Túnel. (Duhme, Rasanavaneethan, Pakiananathan, & Herud, 2016) y (Shilaw, 2016).

1.2.Delimitación de la investigación

1.2.1.Delimitación espacial

La zona de estudio está ubicada a 26.50 Km de la ciudad de Abancay, en la interconexión de las comunidades de Karkatera, Occopata y otros poblados menores, a una altitud promedio de 3 010 m.s.n.m, entre las coordenadas UTM:

Norte: 8 494 832

Este: 718 827

El acceso se realiza por medio de una vía de penetración mediante carretera afirmada, siguiendo la dirección NW de la ciudad de Abancay, el tiempo de viaje desde la

ciudad de Abancay hasta la comunidad de Karkatera es aproximadamente de 45 minutos en camioneta.

1.2.2.Delimitación social

Con el Túnel de Karkatera, los beneficiarios serán las poblaciones de Abancay, Huanipaca y las comunidades aledañas, las que se ubican dentro de la provincia de Abancay y región de Apurímac. También con la ampliación del túnel Karkatera servirá para el acceso de turistas nacionales e internacionales las podrán visitar al complejo arqueológico de Choquequirao en el tiempo más corto posible. La unidad de análisis son ingenieros de minas y civiles de las diversas obras que llevan a cabo en Abancay.

1.2.3.Delimitación temporal

La investigación se desarrolló de 02 enero al 30 diciembre del 2023.

1.2.4.Delimitación conceptual

Para esta investigación se hicieron uso revistas científicas, libros, tesis y experiencias tecnológicas realizadas en la excavación de túneles.

1.3.Problema de la investigación

1.3.1.Problema principal

¿Cuál es la relación entre la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023?

1.3.2.Problemas específicos

- ¿Cuál es la relación entre la excavación con perforación mediante los indicadores Topográficas, Geológicas y Mecánica de Rocas para ampliar la sección del túnel Karkatera en Abancay-Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es la relación de la Voladura controlada mediante el Tipo de Explosivo, para ampliar la sección del túnel Karkatera en Abancay-Apurímac, 2023?
- ¿Cuál es la relación la ampliación de la sección del túnel Karkatera mediante la perforación y voladura controlada en Abancay-Apurímac, 2023?

1.4.Objetivos de la Investigación:

1.4.1.Objetivo General

Determinar la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

1.4.2.Objetivos Específicos

- Determinar la excavación con perforación mediante los indicadores Topográficos, Geológicos y de Mecánica de Rocas para ampliar la sección del túnel Karkatera en Abancay-Apurímac, 2023.
- Determinar la Voladura controlada mediante el Tipo de Explosivo, para ampliar la sección del túnel Karkatera en Abancay-Apurímac, 2023.
- Determinar la ampliación de la sección del túnel Karkatera mediante la perforación y voladura controlada en Abancay-Apurímac, 2023.

1.5.Justificación e importancia y limitaciones de la Investigación:

1.5.1.Justificación

Teórica.- Con la investigación realizada se dará a conocer los conocimientos teórico prácticos de excavación del Túnel Karkatera para demostrar la ampliación de la sección, relacionando las variables de perforación y voladura del macizo rocoso; las cuales beneficiará al transporte de las comunidades aledañas, así como la comunicación de las poblaciones de Abancay y Huanipaca, y por último dará acceso de turistas nacionales e internacionales al complejo arqueológico de Choquequirao.

Metodológica.- La investigación como objetivo es dar aporte a los cambios y/o modificaciones en el contexto relacionado la Perforación y Voladura controlada, que nos permitirá determinar la sección adecuada del Túnel Karkatera, así también se

aplicarán los conocimientos de las ciencias de la geología aplicada, mecánica de suelos y mecánica de rocas.

Práctica.- El presente proyecto de investigación tendrá como importancia practica de ensanchar la sección del Túnel Karkatera, así como ofrecer la seguridad y estabilidad del túnel.

Social.- El presente trabajo de investigación contribuirá a la implementación de la mencionada obra la que mejorará la comunicación fluida entre las comunidades existentes, poblaciones de Abancay y Huanipaca, como también al acceso del turismo nacional e internacional, con la ampliación de la sección del Túnel Karkatera y llegar en el menor tiempo al complejo arqueológico de Choquequirao.

1.5.2. Importancia

Con la investigación a realizar aportará mejorar los conocimientos de excavación con Perforación y Voladura del macizo rocoso, para realizar la ampliación de la sección del Túnel Karkatera, las cuales beneficiaran a la comunicación de las comunidades aledañas, como a las ciudades de Abancay y Huanipaca, que dará acceso en forma fácil de turistas nacionales e internacionales al complejo arqueológico de Choquequirao.

1.6. Factibilidad de la investigación

En la investigación de la presente investigación, se tendrá garantizada la factibilidad técnica, institucional, social y económica como: La parte técnica se realizará con el aporte de los conocimientos del investigador, mientras para los ensayos se hará uso de los laboratorios de mecánica de rocas de la UNAMBA y lo económico será con el aporte propio.

1.7. Limitaciones del estudio

El alcance del proyecto de investigación y de sus resultados estarán limitados por lo siguiente: en la toma de datos desde el levantamiento Topografico, la geología de la zona de estudio y la Mecanica de Rocas como ciencia novicia en la excavación de rocas, las que se realizarán tanto in situ como en laboratorio.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

2.1. Antecedentes del Problema

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Gong et al. (2016) *Development of a mechanical rock breakage experimental platform*. (Desarrollo de Túneles con Jumbos y Explosivos), Revista científica: Tunnelling and Underground Space Technology. En la ciudad de Tokio – Japon, en el año 2016; numero de revista 57. Los investigadores se plantearon como objetivo el desarrollo social, económico, mejora de la ciencia y tecnología, utilizado en túneles ha sido a través de la perforación y voladura, con los cuales la metodología es determinar el diseño adecuado de la malla de perforación mediante Jumbos y el uso adecuado de explosivos. Alcanzando los resultados investigadores plantearon tener en cuenta el tipo de roca para aplicar algún método de excavación por partes y para concluir se debe realizar los ensayos en el laboratorio de rocas y determinar el parámetro fundamental que es la Resistencia a la Compresión del macizo rocoso. (Rc).

Huertas (2016) *Procesos Constructivos para Túneles Viabiles* Bogota, Colombia. En la investigadeterminarántea los siguientes parametros como: la topografía, la geología y la mecánica de rocas, son etapas fundamentales que se deben tener en cuenta para iniciar cualquier tipo de proyecto de excavación de túneles, por el cual se debe determinar el método de excavación en la zona a excavar que presenta gran variabilidad de rocas, pues a través del análisis y resultados de esta información se determinara el método de excavación más apropiado para macizos rocosos de dureza suaves, mediana y duro, además determino la maquinaria a emplear en estos tipos de rocas con perforadoras Jumbos y explosivos dinamita, en conclusión para la excavación con perforación y voladura de rocas para túneles es obtener la resistencia a la compresión simple del macizo rocoso y el tipo de explosivo a utilizar.

Bäppler (2016) *New developments in TBM tunnelling for changing grounds* (Desarrollo de nuevos métodos de excavación de túneles con TBM a través de cambiar las bases sostenibles). Revista científica (Pag. 18-26): Tunnelling and Underground Space Technology. Para iniciar la excavación de un túnel, se realiza por tres métodos de acuerdo al comportamiento geomécanico de la roca, con Tunnel Boring Machine (TBM), con Rozadoras y Perforación y Voladura, que tienen diferentes procedimientos de excavación, alta mecanización con TBMs, mecánico con Rozadoras y convencional con perforación y voladura, y son parametrados mediante la Resistencia a la Compresión del Macizo Rocoso (R_c), el conclusión la excavación se determinara al objetivo que tendrá el túnel, la justificación y presupuesto para la construcción del túnel.

Goel (2016). *Proyecto túnel hidroeléctrico Kishanganga, túnel de kilobyte y túnel Tapovan-Vishnugad*. Objetivos, Excavar túneles con máquina integrales TBMs, se planifica para túneles largos túneles mayores a 10 Km y las dificultades en la geología heterogénea de las diferentes rocas. Se han excavado tres túneles con TBMs en Himalaya e India con éxito una distancia total de 14.75 Km.

Qiuming (2016) *Development of a mechanical rock breakage experimental platform* Con la mejora de la ciencia y la tecnología, excavar un túnel mediante máquinas perforadoras, en los encabezados de la carretera y aplicados en labores subterráneas de ingeniería. Los experimentos de mecánica de rocas cumplieron con los objetivos de rotura del macizo rocoso. Estos ensayos nos permitieron determinar el diseño de perforación y la operación de los equipos de excavación, en la rotura de plataformas desarrollados por Beijing University de Tecnología, con un buen diseño de la posición de los taladros y el explosivo adecuado se desarrolló las plataformas como lo planificado. Se comprobó que definiendo bien la dureza de la roca en diferentes litologías se puede desarrollar la rotura de plataformas en forma experimental mediante la mecánica de rocas, teniendo en cuenta que las perforadoras tienen el sistema hidráulico adecuado y control automático mediante esquemas ya elaborados, con resultados óptimos de excavación de plataformas.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

13 Méndez (2019) en su tesis Evaluación y mejora de las metodologías de perforación y voladura empleadas en la rampa 2805 de la unidad minera Parco, Consorcio Minero Horizonte S.A., objeto central de su investigación académica.

5 La optimización de la perforación y la explosión en la rampa (-) 2705 zona Balcón (Profundización) en Consorcio Minero Horizonte S.A. demanda una construcción que respete la solidez del terreno y utilice aceros de perforación y explosivos con precisión. Por esta razón, perfeccionar la perforación y voladura de rocas resulta crucial, ya que nos permitirá alcanzar resultados superiores y abaratar gastos. La perforación y la voladura de rocas son tareas mineras fundamentales y esenciales en la edificación RP2705 (-) zona Balcón (Profundización) en Consorcio Minero Horizonte S.A., requiriendo la creación magistral de las mallas de perforación y voladura utilizando los modelos matemáticos actuales: • El Método de Roger Holmberg. El arte de perforar y explotar rocas en la (-) 2705 Zona Balcón (Profundización) del Consorcio Minero Horizonte S.A. presenta una serie de defectos que requieren atención, ya que estos generan pérdidas económicas al elevar los gastos directos de edificación de la rampa. Un procedimiento incorrecto de perforación y voladura de rocas podría desencadenar pérdidas económicas. La meta principal de esta tesis es perfeccionar la perforación y voladura de rocas para disminuir los gastos operativos en la edificación de la rampa (-) 2705 Zona Balcón (Profundización) en Consorcio Minero Horizonte S.A. Será una indagación tecnológica con pruebas tangibles. En la edificación de la rampa (-) 2705, cada mes se documentan fallos en la perforación y voladura, tales como disparos soplados, taqueos y tiros cortados. Al optimizar la perforación, voladura y una supervisión eficiente, se puede obtener un ahorro considerable al disminuir significativamente el costo directo de construir la rampa.

5 De La Cruz (2019) Su tesis se centró en evaluar cómo los parámetros utilizados en perforación y voladura contribuyen a la sobre excavación del By Pass 2724, proyecto ubicado en la Unidad Minera Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A. En la actualidad, la evolución continua de la minería es una urgencia imperiosa, brindando

5 trabajos con seguridad, eficiencia y costos más bajos, rivalizando con otras compañías mineras en circunstancias análogas. El estudio actual, denominado análisis de los factores de perforación y voladura que influyen en la sobre excavación del BP-2724 en la Unidad Parcoy del Consorcio Minero Horizonte S.A., implica una optimización en la malla de perforación y la elección de la explosión adecuada, lo que permite disminuir la sobre excavación. Asimismo, el desafío primordial es cómo las características geomecánicas del terreno moldean la sobre excavación en la región del By Pass 2724, situada en la zona Milagros de la mina Parcoy. Como el asunto en cuestión, cómo el tamaño del terreno moldea la malla de perforación. El propósito de esta investigación es mitigar el impacto ambiental y estructural en áreas adyacentes, causado por la alta densidad de fracturas y discontinuidades geológicas en el terreno. Adicionalmente, se estudia cómo la geometría de diseño de los disparos influye en los procesos de perforación y voladura controlada en el By Pass 2724 (región Milagros). El objetivo central radica en optimizar la distribución energética en los taladros de producción y maximizar la eficiencia operativa por guardia. Mediante el análisis de los parámetros actuales de perforación-voladura —responsables de la sobre excavación—, se evaluaron factores geométricos y explosivos. Los resultados demuestran que una planificación rigurosa de estas variables reduce significativamente la sobre excavación y mejora el avance proyectado en la Unidad Minera Parcoy.

Sulcacóndor (2018) en su tesis Propuesta de optimización para perforación y voladura en labores horizontales de Poderosa S.A., basada en voladura controlada.

14 La tesis se enfoca en explorar y perfeccionar los parámetros de perforación y voladura controlada en La Compañía Minera Poderosa S.A., abarcando desde la exploración y desarrollo hasta la preparación y explotación, utilizando modelos clásicos como Konya. Para reinventar los parámetros de perforación y voladura, se ha llevado a cabo un minucioso análisis de los diferentes parámetros, optimizando el paralelismo de taladros, calculando factores de carga, potencia, avance y sobreexcavación, con el propósito de optimizar la eficiencia de la perforación y voladura a través de una voladura supervisada. Los frutos cosechados fueron excepcionales. Los resultados

9 evidenciaron un incremento en la eficiencia de perforación, pasando del 91.57 % al 95 %. Asimismo, se observó una reducción del índice de carga de 3.41 a 2.63 kg/m³, mientras que el avance por metro disminuyó de 57.02 kg/m a 44.06 kg/m. El factor de potencia experimentó una disminución significativa, de 1.26 a 0.97 kg/tonelada. Adicionalmente, se logró eliminar la sobreexcavación (reducción del 15.0 % a 0.0 %), y el avance por disparo mejoró de 3.36 m a 3.47 m.

6 Alegre (2023) en su tesis *La voladura controlada y su influencia en los costos de operación de la compañía minera San Ignacio de Morococha S.A.A.*

6 Para el plan de minado 2022 de San Ignacio de Morococha, se anticipa una excavación superior al 8%; sin embargo, las mediciones diarias y mensuales del departamento de ingeniería y planeamiento revelan que el promedio entre abril y noviembre se sitúa en un 18.88%. El estudio de los estándares revela que el diseño y la explosión de la corona provocan un fisuramiento radial, aunque se empleen explosivos de baja densidad. Además, se descubrió que la orientación de la rampa principal 8600 no es la más ventajosa según el modelo geomecánico. Este incremento en la explotación minera impacta en los gastos de limpieza, mantenimiento y transporte, siendo los más significativos y no los únicos. Se diseña un innovador esquema para perforar y volar contornos, basándose en criterios matemáticos científicos, aplicados en 20 disparos con un ancho de 4.5 metros y un alto de 4.0 metros. De estas voladuras se lleva a cabo un estudio sobre la sobreexcavación, revelando un 7% en promedio. A partir de los resultados de la voladura convencional y la controlada, se calcula el gasto extra que provocan estas explosiones. El costo medio por metro de limpieza se reduce en 18.79, el de mantenimiento en 40.57 y el de transporte se reduce en 12.81. El costo asociado a las actividades directas asciende a 72.17 USD por metro lineal. A partir de estos valores y considerando el porcentaje de excavación excedente, se aplicó un modelo de regresión lineal para derivar una ecuación que permita cuantificar, de manera eficiente, el impacto económico de la sobreexcavación en los costos operativos.

