

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

**“REDUCCIÓN DE SOBREROTURA EN LABORES
LINEALES MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA
DE PRECORTE EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, LA
LIBERTAD”**

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Huver Orlando Medina Navarro

Asesor:

Mg. Eduardo Manuel Noriega Vidal
<https://orcid.org/0000-0001-7674-7125>

Trujillo - Perú

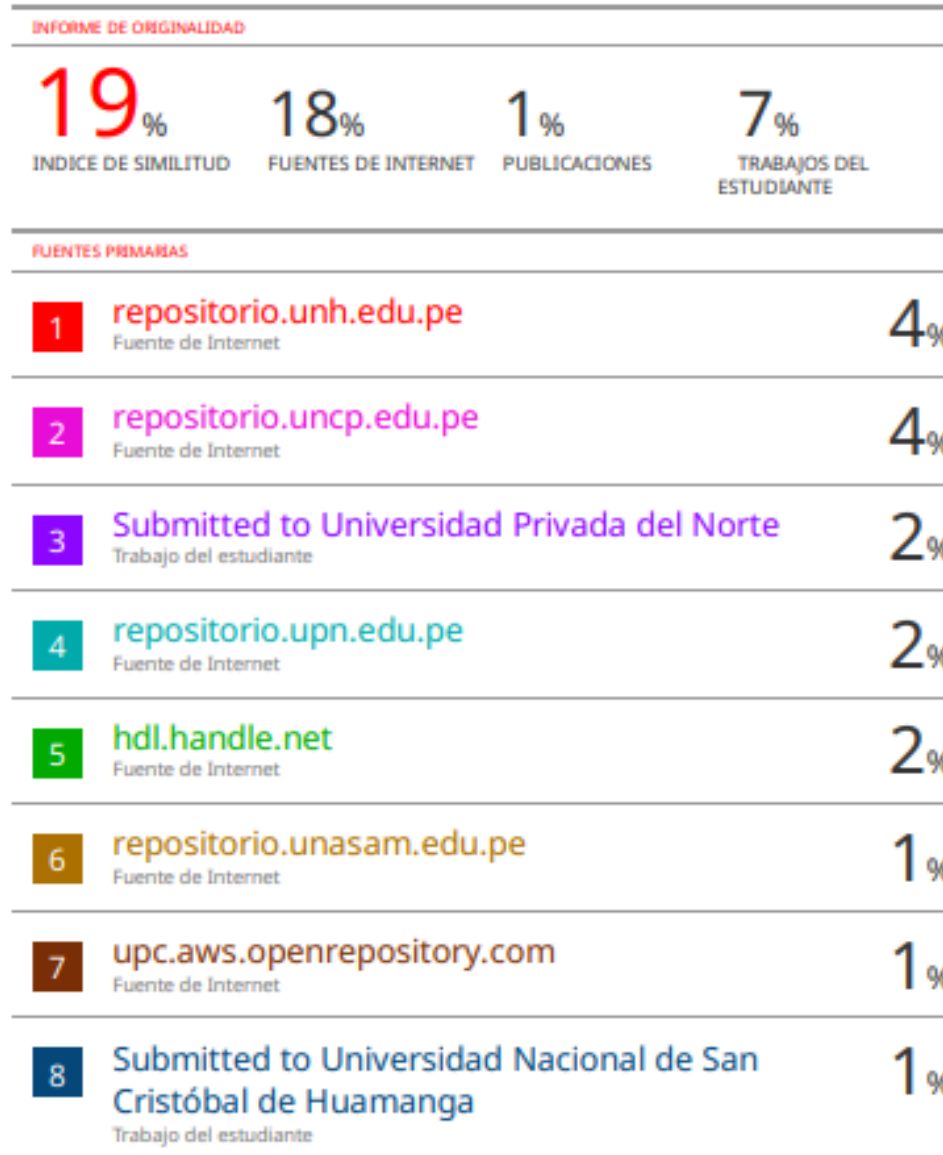
JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Mg. Ing. Jorge Omar Gonzales Torres	43703713
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 2	Mg. Ing. Ronald Antonio Alvarado Obeso	44562630
	Nombre y Apellidos	N° DNI

Jurado 3	Mg. Ing. Wilson Gómez Hurtado	18900541
	Nombre y Apellidos	N° DNI

INFORME DE SIMILITUD



DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres, por su inquebrantable apoyo y amor incondicional a lo largo de mi vida. A mi familia y amigos, quienes siempre estuvieron a mi lado, brindándome ánimo y motivación. A mis profesores y mentores, quienes me guiaron en este arduo camino del conocimiento. A todos los profesionales de la industria minera, cuyo compromiso con la excelencia me inspiró a seguir adelante. Y, por último, pero no menos importante, a la Tierra misma, recordándonos la importancia de cuidar y preservar nuestros recursos naturales. Este trabajo es el resultado de un esfuerzo colectivo, y esta tesis está dedicada a todos aquellos que creyeron en mí y en la importancia de la Ingeniería de Minas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis profesores y al personal académico del Departamento de Ingeniería de Minas por brindarme una sólida formación y las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

Mis compañeros de clase merecen un agradecimiento especial por compartir sus ideas, experiencias y conocimientos, lo que enriqueció enormemente mi trabajo.

Agradezco a mis amigos y familiares por su apoyo incondicional y su comprensión durante los momentos de intenso trabajo y estrés.

Este logro no habría sido posible sin el apoyo y la colaboración de todos ustedes. Gracias por formar parte de este viaje y por ayudarme a alcanzar este hito en mi carrera académica.

TABLA DE CONTENIDOS

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
TABLA DE CONTENIDOS.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	9
RESUMEN	12
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Realidad problemática.....	13
1.2. Formulación del problema	27
1.3. Objetivos	28
1.4. Hipótesis.....	29
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	30
CAPITULO III: RESULTADOS.....	33
CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	60
REFERENCIAS	63
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del explosivo Emulnor	34
Tabla 2 Características del explosivo Famecorte E-20.....	35
Tabla 3 Sobrerotura antes con Emulnor en cada labor de avance de la RA 7595-4.....	37
Tabla 4 Sobrerotura antes con Emulnor en cada labor de avance de la RA 7595-5.....	39
Tabla 5 Sobrerotura después con Emulnor y Famecorte E-20 en cada labor de avance de la RA 7595-4	41
Tabla 6 Sobrerotura después con Emulnor y Famecorte E-20 en cada labor de avance de la RA 7595-5	43
Tabla 7 Costo de la voladura por disparo (Emulnor) de las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5	47
Tabla 8 Costo de la voladura por disparo (Emulnor y Famecorte E-20) de las labores de avance de la RA 7595 y RA 7595-5	49
Tabla 9 Distribución de carga con Emulnor	52
Tabla 10 Distribución de carga con Emulnor y Famecorte E-20	54
Tabla 11 Análisis estadístico de la sobrerotura	56
Tabla 12 Prueba de normalidad de la sobrerotura	58
Tabla 13 Prueba T de Student de la sobrerotura.....	59
Tabla 14 Sobrerotura en las labores de avance lineal utilizando Emulnor.....	69

