

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Influencia del sistema innovador para confinar la energía de explosión
en el rendimiento de voladura Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco –
2020**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Alan Oscar PICOY ALMERCO

Asesor:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA

Cerro de Pasco – Perú – 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS



T E S I S

**Influencia del sistema innovador para confinar la energía de explosión
en el rendimiento de voladura Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco –
2020**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Toribio GARCIA CONTRERAS
PRESIDENTE

Ing. Julio César SANTIAGO RIVERA
MIEMBRO

Mg. Raúl FERNANDEZ MALLQUI
MIEMBRO



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

Facultad de Ingeniería de Minas

Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas

"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"



INFORME DE ORIGINALIDAD N° 027-2025

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión ha realizado el análisis con exclusiones en el Software Turnitin Originality, que a continuación se detalla:

Presentado por:

Bach. PICOY ALMERCO Alan Oscar

Escuela de Formación Profesional

Ingeniería de Minas

Tipo de trabajo:

Tesis

Título del trabajo

"INFLUENCIA DEL SISTEMA INNOVADOR PARA CONFINAR LA ENERGIA DE EXPLOSION EN EL RENDIMIENTO DE VOLADURA TUNEL SANTA LORENZA – AMBO – HUANUCO -2020"

Asesor:

Mg. Edwin Elías SANCHEZ ESPINOZA

Índice de Similitud: **4%**

Calificativo

APROBADO

Se adjunta al presente el informe y el reporte de evaluación del software similitud.

Cerro de Pasco, 31 de julio de 2025.

Sello y Firma del responsable
de la Unidad de Investigación

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado especialmente a mi padre y madre, a mi esposa y a mis hermanos y con ellos a toda mi familia, de quienes recibí su apoyo incondicional en todo momento cuando me formaba profesionalmente.

Este nuevo logro solo pudo ser alcanzado con el apoyo de todos ustedes. Y es por ello que concluirlo de manera exitosa será mi mejor gesto de gratitud hacia su apoyo. Por ese motivo mi trabajo y esfuerzo está dedicado a todo el apoyo, amor y consideración que tuvieron para mí las personas de bien que me acompañan.

AGRADECIMIENTO

A mi alma mater, maestros y compañeros, por las oportunidades que me han brindado para fortalecer los conocimientos otorgados.

RESUMEN

La siguiente propuesta es una investigación titulada: “INFLUENCIA DEL SISTEMA INNOVADOR PARA CONFINAR LA ENERGIA DE EXPLOSION EN EL RENDIMIENTO DE VOLADURA TUNEL SANTA LORENZA – AMBO – HUANUCO -2020” consistió en investigar la influencia del sistema innovador para confinar la energía de explosión en el rendimiento de la voladura Túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Se ha evaluado dos escenarios de la voladura, el primero utilizando inadecuados sistemas para confinar la energía de explosión y el segundo utilizando un sistema innovador para confinar la energía de explosión; mediante la técnica de evaluación se han levantado información de un total de 60 eventos de voladura trabajando en rocas semi – competentes; para ello fue necesario el uso del sistema de medición topográfico para determinar el avance por disparo y el factor de carga.

Estableciendo como objetivo principal Determinar la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco - 2020.

La hipótesis principal fue: El Sistema innovador para confinar la energía de explosión se relaciona significativamente con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco – 2020.

En términos metodológicos esta investigación se realizó con una tipología Básica, de un nivel descriptivo, de la misma manera que su diseño, además de un diseño documental, de campo y experimental, la muestra fue de 30 eventos en el túnel de aducción Santa Lorenza.

Finalmente, para concluir este trabajo se elaboran las conclusiones y recomendaciones necesarias.

Palabras claves: Confinamiento de energía, explosivo, rendimiento de voladura, taco.

ABSTRACT

The present research work whose title is: “INFLUENCE OF THE INNOVATIVE SYSTEM TO CONFINE THE EXPLOSION ENERGY ON THE BLASTING PERFORMANCE OF THE SANTA LORENZA TUNNEL – AMBO – HUANUCO -2020” consisted of investigating the influence of the innovative system to confine the explosion energy on the blasting performance of the Santa Lorenza Tunnel – Both 2020.

Two blasting scenarios have been evaluated, the first using inadequate systems to confine the explosion energy and the second using an innovative system to confine the explosion energy; Through the evaluation technique, information has been collected from a total of 60 blasting events working on semi-competent rocks; For this, it was necessary to use the topographic measurement system to determine the advance per shot and the load factor.

Establishing as the main objective Determine the relationship of the Innovative System to confine the explosion energy in the Blasting Performance in the Santa Lorenza Tunnel - Ambo - Huánuco - 2020.

The main hypothesis was: The innovative system to confine the explosion energy is significantly related to the Blasting Performance in the Santa Lorenza – Ambo – Huánuco Tunnel – 2020.

Regarding the methodology, the research carried out is Basic, at a descriptive level and the design is descriptive, a documentary, field and experimental design, the sample was 30 events in the Santa Lorenza adduction tunnel. Completing the investigation, the respective conclusions and recommendations have been made.

Keywords: Energy confinement, explosive, blasting performance, block.

INTRODUCCIÓN

En el campo minero el estudio del fenómeno de la detonación o explosión tiene un amplio desarrollo, debido a ello se hace necesario, en la actualidad, seguir estudiándolos, por medio de rigurosos métodos de ingeniería de explosivos, gracias a los modelos matemáticos y tecnologías disponibles para ingeniería de explosivos y voladuras es posible comprender mejor los fenómenos de detonación – explosión.

Este documento conlleva la propuesta de demostrar una alternativa de un sistema innovador para confinar y retener la energía de explosión con lo cual se logra incrementar la presión del taladro aprovechando la energía de explosión de manera eficiente e inteligente en el medio rocoso circundante al taladro, el uso de los tacos “ sistemas para confinar y retener la energía de explosión son de uso obligatorio para la voladura; sin embargo el uso de estos sistemas no están estandarizados; sólo en esta condición se alcanzará ejecutar voladura eficientes y energéticamente controladas.

En ese sentido la siguiente propuesta académica elabora un primer capítulo enfocado a plantear, en términos metodológicos, los alcances de la problemática en general y en los aspectos específicos como la definición del problema, para ello delimitaremos el fenómeno a estudiar. planteando cuestiones fundamentales que orienten el desarrollo de la investigación.

Por otro lado, el capítulo segundo se enfoca a elaborar el marco teórico, abarcado para ello las investigaciones sobre este tema que anteceden a este trabajo y que previamente realizaron aportes determinantes en esta área de investigación, de tal manera que nuestra propuesta pueda alcanzar un sustento adecuado para ser formulada.

En cuanto al tercer capítulo, este aborda el método de investigación que se empleó en este trabajo, de manera tal que se pueda definir específicamente el método, tipo, nivel, diseño, población, muestra, técnicas e instrumentos usados en este trabajo.

Para el cuarto capítulo están reservados los resultados de este trabajo, que abarcan lo obtenido en muestras experimentales, las cuales deberán ser contrastadas con la hipótesis formulada de tal manera que se pueda determinar que las propiedades de la muestran

puedan ser extendidas a toda la población del estudio, así mismo en este capítulo se discutirá y consideraran los resultados alcanzados y de qué manera afectan a las variables elegidas.

Para finalizar se elaborarán las conclusiones y recomendaciones necesarias.

ÍNDICE

Página.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1.	Identificación y planteamiento del problema	1
1.2.	Delimitación de la investigación.....	6
1.2.1.	Delimitación espacial	6
1.2.2.	Delimitación temporal	6
1.3.	Formulación del problema	6
1.3.1.	Problema General.....	6
1.3.2.	Problema Específicos	6
1.4.	Formulación de Objetivos	7
1.4.1.	Objetivo General.....	7
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	7
1.5.	Justificación del Problema	8

1.6.	Limitaciones de la investigacion	8
------	--	---

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.	Antecedentes de estudio	9
2.1.1.	Antecedentes nacionales	9
2.1.2.	Antecedentes internacionales	11
2.2.	Bases teóricas científicas	13
2.2.8.	Efecto Mecánico de los retenedores de energía.	23
2.2.9.	Retenedor de energía de explosión – TACOREEX	25
2.2.10.	Distribución energética en el taladro	26
2.2.11.	Rendimiento en Voladura.....	29
2.3.	Definición de términos conceptuales	35
2.4.	Enfoque filosófico – epistémico	39

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1.	Tipo de investigación.....	41
3.2.	Nivel de investigacion.....	42
3.3.	Característica de la investigación	43
3.4.	Método de investigación	42
3.5.	Diseño de investigación.....	43
3.6.	Procedimiento del muestreo	44
3.6.1.	Población.....	44
3.6.2.	Muestra.....	45

3.7.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	46
3.7.1.	Técnicas	46
3.7.2.	Instrumentos	46
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	47
3.9.	Orientación ética	48

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1.	Presentación, análisis e interpretación de resultados	49
4.1.1.	Validación y confiabilidad del instrumento.....	49
4.1.2.	Análisis cuantitativo de las variables.....	53
4.1.3.	Análisis estadístico confinamiento de la energía de explosión.	53
4.1.4.	Análisis Estadístico del dimensionamiento de la cantidad de explosivos.	55
4.1.5.	Análisis Estadístico de la distribución energética por disparo.	56
4.1.6.	Análisis de resultados rendimiento de la voladura	58
4.1.7.	Pruebas de normalidad	61
4.1.8.	Proceso de contrastación de hipótesis.....	62
4.2.	Discusión de resultados	68

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pagina.
Figura 1 Tacos elaborados con cartón	3
Figura 2 Fuga de gases, por el uso tradicional de Taco	4
Figura 3 Sistema innovador de confinamiento (Tacorex)	5
Figura 4 Comparación del uso de Tacos tradicional e innovado	5
Figura 5 Materiales de Relleno del Taco	18
Figura 6 Parámetros que afectan al rendimiento de una voladura	22
Figura 7 Fases de confinamiento de la energía de explosión.....	23
Figura 8 Diseño TACOREEX y estructura interna	25
Figura 9 FASE 1 – activación del primer mecanismo	26
Figura 10 FASE 2 – activación del segundo mecanismo.....	26
Figura 11 Parámetros que afectan el rendimiento de una Voladura	31
Figura 12 Marco metodológico	44
Figura 13 Esquema del procedimiento para mitades partidas – Spli halves	50
Figura 14 Correlación de variables – primer grupo.....	52
Figura 15 Correlación de variables – segundo grupo	52
Figura 16 Confinamiento de la energía de explosión – presión de taladro	54
Figura 17 Dimensionamiento de la cantidad de explosivos.	55
Figura 18 Distribución energética por disparo.	57
Figura 19 Rendimiento de la Voladura.	58
Figura 20 Histograma de normalidad del confinamiento de la energía.	62
Figura 21 Histograma de normalidad de la eficiencia de disparo.	62

Figura 22 Campana de Gauss para toma de decisión - hipótesis general.....	65
Figura 23 Campana de Gauss para toma de decisión – dimensión 1.....	66
Figura 24 Campana de Gauss para toma de decisión – dimensión 2.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pagina.
Tabla 1 Deficiencias que se generan en el mal uso del Taco.....	3
Tabla 2 Comparaciones del uso del Taco	15
Tabla 3 Comportamiento del Taco según su longitud.....	18
Tabla 4 Relación entre diámetro de taladro y diámetro de cartucho.....	33
Tabla 5 Influencia en los resultados de la voladura.....	35
Tabla 6 Distribución de la población.....	45
Tabla 7 Matriz de datos agrupados en 2 mitades.....	50
Tabla 8 Matriz de datos agrupados en 2 mitades.....	51
Tabla 9 Nivel de Confiabilidad.....	53
Tabla 10 Data comparativa en confinamiento de la energía de explosión	54
Tabla 11 Data comparativa dimensionamiento de la cantidad de explosivos	56
Tabla 12 Data comparativa en confinamiento de la energía de explosión.....	57
Tabla 13 Data comparativa en avance por disparo.	59
Tabla 14 Pruebas de Normalidad.....	60
Tabla 15 Datos para la Contrastación de Hipótesis.....	63
Tabla 16 Datos generales para la Contrastación de Hipótesis	63

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y planteamiento del problema

Sobre este aspecto (ARIAS, 2012), enfatiza lo siguiente: “Un problema planteado en los términos de una investigación académica consiste en delimitar toda la extensión que abarque todas las manifestaciones del fenómeno a estudiar. Para ello los argumentos centrales de la investigación deben recoger la justificación del estudio, desarrollando, exponiendo y explicando ampliamente la problemática central”.

Las empresas mineras requieren mejorar constantemente sus tecnologías que generen rentas a favor de ellos, por tal razón buscan que sus recursos usados diariamente, como son humanos, materiales y equipos reparen su visión empresarial. Los explosivos como recurso material existen en el mercado en diversos motivos, como son; los ANFOS, la dinamita, los Emulsionantes a granel, los Heavy ANFO, los emulsionantes encartuchados y todos ellos como materia prima deben de ser utilizadas de la mejor manera y en escenarios según solicita la explotación.

El presente estudio concentra la ejecución del proyecto denominado: “Construcción del Túnel para la Central Hidroeléctrica San Lorenza – Ambo”, donde la necesidad de mejorar la velocidad en el proceso constructivo del túnel de aducción, motivo realizar una evaluación general del proyecto, logrando identificar la existía de

deficiencia en el confinamiento del tacón, para lo cual fue necesario incrementar el avance por disparo en un 10%.

Las acciones inmersas a la actividad denominada excavación masiva, en referencia a la industria de la construcción y proyectos mineros, acude al uso de materia prima diversas, como es el caso de explosivos industriales, cuya reacción produce ingente detonación que es necesario de controlar y evaluar cómo es la velocidad de reacción, gases que se generan a una temperatura elevada y una elevada presión sobre el área adyacente.

Durante el proceso de detonación el uso de los tacos es necesario, cuya labor es de confinamiento del taladro y retención de energía de explosión, soportando altas presiones y temperaturas. Si los tacos no son colocados debidamente, los gases emergerán por la boca del taladro; pero, si los tacos son colocados adecuadamente se consiguiera y produjera de manera eficiente la energía conveniente, resultando un máximo rendimiento del explosivo o energía de explosión, conocido también como presión de taladro.

Acostumbrada al uso del cartón como “taco” para confinar y detener la energía de explosión en taladros, resulta improcedente, antigua y antitécnica; esto debido a que el cartón es un material combustible que tiene la facilidad de quemarse y no certificando el efecto mecánico de retención y confinamiento. (fig. N° 01)

Figura 1. Tacos elaborados con cartón.



Fuente: *Elaboración Propia*

El uso de Taco de cartón en la columna de carga normalmente se emplea 01 cebo y 11 cartuchos; si no se utiliza tacos inertes para confinar, forja utilizar mayor cantidad de cartuchos, incrementando el consumo de explosivos por cada evento de voladura y obteniendo deficiencias en su avance, es decir de 3.50 metros por disparo que es objetivo a 3.10 metros como resultado. Estas deficiencias generan:

Tabla 1. Deficiencias que se generan en el mal uso del Taco.

Incremento en el factor de carga	kg/m ³
Incremento en el factor de energía	MJ/m ³
Incremento de la carga operante	Kg/retardo

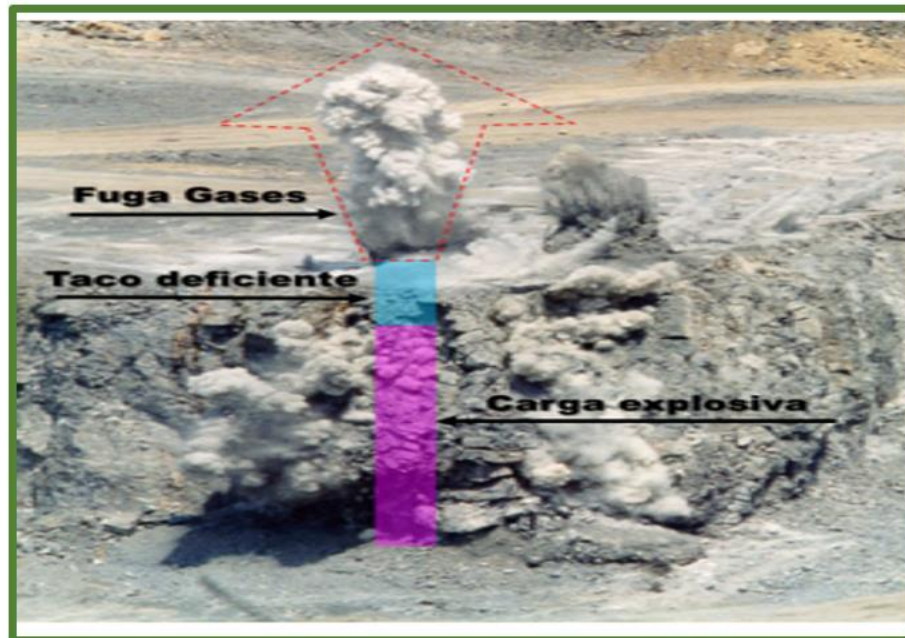
Fuente: *Elaboración Propia*

También el uso del Taco de cartón presenta:

- No retiene la energía de explosión
- Perdida considerable de gases de expansión y empuje
- Pobre rendimiento de los explosivos
- Incremento consumo de explosivos
- Mayor generación de gases contaminantes
- Altos Niveles de ruido

El cartón es un material combustible fabricado de fibra de celulosa de especies vegetales, cuyo uso y técnica tradicional, es no retener cordialmente la energía de explosión, resultando deficiencias en la fragmentación de la roca. (fig. N° 02)

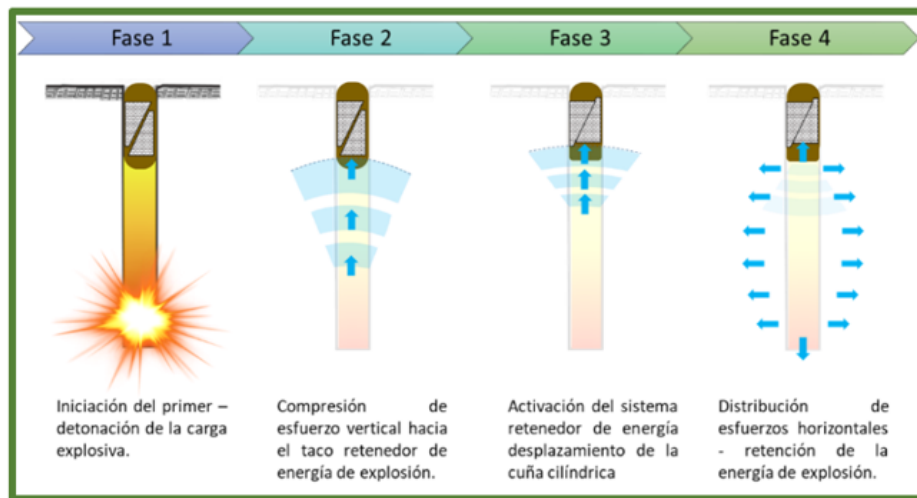
Figura 2. Fuga de gases, por el uso tradicional de Taco.