11 Castro y Rosado (2023) en su tesis *Evaluación del proceso de perforación y voladura para la optimización del costo en labores de avance, Unidad Minera Santa María.*

11 La investigación se propuso explorar la técnica de perforación y voladura que posibilita la reducción del costo en las operaciones de avance de la unidad minera Santa María 2022. La teoría principal fue: el análisis del arte de perforar y volar impacta de manera crucial en la optimización del costo en las obras de avance de la unidad minera Santa María 2022. La investigación adoptó un enfoque científico, aplicado, correlacional y no experimental. La muestra abarcó las labores mineras avanzadas, cortadas NE y cortadas SE situadas en el nivel 2120 de la unidad minera Santa María – Compañía Minera Poderosa S. A.

2.2.Bases Teóricas o Científicas

2.2.1.Definición de la variable Excavación con perforación

Son técnicas convencionales que nos permiten realizar taladros, se utilizan debido a las numerosas ventajas frente a la excavación con Rozadoras donde la Resistencia a la compresión simple del macizo rocoso (R_c) es < 100 MPa y Tuneladoras TBM donde la $R_c < 250$ MPa; estos equipos de perforación son versátil para todo tipo de rocas donde la R_c este entre de 80 MPa > 250 MPa, la perforación se realiza con Jumbos Robotizados y como conclusión en costos son con reducida inversión frente a las demás formas de excavación. (López J.E., 2011)

2.2.2. Teorías y definiciones de Perforación

15 La rotopercusión, el arte ancestral de perforar barrenos, surgió en el siglo XIX al ritmo del florecimiento industrial. La primera generación de máquinas prototipo de Singer (1838) y Couch (1848) operaba con vapor; sin embargo, fue con la incorporación del aire comprimido como combustible, en la construcción del túnel de Mont Cenis en 1861, cuando este ingenioso sistema floreció y comenzó a ser empleado de manera amplia. Este suceso, junto con la irrupción de la dinamita, marcaron los hitos clave en el vertiginoso avance del desmonte en minería y edificaciones públicas a finales del siglo pasado. La técnica de perforación de estos dispositivos se fundamenta en el impacto de una pieza de acero (pisto) contra un útil, el cual, a su vez, transmite la energía al fondo del barreno a través de una boca fina. Lopez Jimeno C. (2011).

10

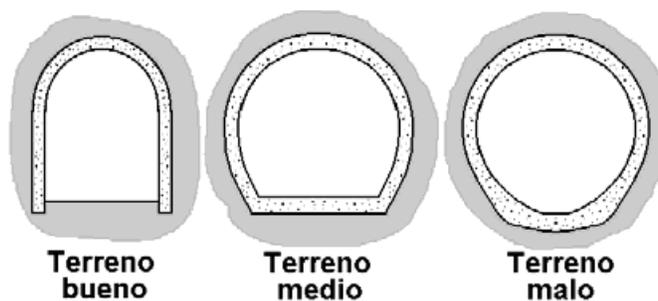
2.2.1.1. Dimensiones de Formación Profesional

Topográfico, Geológico y Mecánicas de Rocas

Topográfico

Los túneles, en su mayoría, son senderos subterráneos concebidos para conectar montañas, atravesar ríos o sortear barreras, con el fin de facilitar el transporte, almacenar productos o alojar conductos.

Las peculiaridades de cada túnel variarán según su propósito, la forma del terreno a cruzar y el método de excavación seleccionado:



Sección en función del tipo de terreno

- Existen múltiples formas de excavación. Es posible utilizar máquinas excavadoras a cielo abierto, explosivos o la excavación en zanjas que luego se llenan.
- La elección del enfoque variará según la esencia de los terrenos a transitar y la capacidad económica que se posea. El diseño del túnel variará según la topografía y su propósito.
- Dependiendo de esta, podemos toparnos con ciertas restricciones en el trazado, como la inclinación, el área de curvas, entre otros aspectos.
- La extensión del túnel variará según el análisis geológico previo, su profundidad y su propósito.
- Estos elementos también influyen en la elección del revestimiento para que la edificación pueda soportar las fuerzas del suelo.

MECÁNICA DE ROCAS

PROPIEDADES GEOMECÁNICAS

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA RMR DE BIENIAWSKI (1989)

Bieniawski forjó esta clasificación geomecánica RMR en 1972-73 y la remodeló en 1976 y 1979, basándose en más de 300 ejemplos auténticos de túneles, cavernas, taludes y cimientos. En la actualidad, se emplea la edición de 1989, que guarda un vínculo esencial con la de 1979. Bieniawski (1989). La hipótesis de Bieniawski propone un sistema de categorización de estratos rocosos que abarca tanto índices de excelencia como criterios de diseño y mantenimiento de túneles. El índice RMR, conocido también como índice de masa rocosa, describe la excelencia del macizo rocoso en cada región estructural a través de seis variables:

- Capacidad para resistir la compresión sencilla de la matriz rocosa.
- R.Q.D. Intensidad de ruptura del entramado rocoso.
- La extensión de las discrepancias
- Requisitos para las divergencias
- La danza invisible del líquido vital
- Dirección de las divergencias
- Ruta de las divergencias

2 a) Índice de calidad de la Roca (RQD)

Fue desarrollado por Deere, el RQD:

$$RQD = \frac{\sum \text{ripios} > 10 \text{ cm}}{\text{Total de la perforacion}}$$

En el segundo caso, utilice la siguiente formula:

$$RDQ = 115 - 3,3 (J_v)$$

En el tercer caso, utilice la siguiente formula.

$$RQD = 100 e^{(0,1\lambda)} (0,1\lambda + 1)$$

Parámetro de resistencia de la roca sana en (MPa)

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE	ENSAYO DE CARGA PUNTUAL(MPa)	VALORACIÓN
Extremadamente dura	>250	> 10	15
Muy dura	100 - 250	4 - 10	12
Dura	50 - 100	2 - 4	7
Moderadamente dura	25 - 50	1 - 2	4
Blanda	5 - 25	<1	2
Muy blanda	1 - 5		1
	< 1		0

Extraído: De Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según Bieniawski

2

Resistencia a la compresión simple de los diferentes tipos de roca

TIPO DE ROCA	Resistencia a la compresión simple (MPa)		
	Mínimo	Máximo	Medio
Esquisto	31	70	43
Pizarra	33	150	70
Arcillita	36	172	95
Arenisca	40	179	95
Mármol	60	140	112
Caliza	69	180	121
Andesita	127	138	128
Granito	153	233	188
Gneis	159	256	195

Basalto	168	359	252
Cuarcita	200	304	252
Dolerita	227	319	280
Sílice	587	683	635

2 Extraído: De Clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según.

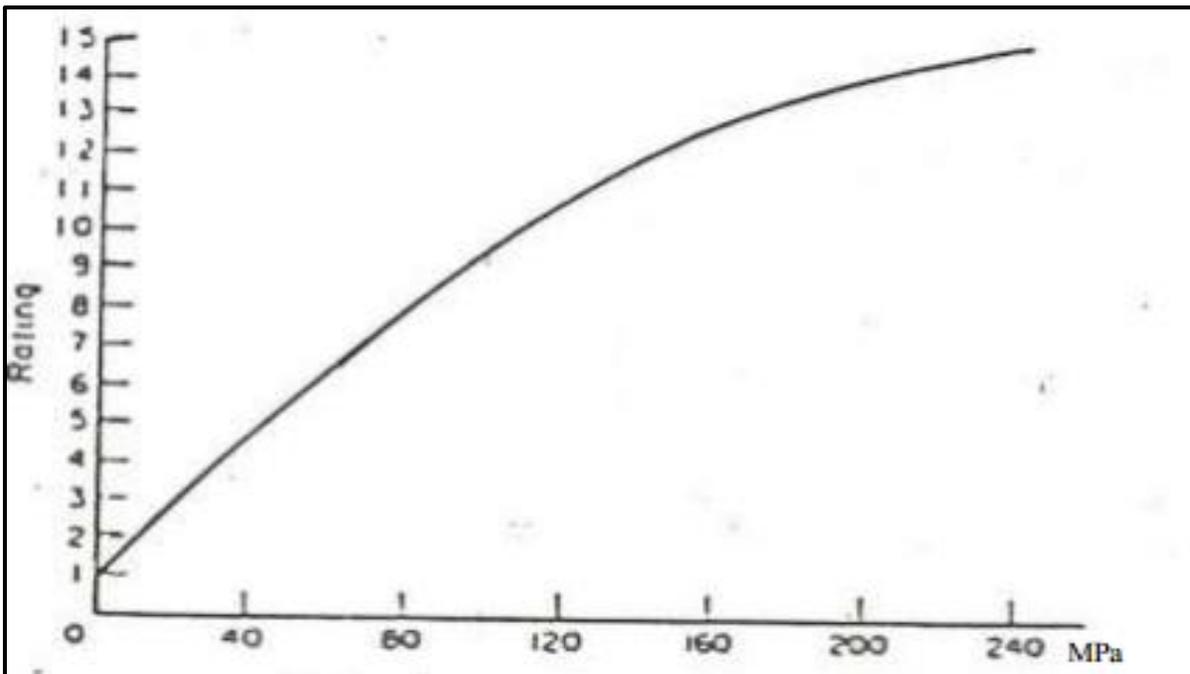


Gráfico para determinar el parámetro de la resistencia a la compresión simple

Extraído: De clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos según Bieniawski

CLASIFICACIÓN GEOMECÁNICA DE BARTON

A partir de una vasta colección de ejemplos de estabilidad en obras subterráneas, el Norgerian Geotechnical Institute (N.G.I.) presentó un índice para evaluar la excelencia del terreno en túneles y taludes.

Esta categorización emplea seis criterios para determinar la categoría de macizo

- R.Q.D
- Índices de fracturamientos (J_n)
- Índices de las rugosidades, rellenos y continuidades de la discontinuidad(J_r)

- Índices de las alteraciones de la discontinuidad (J_a)
- Coeficientes reductores por las presencias de agua (J_w)
- Los coeficientes que tienen en cuenta las influencias de estados tensionales sobre los macizos rocosos (SRF)
- SRF: índices de estados de tensiones de macizos

SRF calcula la fuerza disipada durante una excavación en un área de fallas y roca envuelta en arcillas; (2) los esfuerzos en una roca robusta; (3) las fuerzas compresivas en rocas plásticas que no son robustas.

La magnitud de este índice Q se expresa en: El primer cociente (RQD / J_n), encarnando la arquitectura del macizo, es una antigua medida primitiva del tamaño de los fragmentos o partículas, con dos valores extremos de 100/0.5 y 10/20, ambos con una diferencia de 400.

El segundo cociente (J_r / J_a) simboliza la elasticidad y las peculiaridades de la fricción en las paredes de fisuras o en los materiales de relleno.

El tercer cociente (J_w / SRF), encarna cómo el estado tensorial moldea el equilibrio:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} + \frac{J_w}{SRF}$$

Donde:

QD (Rock Quality Designation)

J_n , parámetros para describir los números de familia de discontinuidades

J_r , parámetros para describir las rugosidades de la junta

J_a , parámetros para describir las alteraciones de la junta

J_w factores asociados al agua en junta

SRF, factores asociados a estados tensionales.

Valores de clasificación geomecánica de Barton

Tipo de roca	Valor de Q
Excepcionalmente mala	0.001 - 0.01
Extremadamente mala	0.01 - 0.1
Muy mala	0.1 - 1
Mala	01 - 03
Regular	04 - 10
Buena	10 - 40
Muy buena	40 - 100
Extremadamente buena	100 - 400
Excepcionalmente buena	400 - 1000

CLASIFICACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE DE GSI

Es una herramienta de estudio de rocas concebida en la ingeniería mecánica de rocas para proporcionar datos de entrada fiables sobre sus características, ideales para análisis numérico o soluciones de diseño para la construcción de túneles, taludes o cimentaciones en rocas.

La naturaleza geológica del suelo y su apreciación visual son los datos esenciales para elegir los parámetros que evalúan la fortaleza y la elasticidad del cimiento. Esto también ofrece un enfoque práctico para desentrañar la esencia de macizos rocosos intrincados y complicados de definir (Marinos & Hoek, 2000).

INDICE DE ESFUERZO GEOLOGICO PARA ROCAS UNIDAS (HOEK & MARINOS, 2000) Desde la litología, estructura y condiciones de superficie de las discontinuidades, se estima el valor promedio del GSI. No intentar ser muy preciso. Un rango de 33 a 37 es mas real que tomar un GSI de 35. Note que la tabla no aplica a fallas controladas estructuralmente. Donde planos estructurales debiles estan presentes en una direccion desfavorable con respecto a la excavacion, estos dominaran el comportamiento del macizo rocoso. Las zonas de falla son propensas a la alteracion como resultado de cambios de humedad que puede reducirse cuando el agua esta presente. Cuando trabajamos en roca regular o mala calidad cambian las condiciones por el cambio de humedad. La presion del agua es tratada por analisis de esfuerzos efectivos.		CONDICIONES DE SUPERFICIE				
ESTRUCTURA		MUY BUENA	BUENA	REGULAR	POBRE	MUY POBRE
		DECRECE LA CALIDAD DE LA SUPERFICIE →				
 INTACTA O MASIVA Rocas intactas o masivas in-situ, rocas con discontinuidades amplias y espaciadas	90				N/A	N/A
 FRACTURADA Macizo rocoso con bloques enclavados, bloques cubicos formados tres intersecciones de sistemas de dicontinuidades	80	70				
 MUY FRACTURADA Macizo perturbado con bloques entrabados y angulares formados por la interseccion de 4 o mas sistemas		60	50			
 FRACTURADA/PERTURBADA/SORDIDA Macizo plegado formado por bloques angulares productos de la interseccion de varios sistemas de discontinuidades. Persistencia de los planos de estratificacion			40	30		
 DISGREGADO Pobremente enclavado, macizo altamente fracturado con mezcla de fragmentos angulares y redondeados				20		
 LAMINADA/FOLIADA Se carece de bloques debido al debil material en los planos de esquistocidad y cizalla	N/A	N/A			10	
		↓ DECRECE EL ENCLAVAMIENTO DE LOS BLOQUES ↓				

Gráfico comportamiento Geo mecánico según GSI

RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO

La capacidad del macizo rocoso para resistir la compresión uniaxial se abre en los contornos de la excavación cuando los esfuerzos aplicados superan el valor σ_c . La fractura se expande desde su punto de origen, generando un campo de tensiones biaxiales a lo largo de su trayectoria, hasta alcanzar un estado de equilibrio cuando la

relación entre las tensiones resistentes locales, representadas por la combinación máxima de esfuerzos inducidos σ'_1 y σ'_3 , se estabiliza. Este estudio detallado es fundamental para analizar la estabilidad de excavaciones en roca y para la planificación de sistemas de soporte (Hoek; Carranza-Torres; Corkum, 2002).