Tabla 15 Sobrerotura en las labores de avance lineal utilizando Emulnor y Famecorte E-20
..... 70

Tabla 16 Costo de la voladura por disparo (Emulnor) de las labores de avance lineal 71

Tabla 17 Distribución de carga con Emulnor y Famecorte E-20 en labores de avance lineal
..... 72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Explosivo Emulnor	33
Figura 2 Explosivo Famercorte E-20	36
Figura 3 Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor de las labores de la RA 7595-4	38
Figura 4 Generación de la sobrerotura con Emulnor en la labor RA 7595-4.....	38
Figura 5 Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor de las labores de la RA 7595-5	40
Figura 6 Generación de la sobrerotura con Emulnor en la labor RA 7595-5.....	40
Figura 7 Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor y Famecorte E-20 de las labores de la RA 7595-4.....	42
Figura 8 Generación de la sobrerotura con Emulnor y Famecorte E-20 en la labor RA 7595-4.....	42
Figura 9 Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor y Famecorte E-20 de las labores de la RA 7595-5.....	44
Figura 10 Generación de la sobrerotura con Emulnor y Famecorte E-20 en la labor RA 7595-5.....	44
Figura 11 Sobrerotura promedio de la labor de avance de la RA 7595-4.....	45
Figura 12 Sobrerotura promedio de la labor de avance de la RA 7595-5.....	46

Figura 13 Costo total por voladura de las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5 51

Figura 14 Malla de perforación antes con Emulnor en las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5 53

Figura 15 Malla de perforación después con Emulnor y Famecorte E-20 en las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5..... 55

Figura 16 Sobrerotura Pre-test y Post-test..... 57

Figura 17 Plano geomecánico de los avances Nv 2910 RA 7595-4..... 74

Figura 18 Clasificación geomecánica RMR 89 de la labor de avance RA 7595-4 75

Figura 19 Mapeo geomecánico RA 7595-4..... 75

Figura 20 Plano geomecánico avances Nv. 2910 RA 7595-5 76

Figura 21 Clasificación geomecánica RMR 89 de la labor de avance RA 7595-5 77

Figura 22 Mapeo geomecánico RA 7595-5..... 77

Figura 23 Voladura con explosivo Emulnor en RA 7595-4..... 78

Figura 24 Voladura con explosivo Emulnor en RA 7595-5..... 79

Figura 25 Voladura con explosivo Emulnor y Famecorte E-20 en RA 7595-4 80

Figura 26 Voladura con explosivo Emulnor y Famecorte E-20 en RA 7595-5 81

Figura 27 Malla de perforación en RA 7595-4 82

Figura 28 Carguío de taladros en RA 7595-4 sección 3.50 m x 3.50 m 82

Figura 29 Malla de perforación en RA 7595-5	83
Figura 30 Carguío de taladros en RA 7595-5 sección 3.50 m x 3.50 m	83
Figura 31 Uso de guidores al realizar la perforación con barreno de 12 pies en Jumbo DD210	84
Figura 32 Carguío de taladros sección 3.50 x 3.50 m	84
Figura 33 Frente de perforación	85
Figura 34 Área de trabajo	85
Figura 35 Perforación con jumbo de la malla de perforación	86

RESUMEN

El objetivo principal de esta investigación fue determinar cómo influye la voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad. La metodología utilizada fue aplicada correlacional, descriptiva y preexperimental. Los resultados obtenidos revelaron que la implementación de la voladura controlada de precorte logró reducir el porcentaje de sobrerotura de un 21,08% a un 5,09% en la rampa 7595-4, y de un 20,83% a un 5,18% en la rampa 7595-5. Adicionalmente, se determinó una disminución en el costo de voladura por disparo de S/ 919,99 a S/ 860,67, al utilizar voladura controlada. La distribución de carga se redujo al aplicar la voladura controlada de precorte de 500 unidades de Emulnor a 412 unidades de Emulnor y 35 unidades de Famecorte E-20. Finalmente se llegó a la conclusión que la aplicación de la voladura controlada de precorte influye en la reducción de la sobrerotura, costos de voladura y distribución de carga en las labores lineales en una mina subterránea.

PALABRAS CLAVES: Precorte, sobrerotura, Emulnor, Famecorte E-20, voladura controlada.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La minería es un pilar fundamental de la economía peruana, posicionando al país como uno de los principales productores de minerales a nivel mundial. Sin embargo, esta industria enfrenta desafíos significativos, especialmente en la minería subterránea. Un problema recurrente es la “Sobrerotura”, un fenómeno que resulta en la remoción excesiva de roca más allá de los límites planificados, principalmente debido a voladuras no controladas o al uso inadecuado de las técnicas de voladura controlada. Este problema no solo incrementa los tiempos y costos de diversas operaciones unitarias, sino que también pone en riesgo la seguridad del personal y la maquinaria involucrada.

De acuerdo con el Instituto de Ingenieros de Minas del Perú (IIMP) en su informe del (2020), el análisis del Servicio Geológico de los Estados Unidos para el año 2019 indica que el Perú conservó su posición como el segundo mayor productor a nivel mundial de cobre, plata y zinc. Asimismo, ocupó el tercer lugar en producción de plomo y el cuarto en estaño y molibdeno. Dado este contexto, la minería representa un eje crucial en la economía peruana. En particular, la minería subterránea implica la creación de túneles, pozos, chimeneas y galerías, necesarios para acceder a los yacimientos minerales. Una problemática común en estos trabajos subterráneos es la "sobrerotura". Según lo señalado por Castañeda en (2019), este fenómeno se produce principalmente por voladuras no controladas o por el uso inadecuado de las técnicas de voladura controlada, resultando en la remoción excesiva de roca más allá de los límites planificados. Las implicancias de la sobrerotura afectan de manera adversa los tiempos y costos en diversas operaciones

unitarias, incluyendo la limpieza, el transporte de escombros, el sostenimiento y la seguridad del personal y maquinaria involucrada en estas actividades mineras.

En la Compañía Minera Poderosa S.A., reconocida en el sector como una empresa de minería aurífera de mediano tamaño y actualmente en fase de mecanización, se encuentra situada en el distrito y provincia de Pataz, aproximadamente a 320 kilómetros de la ciudad de Trujillo. Ubicada a una altitud que oscila entre los 1250 y 3000 metros sobre el nivel del mar, esta empresa está dedicada a cumplir con sus metas de desarrollo planificadas, buscando mantenerse competitiva tanto en el mercado nacional como en el internacional. Actualmente viene usando emulsión explosiva encartuchada “Emulnor” en el carguío de taladros, obteniendo resultados de sobrerotura de forma constante ocasionándole pérdidas económicas y de tiempo, además de la afección en cuanto a la seguridad del personal. Por tales motivos se hace necesario actualizar su proceso e implementar el carguío de taladros usando explosivo para voladura de contorno y emulsión explosiva encartuchada para lo cual se propone usar “emulnor y famecorte E-20” en el carguío de frentes.