Fuente: *Elaboración Propia*

En el proceso de detonación – explosión se libera gran cantidad de energía, a presiones y temperaturas altas, por tanto, es necesario innovar el confinamiento en el taladro, por ello se ha reconocido el uso del taco de bloques de concreto (Tacorex) que ofrece mejor resistencia para retener y confinar la energía al momento de la detonación del explosivo, resultando una fragmentación homogénea del macizo rocoso. (fig. N° 03)

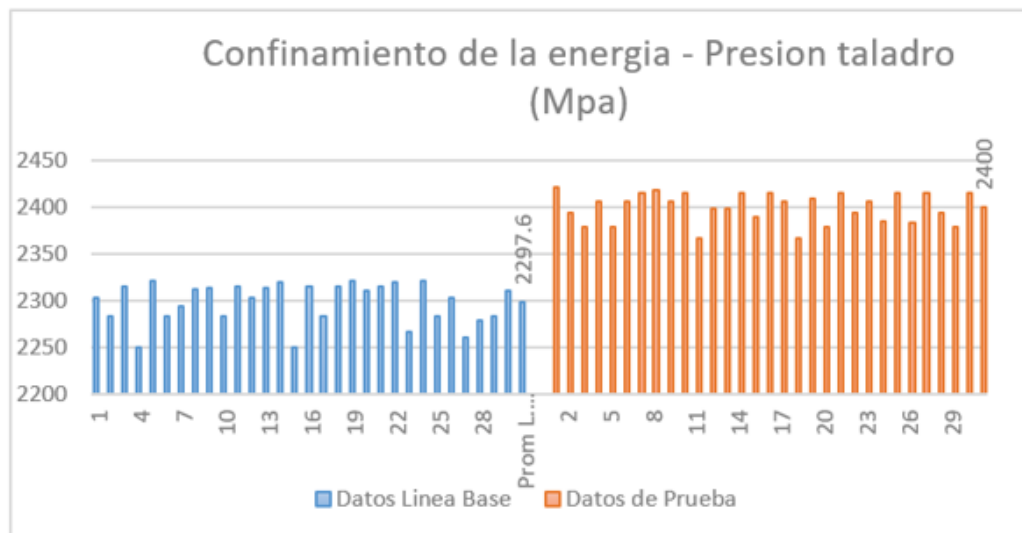
Figura 3. Sistema innovador de confinamiento (Tacorex).



Fuente: *Elaboración Propia*

En la figura 4, muestra la comparación del uso del Taco tradicional versus el uso del Taco innovado. Por todo ello surge la pregunta, tiene relación el uso del sistema innovador que confine la energía en explosiones con el rendimiento de la voladura.

Figura 4. Comparación del uso de Tacos tradicional e innovado.



1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

La investigación se desarrollará en mayor incidencia con trabajadores directos de la Construcción del Túnel para la Central Hidroeléctrica San Lorenzo, de la Provincia de Ambo, Región Huánuco.

1.2.2. Delimitación temporal

La investigación se desarrolla en un espacio de 06 meses.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema General

¿De qué manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Energía Explosiva, influye en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenzo - Ambo – Huánuco -2020?

1.3.2. Problema Específicos

Problema específico a

¿De qué manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Caracterización de la Fragmentación de Roca, influye en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenzo - Ambo – Huánuco - 2020?

Problema específico b

¿De qué manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Caracterización de la Fragmentación de Roca, influye en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenzo - Ambo – Huánuco - 2020?

Problema específico c

¿De qué manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Velocidad de Detonación, influye en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenzo - Ambo – Huánuco - 2020?

Problema específico d

¿De qué manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Densidad del Explosivo, influye en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco - 2020?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión en el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco - 2020.

1.4.2. Objetivos Específicos

Objetivo específico a

Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Energía Explosiva, con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco – 2020

Objetivo específico b.

Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Caracterización de la Fragmentación de Roca, con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco – 2020.

Objetivo específico c.

Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Velocidad de Detonación, con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco – 2020.

Objetivo específico d.

Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Densidad del Explosivo, con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza - Ambo – Huánuco – 2020.

1.5. Justificación del Problema

Podemos encontrar las siguientes justificaciones durante la realización de la investigación.

Justificación practica

Mediante la presente investigación nos permitirá demostrar la influencia constante que existe entre el sistema innovador para confinar la energía de explosión y el rendimiento de la voladura en el túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Justificación teórica

Al realizar la presente investigación vamos a poder obtener información o conocimientos nuevos sobre confinamiento de energía explosiva en la voladura de túneles, que servirán de referencia para otras investigaciones o poder contar con una base de datos.

Justificación económica

Los resultados obtenidos en la investigación nos indicaran la posibilidad de reducir costos o realizar mejoras en el rendimiento de la voladura lo cual beneficiara a la empresa.

Justificación metodológica

En términos metodológicos este trabajo resalta su importancia debido a que las distintas herramientas en relación a los procedimientos, las técnicas y los métodos se pueden aplicar en similares estudios.

1.6. Limitaciones de la investigación

Esperemos encontrar pocos elementos limitantes mientras dure el desarrollo de este trabajo debido a que contamos con el apoyo del personal que lleva a cabo el proyecto del túnel Santa Lorenza - Ambo.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

En términos conceptuales esta investigación se estructura tomando como referencia los tres parámetros que la conforman. Por un lado, se encuentran los antecedentes que preceden a este trabajo, además también se encuentran sus bases teóricas y por último un glosario de términos.

Este trabajo demandó realizar una búsqueda a nivel bibliográfico con detalle y una exhaustividad sobre las referencias académicas que puedan contribuir al presente estudio. En ese sentido se pudo encontrar trabajos relacionados y que exploran las mismas variables que se investigan en este trabajo. A continuación, se hacen una reseña de cada uno de los antecedentes.

2.1.1. Antecedentes nacionales

Primer antecedente

En su propuesta (CALDERON , 2015) para optar un grado académico en la UNCP, que se titula: “OPTIMIZACIÓN DE LAS PRÁCTICAS DE PERFORACIÓN Y VOLADURA EN EL AVANCE Y PRODUCCIÓN DE LA MINERÍA DE MEDIANA ESCALA (UNIDAD MINERA MACDESA)” presenta las siguientes conclusiones:

Realizar un diseño específico para las perforaciones y voladuras basándose en los criterios geomecánicos que permitan la optimización de la distribución de energía de una manera más precisa respecto a un diseño usual o convencional; el

diseño ejecutado plasmado en el terreno mediante las marcas en el mallado para las perforaciones, y de la misma manera usando los guidores en las distintas labores son la clave para un buen resultado de las labores de voladuras que puede ofrecer un material con un nivel granulométrico óptimo.

Segundo antecedente

(DELGADO, 2014) Universidad Nacional de San Agustín (GAONA , 2015) Arequipa – Perú en su tesis para optar el título profesional de Ingeniero de Minas titulada “ESTRATEGIAS EN EL DISEÑO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA ESTRUCTURAS ALEDAÑAS CONTROLANDO VIBRACIONES Y ROCAS AL AIRE EN MINAS A TAJO ABIERTO” indica en sus conclusiones Realizar un diseño específico para las perforaciones y voladuras basándose en los criterios geomecánicos que permitan la optimización de la distribución de energía de una manera más precisa respecto a un diseño usual o convencional; el diseño ejecutado plasmado en el terreno mediante las marcas en el mallado para las perforaciones, y de la misma manera usando los guidores en las distintas labores son la clave para un buen resultado de las labores de voladuras que puede ofrecer un material con un nivel granulométrico óptimo.

Se consiguió un método que hace posible la realización de las labores de voladura que no produzcan daño a la infraestructura próxima debido al material rocoso que puede ser lanzado y de la misma manera con las vibraciones de alto nivel. Este método ofrece un 100 % de reducción del daño a las infraestructuras próximas, además de no producir que el material rocoso sea lanzado por medio de un confinamiento del taco y una altura adecuada de manera que no produzca y para conseguir que una voladura no genere eyecciones de rocas al aire, se debe conseguir la altura y confinamiento de taco que permita no generar una energía descontrolada en las labores de fragmentación.

Tercer antecedente

En su trabajo de tesis Gaona Gonzales, Aderling Jesus (2015) presentada en la Universidad Nacional de Piura – Perú que se titula “OPTIMIZACION DE LA VOLADURA MINA LA VIRGEN DE LA COMPAÑÍA MINERA SAN SIMON” llega a las siguientes conclusiones:

El nivel de fragmentación que se necesita se puede obtener mediante la aplicación de un burden con un espaciamiento por debajo de 1, además de un mallado de forma triangular, y con el aumento del factor de potencia, y asignando distintos tipos para cada una de las detonaciones de los taladros, por último, la manera en que las cargas se encuentran distribuidas tiene consecuencias determinantes en los niveles de la fragmentación.

2.1.2. Antecedentes internacionales

Cuarto antecedente

Rivera Ticas, Juan Antonio (2013) en su propuesta para la Universidad San Carlos de Guatemala que se titula: “PRINCIPIOS PARA LA CREACIÓN DE ESCENARIOS DE OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA EN CONSTRUCCIONES SUBTERRÁNEAS” indica como parte de sus conclusiones:

Al aplicar los criterios para seleccionar los explosivos, y aprovechar la energía y considerar las distintas variables en esta propuesta, se garantiza que la voladura alcanzara un 90 % de efectividad en relación al avance, considerando también los criterios de carga y potencia que se aproximan a los factores teóricos.

Quinto antecedente

Pérez Rodríguez, Andrea Geanine (2010) propone en la Escuela Superior Politecnica del Litoral Guayaquil – Ecuador como parte de su trabajo titulado: “ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA REDUCCIÓN DE VIBRACIONES EN LA CANTERA DE CERRO BLANCO, DURANTE VOLADURAS; UTILIZANDO CARGA TRADICIONAL DE EXPLOSIVO Y EL USO DE TAPONEX” indica en sus conclusiones:

Después de analizar detenidamente el comportamiento de los accesorios Taponex en el 2009 y al compararlo con los registros presentes en los reportes de voladuras que no usaron este tipo de accesorios, además se logró como resultado final presente una vibración que presenta distintos niveles que alcanzan un 29.7%. A partir de lo que se puede establecer conclusiones acordes con las evaluaciones anteriores llevados a cabo por la empresa que fabrica los accesorios Taponex, que puede generar una disminución en los niveles de vibración hasta un 33%, lo cual indica que el funcionamiento del accesorio es óptimo en la cantera. Lo que permite producir voladuras próximas a niveles ecológicos, debido a que no presentan una alteración importante del ambiente natural circundante a la cantera, por otro lado, los niveles de polvo producido debido a las vibraciones presentan una disminución que se ajustara a los valores experimentales, esta producción no genera piedra ni bloques en tamaños pequeños lo que muestra un optima operatividad incluso a nivel económico.

Sexto antecedente

En su propuesta (MENDOZA , 2014) presentada para la Universidad Nacional del Centro del Perú que se titula: “OPTIMIZACIÓN DE LA VOLADURA CONTROLADA APLICANDO UN MODELO MATEMÁTICO EN LA UNIDAD MINERA PARAISO - ECUADOR” indica en sus conclusiones:

Como efecto de un nuevo planteamiento de la energía por medio de su distribución para taladros ubicados en los contornos al desacoplar las cargas se presentan los valores siguientes:

Voladuras tradicionales > 6,92 kg generando una presión para detonaciones > 1 250 Mpa, para una presión para detonaciones > 245 Mpa. Voladuras optimizadas > 4,53 kg generando una presión para detonaciones <230 Mpa, para una presión para detonaciones > 245 Mpa. y se logra una reducción hasta 38,07 % sobre las roturas.

2.2. Bases teóricas científicas

2.2.1. Parámetros de diseño de la malla de perforación

Taco:

Delgado Ponce, M.A. (2014, pág. 33); emplea una definición para este concepto en los siguientes términos: compuesto de materiales inertes utilizados para contener la carga energética que expulsa el explosivo al fragmentarse el cuerpo de rocas; las dimensiones para este parámetro se establecen según el objetivo de la voladura.

Este tipo de materiales inertes al ser manipulados como taco usualmente es el mismo detrito que produce el taladro de perforación, sin embargo, con el objetivo de optimizar los confinamientos se hace uso de piedra chancada para las funciones de taco, principalmente cuando se conoce la presencia de agua en el lugar de trabajo.

Taco:

(CARHUANCHO, 2011) pág. 10); Define este término como el espacio que se abre entre la boca del taladro y la sección superior de la columna explosiva. Este espacio tiene que llenarse con materiales estériles que permitan un confinamiento óptimo que impida la salida a los gases cuando se produzca una explosión de manera que se reduzca el chorro de aire (air blast).

En estos casos es usual emplear detritus de la perforación para que sirva como taco; pero, así mismo usar material de roca molida ofrece un mejor control y mejor fragmentación.

Los cálculos específicos establecen que un adecuado dispositivo de taco debe abarcar hasta el 50% de la altura de banco como dimensión máxima, debido a que los gases generaran un nivel de presión alta con la finalidad de fragmentar la roca.

Taco:

Gaona Gonzales, A. J. (2015, pág. 93); La distancia del taco se refiere a la proporción superior del barrenado que normalmente se rellena con material inerte que se usa en el confinamiento de gases en la explosión.

En el caso de cargas con altos niveles de energía, estas funcionarían adecuadamente liberando su energía a niveles máximos, estas deben ser confinadas en el interior de barrenos. Adicionalmente, se debe tener un adecuado control sobre los niveles de presión de aire y el material rocoso en vuelo.

La profundidad de los taladros tiene una influencia determinante sobre los diseños de un disparo. Si estos se cargaron en su capacidad total, la detonación producirá gases que podrían escaparse por el sector superior de los taladros con lo cual se produce el fenómeno denominado lanzamiento de material rocoso.

Por esta razón los tacos son cargados por la parte superior de los taladros y con ellos se evita que los gases produzcan una fuga prematura al ser detonados los compuestos explosivos.

La dimensión adecuada para un taco que pueda ofrecer confinamiento por más tiempo la carga energética del explosivo debe ser igual al fondo debido a que este permite que los gases se confinen por más tiempo y con ello producen el esfuerzo mecánico necesario para alcanzar el efecto rompedor, en este caso el material inerte es similar al detrito de la perforación que se utiliza.

Normalmente se establece la siguiente relación con el fin de determinar las dimensiones del taco:

Para Mineral

$T=B$

$T= 4.5$ metros

Para Estéril

$T=B$

$T = 6.0$ metros

2.2.2. Influencia del Taco Inerte (Detritus) en las voladuras:

Mendoza Muñoz, N. (2014, Pág. 59): manifiesta: “Es conveniente asegurar una longitud adecuada para el taco de manera se pueda ofrecer un desplazamiento mayor o una mejor expulsión de gases”.

Cuando se utilicen detritus para los tacos inertes se puede aprovechar que presentan una forma irregular, y de esta manera se podrán distribuir más eficientemente las fuerzas en dirección horizontal, que se originen como causa de la detonación, además cuando las fuerzas presenten una orientación vertical o inclinada, el resultado será que se producirá una presión en las paredes del taladro con lo cual se creara la resistencia necesaria ante la fuga de los gases, de esta manera se puede incrementar los niveles de energía que impactaran a la maza rocosa.

Los tacos inertes son materiales con componente de arcilla que se moldean entre 1" x 8" y deben recubrirse con papel, su función es asegurar un sellado del taladro para garantizar un poder rompedor mayor por parte de la detonación. Una de sus principales ventajas es optimizar la cantidad de material explosivo empleada en función de cada taladro, además de incrementar la calidad del fragmentado de las rocas, todo ello por una eficiente utilización de los gases cuando se producen las detonaciones.

Se utiliza el Software VOD mate para llevar a cabo pruebas de velocidad de las detonaciones independientemente de si se emplea tacos o no.

A continuación, algunas comparaciones c/s taco: (tabla N° 02)

Tabla 2. Comparaciones del uso del Taco.

CON TACO (stemming)	SIN TACO (stemming)
La VELOCIDAD DE DETONACIÓN del explosivo alcanza 3170 m/s	La VELOCIDAD DE DETONACIÓN del explosivo, alcanzando 2782 m/s, cuando según el catálogo es de 4200 m/s.
El RADIO DE INFLUENCIA alcanza DOCE VECES el diámetro del explosivo	El RADIO DE INFLUENCIA alcanza SEIS VECES el diámetro del explosivo
El DAÑO MACIZO ROCOSO disminuye	El daño al MACIZO ROCOSO se incrementa
La VELOCIDAD PICO PARTICULA (Vpp) es de 11.6 mm/s (Yuri Albert Piñas Esteban: "Aplicación de la Vpp para minimizar el daño al macizo rocoso - UNI pág. 120 – 2007)	La VELOCIDAD PICO PARTICULA (Vpp) es de 13.5 mm/s
ADECUADA en taladros de techo o contorno	NO ADECUADA en taladros de techo o contorno

2.2.3. Accesorios de Taco:

Delgado Ponce, M. A. (2014, pág. 35);

Generadores de Cámaras de aire:

En este caso se trata de dispositivos que hacen las veces de tapón, y están compuestos de polímeros especialmente combinados, su función es dar soporte a una columna explosiva o al taco, lo cual produce bolsas de aire al interior de la columna explosiva, por medio del cual es posible obtener un mejor control y además distribuir adecuadamente la energía en el taladro.

Cuando las operaciones se encuentren próximas al talud es más frecuente encontrar este tipo de accesorios por el hecho que ofrecen controlar más eficientemente el daño que pueda ser causado en la pared del emplazamiento.

Adicionalmente ofrecen un control sobre la generación de ondas tensionales en el medio de cuerpo de rocas que rodea al taladro con explosivo o lo que se denomina una cámara de aire. En otras palabras, este método es el origen de la voladura tensional.