Esto nos lleva a la noción de “fortaleza de la roca gigante” que Hoek y Brown (1997) plantearon, la cual podría calcularse a partir de la ecuación de Mohr-Coulomb:

$$\sigma'_{cm} = \frac{2c' \cos \phi'}{1 - \sin \phi'}$$

Con c' y ϕ' , determinado para el intervalo de esfuerzos $\sigma_t < \sigma'_3 < \frac{\sigma_{ci}}{4}$, resultando en:

$$\sigma'_{cm} = \sigma_{ci} \frac{[m_b + 4s - a(m_b - 8s)](m_b/4 + s)^{a-1}}{2(1+a)(2+a)}$$

Donde:

σ'_{cm} Resistencia del macizo rocoso

Determinación de σ'_{3max}

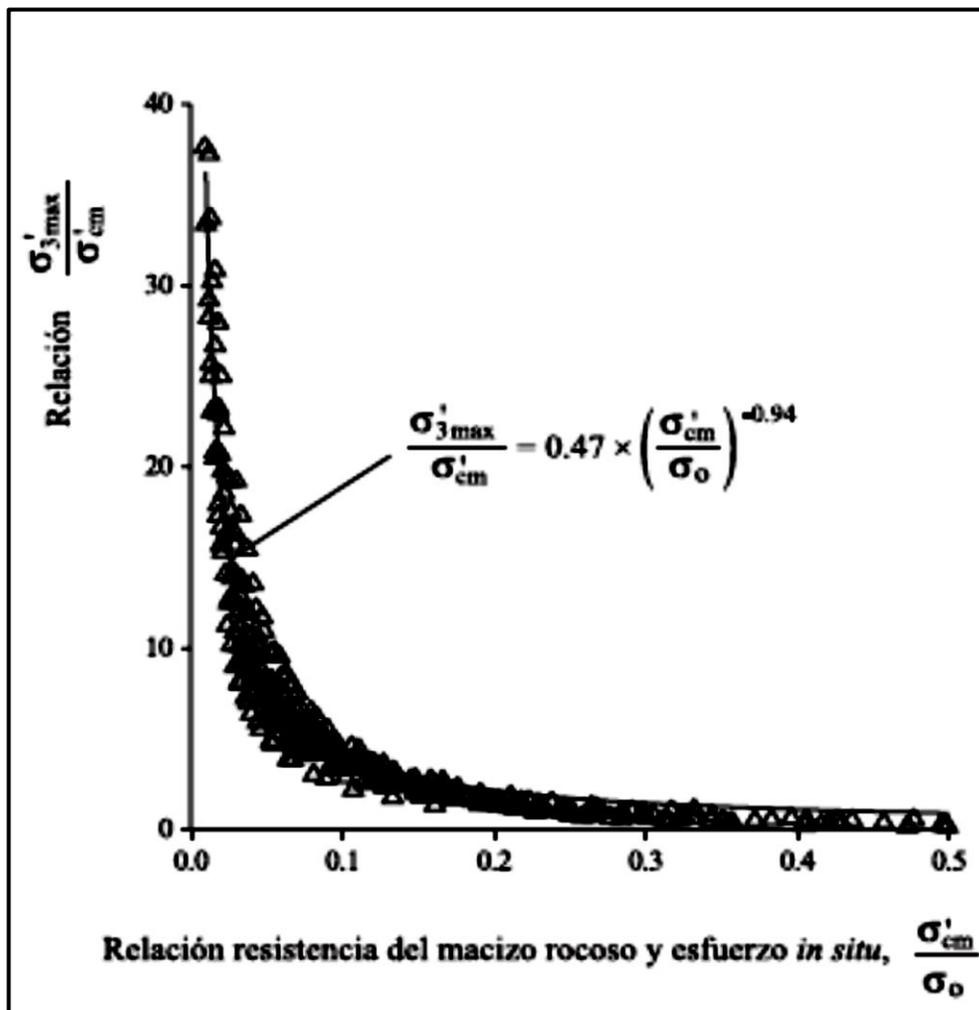
La elección del valor adecuado depende de cada situación específica de los casos investigados por Hoek; Carranza-Torres; Corkum, (2002):

- En el ámbito de los túneles, el valor es aquel que exhibe curvas características idénticas para ambos criterios de fractura, ya sea en los profundos o en los superficiales.
- Terrenos donde el factor de seguridad calculado y la forma y ubicación del área de fractura son idénticos.

Para túneles profundos se han utilizado soluciones Elásto-plástico que incluyen los criterios de Hoek & Brown generalizado y Mohr-Coulomb. Esto facilita la obtención de múltiples resultados y la determinación del valor que corresponde a las curvas

características equivalentes. Bajo la superficie, dicho valor es inferior a tres veces el diámetro del túnel. Estudios numéricos comparativos sobre la excavación, el área de ruptura y el tamaño de la superficie que se hunde muestran una relación similar a la de túneles profundos. Esto implica que el hundimiento en túneles poco profundos no llega a la superficie (CARRANZA TORRES, 2002).

$$\frac{\sigma'_{3max}}{\sigma'_{cm}} = 0.47 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.94}$$



Relación para el cálculo de en los parámetros de Hoek & Brown y Mohr-Coulomb, para el caso de túneles (Hoek; Carranza-Torres; Corkum, 2002)

20

2 Extraído: de Evaluación de la estabilidad de excavaciones mineras mediante análisis empíricos, el caso de la mina de San Juan, Ecuador.

16 Para resolver problemas como el derrumbe de bloques en mina, se aconseja no entrelazar los parámetros de Mohr-Coulomb y Hoek & Brown; la determinación de las propiedades del material y el análisis subterráneo se basan exclusivamente en uno de estos criterios:

$$\frac{\sigma'_{3\max}}{\sigma'_{cm}} = 0.72 \left(\frac{\sigma'_{cm}}{\gamma H} \right)^{-0.91}$$

Siendo H, la altura del talud

(Mullo Vallejo, 2012), en su tesis afirma que:

“Esta investigación busca explorar el comportamiento geotécnico de las excavaciones subterráneas de la hidroeléctrica Coca Codo Sinclair 1500 Mw, con el fin de perfeccionar la edificación y asegurar la longevidad de las obras civiles. Para ello, se analizan diversos factores del terreno como: características físicas y mecánicas, peso específico, peso volumétrico, porosidad, resistencia a la compresión uniaxial, desgaste a la abrasión, humedad, esponjamiento, estudios para obras subterráneas, clasificación de Bieniawski, índice RMR, R.Q.D (Rock Quality Designation), G.S.I., Q índice de Barton y ensayos de permeabilidad”.

(Castro Chinchilla, 2012), en su tesis afirma que:

“La congestión y la escasez de terrenos requieren la exploración de nuevas alternativas, como la utilización de túneles. Para alcanzar estos objetivos, se recolectaron datos teóricos, se adquirieron perfiles geológicos y características geotécnicas que fueron procesadas por un modelo bidimensional de elemento finito, empleando el software de computación PHASE2 y aplicando la metodología de análisis desarrollada por Evert Hoek para secciones combinadas de acero y hormigón. De esta manera, se alcanzó el objetivo del análisis de soporte del túnel Zapote-Curridabat”.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LA ROCA

Peso específico: Cuando se habla de peso por volumen, se utilizan unidades como kilopodio, newton, toneladas-fuerza, entre otros. En términos generales, se toma el mismo valor para el peso específico γ y para la densidad δ (masa/volumen)..

$$\delta = \frac{\text{Masa}}{\text{Volumen}}$$

2 Dureza y tenacidad: La resistencia de las piedras y minerales depende de los enlaces entre sus moléculas fundamentales. En general, la dureza aumenta con la densidad del empaquetamiento atómico y el reducido tamaño de los iones. Una de las escalas de dureza más conocidas es la de Mohs, que va del 1 al 10 y se basa en la facilidad con la que un mineral puede ser rayado.

PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA ROCA

Resistencia a compresión simple: La resistencia uniaxial es el mayor esfuerzo que puede aguantar una roca cuando se aplica una compresión uniaxial, medido en una muestra cilíndrica.

$$\sigma_c = \frac{F_c \text{ (fuerza compresion aplicada)}}{A \text{ (area de aplicacion)}}$$

Resistencia a tracción: La capacidad de carga de la masa rocosa tiende a oscilar entre un 5 y un 10 % del valor de su resistencia a compresión simple, aunque en ciertos tipos de rocas sedimentarias puede alcanzar un 16%.

8 Módulo de Young o de elasticidad (E): Es la relación sutil entre las fuerzas aplicadas y la deformación resultante en la dirección del esfuerzo. A medida que el módulo de Young aumenta, mayor es la dificultad para alterar su estructura. El módulo de Young E se caracteriza por esta ecuación:

$$E = \frac{dF/A}{dF/L}$$

dF/A = Es el esfuerzo unitario

dF/L = Es la deformación unitaria

PROPIEDADES DE ROCA INTACTA

El entramado rocoso se compone de piedra intacta y arquitecturas geológicas intactas. Las características mecánicas de la roca en su condición intacta abarcan: capacidad para la compresión sencilla, capacidad para la tracción, capacidad para el corte y capacidad para las pruebas triaxiales. Asimismo, se determinan características elásticas como el módulo de elasticidad y la relación de Poisson, además de rasgos físicos de la roca, como la densidad, el peso unitario, la humedad, la porosidad y la absorción.

ENSAYOS DE COMPRESIÓN SIMPLE (UCS)

El experimento de compresión busca determinar la resistencia máxima a la compresión de una muestra cilíndrica testigo. Para ello, se le aplica una carga axial sin restricciones, aumentándola de manera progresiva hasta que la muestra cede. La resistencia a la compresión sencilla se refiere a este común esfuerzo vertical ejercido sobre el espécimen al fallar.

ENSAYO DE CARGA PUNTUAL

El ensayo de carga puntual busca, de manera indirecta, evaluar la fortaleza frente a la compresión simple, calculando el índice IS (50) en muestras de rocas regulares e irregulares.

ENSAYO CON ESCLERÓMETRO (MARTILLO DE SCHMIDH)

El ensayo con esclerómetro busca, aproximadamente, calcular la resistencia a la compresión simple a través de una conexión entre la cantidad de rebotes, la orientación de la carga y la densidad de la muestra. Para rocas intactas y discontinuidades, es un ensayo sencillo, rápido y de amplia aplicación.

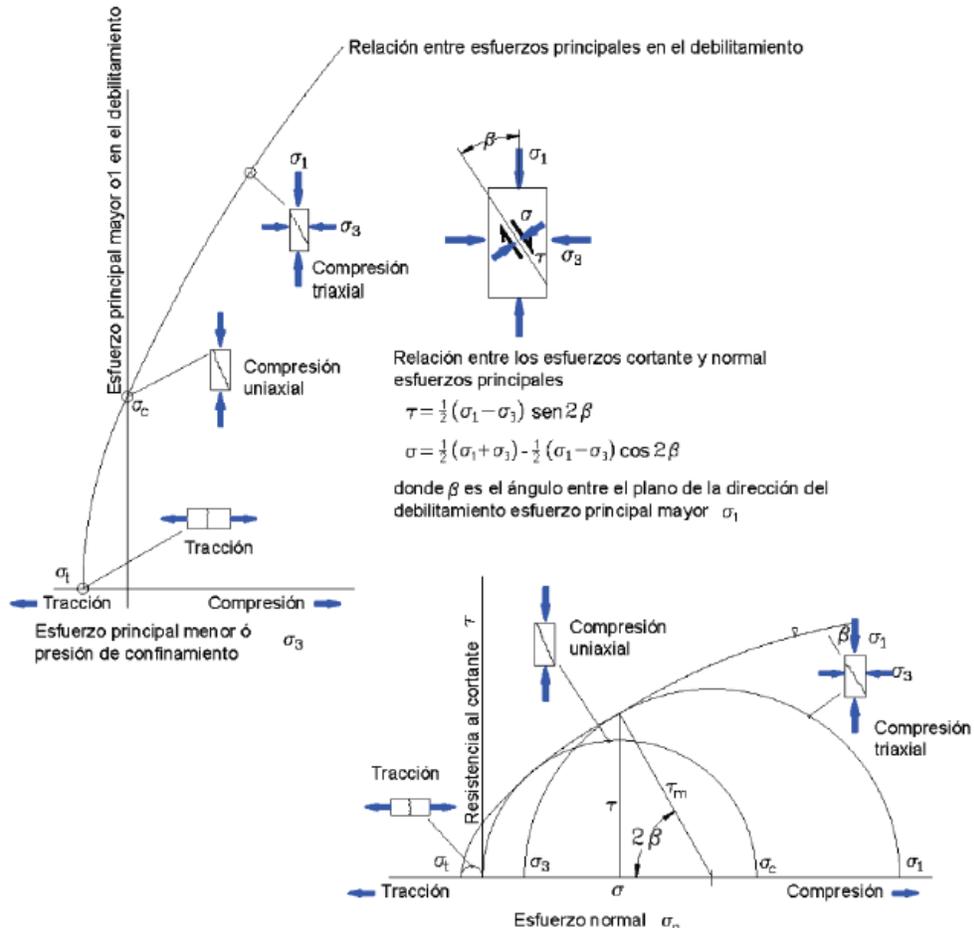
ENSAYO TRIAXIAL

Este estudio tiene como objetivo analizar la resistencia a la compresión de una muestra cilíndrica de roca (testigo), sometida a una presión de confinamiento constante mientras recibe una carga axial progresiva. Este procedimiento permite reproducir en el laboratorio las intensas condiciones de confinamiento que experimenta la roca en su entorno natural.

En el análisis, la fuerza axial ejercida simboliza el esfuerzo principal elevado (σ_1), mientras que la tensión radial generada por la presión hidráulica simboliza la fuerza

principal baja (σ_3). Cada par de valores σ_1 y σ_3 permite diseñar la envolvente de esfuerzos, desde la cual se puede calcular la constante de roca intacta u otros parámetros. El diagrama siguiente ilustra las variadas cargas que pueden romper la roca intacta.