Para la presente investigación se ha recopilado antecedentes, los cuales se detallan a continuación:

Según Marin (2021), en su tesis “Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V - Minera Aurífera Retamas S.A.”, para obtener el grado de Ingeniero de Minas, tuvo como propósito investigar el impacto de la perforación y voladura controlada en la optimización del progreso y la reducción de la sobrerotura durante la profundización de la rampa Patrick V en Minera Aurífera Retamas S.A. Esta investigación se fundamentó en el enfoque científico aplicado,

con un carácter descriptivo y analítico. El estudio se centró en la Unidad Minera Retamas, seleccionando específicamente la Rampa Patrick V. Esta rampa, que se extiende en zigzag desde el nivel 2195 al 2070 con una inclinación de -12%, fue el núcleo del estudio. Se procedió a definir los patrones de perforación y voladura controlada tanto para el tramo recto de la rampa, con dimensiones de 4,0m x 4,5m, como para sus curvas, donde la sección mide 4,5m x 4,5m. Los resultados preliminares señalaron un avance por disparo de 3,10m; este valor se incrementó a 3,18m en la sección recta y a 3,15m en las curvas de la rampa. Respecto a la sobrerotura, se partió de un valor máximo del 10% en la medición inicial. Tras la aplicación de las nuevas técnicas de perforación y voladura, se observó una reducción en la sobrerotura hasta el 6% en la sección recta y al 5,5% en las curvas de la rampa. Este estudio proporciona un precedente crucial para este estudio, mostrando cómo la perforación y voladura controladas pueden reducir efectivamente la sobrerotura.

De acuerdo con Cerna (2022), en su tesis “Reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la rampa 210 mina Coturcan – 2022”, para la obtención del título de Ingeniero de Minas, se centró en la minimización de la sobrerotura a través del uso eficiente de técnicas de perforación y voladura controlada en el proceso de profundización de la Rampa 210 en la mina Coturcan durante el año 2022. La investigación, de carácter aplicado, reveló que la implementación de un diseño específico de malla de perforación y voladura controlada facilitó la reducción significativa de la sobrerotura de un 16% inicial a un 10.49%. Este cambio no solo mejoró el porcentaje de sobrerotura, sino que también resultó en una corona de sección más uniforme y una mayor estabilidad general de la rampa. La tesis concluye con la afirmación de que fue posible minimizar la sobrerotura en la Rampa 210 de la mina Coturcan gracias a la implementación

del mencionado diseño de malla y voladura controlada. Anteriormente, la sobrerotura se situaba alrededor del 16%, logrando reducirla hasta un notable 10.49%. Además, el estudio destaca la redistribución de los taladros debido a la voladura controlada, pasando de 48 taladros, con 4 taladros rimados en el cuele y 44 de producción, a 48 taladros, que incluyen 4 en el cuele y 10 de precorte tanto en los hastiales como en la corona, mejorando así la técnica de voladura. Esta investigación ofrece un ejemplo práctico y relevante en la rampa 210 de la mina Coturcan, especialmente en la reducción de sobrerotura y la mejora de la estabilidad de la rampa.

En la investigación de Matos (2022), denominada "Aplicación de Voladura Controlada para reducir la sobrerotura y costo de sostenimiento de las labores de avance en la zona cuerpos de Alpayana S.A. – 2022", presentada para obtener el grado de Ingeniero de Minas, se enfocó en disminuir la sobrerotura y los costos de sostenimiento en las labores de avance mediante el uso de técnicas de voladura controlada en Alpayana S.A. El estudio, de naturaleza científica, adoptó un enfoque descriptivo y un diseño experimental. El ámbito de estudio incluyó la Zona Cuerpos Nv 19A y específicamente las 7 labores de avance: Cx 350 NW, Est 360 SE, Est 330 SE, Est 435, Gal 417 NE, Bp 260 NE y Cam 496 SE, centrándose particularmente en el BP 260 NE. Los resultados de la investigación demostraron una notable disminución de la sobrerotura del 18.81% al 4.82%. Asimismo, se registró una reducción en los costos por metro lineal, tanto para los pernos helicoidales, que bajaron a 64.50 \$/m, como para el Shotcrete, que disminuyó a 72.19 \$/m en las mencionadas labores de avance. Esta investigación muestra la significancia disminución de sobrerotura y reducción de costos en Alpayana S.A. resaltando la eficiencia de las técnicas de voladura controlada, lo cual proporciona información valiosa para esta investigación.

En el trabajo de Pomasonco (2021), titulado "Aplicación de la voladura de precorte en las labores de desarrollo de la mina MARSÁ para reducir la sobrerotura en el macizo rocoso", presentado para su titulación como Ingeniero en Gestión Minera, se propuso la adopción de técnicas de voladura de precorte en la perforación y voladura para las labores de desarrollo en la mina MARSÁ. El objetivo primordial fue minimizar la sobrerotura y optimizar la estabilidad del macizo rocoso. El ámbito del estudio se concentró en la Unidad Minera San Andrés y su zona de influencia. A través de la implementación de la voladura de precorte, se buscaba alcanzar una mayor estabilidad en el desarrollo minero y una notable disminución de la sobrerotura. Durante la investigación, se llevaron a cabo análisis geomecánicos para clasificar las tipologías de roca, facilitando así la creación de una malla de perforación óptima. Se constató que la malla de perforación original provocaba una sobrerotura de un 16%, mientras que con la propuesta mejorada se redujo al 8%. Igualmente, se seleccionaron explosivos específicos para no comprometer la integridad del macizo rocoso. Además, se compararon los costos entre el diseño de voladura convencional y la voladura de precorte. La conclusión de Pomasonco destacó que la aplicación de la voladura de precorte es efectiva tanto en la reducción de la sobrerotura como en el fortalecimiento de la estabilidad física en las labores de desarrollo minero. Este antecedente brinda un estudio de caso valioso para esta investigación en la mina de La Libertad, ilustrando el potencial de las técnicas de reducción de la sobrerotura y mejora de la estabilidad del macizo rocoso lograda en MARSÁ.