Retenedores de Energía:

Este tipo de dispositivos son usados para controlar las voladuras, presentan una disposición de cono que generalmente está moldeada por inyección y sus componentes principales deben ser poliestirenos de alto impacto, para que puedan ofrecer un nivel de resistencia a la compresión equivalente a 15000 lb./pulg²

Cuando son colocados al interior de un taco dejando un espacio de 20 cm por encima de la columna de explosivos un tapón debería sellar el collar del pozo después de que ocurra la detonación de manera tal que la energía expulsada pueda ser contenida.

Este tipo de tapones debe aprovechar la energía de la detonación de tal manera que se produzca el fenómeno conocido como “escopeta atascada”. En términos específicos este tipo de tapones funcionan como cuñas autodirigidas.

2.2.4. Longitud de Taco (T)

Oviedo Nina, L.F. (2017, pág. 11), manifiesta que; Regularmente el taladro no siempre se llena hasta la parte superior, normalmente se rellana su última parte Siempre con materiales inertes que puedan ofrecer contener el gas que se pueda generar como producto de la explosión, y su acción debe producirse en periodos de tiempo muy corto que no sobrepasen fracciones de segundos, qué es cuando se puede evitar que el gas fugue por la boca de los taladros, con ello redirigiendo la energía de la donación para que se concentre en la fragmentación del cuerpo de rocas además de utilizar esa energía para producir los desplazamientos necesarios en el material rocoso.

$$T = [L - (SP/3)]$$

L= Longitud de Taladro

SP= Sobre perforación

B= Burden

De no haber este tipo de dispositivos lo que ocurriría es que la energía en forma de gas se liberaría a la atmosfera y de esta manera se desperdiciaría la mayor parte de su poder de choque con el que debe fragmentar el cuerpo de rocas. en el escenario en que se cuente con taco que no cubra con los requerimientos se producirá un escape parcial de gas lo cual puede ocasionar que fragmentos del material rocoso sean proyectados hacia afuera además de ocasionar niveles de ruido bastante alto para los estándares operativos.

En cambio, sí el taco presenta un exceso Es común que ocurra que los fragmentos se concentren en la parte más profunda del taladro lo cual puede producir una cantidad importante del bloque no fragmentado se ubique en la parte superior del taladro, este escenario se agrava así la disposición de fisuras naturales de la pared de rocas se encuentra muy espaciada, lo que provocará aún más una fragmentación irregular, y no se conseguirá el nivel de esponjosidad requerido, adicionando a lo mencionado una enorme vibración. (tabla N° 03)

Tabla 3. Comportamiento del Taco según su longitud.

TACO	COMPOTAMIENTO DEL TACO SEGÚN SU LONGITUD
$T = 0$	Los gases se desviarán a la atmósfera arrastrando un alto porcentaje de energía.
$< T$	Además de la fuga parcial de gases se producirá proyección de fragmentos, craterización y fuerte ruido por onda aérea
$> T$	La energía se concentrará en fragmentos al fondo del taladro, dejando gran cantidad de bolones en la parte superior, con una fragmentación irregular y causando una enorme vibración.

Normalmente el relleno usado en el taco según se muestra en la figura N° 04, y en la práctica la longitud $(T) = [1/3] L$.

Si se tiene en cuenta al burden (B) y resistencia de la roca, el taco, se establece como:

Material muy Competente: $T = 0.7B$ (Granito homogéneo)

Material Incompetente: $T = B$ (Material con fisuras y fracturas abiertas)

En la práctica también se relaciona el diámetro con la resistencia a compresión, con valores:

$T = (33 \text{ a } 35) \times \Phi$ para roca blanda a intermedia

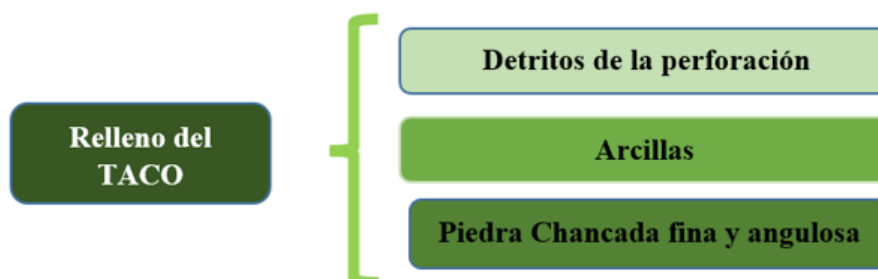
$T = (30 \text{ a } 32) \times \Phi$ para roca dura a muy dura

En bancos con mayor diámetro, se establece como:

$T = 40\Phi$ para roca blanda

$T = 25\Phi$ para roca muy dura

Figura 5. Materiales de Relleno del Taco.



2.2.5. Voladuras de rocas con cámara de aire

(CUMPA, 2016), pág. 29, menciona a Salas Acevedo, Julio (2011), quien expresa qué consecuencias pueden ocasionar la presencia de una Cámara de aire en

las operaciones de voladura. Específicamente nos señala que se trata de espacios que acumulan gran cantidad de aire y presión, generalmente formados debido al “taponamiento” de los taladros que se producen usando accesorios especiales que se encuentran ubicados dentro de los taladros de voladura.

La cámara de aire se puede ubicar de acuerdo con lo que se necesita por ejemplo pueden ir dispuestas en la sección inferior de la carga explosiva como también en la sección media o superior. en términos operativos, sino que se quiere es alcanzar un 40% de toda la columna explosiva, teniendo en cuenta su volumen, se tiene que instalar dos cámaras de aire por cada taladro. adicionalmente se debe tener en cuenta que el nivel fragmentación y despliegue de la voladura estarán condicionadas por la ubicación y dimensiones de la cámara de aire que se dispondrá.

Efectos de las cámaras de aire

Salas Acevedo, Julio (2011), indica que los pulsos pequeños pero extensos causan el aumento de fracturas:

Un Pulso de menor intensidad, la que podría producir una columna sólida, ocasiona que las ondas de choque y tensión al extenderse por un espacio mayor de la roca alcancen una mayor efectividad.

Además, investigaciones señalan que el uso de una cámara de aire puede incrementar el tiempo de duración de las ondas de choque sobre el cuerpo de rocas, este incremento registro que aumentan de 2 a 5 veces el impacto normal.

Principio de acción de las cámaras de aire

Cumpa, F. J. L. (2016, pág. 30), menciona a Salas, A. J. (2011), que:

Las cámaras de aire aumentan la duración de la acción que puede producir sobre medio circundante la onda de choque, esta consecuencia de los pulsos en serie ocasionados refractariamente derivadas de las ondas de presión que se originan consecutivamente luego de que un taladro detone.

Con el uso de las cámaras de aire su puede alcanzar tensiones máximas sobre la roca circúndate, sin embargo, esta será menor que el nivel de presión que alcanza el explosivo sobre columnas continuas.

Acción de la cámara de aire

Reduce la presión Que inicialmente puede aplicar la carga explosiva, sin embargo, aumenta el tiempo de acción del pulso de presión. Este efecto tiene como consecuencia una reducción de la energía que se emplea para fragmentar el material más próximo al taladro, además simultáneamente eleva la cantidad de energía mediante una transmisión en el interior del cuerpo de la roca.

En circunstancias que se encuentre agua se ha podido comprobar que las cámaras de aire ofrecen una operatividad óptima, esto se debe a que las ondas de choque utilizan el medio acuoso como un eficiente conductor de energía.

Beneficios diversos de las Cámaras de aire según aplicación

- Permite armar una columna explosiva con una menor utilización de material explosivo.
- El fenómeno denominado sobre perforación se puede reducir o incluso eliminar, lo cual significa un ahorro de recursos considerables.
- El fenómeno denominado eyección de tacos se puede reducir.
- Permite obtener un material con un nivel de fragmentación más homogéneo, mediante una reducción significativa de material grueso en el sector donde se emplea el taco.
- Se reduce el material denominado finos
- Es posible que al aplicar cámaras de aire también se puede evitar que el material explosivo contamine el taco.
- Mejoramiento de pisos
- Es posible por medio de las cámaras de aire reducir la longitud del taco.

2.2.6. Confinamiento de la carga explosiva

Es el nivel de confinamiento de una carga explosiva dentro del taladro el cual depende del factor de acoplamiento, del taqueo o atacado mediante el uso de tacos inertes para sellar el taladro y la geometría de diseños burden y espaciamiento.

Cuando las condiciones de un confinamiento presenten sectores flojos esto tendrá como consecuencia que la voladura presente un pobre resultado.

En el caso contrario cuando las condiciones del confinamiento sean excesivas podría aumentar la densidad inhabilitándola lo que dificultaría la transmisión de las ondas de detonación.

2.2.7. Técnicas eficientes de Voladura.

Toda operación que involucre voladuras, según lo establece el “Manual de perforación y Voladura en Minería” Universidad Politécnica de Madrid – ESPAÑA) debe buscar el resultado más óptimo en términos de fragmentación y desplazamiento del material, sin por ello, comprometer la integridad de lo que se encuentre en las proximidades de la detonación.

En ese sentido, la voladura en términos de diseño debe recoger distintas aplicaciones y cálculos específicos sobre un medio heterogéneo, de tal manera que el resultado que se obtenga de orientar los distintos métodos de explotación a seleccionar.

En este contexto resulta determinante identificar cuáles son los parámetros principales del diseño previo para poder establecer los posibles resultados de una voladura. Entonces una operación de voladura será eficiente si los parámetros y objetivos iniciales coinciden con los resultados obtenidos.

Con la finalidad de realizar una correcta evaluación de una voladura y que garantice alcanzar el objetivo inicialmente fijado es necesario cumplir con tres parámetros fundamentales que se indican a continuación.

Una correcta cantidad de energía.

Establecer una adecuada cantidad del material explosivo de acuerdo con cada operación de voladura.

Una correcta distribución de energía.

Un adecuado nivel fragmentación del material rocoso es consecuencia directa de una adecuada distribución de las cargas explosivas, debido a que en términos básicos una explosión supone transforma químicamente energía a fuerza mecánica, por lo que de no controlar adecuadamente la distribución puede ocasionar una fragmentación deficiente, o por lo contrario tener un impacto perjudicial más allá de las operaciones.

Un correcto confinamiento de energía.

La optima operatividad del material explosivo depende del confinamiento de los gases al interior del taladro, buscando reducir al mínimo la fuga de energía.

En este contexto podemos entender los principales conceptos que se interrelacionan de manera determinante y que condicionan el rendimiento eficiente de una operación de voladura, a continuación, la Figura 6 los muestra esquemáticamente.

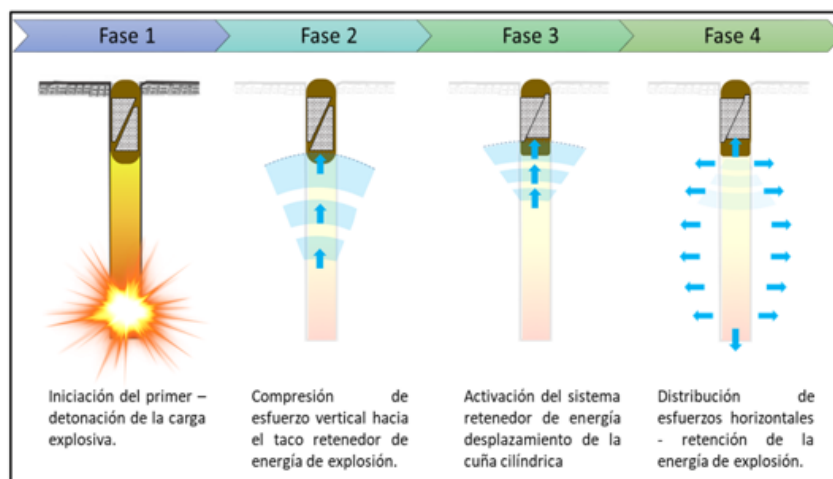
Figura 6. *Parámetros que afectan al rendimiento de una voladura.*



2.2.8. Efecto Mecánico de los retenedores de energía.

Una adecuado tipo y longitud de taco, genera mayor resistencia y oposición a la expansión y empuje de la presión de taladro, así como al escape prematuro de los gases. Al utilizar tacos de material inerte diseñados y preparados específicamente para retener y confinar la energía de explosión podemos aprovechar sus múltiples formas y diseños que tienen como finalidad distribuir las fuerzas horizontales, en fuerzas verticales e inclinadas como se observa en la Figura 7, De esta manera produce que estas fuerzas ejerzan sobre las paredes del taladro una presión que provoque una alta resistencia al escape de gases de esta manera se incrementara la energía de impacto sobre la el macizo rocoso.

Figura 7. *Fases de confinamiento de la energía de explosión.*



Cuando los gases ejercen una fuerza sobre las paredes del taladro esta se denomina presión de taladro o fuerza de empuje. Esta fuerza puede ser evaluada usando las ecuaciones que se usan para evaluar los estados de detonación o explosión, pero hay que tener en cuenta las variaciones que puede presentar el volumen. normalmente estas variaciones se presentan en el confinamiento.

Por ejemplo, si tenemos una densidad de 1,25 g/cm³ para un explosivo con una presión de explosión de 3,500 MPa en taladro al 100% de su capacidad, Cuando se alcanza el 90% de su capacidad éste puede presentar unos 2,600 MPa de presión

de explosión, en cambio cuando se alcanza un 80% de su capacidad la producción de explosión registrara unos 1,900 MPa.

Cuando la carga explosiva logra acoplarse a la pared de rocas Este puede ser evaluado por medio de su grado de acoplamiento, en términos físicos, lo cual hace posible que se transfiera la onda de choque entre ambas partes. su rol es determinante en cuanto a la eficiencia del rompimiento.

En ese sentido el grado que puede alcanzar un confinamiento depende de las condiciones en que se encuentre el acoplamiento, así como del taqueo o retaqueo, además de si se usaron tacos inertes como retenedores para alcanzar un sellado optimo del taladro. a partir de estas condiciones se puede evaluar la eficiencia de la voladura, teniendo en consideración el nivel y el estado del confinamiento, debido a que si este quedó suelto la consecuencia será una voladura con una eficiencia reducida. En cambio, si se tiene un excesivo confinamiento, el nivel de densidad crece lo que repercute en la sensibilidad para transmitir la onda de donación, lo que tiene como consecuencia una voladura deficiente. Por de los explosivos a granel como las emulsiones o el ANFO, emulsión hay que tener en cuenta que estos alcanzan un confinamiento efectivo por sí solos.

Distribución de carga en el taladro

Existen dos maneras de distribuir la carga en un taladro. Puede ser una carga única, que se ubica a lo largo de todo el taladro o puede distribuirse de acuerdo con su posición dentro del taladro, es decir hacia el fondo de este ubicar una carga con una mayor densidad y potencia, lo que se denomina carga de fondo, y después colocar cargas con una densidad menor, lo que se denomina carga de columna. Otra opción de distribución es ubicar cargas de diferente o igual potencia a lo largo del taladro que serán espaciadas por material inerte, loque se denomina carga cargas espaciadas o decks.

Distribución de energía

La energía transmitida hacia la pared rocosa depende de la manera en que las cargas se encuentren distribuidas dentro del taladro, las densidades de carguío, el punto de inicio y del material explosivo. Por otro lado, el consumo efectivo de energía está sujeto a las condiciones del confinamiento, la duración de la rotura previamente a que el gas liberado entre en contacto con el ambiente.

2.2.9. Retenedor de energía de explosión – TACOREEX

El TACOREEX es un producto innovador de la empresa BLASTRONIX, es un sistema retenedor de energía activo que está diseñado para retener la energía de gases producto de la detonación, aumentando el periodo de acción de la presión del taladro y aprovechando adecuadamente su interacción explosiva – roca en el medio rocoso circundante al taladro; debe usarse en todos los taladros cargados con explosivos desde los taladros de arranque hasta los taladros de arrastres.

Cuando el TACOREEX, es usado correctamente en concordancia con adecuados diseños de perforación, carguío, secuencia y sincronización de la voladura los resultados son satisfactorios optimizando las eficiencias, los costos operativos, utilizando menor recursos energéticos logrando operaciones de menor costo y mayor beneficio.

En la Figura 8 se muestra su diseño final y su estructura interna que comprende de 3 partes: 2 extremos con arcilla y la parte central con 2 bloques de concreto con diseño tipo cuña envasado en manga plástica de alta densidad y resistencia, asegurando que el TACOREEX no pierda su consistencia trabajando en condiciones extremas de operación, garantizando su colocación dentro del taladro de manera rápida y fácil.

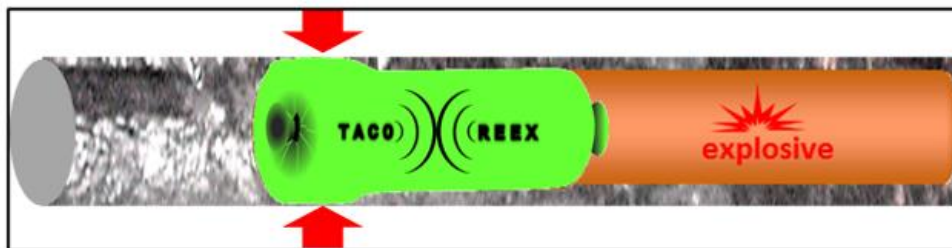
Figura 8. *Diseño TACOREEX y estructura interna.*



El TACOREEX está analizado y probado técnicamente su funcionamiento, con numerosas pruebas en campo, tiene dos fases de trabajo, antes y durante la detonación de la carga explosiva.

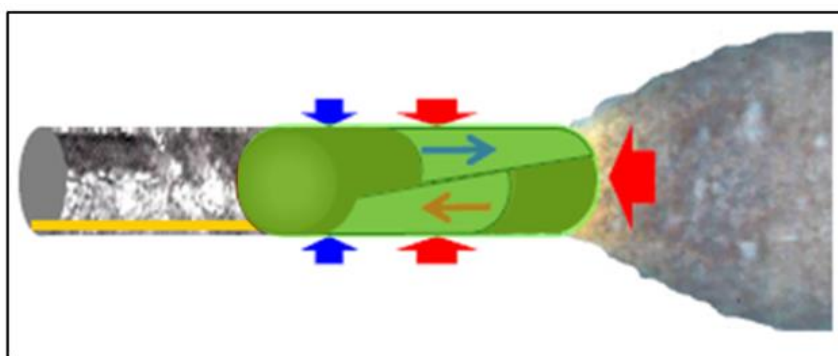
En la Figura 9 se observa que durante el atacado se activa el primer mecanismo; la arcilla que está en los extremos del taco es la que comienza a ejercer presión de manera inmediata sobre las paredes del taladro.