Envolvente de rotura del criterio de Hoek & Brown



Fuente: (Huamán Aparicio & Ardiles Velasco, 2017)

ESTIMACIÓN DEL FACTOR DE ALTERACIÓN D

La vivencia en la creación de taludes en vastas extensiones de terreno ha revelado que el criterio de Hoek & Brown, aplicado a macizos rocosos “in situ” sin alteraciones ($D = 0$) genera valores de resistencia considerados optimistas. Las devastadoras voladuras, sumadas a la presión ejercida por la eliminación del estéril recubrimiento, desencadenan una metamorfosis del imponente macizo rocoso. Para estos conjuntos rocosas, resulta más adecuado tomar en cuenta las características “metamorfoseadas”

2 del macizo, es decir, $D = 1$. A partir de estas referencias, el grado de transformación en el entramado rocoso alrededor de una excavación puede determinar una variedad de factores que rara vez se pueden medir con exactitud. No obstante, mediante el escrutinio minucioso de cada detalle recolectado. Hoek; Carranza-Torres y Corkum, (2002), han buscado diseñar directrices para medir el factor D. La magnitud de este factor de alteración puede ser considerable, lo cual se ilustra con un ejemplo corriente en el que el factor D se transforma significativamente $\sigma_{ci} = 50 \text{ MPa}; m_i = 10$ y, $GSI = 45$.

2 Para un imponente pedestal rocoso que rodea un túnel a 100 metros de profundidad, con un factor de alteración $D = 0$, el ángulo de fricción correspondiente es de 47.16° , y la tenacidad cohesiva es $c = 0.58 \text{ MPa}$ (CARRANZA TORRES; 2002).

Sin embargo, estas directrices actúan como una referencia práctica para cualquier proyecto y, si las mediciones o registros del comportamiento de la excavación exceden lo previsto, los valores de alteración podrán ajustarse en consecuencia.

En resumen, Hoek, Carranza-Torres y Corkum (2002) han abordado múltiples desafíos prácticos y matices de incertidumbre al aplicar el criterio de rotura de Hoek & Brown. Resultaron capaces de ofrecer una metodología meticulosa y clara para determinar o calcular los parámetros necesarios en el estudio.

2 Estos métodos han sido incorporados en un software conocido como "Rocdata". Este software ofrece una variedad de tablas y gráficos para calcular la fortaleza frente a la compresión de los fragmentos de roca intacta, la constante del material, el índice de resistencia geológica, el factor de alteración D y para calcular los valores de en diversas rocas.

Apariencia del macizo rocoso	Descripción del macizo rocoso	Valor <i>D</i> sugerido
	<p>Excelente calidad de voladura controlada o excavación con tuneladora, TBM, con resultados de alteración mínima del macizo rocoso confinado circundante al túnel</p>	<p><i>D</i> = 0</p>
	<p>Excavación mecánica o manual en macizos rocosos de mala calidad (sin voladuras) con una alteración mínima en el macizo rocoso circundante.</p> <p>Cuando aparezcan problemas de deformación en el piso durante el avance, la alteración puede ser severa a menos que se coloque una contrabóveda temporal, tal como se muestra en la fotografía.</p>	<p><i>D</i> = 0</p> <p><i>D</i> = 0.5 No invert</p>
	<p>Voladura de muy mala calidad en un túnel en roca competente con daños locales severos, extendiéndose 2 o 3 m en el macizo rocoso circundante.</p>	<p><i>D</i> = 0.8</p>
	<p>Pequeñas voladuras en taludes de ingeniería civil dan lugar a pequeños daños al macizo rocoso, particularmente si se usan voladuras de contorno como se muestra en el lado izquierdo de la fotografía. Sin embargo la liberación de tensiones resulta en alguna alteración.</p>	<p><i>D</i> = 0.7 Good blasting</p> <p><i>D</i> = 1.0 Poor blasting</p>
	<p>Los taludes en las grandes minas a cielo abierto sufren alteraciones significativas debido a las grandes voladuras de producción y también debido a la relajación de tensiones al retirar el estéril de recubrimiento.</p> <p>En algunas rocas blandas la excavación puede llevarse a cabo mediante el ripado y empuje con tractores de orugas y el grado de afección a los taludes será menor.</p>	<p><i>D</i> = 1.0 Production blasting</p> <p><i>D</i> = 0.7 Mechanical excavation</p>

Figura 1 — Guía para determinar el valor de Alteración D (Hoek et al,2002)
 Extraído: De Mecánica de Rocas, Fundamentos e Ingeniería de Taludes.

CONSTANTE DE ROCA “C” PROPUESTO POR LANGEFORS (1978)

(Langefors & Kihlstrom, 1978), Afirma: “sugiere un parámetro que simboliza la influencia de la roca, denominado “c0”, para una carga de límite con cero throw”. El valor de “c” revela el margen técnico necesario para una rotura satisfactoria, calculado como: “c” igual a 1,2 dividido por “c0”. Cuando “c0” se encuentra en 0,17 kg/m para un granito cristalino frágil, y oscila entre 0,18 y 0,35 kg/m³ para otras rocas. Para diseños explosivos, se considera un coeficiente de “c” que equivale a 0,4 kg por metro cuadrado.

(Langefors & Kihlstrom, 1963), afirma: asegura: La constante de roca es un índice volátil que oscila entre 0,2 y 0,4 kg por metro cúbico..

(Sanchidrian, Segarra, Burden, & López, 2002), asegura: “Se ajustó esta constante para diversas formas de piedra y se descubrió una conexión recta con el uso específico de explosivo technical power factor, superando el límite necesario”. Nos ofrece la siguiente tabla:

Tabla: Comportamiento de la voladura

Comportamiento de voladura	Tipo de roca	Factor de roca “A”	C. E de explosivo ANFO (kg/m ³)	Constante de la roca “c” (kg/m ³)
Mala	Andesita,dolomita, granito	12 - 14	0.7	0.62
Media	Dolomita, cuarsita, serpentina	10 - 11	0.45	0.40
Buena	Sandstone, caliza, shale	08 - 09	0.30	0.27
Muy buena	coal	6	0.15 - 0.25	0.14 - 0.22

Fuente: (Segarra Catusus, 2004)

Donde se tiene la constante de roca con la siguiente ecuación:

$$C = 0.8784 * C.E + 0.0052$$

FACTORES DE VOLADURA

Factor de carga: Es el número de kilogramos de explosivos necesarios para despegar un metro cúbico de roca. El factor de carga oscila entre 1,2 y 3,6 kg por metro cúbico, según la estructura de la roca, y este parámetro es el índice económico más crucial al diseñar patrones de voladura. Suele emplearse como un termómetro de eficacia en la danza de las voladuras (Torres Yaranga, 2015).

$$\text{Factor de carga } (F_c) = \frac{\text{Cantidad de explosivo (kg)}}{\text{Volumen roto (m}^3\text{)}}$$

Factor de potencia: El factor de potencia es el número de explosivos empleados para desmembrar una tonelada de material, ya sea mineral o desmonte, en una danza explosiva.

$$\text{Factor de potencia } (F_c) = \frac{\text{Cantidad de explosivo (kg)}}{\text{Toneladas roto (tm)}}$$

Factor de avance: Es la cantidad de explosivos empleada por cada metro de distancia recorrida.

$$\text{Factor de avance } (F_a) = \frac{\text{Cantidad de explosivo (kg)}}{\text{Metro lineal (m)}}$$

DISTANCIA DEL TÚNEL

La distancia del túnel se obtiene del levantamiento superficial, este parámetro tiene mucha importancia para determinar el método de excavación, costos y diseño de la sección del túnel.

DIRECCIÓN DEL TÚNEL

La dirección del túnel se determina en Rumbos o Azimut, las que son obtenidos de un levantamiento topográfico superficial, la precisión requerida debe ser en milésimas de segundos.

PENDIENTE DEL TÚNEL

Este parámetro de diseño de un túnel tiene su importancia por lo que la plataforma de la labor tendrá una inclinación o pendiente con respecto a la horizontal, también cabe mencionar esta inclinación es para evacuar las aguas subterráneas existentes.

TIPO DE ROCA

Determinar la litología mediante la petrología no sirve para la perforación de los taladros, las que son corroboradas con los ensayos de Mecánica de Rocas. En cuanto a su origen de las rocas se tiene clasificado como roca Ígneas, Sedimentarias y Metamórficas.

CONSIDERACIONES DE PROCESOS DE PERFORACIÓN Y RENDIMIENTOS

El rendimiento de perforación se manifiesta en ingresos netos por hora de labor, abarcando todas las operaciones necesarias, tales como desplazamientos sobre el frente de perforación, cambios de acero, ajustes de barrenos y mantenimiento integral del equipo. El rendimiento de la perforación no solo debe considerar el avance lineal, sino también el aumento del volumen, ya que al ampliar el diámetro del barreno, este se expande significativamente. La perforación resulta más eficiente en rocas homogéneas, mientras que en materiales fracturados o sueltos, el proceso se dificulta y el rendimiento disminuye debido al riesgo de desprendimientos y colapsos dentro de los orificios (Llano Sedano & Sicus Quispe, 2012)

PERFORACIÓN DE ROCAS

El primer paso para preparar una explosión es perforar. Su misión radica en desentrañar en la roca o mineral cavidades cilíndricas conocidas como taladros, hoyos o blast holes, destinados a albergar explosivos y sus dispositivos en su interior. (EXSA, 2019)

Se fundamenta en los principios mecánicos de percusión y rotación, donde los golpes y fricciones moldean y trituran la roca en una extensión equivalente al diámetro de la broca y hasta una profundidad determinada por la longitud del barreno empleado.

JUMBOS ROBOTIZADOS

Los robustos artefactos de perforación frontal de Epiroc están concebidos para romper muros en la minería subterránea y forjar túneles profundos.



CARACTERISTICAS DE UN JUMBO

- La pluma robusta y flexible logra cubrir de manera óptima el área; su rotación de 360° y su haz autonivelante agilizan su ubicación; también se puede emplear para perforar travesaños laterales y pernos de roca. El equipo de perforación ofrece una vista privilegiada al operador; su diseño armonioso y el chasis articulado de tracción en cuatro ruedas aseguran una conducción ágil, veloz y segura en el túnel diminuto. El pistón escalonado se emplea para perforar rocas de impacto de alta frecuencia, potenciando así la transmisión de la onda de impacto, acelerando la perforación, minimizando el uso de herramientas y manteniéndolo en óptimas condiciones. El amplio espacio y las funciones automatizadas permiten al conductor concentrarse en perforar con seguridad, rapidez y exactitud. Todas las partes involucradas están bien resguardadas, y su mantenimiento resulta sencillo.

DISEÑO DE MALLAS DE PERFORACIÓN

“El diseño de las mallas de perforación consiste en una serie de agujeros creados sobre una superficie, los cuales deben cumplir requisitos específicos en cuanto a geometría, simetría, posicionamiento, orientación, ángulo y profundidad” (Choque Velarde, 2017). El diseño se realiza con el objetivo de:

- ✓ Reducir el gasto de perforaciones y cantidades de explosivo
- ✓ Obtener unos buenos avances
- ✓ Mantener los tamaños o secciones de las labores uniformes
- ✓ Determinar los ordenes y salidas del taladro

La malla de perforación es cómo se organizan los taladros en una explosión, teniendo en cuenta principalmente la relación entre el burden y el espaciamiento, así como su conexión con la profundidad del taladro. Las voladuras subterráneas son diferentes de las voladuras en minería a cielo abierto.

CONSIDERACIONES DE VOLADURA

En el arte de las excavaciones subterráneas, las explosiones son tan cruciales como la elección de la técnica adecuada de excavación, que debe ajustarse al terreno y al diseño del sistema adecuado para la voladura (Ojeda Mestas, 1998).

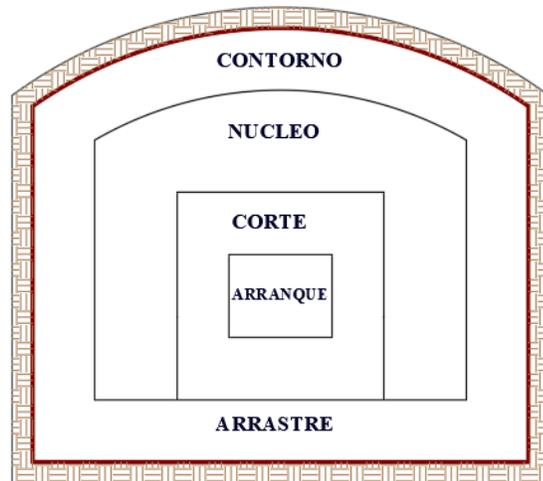
La importancia de las voladuras en las excavaciones subterráneas radica en dos aspectos cruciales:

1. La roca debe romperse de manera eficiente y económica mediante voladuras.
2. Para minimizar la caída de rocas, es esencial que la masa rocosa restante sufra un daño mínimo.

ESQUEMAS PARA DISEÑO DE VOLADURA

El proceso de voladura en frentes subterráneos se define por la ausencia de una superficie libre de salida, quedando disponible inicialmente sólo el frente de ataque. El principio de ejecución gira en torno a la creación de un hueco libre mediante perforadoras de arranque, que sirven como punto de rotura de las cargas restantes de la sección. Normalmente, este hueco abarca una superficie de 1 a 2 m², aunque puede ampliarse hasta 4 m² con diámetros de perforación mayores. En configuraciones en abanico, la mayor parte de la sección está cubierta por las perforadoras de arranque (López Jimeno, 2003).

Si bien el núcleo es geoméricamente similar a la voladura en banco, requiere un consumo específico de explosivo de 4 a 10 veces mayor debido a factores como las imprecisiones de perforación, la reducción del hueco y del ángulo respecto del eje de avance, la disminución de la cooperación entre cargas vecinas y, en ciertas zonas, los efectos adversos de la gravedad, como se observa en las perforadoras de arrastre.



Zonas de una voladura en túneles y/o Galerías

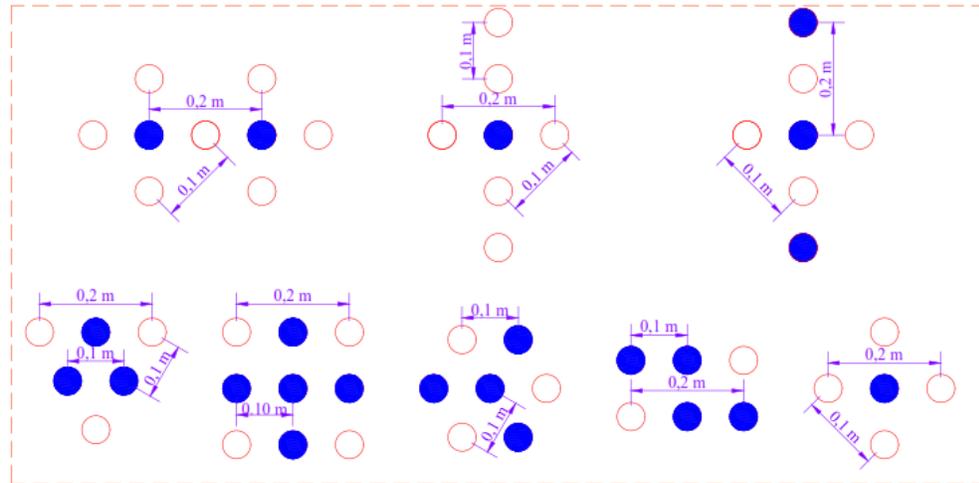
2

ARRANQUES O CORTE QUEMADOS

Según (EXSA S.A., 2019), se trata de un conjunto de taladros de igual diámetro, perforados en paralelo y a corta distancia entre sí, siguiendo distintos patrones de distribución. Algunos de estos taladros permanecen sin carga explosiva, funcionando como espacios vacíos que actúan como caras libres para los taladros cargados al momento de la detonación. El diseño más básico consiste en un rombo con cinco taladros: cuatro vacíos en las esquinas y uno cargado en el centro. En ciertas condiciones de la roca, este patrón se invierte, dejando vacío el taladro central y cargando los cuatro periféricos.