En el estudio de Bejarano (2021) titulado "Voladura controlada y su influencia en la disminución de sobrerotura en labores subterráneas - Minera Aurífera Retamas S.A.", para obtener el grado de Ingeniero de Minas, se examinó cómo la voladura controlada incide en

la disminución de la sobrerotura en las operaciones subterráneas de Minera Aurífera

Retamas S.A. La Metodología adoptada fue de naturaleza científica, aplicada, y con un enfoque descriptivo-explicativo, orientada principalmente a analizar la dinámica de causa y efecto. El estudio se centró en las galerías y chimeneas de la Unidad Minera San Andrés. Los resultados destacaron una reducción significativa de la sobrerotura en las diferentes labores analizadas. En la galería 9103 – SE (XC 9103 – S (RP)), la sobrerotura disminuyó de un 12,30% a un 8,5%; en la chimenea 9103 – 8AS (EST8 (XC 9103 – S)) la reducción fue de 20,72% a 12%; en la chimenea 9110 – 18AS (GAL 9110 – AS) se logró una reducción de sobrerotura a 14%; y en la chimenea 9103 – 16S (GAL 9103 – S (XC)) se pasó de un 57,75% a un 19%. Además, se observó una disminución promedio del 22% en el factor de carga. Estos hallazgos subrayan la eficacia de la voladura controlada para minimizar la sobrerotura en las operaciones subterráneas. Este antecedente muestra la efectividad de la voladura controlada, proporcionando un marco sólido y directamente aplicable a técnicas y estrategias en la mina de La Libertad.

Según Rodriguez (2022), en su tesis “Perforación y Voladura y su Influencia en Sobrerotura en Labores Subterráneas-Yauliyacu – Empresa Minera Los Quenuales S.A.”, con el fin de alcanzar el título de Ingeniero de Minas, se focalizó en analizar el impacto de la perforación y voladura en relación con la sobrerotura en las operaciones subterráneas llevadas a cabo en Yauliyacu, en la empresa Minera Los Quenuales S.A. Esta investigación se fundamentó en el método científico y adoptó un enfoque aplicado y explicativo. El diseño utilizado fue descriptivo comparativo, y se enfocó en los tajeos de explotación que utilizan el método de sublevel stoping, también en vetas angostas como en cuerpos más extensos donde se emplean taladros largos. Como casos específicos de estudio, se tomaron

en consideración los tajeos en los cuerpos TJ_1003, TJ_650, TJ_494, y en las vetas angostas, el TJ_309. Los resultados obtenidos en el caso de la veta angosta TJ_309 indicaron que, partiendo de un ancho programado de 1,1 metros, se logró un ancho real de 1,5 metros, lo que resultó en una sobrerotura del 40%. Este valor se consideró como la línea base para el estudio. Luego de implementar un nuevo diseño de malla, el ancho de minado programado se redujo a 0,2 metros, y el ancho ejecutado fue de 0,3 metros, lo que permitió disminuir la sobrerotura al 15% en la veta analizada. Por otro lado, en el tajeo TJ_494 (cuerpos), se programó un ancho de 1,1 metros, se ejecutó un ancho de 1,3 metros, y se registró una sobrerotura del 16%. Este antecedente proporciona un análisis exhaustivo y relevante para este estudio, con el énfasis en la adaptación del diseño de malla de perforación y las técnicas de voladura para diferentes condiciones geológicas y morfológicas de las vetas y cuerpos mineralizados.

Según Romani (2019), en su tesis “Diseño de mallas de perforación y voladura para optimizar avances y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua - VCM S.A.A.”, para obtener el título de Ingeniero de Minas, se enfocó en investigar la influencia del diseño de las mallas de perforación y voladura en la mejora de los avances y la reducción de la sobrerotura en el nivel 1225 de la Mina Andaychagua. Este estudio se basó en el método científico, aplicando un enfoque de investigación descriptiva y aplicada. Como área de estudio, se seleccionó las labores realizadas en el nivel 1225, y específicamente, se examinaron el Bp. 1225E, con dimensiones de 4.5m x 4.5m, y el ACC 261, de 4.0 m x 4.0 m, como muestras representativas. Los resultados obtenidos de las pruebas de disparo fueron significativos. Se logró un avance promedio de 3.02 metros por cada disparo, alcanzando el 95% de la longitud del taladro de 3.20 metros, salvo en un caso donde el

avance fue solo de 2.20 metros debido al encuentro con una falla geológica y corte de veta.

La sobrerotura resultante en los frentes donde se realizaron los disparos fue en promedio del 4.86%. Estos resultados resaltan la eficacia del diseño de mallas de perforación y voladura en la optimización de los procesos de avance y control de sobrerotura en operaciones mineras. Este antecedente es relevante para mejorar las estrategias de perforación y voladura en la mina subterránea en La Libertad, especialmente en términos de eficiencia y control de daños.

Según Baldeón (2019), es su tesis “Optimización de voladura en frentes de avance con el uso de faneles ms en la mina Catalina Huanca”, con el fin de obtener el título de Ingeniero de Minas, se planteó como objetivo principal la optimización del diseño de voladuras en los frentes de avance mediante la utilización de faneles MS en la mina Catalina Huanca. El enfoque de la investigación fue explicativo, utilizando un método inductivo y un diseño descriptivo. La investigación se centró en un total de 10 frentes de avance, seleccionados como muestra representativa. A través de este estudio, Baldeón concluyó que el uso de faneles de período corto (MS) condujo a una notable mejora en la reducción de la granulometría, logrando un tamaño promedio de partícula de 6.56 pulgadas en los tajos de breasting. Además, se registró un tamaño de partícula p80 de 6.56 pulgadas promedio en tajos de breasting con el uso de estos faneles. Significativamente, el estudio también reveló una mejora en la eficiencia de la voladura, con un aumento promedio de aproximadamente 7.25% por disparo. Estos hallazgos enfatizan la efectividad del uso de faneles MS en la optimización de procesos de voladura en minería. Este antecedente es de gran utilidad para mejorar las técnicas de voladura, particularmente en términos de eficiencia y control de la fragmentación en una mina de La Libertad.

Según Reymundo (2022), en su tesis “Mejoramiento de perforación y voladura para reducir sobrerotura con taladros largos en vetas angostas en unidad minera Yauliyacu - 2022”, con el fin de obtener el grado de Maestro en Gestión Minera, se planteó como objetivo principal investigar de qué manera el mejoramiento de las técnicas de perforación y voladura impacta en la disminución de la sobrerotura en la explotación de vetas angostas utilizando taladros largos en la Unidad Minera Yauliyacu. La metodología adoptada fue de carácter científico, aplicado, y de enfoque descriptivo-explicativo, con un diseño de investigación cuasiexperimental. Se focalizó en los tajeos de los Niveles 1500 y 4100 de las secciones II y VII, seleccionando de manera no probabilística los tajeos TJ_869 en el Nivel 1500 Sección IV y el TJ_638 en el Nivel 4100 Sección VII como muestras para el estudio. Se observó una reducción significativa en las desviaciones de la perforación, de un rango inicial de 0,8% a 1,1% de la longitud del taladro, a menos del 0,5%. En el tajeo TJ_869, los resultados mostraron que la carga operante en los taladros positivos fue de 35,8 kg por retardo, con un factor de carga de 0,90 kg/TM, mientras que en los taladros negativos, la carga fue de 41,2 kg por retardo con un factor de carga de 0,80 kg/TM, resultando en una sobrerotura del 13%. En el caso del tajeo TJ_638, la carga operante se registró en 37,5 kg por retardo, con un factor de carga de 0,50 kg/TM y una sobrerotura de solo 4%. Estos resultados en ambos tajeos fueron inferiores al 15% definido como el límite máximo, demostrando así la efectividad del mejoramiento en las prácticas de perforación y voladura para controlar la sobrerotura en contextos de minería en vetas angostas. Este estudio es relevante para esta investigación ya que muestra operaciones en contextos similares, especialmente en lo que respecta al control eficiente de la sobrerotura y la precisión en la perforación de vetas angostas.