Figura 9. FASE 1 – activación del primer mecanismo



En la siguiente Figura 10 se observa que, durante la detonación, la presión del taladro activa el segundo mecanismo retenedor de energía; los bloques de concreto con diseño semicircular tipo cuña comienzan a auto deslizarse haciendo que se presionen entre si contra las paredes del taladro reteniendo la energía en mayor fracción de milisegundos de lo usual.

Figura 10. FASE 2 – activación del segundo mecanismo.



2.2.10. Distribución energética en el taladro

Se trata de una de a principales funciones activas del taladro en las operaciones de voladura. Es conocida como longitud de carga debido a que es donde

reacción explosiva se lleva a cabo al igual que la presión inicial de los gases sobre las paredes del taladro.

Dependiendo de las condiciones o circunstancias que un cuerpo de rocas presente será determinante una adecuada distribución de las cargas explosivas lo largo del taladro en general el diseño de la longitud de carga oscila entre 0.5 hasta 0.8 de la longitud total del taladro y puede ser continua o espaciada, por otra la longitud de la carga de fondo debe estar comprendida entre el 25 y el 60% del valor de la roca.

Teniendo en cuenta estas circunstancias la distribución de cargas puede ubicarse en distintas partes del taladro ya espaciadas alternativamente, a lo largo de toda la columna, solo cubriendo media columna o solamente en la sección del fondo de la columna. Dependiendo de que sea necesario para cada uno de los taladros del diseño de la voladura.

Siguiendo los parámetros de rotura de rocas por medios mecánicos, debemos tener presente que las voladuras de material rocoso son procesos tridimensionales. en estos procesos se origina una zona que puede concentrar altas niveles de presión como consecuencia de la detonación del material explosivo que al ser confinado libera energía al interior del taladro de la roca, esta alta concentración de energía produce efectos dinámicos en todo el cuerpo de rocas lo cual tiene como consecuencia el fenómeno de la fragmentación y el desplazamiento de este.

En cuanto al fenómeno de la fragmentación este consiste en la producción de restos de menor tamaño del cuerpo rocoso es decir fragmento dos que puedan ser manejados a nivel industrial debido a que presentan distintos tamaños que pueden ser usados en distintos procesos.

En cuanto al desplazamiento del cuerpo de rocas en términos básicos se refiere a que la masa que fue fragmentada presenta un movimiento producto del desprendimiento del cuerpo principal.

Si ambos procesos se realizan bajo los parámetros adecuados es posible conseguir que los procesos siguientes se realicen de manera más eficiente debido a

que será más fácil transportar el material después de la detonación, así como la remoción de todo ese material. de ser así el producto resultante puede ser calificado como una fragmentación de mejor calidad.

Ahora bien, en las operaciones de explotación minera, en términos generales, es preferible que el nivel de fragmentación alcanzado sea menudo. debido a que esta dimensión facilitará los subsiguientes procesos metalúrgicos. sin embargo, para algunos tipos de roca es necesario obtener una fragmentación con volúmenes mayores. normalmente este material será destinado operaciones de construcción.

En el caso del desplazamiento, se debe proyectar adecuadamente para que el material resultante se pueda acumular eficientemente de manera que facilite las tareas de paleo o acarreo, de manera adecuada adecuar a las dimensiones del equipo verga y se encarga y se encargará de los siguientes procesos.

Luego de considerar que las operaciones de voladura abarcan distintos procesos y parámetros y que su finalidad Operativa es disponer del material extraído así como del lugar del que se extrajo, y garantizar niveles de fragmentación adecuados a los procesos seleccionados, como también asegurar el transporte de los distintos materiales extraídos, bueno para lo cual se debe organizar adecuadamente la locación y el equipamiento que se encargará de las remociones y el acarreo hacia las instalaciones que recibirán el material, adicionalmente a este proceso se debe tener en cuenta que dicha distribución de locaciones tiene que tener la garantía de no ser afectado por el proceso mismo de voladura. en ese sentido se hace determinante proyectar adecuadamente y bajo los criterios de seguridad apropiados una planificación de los distintos espacios y lugares que completarán todo el proceso industrial de voladura, debido a que estos detalles también influyen en el resultado final de dicho proceso.

Lo que existen distintos elementos que entran en consideración e intervienen dentro del proceso de voladura de manera directa o indirecta se debe tener en cuenta

que varios de ellos se pueden controlar, pero algunos otros están fuera del control de la planificación.

Entre los factores que se pueden controlar, se encuentra el diseño que considera distintas variables para asegurar un nivel óptimo de operatividad, Las labores de perforación, el material y manejo de los explosivos.

Entre los factores que se encuentran fuera de control podemos mencionar la geología local, la tipología del material rocoso y otras características que reúne el propio emplazamiento natural y geológico.

2.2.11. Rendimiento en Voladura

Para Bernaola, Castilla y Herrera (2013, pág. 141); El Diseño de Voladuras en términos técnicos se fundamenta en el análisis por medio de cálculos específicos sobre las condiciones de la heterogeneidad de un medio en el que se desarrollada una operación. Se busca que el producto de dicha evaluación determine sustancialmente el desarrollo del método de explotación.

En ese sentido se hace sustancial subrayar que la efectividad de los resultados es necesario determinar con la mayor precisión posible los objetivos de diseño. De esta manera si el objetivo es alcanzado por los resultados obtenidos se puede considerar que la voladura fue exitosa.

En términos de eficiencia una operación de voladura debe alcanzar los objetivos previstos en cuanto a niveles de fragmentación y desplazamiento sin comprometer el medio circundante que no intervine en la voladura.

Factores que Afectan al Rendimiento de la Voladura

Para Bernaola, et.al. (2013, pág. 141); alcanzar los objetivos operativos de una voladura eficiente es necesario considerar 3 elementos fundamentales los cuales se señalan a continuación:

Una correcta cantidad de energía:

El primer elemento que considerar para garantizar una eficiente voladura es la utilización de cantidades adecuadas y calculadas del material explosivo teniendo en

cuenta el plan y diseño de voladura y elaborado, así como los objetivos fijados previamente para cada uno de los casos específicos.

Una correcta distribución de energía.

Este factor compromete un adecuado nivel de fragmentación debido a que es consecuencia de la acción del material explosivo que al detonar inicia un proceso químico por el cual la energía se transforma en fuerza mecánica capaz de ejercer una presión que llega a fracturar el cuerpo de rocas. en ese sentido si se dispone de una distribución que no contribuye a repartir eficientemente la energía liberada por la detonación no se alcanzarán los objetivos fijados en términos de fragmentación debido a que la energía liberada no actuará de acuerdo con lo planificado en el diseño.

Un correcto confinamiento de energía.

Este factor compromete a la calidad del confinamiento de los gases generados por la acción del material explosivo, y cuya acción debe restringirse al interior del barreno procurando que las pérdidas de energía sean las mínimas posibles.

Este conjunto de tres elementos mencionados, deben interactuar conjuntamente para colaborar en simultáneo con el fin de alcanzar el objetivo operativo no es posible una voladura eficiente si alguno de estos no actúa de manera adecuado, la eficiencia de una voladura siempre se encuentra estrechamente relacionada a la participación conjunta de estos tres elementos. esquemáticamente podemos entender esta participación en la siguiente figura.

Figura 11. *Parámetros que afectan el rendimiento de una Voladura.*



Factores Geométricos

Bernaola, et. al. (2013, pág. 142); presentan esquemáticamente cada uno de los elementos que debe relacionarse como parte de los métodos de explotación, de esta manera se podrá cuantificar los resultados obtenidos a continuación se mencionan dichos factores:

- Diámetros de la carga o del barreno
- Alturas de los bancos
- Extensión del barreno
- Inclinación del barreno
- Cantidad de barrenos
- Distribución de los barrenos

Factores Inherentes a la Roca

Bernaola, et. al. (2013, pág. 143); En contraste de los elementos mencionados anteriormente, el cuerpo de rocas es un medio heterogéneo, en tanto se reconocen parámetros cuyo control no es posible, pero que, sin embargo, se deben considerar para lograr un óptimo rendimiento de la voladura, los siguientes parámetros:

- Densidad de las rocas
- Niveles de dureza y resistencia de las rocas
- Velocidad sísmica del cuerpo rocoso

Factores Inherentes al Explosivo

Bernaola, et. al. (2013, pág. 143); Existen también otros elementos que pueden ser controlados para alcanzar un proceso de voladura optimo, en el diseño son elementos indispensables en el empleo del material explosivo, los cuales son:

- Densidades de los explosivos
- Velocidades detonación
- Presiones de detonación
- Potencia de los explosivos
- Carga de explosivo
- Secuencias de la voladura.

Condiciones de Carga

CUMPA, F. J. L. (2016, pág. 22); descrito del Manual de Voladura EXSA S.A. (2009), menciona:

Diámetro de la carga (diámetro del taladro)

Este factor tiene una influencia determinante en los niveles de rendimiento de los explosivos, además de las amplitudes que puede alcanzar una malla de perforación. Debido a que cualquier tipo de material explosivo cuenta con un diámetro que se considera crítico, si la carga no alcanza dicho nivel su detonación no será posible.

Geometría de la carga

Este factor este compuesto por la interrelación entre el diámetro de una carga con su longitud y el punto de inicio que presenta. En los taladros con cargas cilíndricas se hace especialmente crítico durante el rompimiento y cuando las zonas de fracturación comienzan a formase.

Grado de acoplamiento

Es la relación de coincidencia que se debe asegurar entre los diámetros de las cargas y los taladros de voladura.

Las cargas explosivas se acoplan a la pared de roca para que sea posible transferir la onda de choque. Un adecuado acoplamiento puede determinar las condiciones del rompimiento.

Cuando la carga explosiva entra en contacto directo con la pared de roca se puede asegurar un efecto triturador como parte de la detonación.

En términos técnicos la relación entre los diámetros de los taladros (D_t) y de los cartuchos (D_c) para voladura convencionales no debe exceder la siguiente proporción 1.21 (D_t/D_c).

Tabla 4. Relación entre diámetro de taladro y diámetro de cartucho.

Diámetro de Taladro (D_t) (mm)	Diámetro de Cartucho (D_c) (mm)	Relación (D_t/D_c)
40	32	1.25
50	42	1.19

- **Depende del acoplamiento, del taqueo o acabado, del uso de taco inerte para sellar el taladro y de la geometría de la carga (burden y distancia entre los taladros).**

Si las condiciones del acoplamiento no presentan un mínimo nivel de confinamiento los resultados de la voladura serán deficientes.

Sin embargo, cuando se tenga un confinamiento excesivo con un explosivo demasiado atacado es posible que la densidad se incremente y repercutir de manera deficiente en la transmisión de la onda de detonación lo que puede ocasionar fallas en el resultado. Pero hay que tener que el material a granel como las emulsiones o el ANFO específicamente en bancos alcanzan un confinamiento por si solos.

Densidad de carguío (D_c)

Por medio de este factor se puede calcular el nivel para llenar un taladro. Una medida optima de llenado debe alcanzar una densidad de carguío equivalente a 1, sin dejar espacios vacíos.

En Términos generales, el porcentaje de llenado de un taladro está con relación al espacio que ocupa el material explosivo, lo que establece la relación siguiente: $D_c = 0.92$.

Distribución de carga en el taladro

Existen dos maneras de distribuir la carga en un taladro. Puede ser una carga única, que se ubica a lo largo de todo el taladro o puede distribuirse de acuerdo con su posición dentro del taladro, es decir hacia el fondo de este ubicar una carga con una mayor densidad y potencia, lo que se denomina carga de fondo, y después colocar cargas con una densidad menor, lo que se denomina carga de columna. Otra opción de distribución es ubicar cargas de diferente o igual potencia a lo largo del taladro que serán espaciadas por material inerte, lo que se denomina carga espaciadas o decks.

Longitud de Carga

Normalmente un taladro puede alcanzar longitudes de entre 7.50 y 8.00 en cuanto a la carga explosiva, en operaciones destinadas a material mineral, sin embargo, en materiales como Rocas suaves o Estériles la longitud alcanza los 6.0 metros.

Tipo y ubicación del cebo

Existen tres alternativas para emplear el cebo, puede tratarse de una única carga de cebo, o de múltiples cebos distribuidas dentro de una misma columna de carga con una disposición de rosario, o de manera alternada de manera que cada una corresponda a cada decks, así mismo también se cuenta con una distribución longitudinal o axial del cebo, en este caso se usa un cordón detonante.

Distribución de energía

Este factor compromete un adecuado nivel de fragmentación debido a que es consecuencia de la acción del material explosivo que al detonar inicia un proceso químico por el cual la energía se transforma en fuerza mecánica capaz de ejercer una presión que llega a fracturar el cuerpo de rocas. en ese sentido si se dispone de una

distribución que no contribuye a repartir eficientemente la energía liberada por la detonación no se alcanzarán los objetivos fijados en términos de fragmentación debido a que la energía liberada no actuará de acuerdo con lo planificado en el diseño.

Intervalos de iniciación de las cargas (timing)

Se usan detonadores con dispositivos retardantes, además de métodos para un encendido de forma convencional y escalonada, de manera que cada uno de los taladros pueda tener una salida limpia disponiendo de las caras libres necesarias. Así es como se consigue una óptima operatividad de los disparos mediante unas secuencias ordenadas y correctamente dispuestas.

Variables de perforación

El rol que presentan estas variables resulta determinante sobre la eficiencia de una voladura, a continuación, se muestran dichas variables.

Tabla 5. *Influencia en los resultados de la voladura.*

Ítem	Influencia en los Resultados de la Voladura
1	La profundidad del taladro respecto a la altura de banco en superficie y al avance estimado
2	La Malla de perforación, relación de burden y espaciamiento entre taladros, importante para la interacción entre ellos.
3	Diámetro del taladro, base para determinar el burden y el consumo de explosivo
4	Costo de perforación y el costo del explosivo con base en el consumo total de explosivo por m ³ o tonelada de roca movida (kg/m ³)
5	Vida Útil (Shelflife)

2.3. Definición de términos conceptuales

Burden (B)

Se puede establecer multiplicando la constante (kb) con el diámetro de la broca y dividir el resultado entre 12.

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

kb= Presenta una variación que va de 20 a 40, dependiendo de la clasificación de la roca y del tipo de explosivo que se utilice.

D= Diámetro del explosivo en pulgadas debe ser equivalente al diámetro de la broca.

Confinamiento:

El vocablo confinamiento es manejada comúnmente para representar la acción de confinar. <https://conceptodefinicion.de/confinamiento/>

Emulsión

Son explosivos inversados que combinan agua y aceite, optimizado por medio de dos fases liquidas; una fase continua que se logra mediante una fundición de hidrocarburos y otra fase de dispersión acomodada a partir de un medio acuoso saturado de sales oxidantes en forma de minúsculas gotas del nitrato de amonio.

Energía de Burbuja

También es denominada energía termodinámica, se trata de presión que se genera a partir de la propagación de la onda de detonación por medio de la columna explosiva luego de que la reacción química del explosivo llego a completarse. Se produce como consecuencia del confinamiento, y el comportamiento dinámico en términos de volumen y térmicos de los gases detonantes.

En las voladuras los fenómenos como el fracturamiento, debilitamiento, o las grietas de la pared de rocas y su desplazamiento son sus consecuencias directas.

Energía de Tensión

Se la denomina también presión por detonación, al producir una onda de choque posterior a la detonación del explosivo, la que conduce la típica presión hacia el medio circundante y que se trasforma en presión por detonación.

Los factores que determinan este tipo de tensión son la velocidad de detonación y la densidad del explosivo.

Explosión

Se trata de un fenómeno que consiste en la liberación inmediata y violentamente de energía cuyas características se manifiestan en forma térmica, lumínica y sonora,

Explosivos

Son compuestos químicos competentes de desintegrarse velozmente y que precipitadamente generan un inmenso volumen de gases a altas presiones y temperaturas ocasionando efectos demoledores.

Fragmentación:

Este es uno de los principales fenómenos que buscan la operación de voladura cuando somete la pared de roca contra el poder de un material explosivo. Los factores que entran en juego cuando se produce esta interacción son las fuerzas de tensión y compresión, reflexión de ondas de choque en la cara libre, presión de gases que producen las grietas en forma radial, efectos de corte, y las roturas por colusión.

Macizo Rocos

De esta manera se denominan a las formaciones geológicas naturales que llegan a conformar la matriz rocosa también se incluyen las discontinuidades que presenten dichas formaciones.

Sistema:

De esta manera se puede denominar a la relación entre dos o más elementos que componen una organización basada en dicha relación.

Taco (T)

Es el material usado generalmente a partir de composiciones inertes que se ubica por encima de una carga explosiva cuyo objetivo es lograr un confinamiento de la energía que liberar una detonación, si se establece un rango de orientación y las dimensiones de diámetro queda por debajo el producto en cuanto a la roca será su proyección dispersada o lo que se conoce como fly rock además de un precoz escape de gases.

$$T = K_t \times B$$

Donde:

k_t = Constante de taco el tipo de roca

B= Burden

Voladura

Se trata de uno de los métodos para extraer mineral más usados y con mejor eficiencia operativa generalmente se emplean en labores a cielo abierto. Su objetivo central es buscar que el material rocoso se fragmente para lo cual se emplea como medio de ruptura cantidades variables de distintos tipos de explosivos.

2.3.1. Formulación de la hipótesis

Hipótesis General

El Sistema innovador para confinar la energía de explosión se relaciona significativamente con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco – 2020.

Hipótesis específicas

Hipótesis específica a

El Sistema innovador para confinar la energía de energía explosiva, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco – 2020.

Hipótesis específica b

El Sistema innovador para confinar la energía de la caracterización de la fragmentación de roca, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco – 2020.

Hipótesis específica c

El Sistema innovador para confinar la energía de explosión de la velocidad de detonación, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza – Ambo – Huánuco – 2020.

Hipótesis específica d

El Sistema innovador para confinar la energía de explosión de la densidad del explosivo, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el Túnel Santa Lorenza – Ambo - Huánuco - 2020.

Identificación de variables

Variable independiente

Sistema innovador para confinar la energía de explosión

Variable dependiente

Rendimiento de Voladura.

2.4. Enfoque filosófico – epistémico

Al enmarcar la presente propuesta de tesis dentro de una aproximación de tipo científico desde distintos puntos de análisis es posible abordar una problemática específica del campo minero como lo son los sistemas de confinamiento con el fin de optimizar el rendimiento de la voladura. Aun así, los resultados que obtengamos de esta problemática nos podrán parecer distintos si realizamos su aplicación en otras circunstancias o desde otras especialidades.