2

También son comunes los diseños con seis, nueve o más taladros dispuestos en cuadrado, donde la mitad tiene carga y la otra mitad está vacía, alternándose de diferentes maneras, generalmente en triángulos y rombos. Los diseños más complejos, conocidos como cortes suecos, tienen secuencias que siguen una forma en espiral o caracol.

Figura: Ejemplos de arranques con corte quemados

Fuente: (López Jimeno, 2003)

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE EXPLOSIVOS

El arte de seleccionar el artefacto perfecto para un propósito específico implica desentrañar las particularidades de cada explosivo y, a partir de ellas, seleccionar el más idóneo para la aplicación requerida.

PRECIO DEL EXPLOSIVO

Según (López Jimeno, 2003), “El precio del explosivo es, sin duda, un factor crucial para la selección. En primer lugar, es crucial seleccionar el explosivo más accesible que permita llevar a cabo un trabajo específico. El ANFO, con un consumo total que oscila entre el 50% y el 80%, depende de cada nación”.

PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS EXPLOSIVOS

Las características prácticas principales de un explosivo son: potencia explosiva, capacidad de romper, rapidez de detonación, presión durante la detonación, densidad, resistencia al agua, calidad de los gases producidos, sensibilidad y estabilidad química.

2.3. Definición de términos Básicos

Potencia explosiva

El concepto de potencia abarca la capacidad de un explosivo para generar fuerza y su destreza para ejecutar tareas. (Konya, 1998)

Poder rompedor

El poder rompedora es una característica del explosivo que revela su habilidad para fracturar la roca solo a través de la onda de detonación, sin contar con el conjunto de la onda y la presión gaseosa (que es una medida de potencia). La capacidad de fractura es fundamental en explosivos no confinados o desacoplados, cuyos gases no pueden mantener altas presiones. Este es el caso de las cargas vacías y aquellas diseñadas para generar presión (Bernaola Alonso, Castilla Gomes, & Herrera Herbert, 2013)

Velocidad de detonación

Es el ritmo con el que la reacción se desliza por la columna de explosivos. En los artefactos explosivos comerciales, su velocidad oscila entre 1.524 y 7.620 metros por segundo. La rapidez de la explosión es crucial para operaciones fuera del muro, como el moldeo o la demolición de estructuras. La rapidez de la explosión cobra menos relevancia si el explosivo se emplea en un taladro.

La rapidez de la explosión puede ser una brújula para evaluar la eficacia de una reacción explosiva en el ámbito cotidiano. (Konya, 1998)

Presión de detonación

Este rasgo se manifiesta casi de inmediato cuando las ondas de choque atraviesan el explosivo; su magnitud depende de la densidad y del cuadrado de VEO.

Los artefactos de uso cotidiano exhiben una presión de explosión que oscila entre 500 y 1500 Mpa. En rocas robustas, la fragmentación se lleva a cabo con mayor eficacia al emplear explosivos de alta presión de detonación, ya que esta variable está íntimamente vinculada a los mecanismos de fractura de la roca. (Sanchez Villarreal, 2012)

Densidad

Los explosivos industriales poseen una densidad crucial. Depende del tipo de materiales utilizados en su creación, pues cuanto más denso sea el explosivo, más concentrada será la carga para un diámetro de barreno específico. (Bernaola Alonso, Castilla Gomes, & Herrera Herbert, 2013)

Los explosivos suelen tener una densidad relativa que oscila entre 0,8 y 1,5. Existen ciertos explosivos de menor densidad con usos específicos y cuyo uso demanda una energía reducida por volumen, ideales para voladuras de recorte o para aplicaciones específicas en voladuras de escollera.

Resistencia al agua

Es la destreza para aguantar largas horas bajo el agua sin perder su potencia, velocidad y simpatía; esta resistencia se manifiesta en la duración (horas) que el explosivo puede permanecer bajo el agua y aun así poder ser detonado. Depende de la composición del explosivo, y en el caso de dinamitas y gelatinas, suele estar vinculada a una mayor concentración de nitroglicerina o sus aditivos, los cuales son más resistentes. (Piñas Esteban, 2013)

Calidad de los humos

Los humos residuales son los gases que se generan cuando un explosivo detona. Estos incluyen vapores nitrosos (NO_x), vapor de agua, monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO₂). Los explosivos industriales están hechos de tal manera que las reacciones químicas que ocurren producen humos de explosión con bajo contenido de gases dañinos (CO y NO_x). Esto muestra que se lleva a cabo una reacción química completa. (Bernaola Alonso, Castilla Gomes, & Herrera Herbert, 2013)

Sensibilidad

La sensibilidad de un explosivo se puede definir como el nivel de energía que se necesita aplicar para que comience a detonarse. Se pueden ver diferentes aspectos de la sensibilidad de los explosivos; algunos influyen en la seguridad al manejarlos (como en la fabricación, transporte y uso) y otros en cómo se inician durante las explosiones (Bernaola Alonso, Castilla Gomes, & Herrera Herbert, 2013):

- Sensibilidad al detonador.
- Sensibilidad a la onda explosiva.
- Sensibilidad al choque y al rozamiento

Estabilidad Química

La inalterabilidad química de un explosivo radica en su habilidad para conservar su esencia química a través del tiempo. La solidez se asegura si el almacenamiento y la duración son adecuadas y precisas, brindando al usuario un producto absolutamente seguro y confiable para las labores de explosión. (Bernaola Alonso, Castilla Gomes, & Herrera Herbert, 2013)

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1.Hipótesis general

Existe relación significativa entre la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

3.2.Hipótesis Específicos

- Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023
- Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023
- Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica de rocas y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

3.3.Definición conceptual y operacional de las variables

3.3.1.Variable excavación con perforación

Definición conceptual:

Son técnicas convencionales que nos permiten realizar taladros, se utilizan debido a las numerosas ventajas frente a la excavación con Rozadoras donde la Resistencia a la compresión simple del macizo rocoso (R_c) es < 100 MPa y Tuneladoras TBM donde la $R_c < 250$ MPa; estos equipos de perforación son versátil para todo tipo de rocas donde la R_c este entre de 80 MPa > 250 MPa, la perforación se realiza con Jumbos Robotizados y como conclusión en costos son con reducida inversión frente a las demás formas de excavación. (López J.E., 2011)

Definición operacional:

D1 Dimensión topográfica

D2 Dimensión geológica

D3 Dimensión mecánica de rocas

3.3.2.Variable voladura controlada

Definición conceptual:

En el arte de las excavaciones subterráneas, las explosiones son tan cruciales como la elección de la técnica adecuada de excavación, que debe ajustarse al terreno y al diseño del sistema adecuado para la voladura (Ojeda Mestas, 1998).

Definición operacional:

D1 Sección del túnel

D2 Números de taladros

D3 Cantidad de explosivo

3.4.Operacionalización de las variables

“Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Escala	Items	Escala de valores”
Excavación con perforación	Son técnicas convencionales que nos permiten realizar taladros, se utilizan debido a las numerosas ventajas frente a la excavación con Rozadoras donde la Resistencia a la compresión simple del macizo rocoso (Rc) es < 100 MPa y Tuneladoras TBM donde la Rc < 250 MPa; estos equipos de perforación son versátil para todo tipo de rocas donde la Rc este entre de 80 MPa > 250 MPa, la perforación se realiza con Jumbos Robotizados y como conclusión en costos son con reducida inversión frente a las demás formas de excavación. (López J.E., 2011)	Aplicar el cuestionario a fin de obtener información sobre excavación con perforación	Dimensión topográfica	Ordinal	1,2,3,4,5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nunca 2. Casi nunca 3. A veces 4. Casi siempre 5. Siempre
			Dimensión geológica	Ordinal	6,7	
			Dimensión mecánica de rocas	Ordinal	8,9	
Voladura controlada	En el arte de las excavaciones subterráneas, las explosiones son tan cruciales como la elección de la técnica adecuada de excavación, que debe ajustarse al terreno y al diseño del sistema adecuado para la voladura. (Ojeda Mestas, 1998).	Aplicar el cuestionario a fin de obtener información sobre voladura controlada	Sección del túnel	Ordinal	1,2	
			Número de taladros	Ordinal	3,4	
			Cantidad de explosivo	Ordinal	5,6	

CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. Tipo y nivel de Investigación

4.1.1. Tipo de Investigación

Básica: al respecto Villegas et al (2011), dijo: En el ámbito de la investigación fundamental, podemos destacar que abarca problemas teóricos, sustantivos o específicos, destinados a desentrañar y anticipar una realidad específica, y desentrañar un aspecto del estudio. Es crucial cimentar teóricamente la esencia social de la educación o forjar una nueva teoría integral de la educación. (p. 87).

4.1.2. Nivel de Investigación

Descriptiva correlacional: Al respecto Hernández, Fernández y Baptista (2014), "Debido a que busca destacar las cualidades, atributos y rasgos esenciales de individuos, colectivos y comunidades, y el objetivo primordial de los estudios correlacional es desentrañar el comportamiento o la conexión entre las variables analizadas" (P.122). La estadística bivariada nos brinda la capacidad de tejer vínculos y evaluar vínculos; así como establecer vínculos y correlaciones.

4.2. Diseño y Método de la Investigación

4.2.1. Método de Investigación

Se utilizó el método hipotético deductivo, que parte de una suposición como una hipótesis y se dedica a desmontar o rectificar tales suposiciones, derivando conclusiones que deben ser contrastadas con la realidad. En palabras de Tamayo y Tamayo (2006). Se trata de determinar la veracidad o falsedad de las hipótesis (que no podemos probar de manera directa, ya que son declaraciones generales o leyes, que abarcan términos teóricos) fundamentadas en los efectos observados, tales declaraciones que se derivan de hipótesis y cuya veracidad o falsedad podemos verificar de manera directa. (Behar, 2008. página 40)

Se empleó una metodología específica para manejar datos de investigación tanto cualitativos como cuantitativos. El propósito de administrar estos datos es evidenciar con evidencia una o más consecuencias verificables que emergen de la teoría fundamental del estudio. Las peculiaridades del método estadístico varían según el

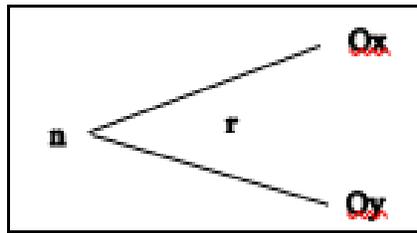
1 enfoque investigativo seleccionado para confirmar el impacto deseado. (Hernández et al. (2014).

4.2.2. Diseño de Investigación:

Se tomó en cuenta lo afirmado por Alfaro (2012): Una investigación es no experimental cuando el científico se limita a contemplar los eventos sin intervenir en ellos. (p.24)

No experimental, descriptivo- correlacional.

Presentación de gráfica del diseño:



Fuente: Elaboración propia

Donde:

n	=	Muestra
O	=	Observación
x	=	Excavación con perforación
y	=	Voladura controlada
r	=	Relación entre las variables

1

3

4.3. Población y muestra de la investigación

4.3.1. Población

De acuerdo con Hernández y su equipo (2014), la población se define como un colectivo destinado a participar en un estudio global y a condensar los hallazgos. Los ingenieros civiles y mineros formaron la comunidad de 30 ingenieros.

4.3.2. Muestra

De acuerdo con Hernández (2014), la muestra es un fragmento de la población, representando así a la totalidad del grupo. Se llevó a cabo una selección no casual, compuesta por 30 ingenieros civiles y mineros, constituyendo la muestra censal.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

4.4.1. Técnicas

La encuesta es una técnica que persigue desentrañar la percepción de una fracción de la sociedad sobre un problema específico, según Arias, (2006)

4.4.2. Instrumentos

Según Hernández (2014), El cuestionario, un entramado meticoloso de componentes, le brinda la información requerida conforme a los indicadores establecidos en este estudio. Para llevar a cabo esta investigación, se empleó un cuestionario con nueve preguntas para excavación con perforación y seis para voladura controlada.

4.4.3. Validez y confiabilidad

Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014: p.200) definen la validez del instrumento en cuanto a su capacidad para detectar la variable que se pretende evaluar. Para esta investigación, la certeza ha sido otorgada mediante la evaluación de expertos, quienes han examinado minuciosamente los cuestionarios, tal como se detalla en el siguiente gráfico:

Validez de instrumentos según expertos

“Jueces expertos	Cuestionario de Formación Profesional	Cuestionario de Desempeño docente
Juez 1	Muy bueno	Muy Bueno

Juez 2	Bueno	Bueno
Juez 3	Muy Bueno	Muy Bueno

Fuente: Juicio de Expertos

Se llevó a cabo una prueba piloto con 10 ingenieros, con rasgos semejantes a la población y muestra a examinar, resultando en el Alfa de Cronbach de 0.825 y 0.811, conforme se detalla en el cuadro adjunto.:

Resultados de Fiabilidad – Coeficiente de Alfa de Cronbach

“Jueces expertos	Coeficiente de Alfa de Cronbach	Cantidad de Items
Excavación con perforación	0.825	09
Voladura controlada	0.811	206

Fuente: Prueba piloto

Ambos valores oscilan entre 0.8 y 1, indicando que los instrumentos analizados poseen una fiabilidad excepcional, una consistencia impecable y una precisión asombrosa; es decir, al replicar las pruebas, los instrumentos medidos mostrarán los mismos resultados.

4.4.4. Procesamiento y análisis de datos

En el ámbito del manejo de información destacamos: Esta fase de la investigación se enfocó en analizar los datos dispersos, desordenados e individuales recolectados durante el ejercicio de campo, con el propósito de obtener resultados organizados y ordenados que permitan realizar un análisis según los objetivos y las hipótesis planteadas en la investigación, o de ambos Bernal C. (2016: p.198).

Además, el análisis de datos implica desentrañar los descubrimientos vinculados al problema de investigación, los objetivos establecidos, las hipótesis y preguntas planteadas, y las teorías o presupuestos establecidos en el marco teórico, con el propósito de verificar si las teorías se confirman o no, y provocar discusiones con las teorías previamente establecidas.

La investigación se llevó a cabo mediante un cuestionario con tres opciones, asignando un valor numérico en declive. Siempre (3), ocasionalmente (2) y jamás (1). El análisis estadístico descriptivo y la investigación correlacional de Rho de Spearman se llevaron a cabo utilizando tablas de Excel y el revolucionario SPSS, versión 26.

4.4.5.Ética de la Investigación

Este estudio respetó los principios éticos que guían las investigaciones científicas, solicitando los permisos pertinentes si fuera necesario. Además, la documentación recolectada se presenta en la elaboración del informe final de la tesis.