Según Belito y Belito (2021) en su tesis “Reducción de sobrerotura mediante el uso de voladura controlada del precorte en el crucero cx 1160 del nivel 2360 de la zona candelaria de la CIA. Consorcio Minero Horizonte - 2019”, para obtener el título de Ingeniero de Minas, el enfoque de su investigación se centró en analizar cómo la aplicación de la técnica de voladura controlada de Precorte puede contribuir a la disminución de la sobrerotura en el crucero CX 1160 del nivel 2360 en la zona de Candelaria de la Compañía Consorcio Minero Horizonte. La investigación mostró que, mediante la utilización de esta técnica de voladura controlada, fue posible reducir la sobrerotura en 7.8 m³ por disparo, lo que representa una disminución del 17.87% en el volumen total derribado. Este resultado fue logrado gracias a la aplicación de taladros de alivio tanto en la corona como en los hastiales. En el proceso, se utilizaron explosivos en cartuchos de Exsablock de 7/8” x 7”, empleando tubos de PVC como parte de la técnica. Además de la mejora en la eficiencia operativa, los autores analizaron también el impacto económico de esta técnica. El costo por ciclo de minado por disparo sin la aplicación de Precorte fue de 4787.55 USD, mientras que con el uso de Precorte disminuyó a 4442.79 USD. Esto representa un ahorro significativo de 344.76 USD por disparo. Extendiendo estos cálculos a una escala mensual, el costo del ciclo de minado en el crucero CX 1160 del Nivel 2360, utilizando voladura sin precorte fue de 95751.07 USD, y con la voladura controlada con Precorte, el costo fue de 88855.81 USD, resultando en un ahorro de 6895.26 USD por mes. Este antecedente subraya la relevancia de la voladura controlada de precorte no solo desde un punto técnico, sino también económico, reforzando su viabilidad y eficacia en la optimización de la minería subterránea.

Con el fin de profundizar en la comprensión de la presente investigación, se han establecido las siguientes fundamentaciones teóricas:

Perni y Lopez (1987) destacaron la importancia de la perforación de rocas en el ámbito de las voladuras, señalando que es la primera operación que se lleva a cabo en este proceso. Su propósito es crear huecos en los macizos rocosos con una distribución y geometría adecuadas para alojar las cargas de explosivo y sus accesorios. A pesar de la existencia de múltiples sistemas de penetración de roca, la perforación en el sector de la minería y la obra pública se realiza en la actualidad, en su mayoría, mediante el uso de energía mecánica. La técnica de perforación y voladura es esencial para la extracción de roca en áreas donde la utilización de maquinaria mecánica no resulta económica o práctica. Esta técnica se aplica en diversos métodos de explotación, tanto en minería como en obra civil, en situaciones que requieren movimiento de tierras. Se basa en la realización de perforaciones en la roca, donde luego se colocan los explosivos. Estos, al detonar, transmiten la energía necesaria para fragmentar el macizo rocoso que se desea explotar. Las tecnologías empleadas en este proceso se dividen en dos categorías principales: las áreas de tecnología relacionadas con la perforación y el diseño y la ejecución de voladuras son de gran importancia. Las técnicas de perforación no se restringen únicamente a la creación de cavidades para explosiones, sino que también encuentran aplicaciones en diversas áreas como la exploración, el drenaje, el sostenimiento, y otras más. A lo largo del tiempo, la perforación en roca ha evolucionado con la adopción de distintas tecnologías. Aunque algunas han quedado obsoletas por razones de eficiencia o por factores externos como costos y consideraciones medioambientales, las tecnologías de perforación más desarrolladas y utilizadas hoy en día se basan en sistemas mecánicos. Estos sistemas se

conocen como perforación "a rotación" y "a percusión", destacando por su eficacia en energías específicas inferiores a los 1.000 J/cm³. Este enfoque integral en la descripción de Perni y Lopez sobre la perforación y voladura subraya la complejidad y la naturaleza técnica de estas operaciones, fundamentales en la industria minera y de construcción.

Según la descripción proporcionada de Bernaola et al. (2013), la voladura se define como el proceso en el que se organiza un conjunto de barrenos cargados con explosivos, detonados en una secuencia específica para lograr la fragmentación y desplazamiento deseados de la roca, cuidando de no dañar elementos circundantes. Este proceso es una práctica común en la minería y se puede realizar tanto en ambientes de cielo abierto como en espacios subterráneos, con cada entorno presentando características propias. En esta definición, se destacan varios aspectos clave: a) Distribución de taladros: posicionamiento de los taladros en la voladura. b) Cantidad de explosivos: la cantidad de agentes explosivos por taladro. c) Secuencia de detonación: el orden en que se activan los taladros. d) Fragmentación de la roca: la distribución de tamaños de los fragmentos resultantes de la explosión. e) Desplazamiento de la roca: el movimiento de la masa de roca que ha sido volada (Bernaola et al., 2013).

La ejecución exitosa de una voladura controlada se alcanza mediante la aplicación precisa de explosivos lineales de baja energía, colocados en perforaciones uniformemente espaciadas y alineadas. Estos son detonados de forma simultánea para asegurar la formación efectiva de un plano de fractura, tal como señalan Aguilar y Vera (2016). Para realizar una voladura controlada, se deben considerar ciertas limitaciones: En la fase de perforación: a) Los diámetros de los orificios perimetrales suelen ser equivalentes a los usados en la voladura principal. b) Se requiere una gran precisión en la perforación para

mantener la alineación y el paralelismo entre los orificios. c) La distancia entre los orificios deberá ser más reducida en comparación con los espacios en la voladura tradicional.