Este contraste demuestra que nuestra actitud científica puede ser enfocada desde una perspectiva distinta de la cual inicialmente la planteamos. En esas circunstancias deberemos considerar un juicio o una evaluación distinta a nuestra manera de abordar el problema inicialmente.

Esta situación argumentativa nos muestra que la labor científica puede resultar compleja si se la emprende desde un punto de vista restringido. Es por ello que en la siguiente investigación debemos ocupar el lugar del investigador científico más cercano al área del desarrollo de nuestro tema, es decir al área minera y sus necesidades específicas.

En ese sentido para abordar la problemática específica que nos presenta la actividad minera tenemos de nuestro lado, como la herramienta más eficiente a nuestros fines académicos y empresariales, al quehacer científico, aunque siempre debemos ser conscientes de que existen distintos modos para aproximarnos a una problemática y cada uno de ellos pueden ser legítimos y mostrar resultados efectivos y satisfactorios para determinados requerimientos.

A partir de esta compleja estructuración de los saberes y los puntos de vista debemos ser conscientes de que el camino científico no es el único que nos ayudará a entender los fenómenos del mundo, sin embargo, este camino nos puede ofrecer métodos para corroborar y validar nuestras evidencias y sobretodo pensar nuestro lugar dentro de la problemática específica.

Es por ello por lo que el método científico cobra importancia vital para este tipo de investigaciones debido a que nos permite ubicarnos por encima de nuestros juicios personales e incluso sociales y culturales para poder establecer conocimientos o principios argumentativos que puedan apoyar juicios ser aceptados por su carácter neutral y abstracto que además respondan directamente a las cuestiones que una problemática específica plantea.

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

Según Landeau, R. (citada en Abanto Vélez, 2014, pag.18), cuando nos adentramos en el campo de las investigaciones podemos descubrir diversas formas de clasificar esta labor académica, sin embargo, el criterio de orientación siempre será el objetivo y los medios que emplee el investigador.

En este trabajo de tesis, la manera de realizar la labor investigativa está definida por medio de una aproximación teórica, de un alcance básico. Debido a que inicialmente se identificaron variables implicadas en el desarrollo de un problema específico y partir de dicha relación se podrá extrapolar una serie de conclusiones que podrán ser entendidas como un tipo de conocimiento nuevo sobre las variables mencionadas, además al ser teórica nuestra aplicación no se compromete la aplicación práctica de los distintos elementos y métodos puestos a consideración en el desarrollo de la investigación.

En cuanto al tipo básico de investigación se escogió debido a nos permite una aproximación relativamente accesible a los fenómenos de la naturaleza, que favorece un aprovechamiento más eficiente los recursos en general.

A partir de esta forma de investigar con se pretende resultados prácticos que deriven en una aplicación de la propuesta aquí puesta en consideración. Por el

contrario, se busca una revisión específica de determinadas orientaciones teóricas que responda a las preguntas que se orientan a una aplicación posterior de lo que se investigue en esta propuesta. Por este motivo, se elijo que esta investigación mantenga una orientación de tipo básico.

3.2. Nivel de investigación

Cuando se trata de una investigación de marcado perfil descriptivo, se pone en consideración un fenómeno de estudio partiendo por describir sus características principales de manera tal que se pueda analizar su comportamiento o su estructura. (Arias, 2006, Pág. 24).

Este tipo de investigaciones correlacionales tienen por finalidad determinar el comportamiento de un concepto o de alguna variable específica por medio del análisis de otras variables que correspondan a esa relación,

En ese sentido la función de estos estudios es anticipar valores que se aproximen al que pueda presentar la variable dentro de un sistema de relaciones determinado partiendo del valor de las otras variables. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, pág. 82).

Por profundidad de estudio es de un nivel descriptiva – correlacional

3.3. Característica de la investigación

Enfoque Cuantitativo: Al hablar de "influencia" y "rendimiento", se entiende que se medirá datos numéricos (metros de avance, factor de carga, granulometría) para probar una hipótesis.

Alcance Explicativo (Causal): No solo se buscas describir el túnel, sino determinar la relación de causa-efecto entre el sistema de confinamiento y el resultado de la voladura.

3.4. Método de investigación

Para este estudio proponemos un desarrollo Científico, Deductivo, Hipotético-Deductivo, Descriptivo, Observacional, Analítico.

Método Científico

Según Bunge, M. (2002), permite enunciar el problema de investigación, plantear la hipótesis de estudio, mencionar algunas teorías para probar la hipótesis, examinar los resultados a través de un modelo estadístico y implantar las conclusiones.

Método Deductivo

Remite a la deducción de las variables en estudio

Método Hipotético – Deductivo

Esto debido a que las variables en estudio son probadas a través de la hipótesis.

Método Descriptivo

Permite describir, analizar e interpretar constantemente vinculados hechos relacionados entre las variables de estudio.

Método Observacional

Recorre a la observación de hechos y fenómenos en estudio

Método Analítico

Se expresa de lo General a lo particular

3.5. Diseño de investigación

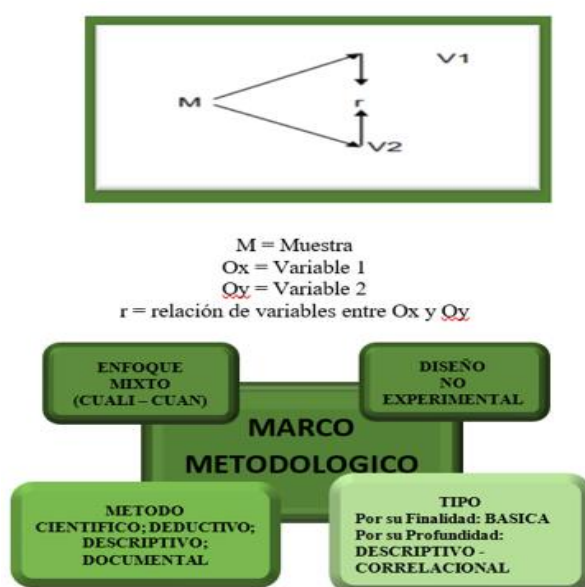
Cuando se plantea un problema a estudiar se debe elaborar una estrategia para abordar dicho problema y desarrollar la investigación, esta estrategia es el diseño de la investigación. A partir del diseño elegido podemos elegir una orientación de tipo experimental, en el campo o documental.

Como se mencionaba líneas arriba, existen muchos modelos de diversas clasificaciones, cada autor con criterios muy diversos según el alcance de investigación. En el caso actual el fin es recabar datos por parte de quienes los usen sin alterarlos, para poder acceder a su comportamiento directamente, en ese sentido el diseño que favorece este trabajo es el de tipo no experimental.

Por otra parte, la oportunidad de recolectar los datos debe suceder en una sola oportunidad de tal manera que según lo explican Campbell y Stanley (1966), (citados por Hernández et al, 2010, pág., 163) se trataría de un diseño transeccional o transversal (pág. 193).

Finalmente, por el hecho de que se trata de establecer relaciones entre más de una variable no implicada en su causalidad, lo adecuado es aplicar un diseño correlacional.

Figura 12. Marco metodológico.



3.6. Procedimiento del muestreo

3.6.1. Población

Sampieri, Roberto (2003, pág. 203), establece que la transparencia de una investigación reside cuando esta puede ser al escrutinio de la crítica y las consecuentes replicas, Sin embargo, este este tipo de exigencias sean cumplidas criterios como la delimitación de la población deben ser determinados mediante un procedimiento de muestreo claro y accesible que permita hacer explicitas los distintos intereses y variables en juego al momento de ejecutar la investigación.

En esta propuesta de estudio especifica la población está conformada por los eventos – disparos en túnel de aducción Santa Lorenza como se describe en la Tabla 1.

Tabla 6. *Distribución de la población.*

Mes	Disparos Programados
Abril	60
Mayo	60
Junio	60
Total	180

Fuente: *Elaboración propia*

3.6.2. Muestra

Pimienta, Lastra (2000, pág. 265), plantea que: cuando se trata de muestreos de modelos, la representatividad de las muestras no responde a la manera en que fueron seleccionadas, debido a que pueden ser informales o arbitrarias además de estar fundadas supuestos generales que se aplican sobre la población”.

Específicamente para este trabajo se determinó que las dimensiones de la muestra deberían ser establecidas por el modelo inferencial que es aplicable a poblaciones infinitas, debido al comportamiento de propio proceso:

$$n = \frac{Z^2 pq}{e^2}$$

Donde:

Z = 1.96, cuando la confianza alcanza un 95%

P = 0.93; porcentaje de aciertos

q = 0.07; porcentaje de fracasos

e = 0.08; Margen de error

$$n = \frac{1.96^2 \times 0.95 \times 0.05}{0.08^2} = 28.51$$

En los tres meses que duro el estudio se realizaron cerca de 180 disparos, partiendo de esa cantidad podemos establecer que nuestra muestra presenta un

tamaño de 28.51, con un aproximado de 30 eventos en el túnel de aducción Santa Lorenza.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre las técnicas e instrumentos que se emplearon para desarrollar este trabajo y que se seleccionaron debido a que se adecuaban a las características y necesidades de cada una de las variables identificadas tanto para el sistema innovador para confinar la energía de explosión como para el rendimiento de la voladura los que se detallan a continuación por cada ítem.

3.7.1. Técnicas

En este caso se aplicó entre las técnicas el método de recolección de datos, que se basa en la evaluación documentaria cuya información que fue procesada en el túnel Santa Lorenza en el periodo de abril, mayo y junio del 2018

En este trabajo se utilizaron las siguientes técnicas:

- Encuestas: El trabajo se ha expresado en dos cuestionarios que tiene la finalidad de llevar a cabo una evaluación de las variables estudiadas.
- Ficha bibliográfica: Recogida bibliográfico, análisis, síntesis y resúmenes.
- Estadística: Fue posible expresarlas mediante fórmulas y cálculos estadísticos empleados.

3.7.2. Instrumentos

Gonzales, Wilmar (2017, párrafo 2), en Recolección de datos. Concepto de recolección de datos (En línea - 19/01/21): expresa que: “El carácter científico de un trabajo de investigación se sustenta en la posibilidad de poder verificar, constatar y contrastar la información que utiliza para poder sostener su hipótesis de base. En ese sentido, el procedimiento para recabar la información adecuada debe planificarse teniendo en cuenta la orientación los objetivos fijados inicialmente. Este procedimiento abarca diversas técnicas y herramientas que tendrán que ser aprovechadas por el investigador con el fin de sistematizar todos los datos recogidos proveniente de

entrevistas, encuestas, cuestionarios, y las observaciones, entre otros medios apropiados”.

A continuación, se muestran las herramientas que se usaron en esta investigación,

- Cuestionario 1: Elaborado a partir de 24 ítems, aplicado a todos los trabajadores de la empresa en estudio, con el fin de identificar los elementos particulares de las variables independientes.
- Cuestionario 2: Elaborado a partir de 24 ítems, aplicado a todos los trabajadores de la empresa en estudio, con el fin de identificar los elementos particulares de las variables independientes.
- Fichas Bibliográficas y de Investigación: Empleadas en el recojo de información acerca de las características teóricas de la investigación.
- Formulas Estadísticas: Empleadas para procesar mediante métodos estadístico de los datos que componen la muestra además de realizar las pruebas de hipótesis.

3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Técnicas de Procesamiento de datos:

A continuación, se presentan las técnicas de procesamiento usadas como parte de este trabajo:

- Clasificación: Los ítems serán clasificados según las dimensiones y según las variables de estudio.
- Codificación: Cada uno de los ítems será codificado según las características de la investigación.

Análisis de datos:

Análisis Descriptivos:

Esta herramienta se emplea como parte de los métodos de la estadística descriptiva, identificándose como principal finalidad establecer un conjunto de medidas de tipo estadístico, entre ellas Media, Moda y Mediana.

Análisis Inferencial:

Este tipo de análisis se puede aplicar por medio de los métodos ofrecidos por la estadística inferencial, que se orientan a realizar la deducción y generalización de las principales cualidades que se pueden identificar en el muestreo de una población, esto se realiza utilizando modelos matemáticos estadísticos.

3.9. Orientación ética

Para elaborar el presente proyecto de investigación, se ordenó de la información ubicada en diferentes trabajos de investigación afines con las variables, con ello complementaremos los conocimientos según el tema a desarrollar. Así mismo se hace referencia a las fuentes, ejecutándose con las normas y reglamentos sugerida por la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. Por último, la revisión de autores que aportaron investigación previas y afines a nuestro tema debe serán registrados en la parte bibliografía de este trabajo.

CAPITULO IV

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.1.1. Validación y confiabilidad del instrumento

Validez de los instrumentos

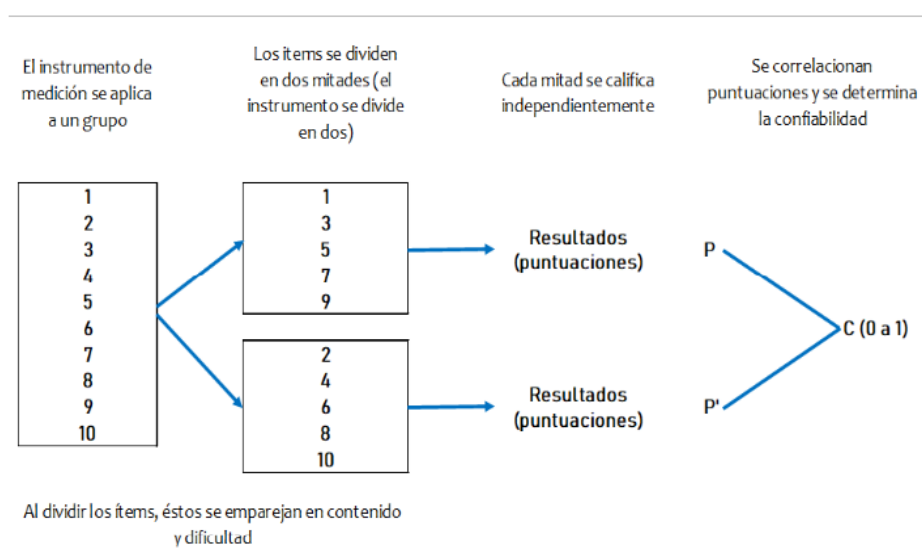
En esta oportunidad se utilizó una Matriz de Análisis de datos para poder realizar la recolección de datos relevantes en la empresa Blastronix que ha procesado en la ejecución del túnel Santa Lorenza durante el año 2020.

Además, buscando garantizar que nuestra matriz pueda ser validada nos apoyamos en la experiencia del Ing. Marco Otarola Gerente de Obras responsable de los trabajos de excavación de los túneles.

Confiabilidad del instrumento

En este caso con la finalidad de poder establecer el nivel de confiabilidad de los instrumentos se ha utilizado el método de mitades partidas (Split-halves) el que se detalla en la Figura 13.

Figura 13. Esquema del procedimiento para mitades partidas – *Spli halves*.



Fuente: *Elaboración Propia*.

Para lo cual se siguieron los siguientes pasos: Los datos expuestos en la matriz de análisis se dividieron en dos aleatoriamente, de esta manera pueden ser pares e impares los que se observan en la tabla 7 (primer grupo):

Tabla 7. Matriz de datos agrupados en 2 mitades.

Grupo 1		
Item	Presion Taladro (Mpa)	Avance por disparo (m)
1	2421	3.58
3	2379	3.40
5	2379	3.47
7	2415	3.60
9	2406	3.55
11	2367	3.40
13	2399	3.50
15	2390	3.50
17	2406	3.55
19	2410	3.60
21	2415	3.60
23	2406	3.55
25	2416	3.60
27	2415	3.58
29	2379	3.45

Fuente: *Elaboración Propia*

En esta Tabla 8 se pueden observar los datos del segundo grupo que corresponden al ítem (a).

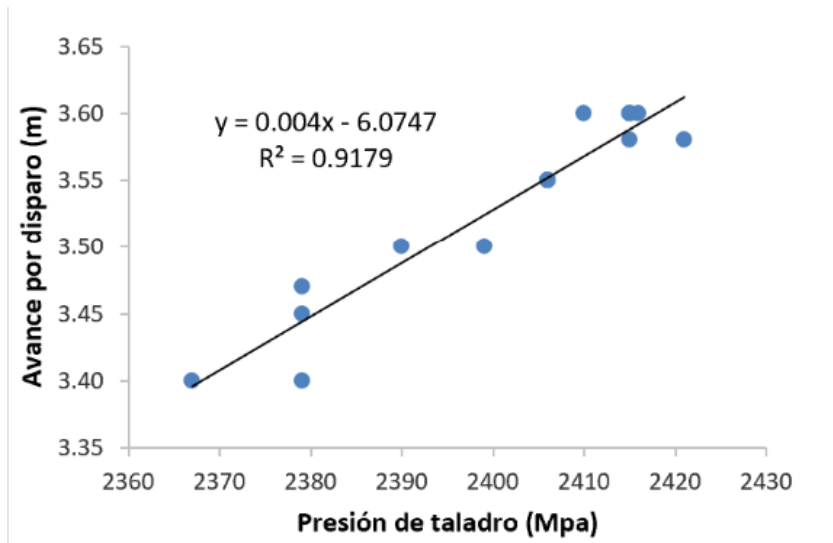
Tabla 8. *Matriz de datos agrupados en 2 mitades.*

Grupo 2		
Item	Presion Taladro (Mpa)	Avance por disparo (m)
2	2394	3.50
4	2406	3.55
6	2406	3.55
8	2418	3.56
10	2415	3.60
12	2398	3.56
14	2415	3.60
16	2415	3.60
18	2367	3.45
20	2379	3.47
22	2394	3.50
24	2385	3.47
26	2383	3.45
28	2394	3.50
30	2415	3.58

Fuente: *Elaboración Propia*

A partir de esta división utilizando el modelo de tendencia lineal se halla el coeficiente de correlación para el primer grupo de datos de donde se obtiene el grado de correlación y resultados que se observa en la figura 14.