Además, los datos recolectados fueron tratados con confidencialidad y sus conclusiones llevarán las sombras del misterio, desapareciendo luego los sondeos aplicados. El estudio se realizó siguiendo las directrices APA7.

CAPÍTULO V: RESULTADOS

5.1. Análisis Descriptivo

5.1.1. Variable Excavación con perforación

Tabla 1: Variable Excavación con perforación

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca	2	6,7	6,7	6,7
	A veces	12	40,0	40,0	46,7
	Siempre	16	53,3	53,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

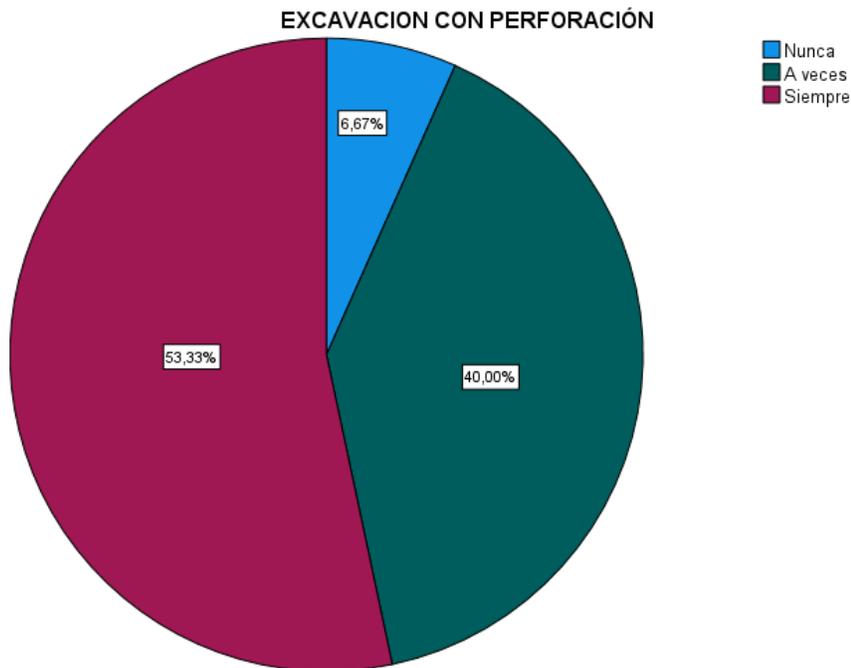


Figura 1: Variable Excavación con perforación

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que siempre la excavación con perforación es adecuada con un 53.3 % seguida de 40 % de a veces.

Tabla 2: D1 Topográfica

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca	2	6,7	6,7	6,7
	A veces	17	56,7	56,7	63,3
	Siempre	11	36,7	36,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

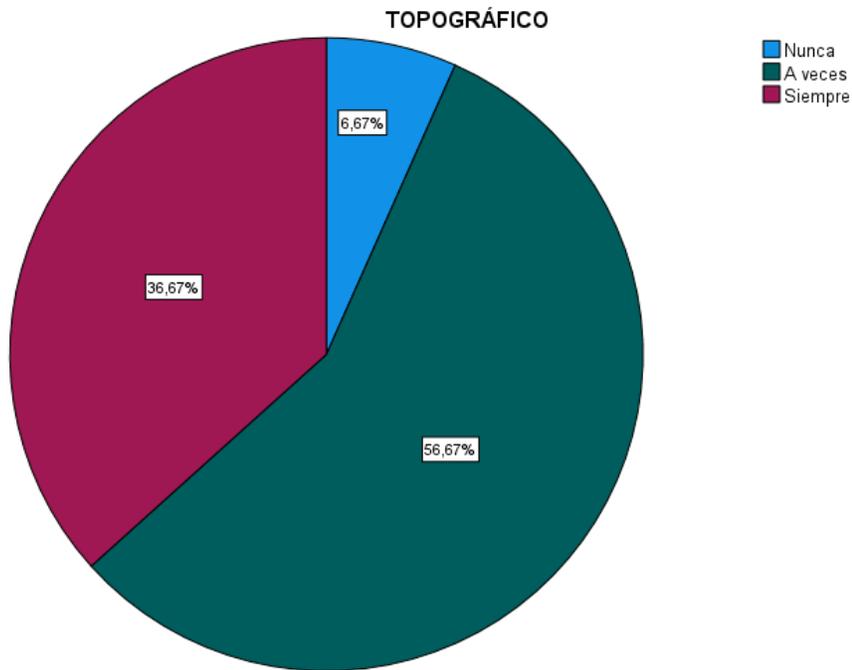


Figura 2: D1 Topográfica

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que a veces la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica es adecuada con un 56.7 % seguida de 36.7 % de siempre.

Tabla 3: D2 Geológica

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	A veces	14	46,7	46,7	46,7
	Siempre	16	53,3	53,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

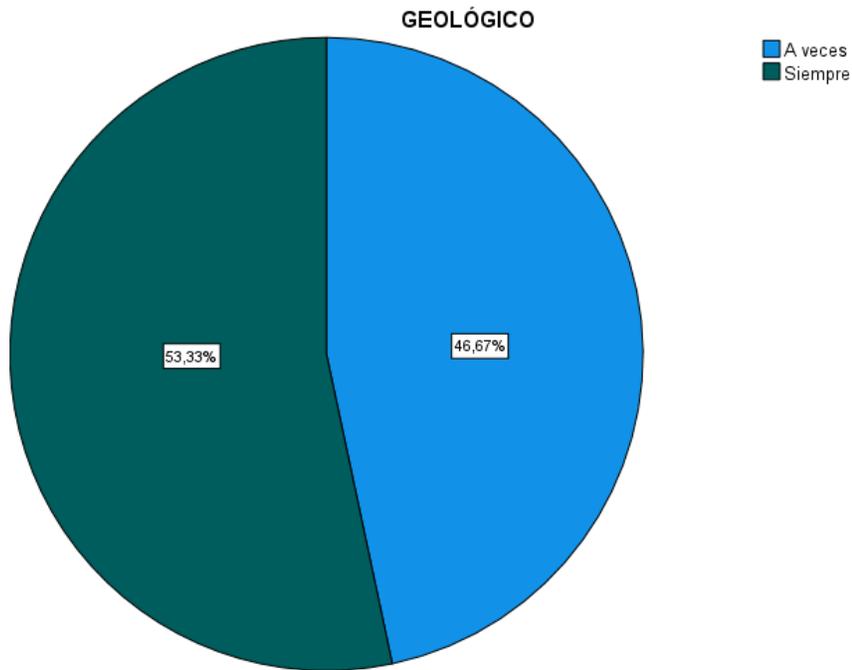


Figura 3: D2 Geológica

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que siempre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica es adecuada con un 53.3 % seguida de 46.7 % de a veces

Tabla 4: D3 Mecánica de rocas

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca	2	6,7	6,7	6,7
	A veces	12	40,0	40,0	46,7
	Siempre	16	53,3	53,3	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

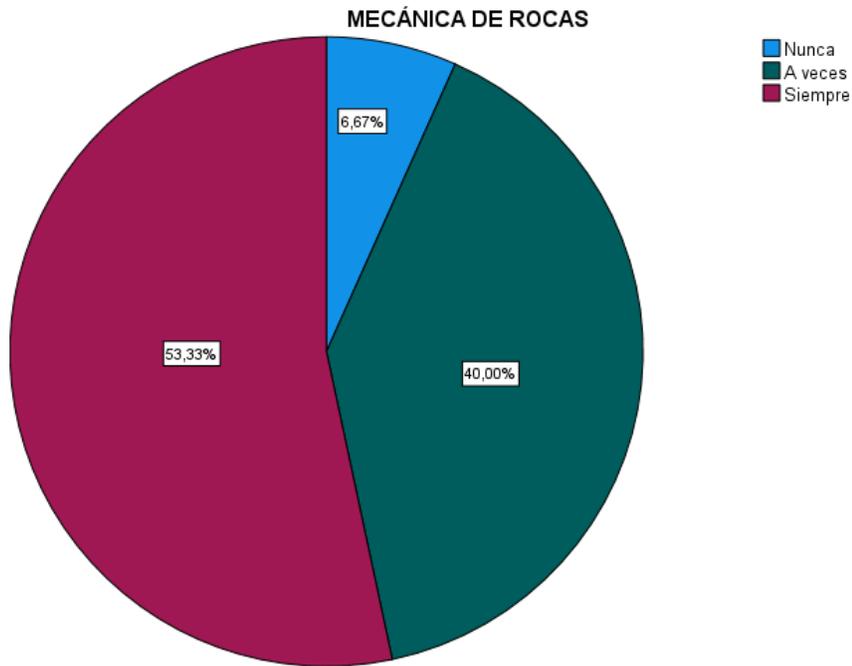


Figura 4: D3 Mecânica de rocas

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que siempre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica de rocas es adecuada con un 53.3 % seguida de 40 % de a veces.

5.1.2.Variable Voladura controlada

Tabla 5: Variable Voladura controlada

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido Nunca	2	6,7	6,7	6,7
A veces	16	53,3	53,3	60,0
Siempre	12	40,0	40,0	100,0
Total	30	100,0	100,0	

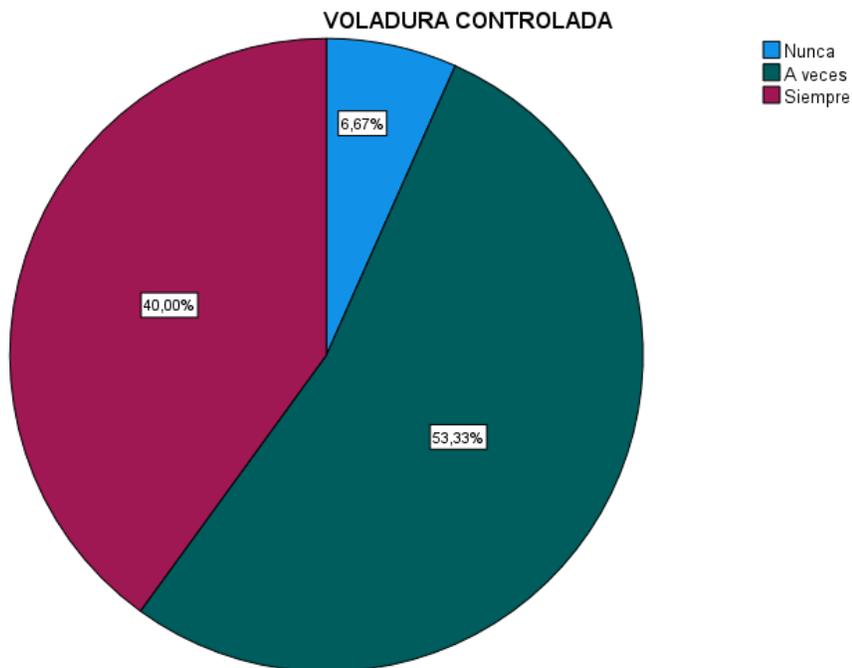


Figura 5: Variable Voladura controlada

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que a veces la voladura controlada es adecuada con un 53.3 % seguida de 40 % de siempre.

Tabla 6: D1 Sección del túnel

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca	2	6,7	6,7	6,7
	A veces	16	53,3	53,3	60,0
	Siempre	12	40,0	40,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

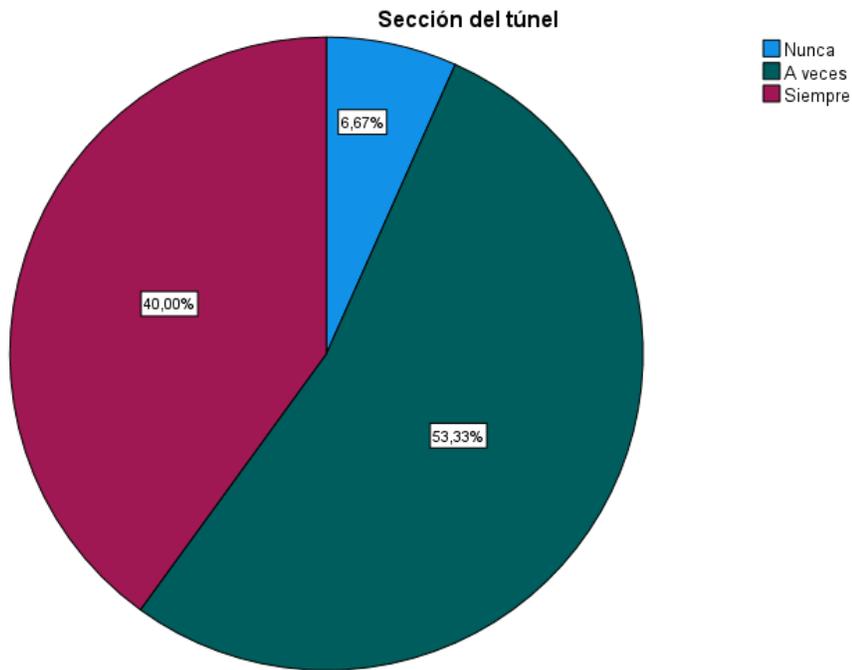


Figura 6: D1 Sección del túnel

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que a veces la voladura controlada mediante sección del túnel es adecuada con un 53.3 % seguida de 40 % de siempre.

Tabla 7: D2 Número de taladros

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca	2	6,7	6,7	6,7
	A veces	16	53,3	53,3	60,0
	Siempre	12	40,0	40,0	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

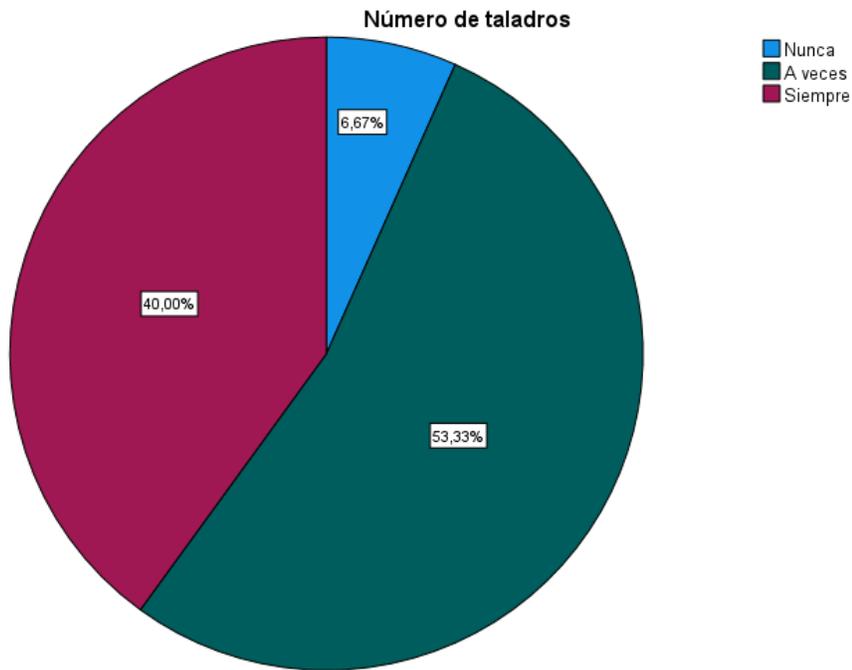


Figura 7: D2 Número de taladros

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que a veces la voladura controlada mediante el número de taladros es adecuada con un 53.3 % seguida de 40 % de siempre.