Durante el carguío: a) Es imprescindible usar explosivos de baja energía y velocidad de detonación reducida. b) La carga debe ser dispuesta de manera que permita la formación de un anillo de aire alrededor del explosivo, mitigando así el impacto de la explosión al desviar una parte de su energía, y debe extenderse a lo largo de todo el orificio. En el momento del disparo: a) El taladro de corte perimetral debe ser capaz de realizar disparos secuenciales efectivos a lo largo del plano. b) Se deben utilizar explosivos con una capacidad de ruptura menor. c) La velocidad de las partículas expulsadas debería estar en el intervalo de 700 a 1000 mm/s, valor que puede ser calculado mediante una fórmula específica.

$$v = \frac{Ce}{R} * b$$

En donde: (v) representa la velocidad máxima de la partícula; (Ce) indica la carga utilizada en el explosivo (expresada en kilogramos); (R) se refiere a la distancia radial desde el centro de la detonación, medida en metros; y (b) es una constante que varía según las características estructurales del material rocoso. Cuando se opta por emplear cartuchos de dinamita convencionales, es necesario ubicarlos a una distancia equivalente a la longitud del propio cartucho, y se deben activar en línea, utilizando un cordón detonante de baja densidad, por lo general, con una carga de 3 gramos por metro (3 g/m). Los explosivos elegidos para la voladura deben tener una consistencia baja y generalmente se presentan en forma de gránulos. Aunque el uso de cordón detonante con un mayor peso por metro (60,

80, 120 g/m) puede reducir la consistencia de la carga lineal, este método resulta ser considerablemente más costoso.

Según (Perni & Lopez, 1987), el término "precorte" en el contexto de la voladura de rocas hace referencia a la generación previa de una discontinuidad o un plano de fractura antes de llevar a cabo la voladura principal o de producción. Este enfoque implica la disposición de una serie de taladros de diámetro reducido, colocados en proximidad uno del otro, cargados con explosivos que actúan de manera independiente y que se detonan simultáneamente. El objetivo del precorte es obtener un contorno más regular y preciso de lo que se podría lograr con métodos convencionales de voladura de contorno. El precorte se diferencia por varios aspectos clave: a) Reducir los costos asociados a la perforación y el consumo de explosivos. b) Lograr un avance efectivo. c) Mantener una sección o tamaño uniforme en la excavación. d) Establecer el orden y la dirección de los taladros. La cara libre se refiere al lugar hacia donde se desplaza el material fragmentado cuando es detonado debido a la acción del explosivo. En un frente, existe una única cara libre, por lo que la función del corte o arranque es abrir otra cara libre, es decir, el espacio que se crea después de la detonación se convierte en una nueva cara libre, y así sucesivamente de manera secuencial (Mestas, 2016).

Este fenómeno se debe a una voladura defectuosa, originada por una explosión no controlada, que se ve afectada por la naturaleza de la roca y las formaciones geológicas. Esto conduce a la caída de rocas, así como al agrietamiento de los techos y de los hastiales. Los elementos que contribuyen a la excesiva fragmentación incluyen: a) Incorrecta estimación de las áreas a excavar. b) Sobredimensionamiento en la cantidad de explosivos utilizados en la voladura. c) Aplicación de un patrón de perforación que no se adecúa a las

propiedades de la roca. d) Elección inapropiada de los explosivos, considerando el tipo y la condición de la roca. e) Equivocaciones en el proceso de perforación y en la preservación de la alineación paralela de los taladros.

La distribución de la carga explosiva se rige de acuerdo con la fórmula de Konya (1998):

$$Nc = \frac{Dec * H}{Pc}; Dec = \frac{D^2}{12.14}$$

En donde: Pc: Peso del cartucho (en gramos). Dec: Carga del explosivo (en gramos por metro). El espaciamiento (S) se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{Dh(Pb * T)}{T}; T = \frac{UCS}{10}$$

En donde: UCS: Resistencia a la compresión de la roca (en megapascales, MPa). Dh: Diámetro del taladro (en milímetros, mm). Para calcular el espaciamiento entre cartuchos en el mismo taladro, se utiliza la siguiente fórmula:

$$X = \frac{\frac{Pc}{10} - Lc * l}{l}$$

En donde: Pc: Peso del cartucho (en gramos por cartucho). Lc: Longitud del cartucho (en metros). l: Carga lineal del explosivo (en metros).

1.2. Formulación del problema

Problema general

¿Cómo influye el uso de voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en labores lineales en una mina subterránea, La Libertad?

Problemas específicos

¿Cuál será el porcentaje de reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad?

¿Cuál será la reducción de costos en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad?

¿Cuál será la distribución de carga en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores de lineales en una mina subterránea, La Libertad?

1.3.Objetivos

Objetivo general

Determinar cómo influye la voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Objetivos específicos

Calcular el porcentaje de reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Determinar los costos en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Calcular la distribución de carga en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

1.4.Hipótesis

Hipótesis general

La voladura controlada de precorte influye en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Hipótesis específicas

El porcentaje de reducción de la sobrerotura será significativo usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

La reducción de costos en la reducción de la sobrerotura será significativa usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

La distribución de carga en la reducción de la sobrerotura será significativa usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

CAPITULO II: METODOLOGÍA

La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque cuantitativo, ya que se centró en la recolección y análisis de datos numéricos para abordar las preguntas de investigación, como se describe en Hernández y Mendoza (2018). La naturaleza de la metodología fue correlacional y descriptiva, ya que se examinó la relación y se proporcionó una descripción detallada de la reducción de la sobrerotura y el uso de la voladura de precorte en operaciones lineales en una mina subterránea ubicada en La Libertad. El propósito de la investigación fue aplicado, con el objetivo de aplicar los conocimientos y descubrimientos obtenidos para resolver problemas o mejorar condiciones prácticas en la vida real, como se explica en Vargas (2009). En cuanto a la duración, el estudio se llevó a cabo de manera longitudinal, lo que permitió monitorear y evaluar las posibles modificaciones y patrones en las variables de estudio a lo largo del tiempo, como se señala en Botía y Jurado (2018). Finalmente, el diseño del estudio fue preexperimental con preprueba y posprueba, la cual se trabajó con un grupo experimental, en este caso las labores de avance RA 7595-4 y RA 7595-5, como señala Hernández y Mendoza (2018).

La población estuvo constituida por las labores de avance lineal en una mina subterránea en La Libertad, la muestra se constituyó por las labores de avance RA 7595-4 y RA 7595-5 y el muestreo fue no probabilístico por conveniencia donde cada uno contó con 5 disparos ejecutados.

Las técnicas de recolección de datos utilizadas en el trabajo de investigación fueron la observación directa, medición, control de la perforación y voladura de las labores de avance RA 7595-4 y RA 7595-5, el cual permitió evaluar y describir la eficiencia de la voladura. Asimismo, para la recolección de datos se utilizó el instrumento de pruebas de

explosivos, costos de voladura y reportes de voladura que fueron útiles para tomar datos por guardia. Para procesar los datos derivados del seguimiento de la perforación y voladura, se utilizó el análisis estadístico. Esto implicó la comparación de los datos obtenidos en los resultados experimentales antes de la prueba (realizados con Emulnor) con los datos posteriores a la prueba (realizados con Emulnor y Famecorte E-20) con el fin de alcanzar los objetivos de la investigación. Para el procesamiento de los resultados obtenidos se tabularon en los formatos digitales Microsoft Excel, SPSS y lenguaje de programación Python y su entorno web Jupyter Notebook, con la finalidad de describir, analizar, resumir y comparar datos.