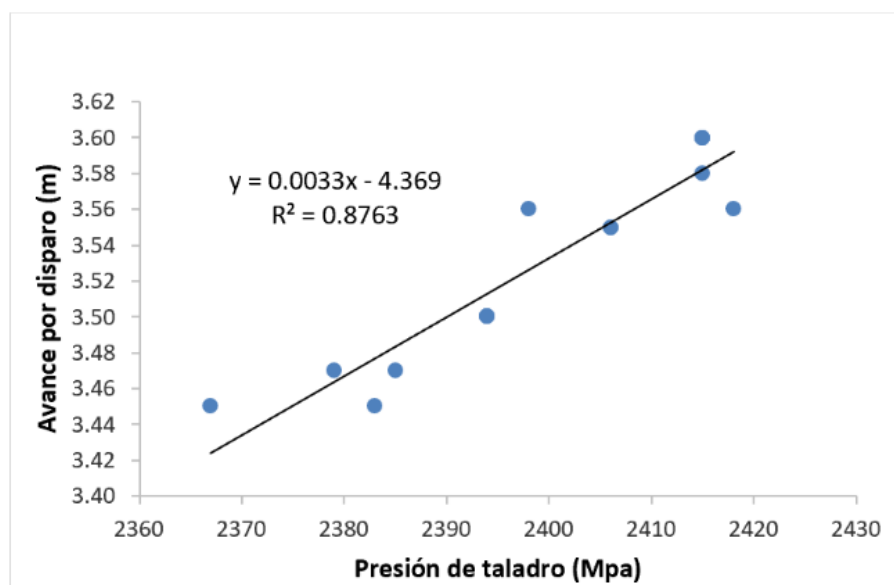
Figura 14. Correlación de variables – primer grupo.



Fuente: *Elaboración Propia*

En la figura 15, utilizando el modelo de tendencia lineal se halla el coeficiente de correlación para el segundo grupo de datos de donde se obtiene el grado de correlación.

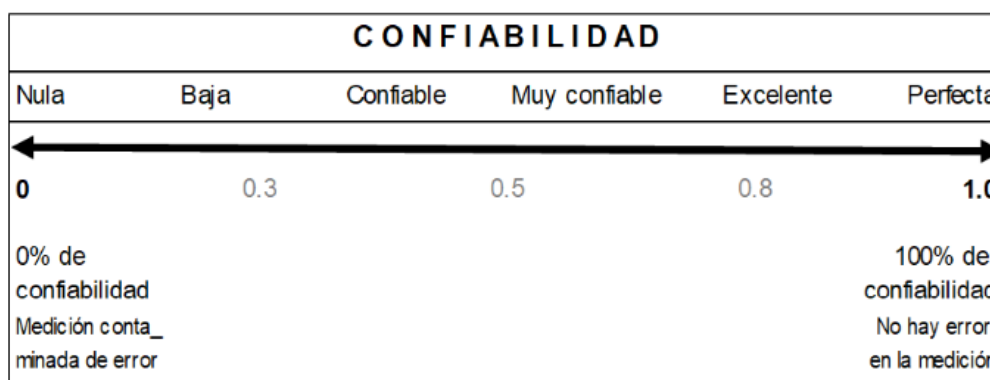
Figura 15. Correlación de variables – segundo grupo.



Fuente: *Elaboración Propia*

Los valores encontrados posteriormente a aplicar el instrumento, para el primer grupo tenemos un coeficiente de correlación de 0.919 y para el segundo grupo tenemos un coeficiente de correlación de 0.876, con base en estos coeficientes se puede establecer que este instrumento ofrece un nivel de confiabilidad excelente como se puede ver en la tabla 9.

Tabla 9. Nivel de Confiabilidad.



Fuente: *Hernández S (2010) Metodología de la investigación científica editorial Mac Graw Hill. México.*

4.1.2. Análisis cuantitativo de las variables

Luego de que los instrumentos fueran aplicados en la muestra estudiada procedimos con la evaluación estadística de resultados para ambos grupos de muestras, el primer grupo previamente a la aplicación de la investigación y el segundo grupo posteriormente a la aplicación de la investigación.

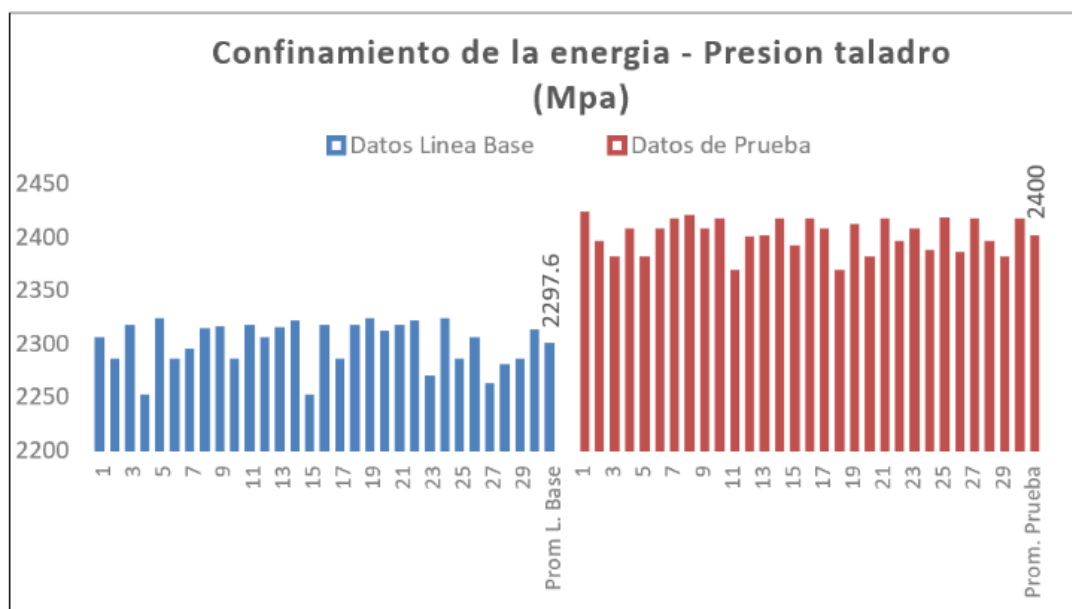
4.1.3. Análisis estadístico confinamiento de la energía de explosión.

Los datos de muestra obtenidos en la presente investigación para la prueba experimental fueron tomados de campo los mismos que están registrados en la base de datos estadísticos existentes en los registros de obra del túnel Santa Lorenza.

En la siguiente figura 16 se muestra la data comparativa de los cálculos para confinar la energía de explosión - presión de taladro tomados como línea de base y también se muestran los cálculos de los datos de prueba en el túnel de aducción de

donde se obtiene que el resultado promedio del confinamiento de la energía de explosión es 2400 Mpa.

Figura 16. Confinamiento de la energía de explosión – presión de taladro.



Fuente: *Elaboración propia.*

Asimismo, en la siguiente Tabla 10 se muestra la data comparativa de los cálculos de confinamiento de la energía de explosión antes de efectuar las pruebas y la data de pruebas de investigación en el túnel Santa Lorenza; a partir del cual se obtiene las variables estadísticas para la data de prueba donde el resultado de los cálculos para el confinamiento de la energía de explosión promedio es 2400 Mpa, con una desviación estándar de 16.1, un rango de 54 y varianza de 260.

Tabla 10. Data comparativa en confinamiento de la energía de explosión.

Datos		Antes de Prueba	Pruebas
Numero de Muestra	n_1	30	30
Promedio	X_1	2298	2400
Desviación Estándar	S_1	21.80	16.10
Varianza	S^2_1	475	260.00
Asimetría	As	-0.86	-0.57
Curtosis	Cs	-0.33	-0.88
Rango	R_1	71	54.00

Fuente: *Elaboración propia*

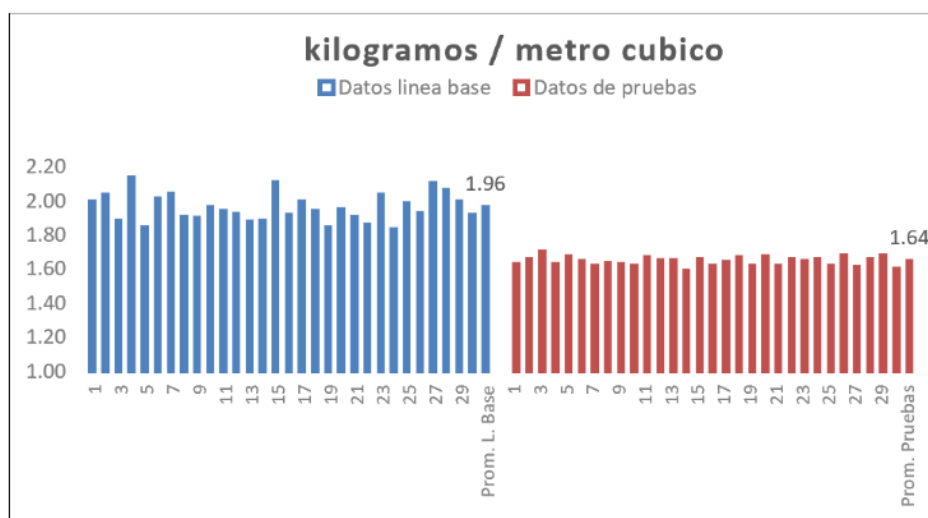
Por lo tanto, el cálculo del confinamiento de la energía de explosión antes de la investigación fue 2298 Mpa y después de aplicar el sistema innovador para confinar la energía de explosión es de 2400 Mpa; observándose que se ha tenido un incremento en el confinamiento de la energía de explosión, objetivo del presente trabajo.

4.1.4. Análisis Estadístico del dimensionamiento de la cantidad de explosivos.

Los datos de muestra obtenidos en la presente investigación para la prueba experimental fueron tomados de campo los mismos que están registrados en la base de datos estadísticos existentes en los registros de obra del túnel Santa Lorenza.

En la siguiente figura 17 se muestra la data comparativa del dimensionamiento de la cantidad de explosivos tomados como línea de base y por otro lado también se muestran los datos de prueba en el túnel de aducción de donde se obtiene que el resultado promedio del dimensionamiento de la cantidad de explosivos es 1.64 kg/m³ como factor de potencia.

Figura 17. Dimensionamiento de la cantidad de explosivos.



Fuente: *Elaboración propia*

Asimismo, en la siguiente Tabla 11 se muestra la data comparativa del dimensionamiento de la cantidad de explosivos antes de efectuar las pruebas y la data de pruebas de investigación en el túnel Santa Lorenza; a partir del cual se obtiene las

variables estadísticas para la data de prueba donde el resultado del dimensionamiento de la cantidad de explosivos promedio es 1.64 kg/m³, con una desviación estándar de 0.03, un rango de 0.122 y varianza de 0.001.

Tabla 11. *Data comparativa dimensionamiento de la cantidad de explosivos.*

Datos		Antes de Prueba	Pruebas
Numero de Muestra	n_1	30	30
Promedio	X_1	1.96	1.64
Desviación Estándar	S_1	0.08	0.03
Varianza	S^2_1	0.007	0.001
Asimetría	As	0.49	0.15
Curtosis	Cs	-0.55	-0.52
Rango	R_1	0.299	0.122

Fuente: *Elaboración propia*

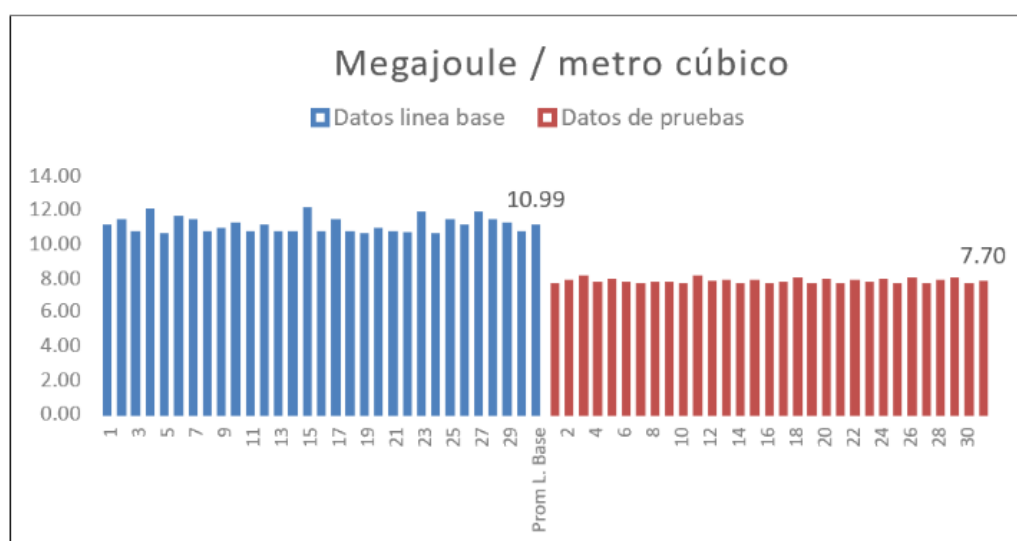
Por lo tanto, el dimensionamiento en la cantidad de explosivos antes de la investigación fue 1.96 kg/m³ y después de aplicar el sistema innovador para confinar la energía de explosión es de 1.64 kg/m³; observándose que se ha tenido una reducción en el dimensionamiento en la cantidad de explosivos, objetivo del presente trabajo.

4.1.5. Análisis Estadístico de la distribución energética por disparo.

Los datos de muestra obtenidos en la presente investigación para la prueba experimental fueron tomados de campo los mismos que están registrados en la base de datos estadísticos existentes en los registros de obra del túnel Santa Lorenza.

En la siguiente figura 18 se muestra la data comparativa de la distribución energética por disparo tomados como línea de base y también se muestran los cálculos de los datos de prueba en el túnel de aducción de donde se obtiene que el resultado promedio de la distribución energética por disparo es 7.70 MJ/m³.

Figura 18. Distribución energética por disparo.



Fuente: *Elaboración propia*

Asimismo, en la siguiente Tabla 12 se muestra la data comparativa de la distribución energética por disparo antes de efectuar las pruebas y la data de pruebas de investigación en el túnel Santa Lorenza; a partir del cual se obtiene las variables estadísticas para la data de prueba donde el resultado de los cálculos para la distribución energética por disparo promedio es 7.70 MJ/m³, con una desviación estándar de 0.14, un rango de 0.444 y varianza de 0.019.

Tabla 12. Data comparativa en confinamiento de la energía de explosión.

Datos		Antes de Prueba	Pruebas
Numero de Muestra	n_1	30	30
Promedio	X_1	10.99	7.70
Desviación Estándar	S_1	0.46	0.14
Varianza	S_1^2	0.215	0.019
Asimetría	As	0.72	0.55
Curtosis	Cs	-0.60	-0.70
Rango	R_1	1.551	0.444

Fuente: *Elaboración propia*

Por lo tanto, el cálculo de la distribución energética por disparo antes de la investigación fue 10.99 MJ/m³ y después de aplicar el sistema innovador para confinar

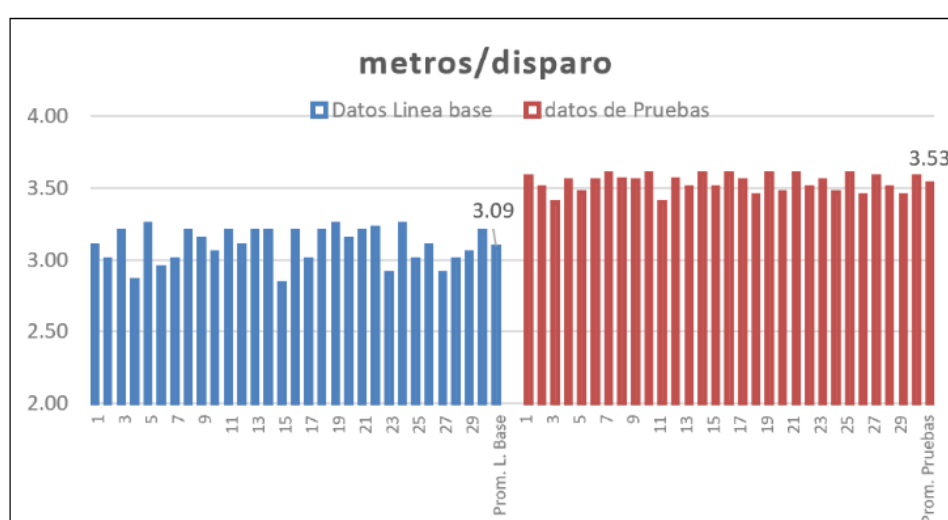
la energía de explosión es 7.70 MJ/m³; observándose que se ha tenido una reducción en la distribución energética por disparo, objetivo del presente trabajo.

4.1.6. Análisis de resultados rendimiento de la voladura

Los datos de muestra obtenidos en la presente investigación para la prueba experimental fueron tomados de campo los mismos están registrados en la base datos estadísticos existentes en los registros de obra del túnel Santa Lorenza.

En la siguiente figura 19 se muestra la data comparativa de los disparos efectuados tomados como línea base y datos tomados de prueba en el túnel de aducción de donde se obtiene que el resultado del rendimiento de la voladura es 3.53 metros por disparo.

Figura 19. Rendimiento de la Voladura.



Fuente: *Elaboración propia*

Asimismo, en la siguiente Tabla 13 se muestra la data comparativa de los disparos efectuados antes de efectuar las pruebas y la data de pruebas de investigación en el túnel Santa Lorenza; a partir del cual se obtiene las variables estadísticas para la data de prueba donde el resultado del rendimiento de la voladura promedio es de 3.53 metros por disparo con una desviación estándar de 0.06, un rango de 0.20 y varianza de 0.003.

Tabla 13. Data comparativa en avance por disparo.

Datos		Antes de Prueba	Pruebas
Numero de Muestra	n_1	30	30
Promedio	X_1	3.09	3.53
Desviación Estándar	S_1	0.13	0.06
Varianza	S^2_1	0.02	0.00
Asimetría	As	-0.61	-0.53
Curtosis	Cs	-0.81	-0.83
Rango	R_1	0.42	0.20

Fuente: *Elaboración propia*

Asimismo, el rendimiento de la voladura antes de la investigación estaba en promedio de 3.09 metros por disparo y aplicando el sistema innovador para confinar la energía de explosión se logró los 3.53 metros por disparo; observándose que se ha tenido un incremento en la eficiencia de disparo, objetivo del presente trabajo.

4.1.7. Pruebas de normalidad

Prueba estadística para la determinación de la normalidad.

En un inicio, para evaluar los resultados que se obtuvieron se debe determinar, el tipo de distribución que muestran los datos, y realizarlo en todas las variables, para ello se deberá emplear la denominada prueba de bondad de ajuste o modelo Kolmogorov-Smirnov. Por medio de esta evaluación es posible establecer el nivel de concordancia que existe entre las distribuciones del conjunto de datos y de la teórica específica.