Tabla 8: D3 Cantidad de explosivos

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Nunca	2	6,7	6,7	6,7
	A veces	17	56,7	56,7	63,3
	Siempre	11	36,7	36,7	100,0
	Total	30	100,0	100,0	

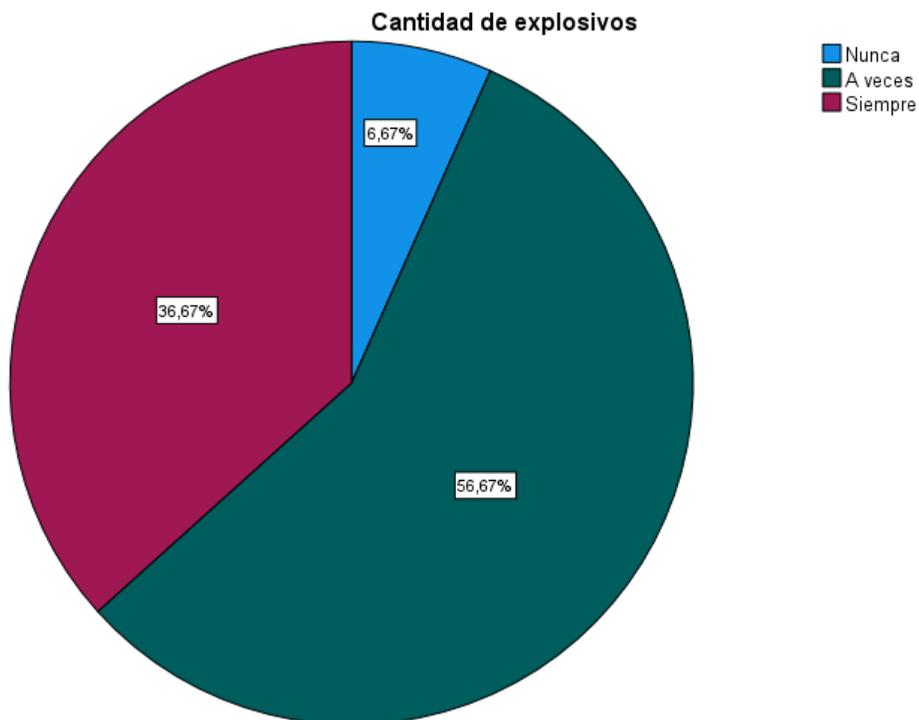


Figura 8: D3 Cantidad de explosivos

Interpretación: El mayor porcentaje de los ingenieros encuestados considera que a veces la voladura controlada mediante cantidad de explosivos es adecuada con un 56.7 % seguida de 36.7 % de siempre.

5.2. Análisis Inferencial

Prueba de Distribución normal:

H₀: Los datos tienen una distribución normal.

H_a: Los datos no tienen una distribución normal

Nivel de significancia: 5%

Prueba estadística:

Tabla 9: Prueba de Normalidad

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig [”] .
Excavación con perforación	“Nunca	.211	6	.02	.242	6	.03
	Algunas veces	.201	20	.02	.221	20	.02
	Siempre”	.112	4	.02	.195	4	.03

a. Corrección de significación de Lilliefors

El número de datos es inferior a 50, por lo que se aplicó la prueba de Shapiro Wilk. Los resultados de la prueba estadística (sig.= 0.02) no superan el 5% (0.05), por lo que se descarta la hipótesis nula. La Prueba de Rho de Spearman es la más idónea para analizar los datos.

Contrastación de hipótesis general

H_a: Existe relación significativa entre la excavación con perforación y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Ho: No existe relación significativa entre la excavación con perforación y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Tabla 10: Contratación de Hipótesis General
Correlaciones

		Excavac. con Perforación	Voladura controlada	
Rho de Spearman	EXCAVACIÓN CON PERFORACIÓN	Coeficiente de correlación	1,000,810	
		Sig. (bilateral)	,000	
		N	30	
	VOLADURA CONTROLADA	Coeficiente de correlación	,810	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	
		N	30	30

4 Según la significancia bilateral 0,000 es menor de $p = 0.05$ lo que nos permite confirmar que:

3 Existe relación significativa entre la excavación con perforación y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación de nivel muy alto de 0,810.

Contrastación de hipótesis específica 1

Ha: Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Ho: No existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Tabla 11: Contrastación de Hipótesis Especifica 1

Correlaciones

			TOPOGRÁFICO	VOLADURA CONTROLADA
Rho de Spearman	TOPOGRÁFICO	Coefficiente de correlación	1,000	,946
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	30	30
	VOLADURA CONTROLADA	Coefficiente de correlación	,946	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	
		N	30	30

Según la significancia bilateral 0,000 es menor de $p = 0.05$ lo que nos permite confirmar que:

Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación de nivel muy alto de ,946.

Contrastación de hipótesis específica 2

Ha: Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Ho: No existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Tabla 12: Contrastación de Hipótesis Especifica 2

Correlaciones

		GEOLÓGICA		VOLADURA CONTROLADA
Rho de Spearman	GEOLÓGICA	Coeficiente de correlación	1,000	,767
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	30	30
	VOLADURA CONTROLADA	Coeficiente de correlación	,767	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	
		N	30	30

Según la significancia bilateral 0,000 es menor de $p = 0.05$ lo que nos permite confirmar que:

Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación alto de 0,767.

Contrastación de hipótesis específica 3

Ha: Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica de rocas y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Ho: No existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica de rocas y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

Tabla 13: Contrastación de Hipótesis Especifica 3

Correlaciones

			MECÁNICA DE ROCAS	VOLADURA CONTROLADA
Rho de Spearman	MECÁNICA DE ROCAS	Coefficiente de correlación	1,000	,755
		Sig. (bilateral)	.	,000
		N	30	30
	VOLADURA CONTROLADA	Coefficiente de correlación	,755	1,000
		Sig. (bilateral)	,000	
		N	30	30

1 Según la significancia bilateral 0,000 es menor de $p = 0.05$ lo que nos permite confirmar que: Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica de rocas y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación alto de 0,755.

CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La investigación reveló que la perforación y la voladura controlada están íntimamente ligados en la extensión del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación de nivel extremadamente elevado de 0,810.

Estos hallazgos están en sintonía con la investigación llevada a cabo por Castro y Rosado (2023) en su tesis se concluyó que, tras evaluar los procedimientos de perforación y voladura en las labores RA ELI 2 (-), RA RABI 5 (-) y RA RABI 6 (-), es esencial optimizar tanto el tiempo de perforación como la distribución de explosivos por taladro. Esta optimización permitirá disminuir los tiempos muertos, así como reducir los costos asociados al uso de explosivos y aceros de perforación.

Los hallazgos coinciden con los presentados por Alegre (2023) en su tesis. Comparando los resultados de la voladura convencional y la controlada, se realiza una evaluación de los gastos asociados a estas explosiones. El costo medio por metro de limpieza se reduce en 18.79, el de mantenimiento en 40.57 y el de transporte se reduce en 12.81. Las actividades directas cuestan 72.17 dólares por metro lineal. Con estos gastos y la porción de excavación superada, se lleva a cabo una regresión lineal para hallar la ecuación que nos permita desentrañar de manera veloz cómo la sobre excavación impacta en los costos.

La investigación de Sulcacóndor (2018) ha realizado una minuciosa revisión de los parámetros de perforación y voladura, optimizando el paralelismo de taladros, calculando factores de carga, potencia, avance y excavación, con el propósito de optimizar la eficiencia de la perforación y voladura a través de una voladura supervisada. Los resultados obtenidos fueron excepcionales. Se logró un aumento en la eficacia de perforación, pasando del 91.57 % al 95 %. El índice de carga se redujo de 3.41 a 2.63 kg por metro cúbico, mientras que el avance varió entre 57.02 kg/m y 44.06 kg/m. El factor de potencia disminuyó de 1.26 kg por tonelada a 0.97 kg por tonelada. Además, se alcanzó una reducción del factor de sobreexcavación, pasando del 15.0 % a 0.0 %. El recorrido por disparo también aumentó, de 3.36 metros a 3.47 metros.

Es decir, coincide con la tesis de De La Cruz (2019), cuyo propósito es disminuir el impacto en el entorno laboral debido a la mayor presencia de fracturas y discontinuidades en el terreno, así como cómo la geometría del disparo moldea la perforación y la voladura

controlada en el By Pass 2724 en la región Milagros. El propósito es optimizar la distribución de energía en los taladros de producción y elevar la eficacia del disparo en cada guardia. Se examinaron los parámetros actuales de perforación y voladura que provocan sobre excavación, se analizó el factor geométrico de la perforación y voladura y se analizó el factor explosivo. Este estudio concluye que se llevó a cabo una evaluación de perforación y voladura con mayor control, minimizando la sobre excavación y optimizando el progreso previsto en la Unidad Minera Parcoy.

CONCLUSIONES

- 1.-Existe relación significativa entre la excavación con perforación y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación de nivel muy alto de 0,810
- 2.-Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación de nivel muy alto de ,946.
- 3.-. Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación alto de 0,767.
- 4.-Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica de rocas y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023, con un coeficiente de correlación alto de 0,755.

RECOMENDACIONES

1.- El Gerente de la obra debe tener en cuenta lo siguiente: en los frentes de avance, se debe utilizar una malla de perforación específica para optimizar la eficiencia de la voladura. Además, el equipo y maquinaria empleados deben estar en óptimas condiciones para asegurar una distribución eficiente de energía en el macizo rocoso. Finalmente, la uniformidad en el uso de precorte en labores subterráneas y la supervisión deben garantizar que el personal de la obra cumpla con los parámetros de perforación y voladura.

2.- Al Gerente de la obra se le encomienda pintar la malla de perforación para asegurar que la geometría de la voladura sea eficaz, aplicar voladura controlada para evitar una excavación desmesurada en la zona de cortada. La supervisión debe vigilar la ejecución de la voladura controlada en el campo para asegurar que los maestros perforistas cumplan con las cargas establecidas. Se debe considerar la posibilidad de emplear explosivos de baja potencia para reducir la sobre excavación.

3.- Al Gerente de la obra ofrecer la instrucción y puesta en práctica del novedoso diseño de perforación y voladura de contorno, lo cual contribuirá a disminuir los gastos directos en las actividades unitarias de limpieza, sostenimiento y transporte. Esto implica que todos los participantes en la perforación voladura deben estar al tanto de cómo la sobre excavación impacta directamente en los costos operativos.

4.- El Gerente de la obra tiene la responsabilidad de supervisar el tiempo de perforación, la cantidad y distribución de explosivos por taladro, lo que permitirá minimizar el tiempo de perforación y avance, maximizando así el costo en las labores de avance.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Bibliografía referida al tema

- Alegre, E. (2023) Tesis La voladura controlada y su influencia en los costos de operación de la compañía minera San Ignacio de Morococha S.A.A. Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Barton, N.; Lien, R.; Lunde, J. (1988). Engineering Classification of Rock Masses for the design of Tunnel Support. En *Rock Mechanics* .
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gomes, J., & Herrera Herbert, J. (2013). *Perforacion y Voladura de Rocas en Minería*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Bieniawski, Z. T. (1976). Engineering Clasification of Jointed Rock Masses. AFRICA.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications*. USA: A Wiley-interscience.
- Cabezas , Edison Damián , ANDRADE , Diego y Torres , Johana . 2018. Introducción a la metodología de la investigación científica. 1a. Quito, Ecuador : ESPE, 2018. pág. 135. ISBN: 978-9942-765-44-4.
- Cáceres Navarro, L. (2017). *Optimización de la Perforación y Voladura con Nuevo Diseño de Malla en el Crucero 10014 de la Empresa Minera MARSA*. (Tesis de Grdo), Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería de Minas, Puno.
- Cámac Torres, A. (2005). *Voladura de Rocas*. Puno.
- Algaba, C. (2017). Análisis de la formación psicopedagógica del docente universitario en el departamento de construcción de la Facultad de Ciencias e Ingeniería en la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, durante el II semestre del año 2016.
- Camacho Gomez, O. S. (2017). *Aplicación de la Clasificacion Geomecanica para la Mejora del Rendimiento de Voladura en la Empresa Minera Catalina Huanca S.A.C*. (Tesis de Grado), Universidad Nacional Jorge Basadre Grohman, Tacna, Peru, Tacna.
- Canepa, C. (2005). *Minería a Pequeña Escala en la Costa Sur Media del Peru - INGEMMET*. Lima, Peru: INGEMMET.
- Carnero C, Leoncio. 1995. Mecanica de rocas aplicada al dimensionamiento de sistema de atirantamiento en minas subterranas. San Paulo : s.n., 1995.
- Castro, O. y Rosado, L.(2023) Tesis Evaluacion del proceso de perforacion y voladura para la optimizacion de costo en labores de avance, Unidad Minera Santa Maria. Universidad Continental.

- Choque Velarde, E. (2017). *Diseño de Perforacion y Voladura por el Método Roger Holmberg para Reducir las Incidencias de Voladuras Deficientes en Cia Minera Ares S.A.C. – U.O. ARCATA*. Puno, Peru: Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingenieria de Minas.
- Chumbe Salazar, M. V. (25 de Enero de 2013). *Estudio Petrografía Rocas Igneas*. (GEOCATMIN) Recuperado el Lunes de Noviembre de 2019, de <https://repositorio.ingemmet.gob.pe/browse?type=subject&value=MINERALES+NO+METALICOS>
- De Salas, J. M. (1987). *Manual de Perforacion y Voladura de Rocas*. Madrid: Instituto Geologico y Minero de España.
- Deere, D., & Deere, D. (1989). *Rock Quality Designation (RQD) After Twenty Years*. Florida, Gainesville, EE.UU.: DTIC SELECTED.
- De La Cruz, M. (2019) Tesis Evaluacion de los parametros de perforacion y voladura que inciden en la sobre excavacion del By Pass 2724 Unidad Minera Parcoy-Consorcio Minero Horizonte S.A. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Depaz Reyes, L. M., & Cáceres Montaña, C. M. (2016). *Geomecanica Aplicada al Diseño de Malla de Perforacion de la Ga. 745E del Nivel 2050 en la Unidad Alpacay, Mysac Año 2016*. (Tesis de Grado), Facultad de Ingenieria de Minas Geologia y Metalurgia, Escuela Academica de Ingenieria de Minas - Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo, Ancash - Peru, Huaraz.
- EXSA S.A. (2009). *Manual Práctico de Voladura*. Chile: Edición especial.
- EXSA S.A. (2019). *Manual Práctico de Voladura-Quinta Edicion* . Chile: Edición especial.
- Gomez, Hildalgo. 2009. Ingenieria de rocas en el tunel de conduccion superior del proyecto hidroelectrico Porce III, Colombia. Boletin de ciencias de la Tierra. Bogota : s.n., 2009.
- Gong, Q., Du, X., Li, Z., & Wang, Q. (2016). Development of a mechanical rock breakage experimental platform. *Elsevier*, 57:129-136.
- Huertas, P., P., & F. (2016). *Procesos Constructivos para Túneles Viables - Colombia*. Bogota.
- Jay A, R. (2002). *Técnicas Eficientes para Voladuras*.
- Juscamaita Rico, J. (2012). *Elaboracion y Aplicacion de Tablas Geomecnicas GSI para la Mina Caraveli*. Lima, Peru: Universidad Nacional de Ingenieria - UNI.
- Konya, C. J. (1998). *Manual de Voladuras* (1ra edicion ed.). Cuicatl 1998.
- López, J. C. (2011). *Manual de túneles y obras suterráneas*. Madrid: Gráficas Arias Montano SA.