La presente investigación se ha desarrollado mediante el siguiente procedimiento:

Inicialmente se procedió a la revisión bibliográfica respecto al tema en distintos repositorios de universidades, en los diferentes entornos, tanto local, nacional como internacional, seleccionando información destacada con respecto a la reducción de la sobrerotura en labores lineales y la posible solución de voladura controlada de precorte aplicando emulsión explosiva encartuchada y explosivo para voladura de contorno (Emulnor y Famecorte E-20). Se realizó la medición de la perforación y voladura en labores lineales solo con emulsión explosiva encartuchada (Emulnor). Posteriormente, se realizó la elaboración de mallas de perforación y voladura evaluando el diseño de carga para el desarrollo de la prueba experimental de voladura en labores de avance lineal con emulsión explosiva encartuchada y explosivo para voladura de contorno (Emulnor y Famecorte E-20). Se visitó el área donde se realiza los procesos de perforación y voladura de la mina de las labores de avance RA 7595-4 y RA 7595-5 ambas de sección de 3.50 m x 3.50 m. En la etapa de campo se realizó en dos periodos, primero se desarrolló la

perforación y voladura con emulsión explosiva encartuchada Emulnor, y su respectivo registro de datos operacionales. Segundo se desarrolló la malla de perforación y voladura evaluando el diseño de carga para voladura con emulsión explosiva encartuchada y explosivo para voladura de contorno (Emulnor y Famecorte E-20) en cada labor de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5.

Los datos obtenidos en campo se procesaron de forma digital, con ayuda del programa AutoCAD, Microsoft Excel y Python, de ambos periodos, primero la perforación y voladura con emulsión explosiva encartuchada (Emulnor) y posteriormente del diseño de carga en la nueva malla de perforación y voladura aplicando emulsión explosiva encartuchada y explosivo para voladura de contorno (Emulnor y Famecorte E-20). Posteriormente, se crearon tablas de comparación que evaluaron la sobrerotura en las operaciones de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5 utilizando cada tipo de explosivo, y se calcularon los parámetros de voladura en relación con los explosivos empleados, tanto con Emulnor como con Emulnor y Famecorte E-20.

Los aspectos éticos que se tuvieron en cuenta para el desarrollo del proyecto de investigación fueron:

Veracidad: durante la investigación, se garantizó la exactitud de la información, reconociendo siempre las contribuciones de otros autores y evitando cualquier forma de plagio. Originalidad: la investigación se caracterizó por su enfoque innovador y creativo. Se analizó y procesó información obtenida de manera original. Confidencialidad: Se respetó en todo momento la privacidad de los datos brindados por la minera subterránea, asegurando un manejo ético de la información y respetando acuerdos establecidos.

CAPITULO III: RESULTADOS

3.1. Resultados

Objetivo 1: Calcular el porcentaje de reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Para calcular el porcentaje de reducción de la sobrerotura al utilizar la técnica de voladura controlada de precorte en las operaciones lineales de una mina subterránea en La Libertad, se comenzó con la evaluación de las propiedades de los explosivos. En la **Tabla 1** se presentan las características del explosivo Emulnor, que es una emulsión explosiva en cartucho con envoltura plástica que se distingue por sus atributos de seguridad, potencia, resistencia al agua y la calidad de los gases de la detonación. La **Figura 1** ilustra el aspecto del explosivo Emulnor.

Figura 1

Explosivo Emulnor



Tabla 1

Características del explosivo Emulnor

	EMULNOR®	EMULNOR®	EMULNOR®	EMULNOR®
	500	1000	3000	5000
Densidad Relativa (g/cm³)	0,9	1,13	1,14	1,16
Velocidad de Detonación (m/s)				
Confinado *	4 400	5 800	5 700	5 500
S/Confinar **	3 500	4 500	4 400	4 200
Presión de Detonación (kbar)	44	95	93	88
Energía (kcal/kg)	628	785	920	1010
Volumen Normal de Gases (L/kg)	952	920	880	870
Potencia Relativa en Peso *** (%)	63	85	100	105
Potencia Relativa en Volumen *** (%)	75	120	145	155
Sensibilidad al Fulminante	Nº 8	Nº 8	Nº 8	Nº 8
Resistencia al Agua	Excelente	Excelente	Excelente	Excelente
Categoría de Humos	Primera	Primera	Primera	Primera

* Velocidad de detonación en tubo de 1 ½ pulgadas de diámetro.

** Velocidad de detonación como cartucho de 1 pulgada de diámetro.

*** Potencias relativas referidas al ANFO con potencia convencional de 100.

En cuanto al explosivo Famecorte E-20, se detallan sus propiedades en la **Tabla 2**.

Este explosivo se clasifica como una emulsión de baja capacidad de fragmentación y ha sido especialmente desarrollado para su uso en operaciones de voladura controlada, como en la conformación de contornos, excavaciones de túneles, taludes en canteras, construcción de carreteras, entre otros. Su aplicación se destaca en situaciones donde se busca lograr perfiles de roca estables sin la generación de excavaciones excesivas. La

Figura 2 proporciona una representación visual del explosivo Famecorte E-20.

Tabla 2

Características del explosivo Famecorte E-20

FAMECORTE - E® 20	
Densidad relativa (g/cm³)	1,1
Velocidad de detonación (m/s)	4200
Presión de detonación (kbar)	48
Potencia relativa en peso (%)	74
Resistencia al agua	Buena
Categoría de humos	Primera
Volumen normal de gases (L/kg)	909
Diámetro del tubo (mm)	17,5
Longitud del tubo (mm)	512

*** Confinado en su propio envase.**

**** Referido al Anfo con potencia convencional de 100.**

Figura 2

Explosivo Famer corte E-20



En la **Tabla 3** se muestra la comparación entre lo programado y ejecutado de la sobrerotura, las voladuras fueron realizadas solamente con Emulnor en la RA 7595-4, siendo el porcentaje de sobrerotura al 10%, mientras que en lo ejecutado la sobrerotura excede de lo programado, dando un sobrerotura promedio del 21,08%, esto indica generación de 11,08% de sobrerotura por encima de lo planificado (Véase **Figura 3** y **Figura 4**).