Este método tiene por finalidad establecer la procedencia de los datos, que pueden ser de una población que presenta una distribución teórica específica, para ello se considera el resultado que se obtuvo en la prueba de distribución, y con ello se puede determinar de métodos estadístico-paramétricos (r de Pearson) o no paramétricos (Chi cuadrado). A continuación, se presenta la secuencia que se debe seguir para aplicar la prueba de normalidad:

PASO 1:

Establecer las Hipótesis:

Hipótesis Nula (Ho):

No se evidencian diferencias importantes entre los dos tipos de distribución de datos ya sea la ideal o la normal.

Hipótesis Alternativa (H1):

Se evidencian diferencias importantes entre los dos tipos de distribución de datos ya sea la ideal o la normal.

PASO 2:

Establecer el nivel de significancia, esta investigación opta por determinar un nivel de significancia en: $\alpha = 0,05$

PASO 3:

Elegir el *valor* estadístico de prueba:

El valor estadístico de prueba que se eligió para esta hipótesis es Kolmogorov-Smirnov (a) que se puede observar en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14. Pruebas de Normalidad.

		Kolmogorov - Smirnov (a)		
		Estadístico	gl	Sig.
Variable -1	Sistema Innovador para confinar la energía de explosión	0.2483	30	0.30293
Variable -2	Rendimiento de la voladura	0.2483	30	0.30293

Fuente: *Elaboración propia*

PASO 4:

Formulación de la regla de decisión

Este tipo de regla debe formularse como un enunciado que especifique las condiciones de posibilidad de Hipótesis nula, es decir las razones por la que podría ser rechazada o aceptada, para llevar a cabo este paso es determinante establecer un *valor* crítico, lo que se entiende como una cifra o una estimación a partir de la cual puede dividirse las regiones de aceptación o rechazo.

Interpretación:

Para ambas variables 1 y 2 el estadístico obtenido = 0.2483

Variable - 1:

Estadístico teórico = 0.30293 (acorde, gl = 30 y la tabla de valores)

Variable - 2:

Estadístico teórico = 0.30293 (acorde, gl = 30 y la tabla de valores)

Si Estadístico obtenido > Estadístico teórico entonces se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la Hipótesis alterna (H_a) así tenemos:

Para la variable 1: $0.2483 > 0.30293$

Para la variable 2: $0.2483 > 0.30293$

PASO 5:

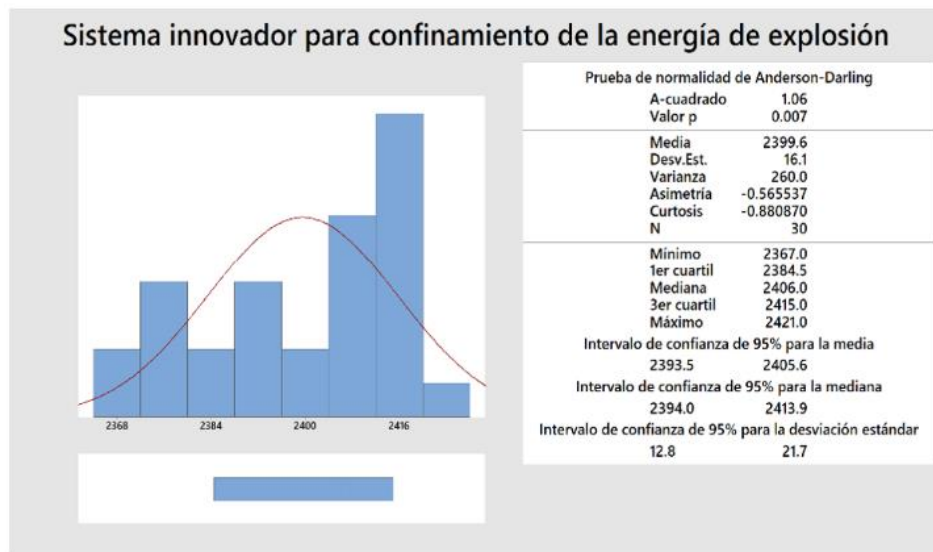
Toma de decisión.

Como consecuencia de ese proceso se infiere que la hipótesis nula es rechazada (H_0) y por lo tanto debe ser aceptada la Hipótesis alterna (H_a).

En otras palabras, esto significa que; de acuerdo con los resultados que se obtuvieron se puede afirmar que los datos que fueron objeto de estudio como parte de la muestra no pertenecen a una distribución normal como se observa en los siguientes histogramas.

Se observa en la figura 20 respecto al sistema para confinar la energía de la explosión, que las curvas de distribución y la normal difieren.

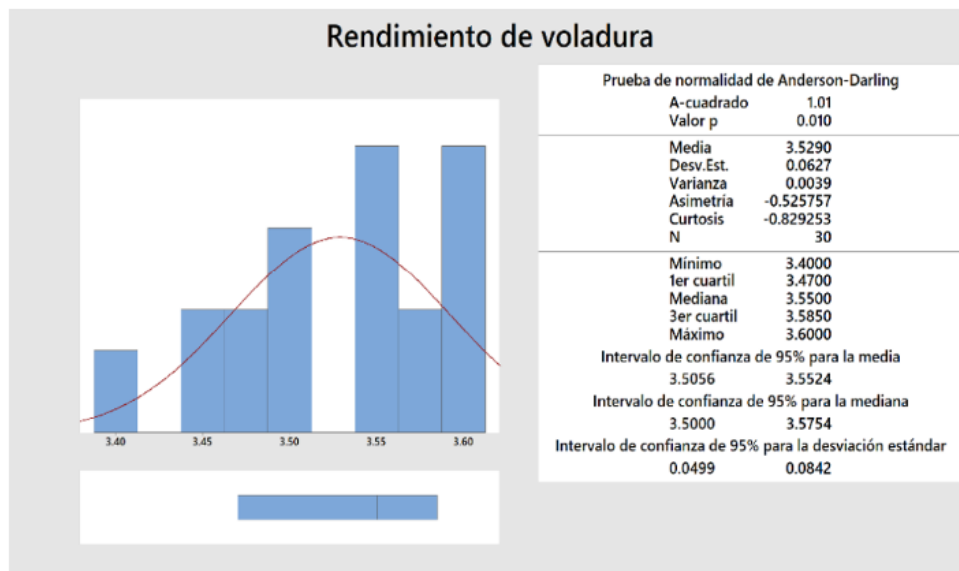
Figura 20. Histograma de normalidad del confinamiento de la energía.



Fuente: *Elaboración propia*

Se observa en la figura 21 de eficiencia de disparo que las curvas de distribución y la normal difieren.

Figura 21. Histograma de normalidad de la eficiencia de disparo.



Fuente: *Elaboración propia*

4.1.8. Proceso de contrastación de hipótesis

El proceso de comparación de hipótesis requirió utilizar una matriz de análisis de datos que abarcaron un conjunto de 30 disparos como grupo muestral para el túnel

de aducción Santa Lorenza desde abril, mayo y junio del 2020. La recolección de datos brindará resultados con el software t–student y el uso de hojas de cálculo de Microsoft Excel, los que serán aplicados a cada una de las interrogantes formuladas, así como al margen de error y la confiabilidad, lo que se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Datos para la Contrastación de Hipótesis.

Margen de error	Confiabilidad	Valor critico	Grados de libertad
0,05%	95%	(+/-) 2.042	30

Fuente: *Elaboración propia*

Con el fin de ejecutar la prueba de hipótesis, se debe considerar los datos siguientes, recogidos en el campo, los cuales pueden ser observados en la Tabla 16.

Tabla 16. Datos generales para la Contrastación de Hipótesis.

Item	Tunel	Presion de Taladro (Mpa)		Factor de Potencia (kg/tn)		Factor de Energia (MJ/m ³)		Rendimiento de voladura (m/disp)	
		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
1	Aductor	2303	2421	1.99	1.62	10.96	7.59	3.10	3.58
2	Aductor	2283	2394	2.04	1.66	11.32	7.76	3.00	3.50
3	Aductor	2315	2379	1.88	1.71	10.61	7.99	3.20	3.40
4	Aductor	2250	2406	2.13	1.62	11.92	7.65	2.85	3.55
5	Aductor	2321	2379	1.84	1.67	10.45	7.83	3.25	3.47
6	Aductor	2283	2406	2.01	1.64	11.51	7.65	2.95	3.55
7	Aductor	2293	2415	2.04	1.62	11.32	7.55	3.00	3.60
8	Aductor	2312	2418	1.91	1.63	10.61	7.63	3.20	3.56
9	Aductor	2314	2406	1.90	1.62	10.78	7.65	3.15	3.55
10	Aductor	2283	2415	1.96	1.62	11.14	7.55	3.05	3.60
11	Aductor	2315	2367	1.94	1.67	10.61	7.99	3.20	3.40
12	Aductor	2303	2398	1.92	1.65	10.96	7.68	3.10	3.56
13	Aductor	2313	2399	1.88	1.64	10.61	7.76	3.20	3.50
14	Aductor	2319	2415	1.88	1.58	10.61	7.55	3.20	3.60
15	Aductor	2250	2390	2.11	1.66	12.00	7.76	2.83	3.50
16	Aductor	2315	2415	1.92	1.62	10.61	7.55	3.20	3.60
17	Aductor	2283	2406	2.00	1.64	11.32	7.65	3.00	3.55
18	Aductor	2315	2367	1.94	1.67	10.61	7.88	3.20	3.45
19	Aductor	2321	2410	1.84	1.62	10.45	7.55	3.25	3.60
20	Aductor	2310	2379	1.95	1.67	10.78	7.83	3.15	3.47
21	Aductor	2315	2415	1.91	1.62	10.61	7.55	3.20	3.60
22	Aductor	2319	2394	1.86	1.66	10.55	7.76	3.22	3.50
23	Aductor	2267	2406	2.04	1.64	11.71	7.65	2.90	3.55
24	Aductor	2321	2385	1.83	1.66	10.45	7.83	3.25	3.47
25	Aductor	2283	2416	1.98	1.62	11.32	7.55	3.00	3.60
26	Aductor	2303	2383	1.93	1.68	10.96	7.88	3.10	3.45
27	Aductor	2260	2415	2.10	1.61	11.71	7.59	2.90	3.58
28	Aductor	2278	2394	2.06	1.66	11.32	7.76	3.00	3.50
29	Aductor	2283	2379	1.99	1.68	11.14	7.88	3.05	3.45
30	Aductor	2311	2415	1.92	1.60	10.61	7.59	3.20	3.58
Prom		2298	2400	1.96	1.64	10.99	7.70	3.10	3.53
Desv. Est		21.79	16.12	0.08	0.03	0.46	0.14	0.13	0.06
Muestra		30	30	30	30	30	30	30	30

Fuente: *Elaboración propia*

La prueba t es un método estadístico usado para evaluación dos grupos estadísticos, Esta comparación debe realizarse tomando como referencia una variable dependiente. En el caso que se cuente con distintas variables, se debe aplicar distintas pruebas t (de acuerdo con cada una de las variables en juego).

Aplicando al formula siguiente se puede obtener el valor de t:

$$t = \frac{\overline{X_1} - \overline{X_2}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Donde: X_1 y X_2 representan de los grupos primero y segundo, S_1 y S_2 establecen la desviación estándar de los grupos en cuestión, finalmente n_1 y n_2 indica el tamaño de ambos grupos respectivamente.

Cuando 0,05 sea el nivel de significancia; el grado de libertad se deberá calcular por medio de la ecuación siguiente:

$$gl = (n_1 + n_2) - 2$$

En el caso que el valor de tabla se ubique por debajo del valor calculado para t para un nivel de confianza establecido la hipótesis debe ser aceptada y tener un escenario contrario debe ser aceptada la hipótesis nula.

Al establecerse la hipótesis nula y la hipótesis alterna, se tiene que cumplir con la siguiente relación con el fin de garantizar el mejoramiento: $u_2 > u_1$ a partir de lo cual obtenemos $u_2 - u_1 > 0$, siendo u_1 en porcentaje la eficiencia de disparo.

$$H_0: u_1 - u_2 \leq 0$$

$$H_1: u_1 - u_2 > 0$$

Prueba de Hipótesis General.

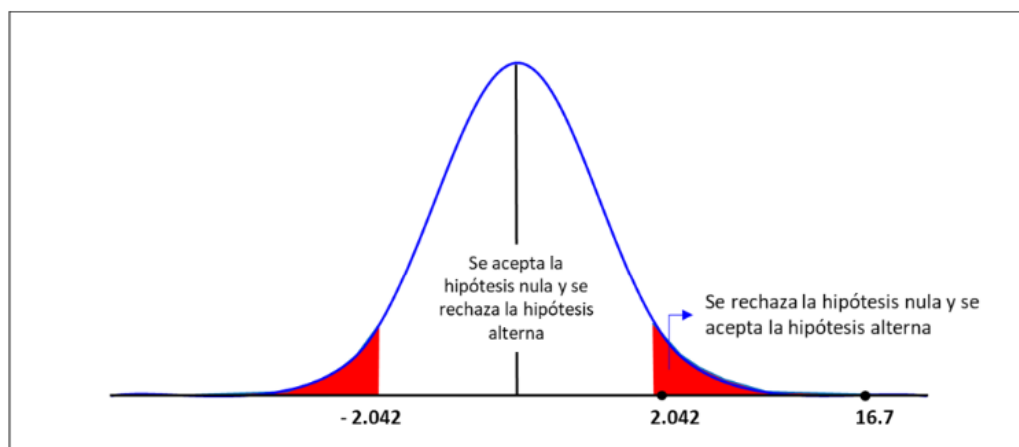
Para el desarrollo de la hipótesis general se relacionan las variables para aceptar o rechazar una afirmación:

H_0 = Con el sistema innovador para confinar la energía de explosión, no se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

H_1 = Con el sistema innovador para confinar la energía de explosión, se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Se obtiene el valor crítico y los grados de libertad por medio del uso de la tabla de cuantiles. Además, aplicando la campana de Gauss, los resultados obtenidos se encuentran en la zona de rechazo los que se pueden observar en la figura 22.

Figura 22. Campana de Gauss para toma de decisión - hipótesis general.



Fuente: *Elaboración propia*

El valor t de la prueba es: 16.7

El grado de libertad es: 30.0

El valor de la tabla de cuantiles: 2.042

Decisión:

El valor calculado de t es igual a 16.7 y se ubica por encima del valor de la tabla de cuantiles con 0.05 de nivel de significancia equivalente a 2.042. Como consecuencia de ello se decide el rechazo la hipótesis nula (H_0) y la aceptación de la hipótesis de la alterna (H_1).

Conclusión:

Con el sistema innovador para confinar la energía de explosión, se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Prueba de hipótesis específica 1

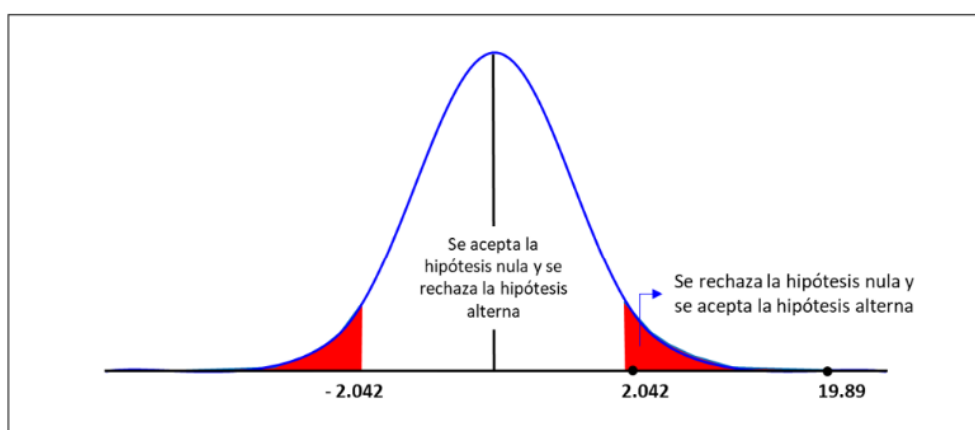
Para el desarrollo de la hipótesis específica 1 se relacionan las variables para aceptar o rechazar una afirmación:

H_0 = Con el dimensionamiento de la cantidad de explosivos, no se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

H_1 = Con el dimensionamiento de la cantidad de explosivos, se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Mediante el uso de la tabla de cuantiles, se obtiene el valor crítico y los grados de libertad, haciendo uso de la campana de Gauss, los resultados obtenidos se encuentran en la zona de rechazo los que se pueden observar en la figura 23.

Figura 23. Campana de Gauss para toma de decisión – dimensión 1.



Fuente: *Elaboración propia*

El valor t de la prueba es: 19.89

El grado de libertad es: 30.0

El valor de la tabla de cuantiles: 2.042

Decisión:

El valor calculado de t es igual a 19.89 y resulta superior al valor de la tabla de cuantiles con un nivel de significancia 0.05 igual a 2.042, por lo tanto, se toma la decisión de rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis de la alterna (H_1).

Conclusión:

Con el dimensionamiento de la cantidad de explosivos, se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Prueba de hipótesis específica 2

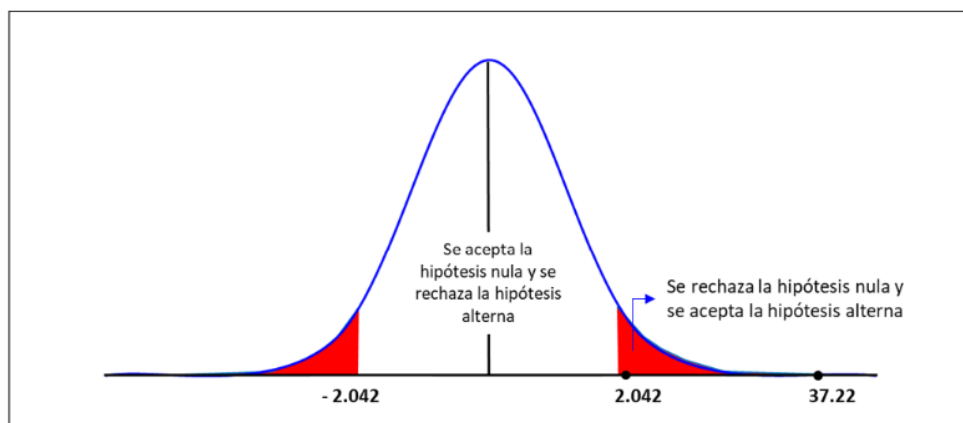
Para el desarrollo de la hipótesis específica 2 se relacionan las variables para aceptar o rechazar una afirmación:

H_0 = Con la distribución energética por disparo, no se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

H_1 = Con la distribución energética por disparo, se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

Mediante el uso de la tabla de cuantiles, se obtiene el valor crítico y los grados de libertad, haciendo uso de la campana de Gauss, los resultados obtenidos se encuentran en la zona de rechazo los que se pueden observar en la figura 24.