- Marinos, P. y HOEK, E. 2000. GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation. In ISRM international symposium. International Society for Rock Mechanics. 2000.
- Méndez, M. (2019) Tesis Mejoramiento de la perforacion y voladura en la construccion de la rampa 2705 de la Unidad Minera Parcoy Consorcio Minero Horizonte S.A. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Mendoza MUÑOZ, N. (2014). *optimizacion de la voladura controlada aplicando un modelo matematico en la unidad minera paraiso - Ecuador*. Tesis, Guayaquil.
- Mullo Vallejo, F. G. (2012). *Empleo de las Clasificaciones Geomecánicas, para la Investigacion del Comportamiento Geotecnico de las Excavaciones Subterranas en la Central la Hidroelectrica Coca Codo Sinclair 1500 MW*. (Tesis de Grado), Universidad Central de Ecuador, Facultad de Ingeniería en Geología, Minas, Petróleos y Ambiental, Quito, Ecuador, Quito.
- Murillo Aquino, B. (2008). *Geomecánica Aplicada a la Prevencion de Perdidas por Caída de Rocas Mina Huanzala- Cia Minera Santa Luisa S.A*. Tesis doctoral, Universidad Nacional De Ingeniería, Facultad De Ingeniería Geológica Minería Y Metalúrgica, Lima.
- Ojeda Mestas, R. W. (1998). *Diseño de Mallas de Perforacion y Voladura Subterranea Aplicando un Modelo Matemático de Areas de Influencia*.
- Qiuning G, Xiuli D, , Xiuli , D., & Qixin W. (2016 China). Development of a mechanical rock breakage experimental platform. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 129–136.
- Robles ESPINOZA, Nerio H. 1994. Excavacion y sostenimiento de tuneles en roca. Lima, Peru : Concytec, 1994. pág. 570. ISBN: 980-07-1626-2.
- Robles, Nerio. 1994. Excavacion y sostenimiento de tuneles en roca. Lima : s.n., 1994.
- Santana Orellana, L. E. (2014). *Diseño de Malla para Preforación y Voladura en Frentes Utilizando Modelo Matemático de Holmberg e Índice de Volabilidad de Lylli*. (Tesis de Grado), Universidad Nacional del Centro del Peru, Junin, Huancayo.
- Sulcacóndor, J. (2018) Tesis Optimizacion de operaciones unitarias de perforacion y voladura mediante voladura controlada en labores horizontales en la compañía Minera Poderosa S.A. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.

Bibliografía referida a la metodología

- Arias (2006). El proyecto de investigación. Editorial Episteme. Orial ediciones. Caracas. Venezuela
- Alfaro, C. (2012). *Metodología de la investigación científica aplicada*. Lima - Perú: Instituto de investigación de la Universidad de Callao.

- Bernal, C. (2016). *Metodología de la Investigación: Administración, Economía, Humanidades y Ciencias Sociales*. Tercera Edición. Pearson Educación. México.
- Behar, D. (2008). *Introducción a la metodología de la investigación*. Shalom.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. (6^o ed.). D.F, México: McGraw-Hill.
- Villegas et al (2011). *Teoría y praxis de la investigación científica*. (1ra Ed.). Lima Perú: Editorial San Marcos.

ANEXOS

Anexo N°1: Matriz de consistencia

Excavación con perforación y voladura controlada para la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA	
<p>3</p> <p>¿Cuál es la relación entre la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023?</p>	<p>Determinar la relación entre la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>	<p>Existe relación significativa entre la excavación con perforación y voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>	Excavación con perforación	<p>ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN: Cuantitativo</p> <p>TIPO DE INVESTIGACIÓN: Es de Tipo básica.</p> <p>NIVEL DE INVESTIGACIÓN: Descriptivo-correlacional</p>	
			DIMENSIONES DE LA VARIABLE		
			Dimensión topográfica		
			Dimensión geológica		
			Dim. mecánica de rocas		
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	Voladura controlada		
<p>4</p> <p>-¿Cuál es la relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023?</p>	<p>Establecer la relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>	<p>Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión topográfica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>	DIMENSIONES DE LA VARIABLE	<p>MÉTODO: Hipotético-Deductivo</p> <p>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN: No experimental, transversal, relacional</p> <p style="text-align: center;"> </p> <p>POBLACIÓN: 30 ingenieros.</p> <p>MUESTRA: 30 ingenieros</p> <p>TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS:</p> <p>Técnica: Encuesta</p> <p>Instrumento: Cuestionario</p>	
			Sección del túnel		
			Numero de taladros		
			Cantidad de explosivo		
<p>-¿Cuál es la relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023?</p>	<p>Analizar la relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>	<p>Existe relación significativa entre la excavación con perforación mediante la dimensión geológica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>			
<p>-¿Cuál es la relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023?</p>	<p>Determinar la relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>	<p>Existe relación entre la excavación con perforación mediante la dimensión mecánica y la voladura controlada en la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023</p>			

Anexo N°2: Cuestionario sobre Formación Profesional

INSTRUMENTO: EXCAVACION CON PERFORACIÓN

Sr. encuestado tenga buenos días, la presente es una encuesta para analizar la excavación con perforación, las respuestas son totalmente anónimas para que pueda responder con toda confianza. Agradecemos su apoyo en el estudio.

D1: TOPOGRÁFICO	Siempre (3)	A veces (2)	Nunca (1)
1.-Considera importante que la distancia del túnel sea obtenida mediante el levantamiento superficial			
2.-Considera usted que se debe establecer dirección del túnel obtenida por rumbos o Azimut en forma de milésimas de segundo.			
3.-Considera importante la pendiente del túnel para facilitar la evacuación de aguas subterráneas			
4.- Considera importante la configuración topográfica del tipo de terreno a atravesar			
5.- Como considera el método de excavación con explosivos			
D2: GEOLÓGICO			
6.-¿Considera importante determinar el tipo de roca existente en el terreno a realizar el túnel			
7.- Considera usted tener en consideración los rasgos estructurales.			
D3:MECÁNICA DE ROCAS			
8.-Considera importante determinar las clasificaciones geomecánicas de los macizos rocosos			
9.-Considera que las propiedades mecánicas Rc (resistencia a la compresión simple del macizo rocoso se encuentre entre 80 y 250 MPa			

Anexo N°3: Cuestionario sobre Desempeño Docente

INSTRUMENTO: VOLADURA CONTROLADA

Sr. encuestado tenga buenos días, la presente es una encuesta para analizar la voladura controlada, las respuestas son totalmente anónimas para que pueda responder con toda confianza. Agradecemos su apoyo en el estudio.

D1: Sección del túnel	Siempre (3)	A veces (2)	Nunca (1)
1.-Considera importante el diseño de la sección			
2.-Considera importante determinar el área a ampliar			
D2: Número de taladros			
3.-¿Considera importante el Burden en la distribución de los taladros			
4.- Considera importante el Espaciamiento con la profundidad del taladro			
D3:Cantidad de explosivos			
5.-Considera importante que se debe establecer la cantidad de explosivo por taladro			
6.-Considera importante considerar la cantidad de explosivo por sección de ampliación			

3

Anexo N°4: Ficha de validación del instrumento

**VICERRECTORADO ACADEMICO
ESCUELA DE POSGRADO**

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

I. DATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: RAMIREZ JULCA MÁXIMO
- 1.2 Grado académico: DOCTOR
- 1.3 Cargo e institución donde labora: DTC UAP
- 1.4 Título de la Investigación: Excavación con perforación y voladura controlada para la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023
- 1.5 Autora del instrumento: Bach. Hilario Carrasco Kolque
- 1.6 Maestría/ Doctorado/ Mención: Maestría en Minería y Medio Ambiente
- 1.7 Nombre del instrumento: Cuestionario

3

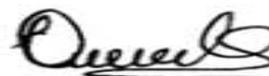
INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy Bueno 61-80%	Excelente 81-100%
1. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				80	
2. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.				80	
3. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de ciencia y tecnología.				80	
4. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				80	
5. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad.				80	
6. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio.			60		
7. CONSISTENCIA	Basados en aspectos Teóricos-Científicos y del tema de estudio.			60		
8. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables.			60		
9. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del estudio.			60		
10. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías.			60		
SUB TOTAL				300	400	700
TOTAL						700/10=14

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20) : 14

VALORACION CUALITATIVA: Excelente

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Aplicable

Lima, 8 agosto 2024



Dr. Máximo Ramírez Julca
ORCID: 0000-0002-1385-3139

VICERRECTORADO ACADEMICO
ESCUELA DE POSGRADO

FICHA DE VALIDACION DE INSTRUMENTO

IDATOS GENERALES

- 1.1 Apellidos y nombres del experto: SOLIS CESPEDES PEDRO ANIBAL
- 1.2 Grado académico: DOCTOR
- 1.3 Cargo e institución donde labora: DTC UAP
- 1.4 Título de la Investigación: Excavación con perforación y voladura controlada para la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023
- 1.5 Autora del instrumento: Bach. Hilario Carrasco Kolque
- 1.6 Maestría/ Doctorado/ Mención: Maestría en Minería y medio ambiente
- 1.7 Nombre del instrumento: Cuestionario

INDICADORES	CRITERIOS CUALITATIVOS/CUANTITATIVOS	Deficiente 0-20%	Regular 21-40%	Bueno 41-60%	Muy Bueno 61-80%	Excelente 81-100%
11. CLARIDAD	Está formulado con lenguaje apropiado.				80	
12. OBJETIVIDAD	Está expresado en conductas observables.				80	
13. ACTUALIDAD	Adecuado al alcance de ciencia y tecnología.				80	
14. ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica.				80	
15. SUFICIENCIA	Comprende los aspectos de cantidad y calidad.				80	
16. INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar aspectos del estudio.				80	
17. CONSISTENCIA	Basados en aspectos Teóricos-Científicos y del tema de estudio.				80	
18. COHERENCIA	Entre los índices, indicadores, dimensiones y variables.				80	
19. METODOLOGIA	La estrategia responde al propósito del estudio.				80	
20. CONVENIENCIA	Genera nuevas pautas en la investigación y construcción de teorías.					100
SUB TOTAL					720	100
TOTAL						820/10=82

VALORACION CUANTITATIVA (Total x 0.20) : 16.2

VALORACION CUALITATIVA: Excelente

OPINIÓN DE APLICABILIDAD: Aplicable

Lima, 08 agosto 2024



Dr. Pedro Solis Céspedes
ORCID: 0000-0002-7339-8721

Anexo N°5: Copia de la data procesada

Encuestado	EXCAVACION CON PERFORACION									VOLADURA CONTROLADA					
	TOPOGRÁFICO					GEOLOGÍ CO		MECÁNIC ADE		Sección del túnel		Número de		Cantidad de	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P1	P2	P3	P4	P5	P6
1	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	1	2	1	2	1	2
3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	1	2	1	1	2	1
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
5	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1
6	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	1	2	2	2
7	3	2	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
8	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2
9	2	2	2	2	3	2	2	2	3	1	1	2	2	2	1
10	3	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
11	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1
12	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	1	2	2	2	1
13	2	2	2	2	3	2	2	2	3	1	1	2	2	1	2
14	3	3	3	3	3	2	2	2	3	2	1	1	2	1	1
15	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	3	2	2	1	1
16	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	2	2	1	1	1
17	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2
18	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
19	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	1	2	1	2
20	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	1	2	1	2	2
21	2	2	2	2	3	2	2	2	3	2	2	1	2	1	1
22	3	3	3	3	3	3	3	3	3	1	2	2	1	2	2
23	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1
24	3	3	2	3	3	3	3	2	3	1	2	2	2	1	3
25	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1
26	3	3	3	3	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1
27	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1
28	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	1	1	2	2	1
29	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
30	2	2	2	2	3	3	3	3	3	2	1	2	1	1	2

Anexo N°6: Consentimiento informado

(Debe ser redactado por el investigador de acuerdo a la estructura de su investigación y los principios éticos correspondiente)

TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

NO APLICABLE

PROPÓSITO DEL ESTUDIO

(Para que se va a realizar el estudio)

PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA DE INFORMACIÓN

(Metodología a seguir para la toma de información)

RIESGOS

(Riesgos que se podrían presentar para el que brinda información)

BENEFICIOS

(Beneficios que se podrían presentar para la institución del que brinda información). No representa ningún tipo de beneficio económico para el encuestado)

COSTOS

(Costos que se podrían presentar para el que brinda información). No representa ningún costo para el encuestado ni para su institución.

INCENTIVOS O COMPENSACIONES

(Incentivos o compensaciones que se le podrían dar a el que brinda información)

TIEMPO

(Duración de la toma de información)

CONFIDENCIABILIDAD

(Participación voluntaria y anónima, de ser el caso). Los datos recabados serán utilizados estrictamente en la presente investigación respetando su estrictamente su confidencialidad, los cuales serán eliminados al término del estudio.

CONSENTIMIENTO:

3 Consiento de manera voluntaria en participar en esta investigación, siendo plenamente consciente de ello. Entiendo que tengo el derecho de no participar o de retirarme del estudio en caso de que no se cumplan los acuerdos establecidos.

En señal de conformidad, firmo a continuación:

Carrasco Kolque Hilario
DNI N° 24715099

Anexo N°7: Autorización de la entidad donde se realizó el trabajo de campo

4 Los cuestionarios fueron distribuidos entre los ingenieros a través de Google Drive y WhatsApp, y fueron completados de manera voluntaria. Debido a esto, no fue necesario obtener autorización de ninguna entidad para realizar el trabajo de campo.

Anexo N°8: Declaratoria de autenticidad de tesis

Yo, Hilario Carrasco Kolque, identificado con DNI 24715099, egresado del Programa de Maestría en Minería y Medio Ambiente, declaro bajo juramento que:

Soy autor de la tesis titulada: Excavación con perforación y voladura controlada para la ampliación de la sección del túnel Karkatera Abancay-Apurímac, 2023.

En muestra de lo cual firmo la presente Declaratoria.

Lima, 23 agosto de 2024

Carrasco Kolque Hilario
DNI. N° 24715099