Figura 24. Campana de Gauss para toma de decisión – dimensión 2.



Fuente: *Elaboración propia*

El valor t de la prueba es: 37.22

El grado de libertad es: 30.0

El valor de la tabla de cuantiles: 2.042

Decisión:

El valor calculado de t es igual a 37.22 y resulta superior al valor de la tabla de cuantiles con un nivel de significancia 0.05 igual a 2.042, por lo tanto, se toma la decisión de rechazar la hipótesis nula (H_0) y aceptar la hipótesis de la alterna (H_1).

Conclusión:

Con la distribución energética por disparo, se podrá mejorar el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020.

4.2. Discusión de resultados

Posteriormente a la presentación y análisis de resultados se abre la discusión, de tal manera que las hipótesis propuestas puedan ser validadas y aceptadas en consecuencia.

Este trabajo presenta como hipótesis general “con el sistema innovador para confinar la energía de explosión, se podrá mejorar la eficiencia de voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020” Además, esta hipótesis está fundamentada de tal manera que los siguientes argumentos puedan refutarla:

Delgado Ponce, Maria en su propuesta “Estrategias en el diseño de perforación y voladura para estructuras aledañas controlando vibraciones y rocas al aire en minas a tapo abierto” hace mención sobre “las técnicas y metodologías de voladura para controlar el daño a infraestructura cercana, indica que para lograr una voladura controlada en términos de eyección de roca al aire, este tema está relacionado con el escape prematuro de los gases de explosión por el collar de los taladros y los sistemas retenedores de energía (tacos); mediante el uso de las técnicas y metodologías la energía de explosión debe ser controlada con sistemas para retener los gases de expansión y empuje se debe ubicar la altura y confinamiento del taco que no permita eyecciones causadas debido a un control deficiente de la energía utilizada para la fragmentación” **Delgado, (2014)**

Gaona Gonzales, Aderling en su tesis “Optimización de la voladura mina la Virgen de la compañía minera San Simón” hace mención que “el requerimiento de la

fragmentación de la roca post voladura se obtiene aplicando adecuados parámetros y diseños de voladura y ello tiene que ver con las técnicas y metodologías de voladura; además indica que la distribución de la carga en el taladro influye notablemente en el resultado de la voladura y la fragmentación” **Gaona, (2015)**

Rivera Ticas, Juan en su tesis “Principios para la creación de escenarios de optimización de la voladura en construcciones subterráneas” hace mención sobre “los criterios para la selección de explosivos, el aprovechamiento inteligente de la energía aplicando técnicas y métodos de confinamiento de la energía, se puede garantizar la efectividad de la voladura en un 90 % así como los factores de carga y potencia” **Rivera, (2013)**

Pérez Rodriguez, Andrea en su tesis “Análisis comparativo de la reducción de las vibraciones en la cantera Cerro Blanco, durante voladuras; utilizando carga tradicional y el uso de Taponex” menciona lo siguiente “analizado minuciosamente la utilización de los accesorios TAPONEX para creación de cámaras de aire comparándolos con los valores y datos históricos existentes de los reportes de voladuras sin el uso de dicho accesorio, da cuenta que se obtiene una reducción en los niveles de vibración de aproximadamente un 30%, lo cual coincide con los datos técnicos del fabricante de los sistemas TAPONEX; en principio estos sistemas lo que hacen es taponear los taladros generando cámaras de aire (air decks) para minimizar la cantidad de explosivos por taladros; al mismo tiempo que se logra retener los gases de expansión y empuje en mayor tiempo, reduciendo la cantidad de carga por taladro así como la presión de taladro, minimizando además la energía de choque y la intensidad de vibración en los procesos de voladura” **Pérez, (2010)**

Del mismo modo Mendoza Muños, Norma en su tesis “Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraiso – Ecuador” hace mención a la distribución energética en los taladros de contorno o perimetrales se refiere específicamente al desacoplamiento del explosivo logrando reducir la cantidad de explosivo y la densidad lineal de carga explosiva, a medida que

el desacoplamiento se incrementa la velocidad de detonación baja así como la presión de taladro” **Mendoza, (2014)**

En resumen, es posible incrementar la presión de taladro utilizando técnicas y métodos innovadores para confinar la energía de explosión, para el objetivo que se desea que es controlar la eficiencia y el rendimiento de la voladura.

CONCLUSIONES

1. Se concluye que la influencia del sistema innovador para confinar la energía de explosión en el rendimiento de la voladura túnel Santa Lorenza – Ambo 2020 ha sido significativa y positiva; a partir del cual se ha obtenido un incremento de 4.2% en la presión de taladro alcanzando los 2400 Mpa; por lo tanto la influencia en el rendimiento de la voladura ha sido directamente proporcional teniendo un incremento de 12.5% en el avance por disparo mejorando a la vez la velocidad del proceso constructivo.
2. Se pudo identificar que la influencia del dimensionamiento de la cantidad de explosivos en el rendimiento de la voladura ha sido muy significativa; en donde se ha obtenido un reducción del 20% en el factor de potencia alcanzando un ratio del consumo de explosivos de 1.64 kg/m³; no obstante la influencia en el rendimiento de la voladura fue inversamente proporcional, siendo el incremento de 12.5% en el avance por disparo, de donde podemos afirmar categóricamente que si mejora el avance por disparo se reduce el factor de potencia y el consumo de explosivos.
3. Se demostró que la influencia de la distribución energética por disparo en el rendimiento de la voladura ha sido muy positiva y significativa; en donde se ha obtenido un reducción del 42% en el factor de energía alcanzando los 7.70 MJ/m³; no obstante la influencia en el rendimiento de la voladura fue inversamente proporcional, siendo el incremento de 12.5% en el avance por disparo, de donde podemos afirmar categóricamente que si mejora el confinamiento de la energía, se mejora y optimiza la distribución energética reduciendo además el factor de potencia y el consumo de explosivos.

RECOMENDACIONES

- a) Los resultados del rendimiento de la voladura están supeditados al sistema innovador para confinar la energía de explosión en ese sentido la recomendación a los ejecutores túneleros y mineros de operaciones subterráneas se basa en la aplicación e implementación de las mejores técnicas operativas cuando sus labores de carguío empleen sistemas inadecuados para confinar la energía de explosión.
- b) Para mejorar la retención y confinamiento de la energía de explosión se recomienda a los ejecutivos de las obras civiles tuneleras y operaciones mineras subterráneas implementar la planificación de estrategias que incluyan programas de capacitación y entrenamiento en el uso del sistema innovador para confinar la energía de explosión teniendo en cuenta los distintos diámetros de manera que se pueda fomentar principalmente las características del producto como son el diseño robusto, sus propiedades de auto-confinamiento y sus características de resistencia a la compresión.
- c) Se recomienda implementar la cultura de buenas prácticas y el liderazgo basados en el ejemplo, en ese sentido resulta determinante comprometer a los encargados de supervisión y a los operadores de carguío con el mismo objetivo de uniformizar sus prácticas operativas buscando promover la mejoría continua durante el carguío de taladros, y basados en estas prácticas tomar conciencia de evitar el uso de sistemas inadecuados para confinar la energía de explosión, de ser necesario con la ayuda y apoyo de personal especializado en ingeniería de explosivos y voladuras con el fin de evidenciar de manera tangible el resultado del rendimiento de las voladuras y sus efectos colaterales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arias, F. (2012). *El proyecto de investigacion*. (C. EPISTEME, Ed.) Caracas.

Atlas Copco. (2012). *Lineas de perforacion Magnum SR35*.

Badajoz, M. (2020). *Tu tesis en cinco pasos*.

Bernal, C. (2010). *Metodologia de la investigacion* (Tercera edicion ed.). (P. Educacion, Ed.)

Bernaola, J., Castilla, J., & Herrera, J. (2013). *Perforacion y voladura de rocas en mineria*.

Departamento de explotación de recursos minerales y obras subterráneas,
Universidad Politécnica de Madrid.

Berrospi, V. (2019). *Optimización de la perforación y Voladura para mejorar la zona de profundización en la Mina Andaychagua de la Cia. Minera Volcán S.A.A.* [tesis de licenciamiento Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion] repositorio institucional Universidad nacional Daniel Alcides Carrion, Cerro de Pasco.

Calderon, M. (2015). *Optimizacion de las practicas de perforacion y voladura en el avance y produccion de la mineria mediana escala (Unidad Minera MACDESA)*. [Tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru.

Carhuancho, E. (2011). *Optimización de la fragmentación Aplicando Valores de Energía en Voladura al tajo Vidal, Nivel 4190 cantera de caliza cerro Palo Cemento Andino S.A.* [tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo.

Cumpa, J. (2016). *Efecto de las Cámaras de Aire en Taladros de Producción para Mejorar la Fragmentación del Material y Reducir el Nivel de Vibraciones por Voladura en Minería a tajo Abierto en el Norte del Perú*. [tesis de licenciamiento Universidad Cesar Vallejo] repositorio institucional Universidad Cesar Vallejo, Lima.

Delgado, M. (2014). *Estrategis en el diseño de perforacion y voladura para estructuras aledañas controlando vibraciones y rocas al aire en minas a tajo abierto*. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional San Agustin de Arequipa] repositorio institucional Universidad Nacional San Agustin de Arequipa, Arequipa.

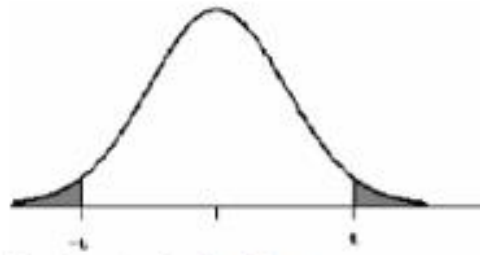
- Enaex. (s.f.). *Manual de tronadura Enaex S.A.* Enaex, Gerencia tecnica.
- Exsa. (2004). *Manual practico de voladura* (cuarta edicion ed.). (Exsa, Ed.)
- Gaona, A. (2015). *Optimización de la Voladura, Mina la virgen – De la Compañía Minera San Simón S.A. – Huamachuco Trujillo*”. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional de Piura] repositorio institucional Universidad Nacional de Piura, Piura.
- Hernandez, Fernandes, Baptista, R. (2014). *Metodologia de la investigacion* (sexta edicion ed.). (M. e. S.A., Ed.)
- Instituto Geologico y Minero de España. (1987). *Manual de perforacion y voladura de rocas*. Instituto Geologico y Minero de España.
- Lopez Jimeno, C. (1987). *Manual de perforacion y voladura*. (I. G. España, Ed.)
- Mendoza, N. (2014). *Optimización de la Voladura, Controlada aplicando un Modelo Matemático en la Unidad Minera Paraíso – Ecuador*”. [tesis de licenciamiento Universidad Nacional del Centro del Peru] repositorio institucional Universidad Nacional del Centro del Peru, Huancayo.
- Ministerio de Energia Y Minas MEM - D.S. 024 - 2016. (2016). Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional en Minería.
- Ríos, R. (2017). Metodología para la investigación y redacción. Obtenido de <https://www.eumed.net/libros-gratis/2017/1662/index.html?id=1662>
- Sanchez, Reyes, Mejia, H. (2018). *Manual de terminos de investigacion cientifica, tecnologica y humanistica*. Lima.
- Supo, Cavero, F. (2014). *Fundamentos teóricos y procedimentales de la investigación científica en ciencias sociales*. (E. Universitario, Ed.) Lima.
- Universidad Politecnica de Madrid . (2020). *Introduccion a la Minería Subterranea. Vol. IV Metodos de explotacion de interior* .

ANEXOS



ANEXO 2. PRUEBA PARA LA CAMPANA DE GAUSS

Cuadro T- Student



(a) El área de las dos colas está sombreada en la figura.

(b) Si H_0 es direccional, las cabeceras de las columnas deben ser divididas por 2 cuando se acota el P-valor.

gl	ÁREA DE DOS COLAS						
	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001	0,0001
1	3,078	6,314	12,706	31,821	63,657	626,619	636,619
2	1,886	2,920	4,303	6,965	9,925	21,598	99,992
3	1,638	2,353	3,182	4,541	5,841	12,924	28,000
4	1,533	2,132	2,776	3,747	4,604	8,610	15,544
5	1,476	2,015	2,571	3,365	4,032	6,869	11,178
6	1,440	1,943	2,447	3,143	3,707	5,959	9,082
7	1,415	1,895	2,365	2,998	3,499	5,408	7,898
8	1,397	1,860	2,306	2,896	3,355	5,041	7,120
9	1,382	1,829	2,262	2,821	3,250	4,781	6,594
10	1,372	1,812	2,228	2,764	3,169	4,587	6,211
11	1,363	1,796	2,201	2,718	3,106	4,437	5,921
12	1,356	1,782	2,179	2,681	3,055	4,316	5,694
13	1,350	1,771	2,160	2,650	3,012	4,221	5,513
14	1,345	1,761	2,145	2,624	2,977	4,140	5,363
15	1,341	1,753	2,131	2,602	2,947	4,073	5,239
16	1,337	1,746	2,120	2,582	2,921	4,015	5,134
17	1,333	1,740	2,110	2,567	2,898	3,965	5,044
18	1,330	1,734	2,101	2,552	2,878	3,922	4,966
19	1,328	1,729	2,093	2,539	2,861	3,883	4,897
20	1,325	1,725	2,086	2,528	2,845	3,850	4,837
21	1,323	1,721	2,080	2,518	2,831	3,819	4,784
22	1,321	1,717	2,074	2,508	2,819	3,792	4,736
23	1,319	1,714	2,069	2,500	2,807	3,767	4,693
24	1,318	1,711	2,064	2,492	2,797	3,745	4,654
25	1,316	1,708	2,060	2,485	2,787	3,725	4,619
26	1,315	1,706	2,056	2,479	2,779	3,707	4,587
27	1,314	1,703	2,052	2,473	2,771	3,690	4,558
28	1,313	1,701	2,048	2,467	2,763	3,674	4,530
29	1,311	1,699	2,045	2,462	2,756	3,659	4,506
30	1,310	1,697	2,042	2,457	2,750	3,646	4,482
40	1,303	1,684	2,021	2,423	2,704	3,551	4,321
60	1,296	1,671	2,000	2,390	2,660	3,460	4,169
100	1,290	1,660	1,984	2,364	2,626	3,390	4,053
140	1,288	1,656	1,977	2,353	2,611	3,361	4,006
∞	1,282	1,645	1,960	2,326	2,576	3,291	3,891

Fuente: <https://www.slideshare.net/francisolverocascue/t-studentdoscolas-26990966?omobile=true>

ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	TECNICA E INSTRUMENTO	METODOLOGIA
PROBLEMA GENERAL ¿Cuál es la influencia del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión en el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza- Ambo-Huanuco -2020?	OBJETIVO GENERAL Determinar la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión en el Rendimiento de Voladura en el tunel Santa Lorenza – ambo – Huanuco -2020.	HIPOTESIS GENERAL El Sistemaa Innovador para confinar la energía de explosión se relaciona significativamente con el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo -Huanuco -2020.	Independiente: Sistema innovador para confinar la energía de explosión Dependiente: Rendimiento de Voladura	Tecnica: Encuesta Instrumentos: Cuestionario	ENFOQUE DE INVESTIGACION ▪ MIXTO (CUALI – CUAN) TIPO DE INVESTIGACIÓN: ▪ Según la Finalidad: Basica ▪ Según el Alcance: Descriptiva, Correlacional DISEÑO DE INVESTIGACION: ▪ No Experimental MÉTODO DE INVESTIGACION: ▪ Científica; Deductiva, Hipotético-Deductivo; Descriptiva FUENTES: ▪ Bibliografías
PROBLEMA ESPECÍFICO 1 ▪ ¿De que manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Energía Explosiva, influye en el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco - 2020?	OBJETIVO ESPECÍFICO 1 Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía explosión de la Energía Explosiva con el Rendimiento de voladura en el tunel Santa Lorenza – ambo – Ambo -2020.	HIPOTESIS ESPECIFICO 1 El sistema innovador para confinar la energía de explosión de la Energía Explosión, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco - 2020	Independiente: Sistema innovador para confinar la energía de explosión Energía Explosiva Dependiente: Rendimiento de Voladura	Tecnica: Encuesta Instrumentos: Cuestionario	
PROBLEMA ESPECÍFICO 2 ▪ ¿De que manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión, referente a la Caracterización de la Fragmentación de Roca, influye en el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco-2020?	OBJETIVO ESPECÍFICO 2 Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Caracterización de la Fragmentación de Roca con el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza -Ambo – Huanuco -2020	HIPOTESIS ESPECIFICO 2 El sistema innovador para confinar la energía de explosión de la caracterización de la fragmentación de roca, se relaciona favorablemente con el rendimiento de voladura en el tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco -2020	Independiente: Sistema innovador para confinar la energía de explosión Caracterización de la fragmentación de roca. Dependiente: Rendimiento de Voladura	Tecnica: Encuesta Instrumentos: Cuestionario	
PROBLEMA ESPECÍFICO 3 ▪ ¿De que manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión referente a la Velocidad de Detonación, influye en el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco -2020?	OBJETIVO ESPECÍFICO 3 Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión referente a la Velocidad de Detonación con el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco -2020.	HIPOTESIS ESPECIFICO 3 El Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Velocidad de Detonación, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco – 2020.	Independiente: Sistema innovador para confinar la energía de explosión Velocidad de Detonación. Dependiente: Rendimiento de Voladura	Tecnica: Encuesta Instrumentos: Cuestionario	
PROBLEMA ESPECÍFICO 4 ▪ ¿De que manera el Sistema Innovador para confinar la energía de explosión, referente a la densidad del Explosivo, influye en el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco - 2020?	OBJETIVO ESPECÍFICO 4 Establecer la relación del Sistema Innovador para confinar la energía de explosión referente a la Densidad del Explosivo con el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco – 2020.	HIPOTESIS ESPECIFICO 4 El Sistema Innovador para confinar la energía de explosión de la Densidad del Explosivo, se relaciona favorablemente con el Rendimiento de Voladura en el Tunel Santa Lorenza – Ambo – Huanuco -2020.	Independiente: Sistema innovador para confinar la energía de explosión Densidad del Explosivo. Dependiente: Rendimiento de Voladura	Tecnica: Encuesta Instrumentos: Cuestionario	