Tabla 3

Sobrerotura antes con Emulnor en cada labor de avance de la RA 7595-4

Relación de la Voladura	Nº de disparo	Contra Inicial	Contra Final	Sección Media (m2)	Avance (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Teórica (m3)	Sobrerotura (%)
Programado				12,79	3,35	42,84	38,96	10,00%
Ejecutado RA 7595 - 4	1	PTO. TOP. 1A	G1 - 2.90	14,28	2,90	41,41	33,73	22,79%
	2	G1 - 2.90	G2 - 5.77	14,36	2,88	41,36	33,49	23,47%
	3	G2 - 5.77	G1 - 8.69	13,86	2,96	41,03	34,42	19,17%
	4	G1 - 8.69	G2 - 11.59	13,73	2,90	39,82	33,73	18,06%
	5	G2 - 11.59	G1 - 14.44	14,18	2,95	41,83	34,31	21,93%
Sobrerotura Promedio con Emulnor								21,08%

Figura 3

Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor de las labores de la RA 7595-4

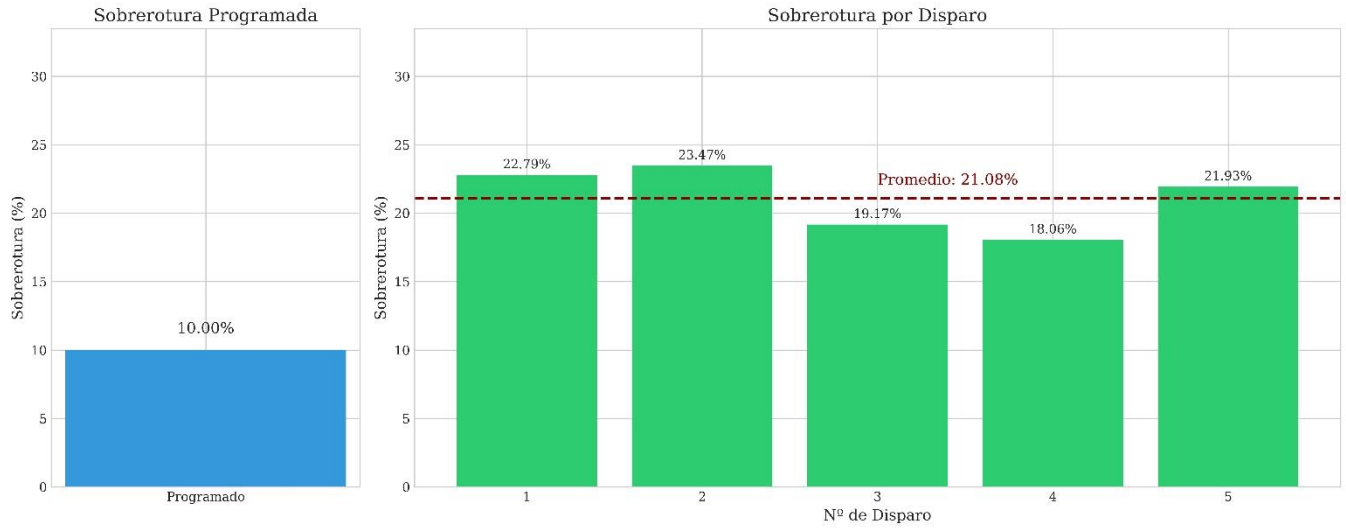


Figura 4

Generación de la sobrerotura con Emulnor en la labor RA 7595-4



En la **Tabla 4** se presenta una comparación entre los resultados planificados y los efectivamente alcanzados en términos de sobrerotura. Cabe destacar que las voladuras se llevaron a cabo exclusivamente utilizando Emulnor en la RA 7595-5, siendo el porcentaje de sobrerotura programado al 10%, mientras que en lo ejecutado la sobrerotura excede de lo programado, dando una sobrerotura de 20,82%, esto indica generación de 10,82% de sobrerotura (Véase **Figura 5** y **Figura 6**).

Tabla 4

Sobrerotura antes con Emulnor en cada labor de avance de la RA 7595-5

Relación de la Voladura	Nº de disparo	Contra Inicial	Contra Final	Sección Media (m2)	Avance (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Teórica (m3)	Sobrerotura (%)
Programado				12,79	3,35	42,84	38,96	10,00%
Ejecutado RA 7595 - 5	1	PTO. TOP. A3	G1 - 2.91	14,31	2,91	41,64	33,84	23,04%
	2	G1 - 2.91	G2 - 5.88	14,26	2,97	42,35	34,54	22,61%
	3	G2 - 5.88	G1 - 8.75	13,83	2,87	39,69	33,38	18,92%
	4	G1 - 8.75	G2 - 11.6	14,01	2,85	39,93	33,15	20,46%
	5	G2 - 11.6	G1 - 14.55	13,85	2,95	40,86	34,31	19,09%
Sobrerotura Promedio con Emulnor								20,82%

Figura 5

Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor de las labores de la RA 7595-5

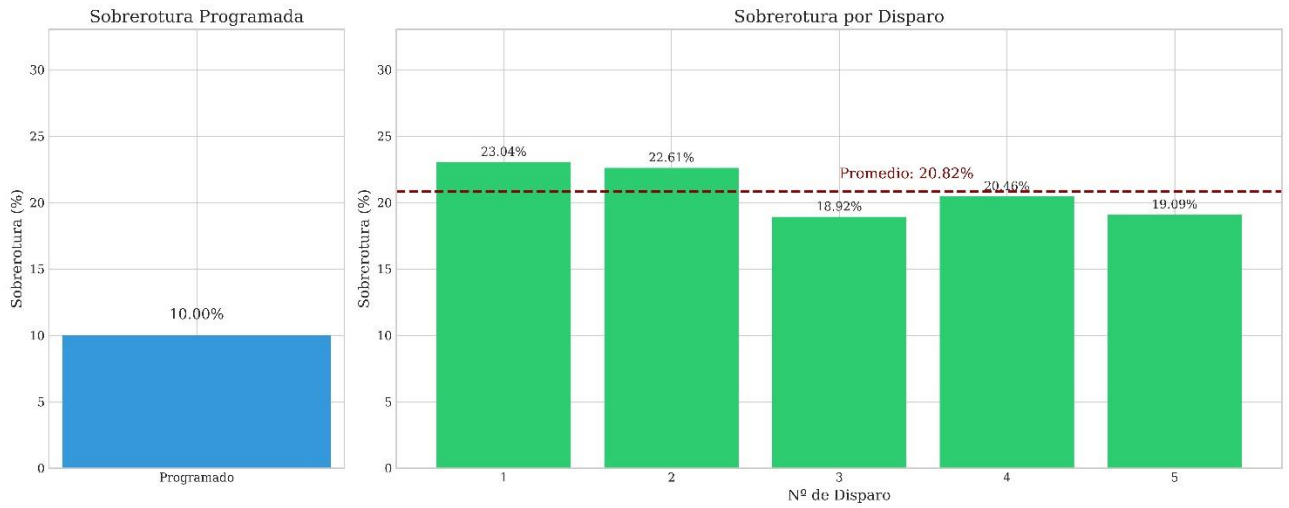


Figura 6

Generación de la sobrerotura con Emulnor en la labor RA 7595-5



La **Tabla 5** presenta una comparativa entre las metas programadas y ejecutados de la sobrerotura, las voladuras fueron realizadas con explosivo Emulnor y Famecorte E-20 en RA 7594-4, siendo el porcentaje de sobrerotura programada al 10%, mientras que en lo ejecutado la sobrerotura es menor a lo programado, dando una sobrerotura promedio de 5,09%, esto indica una reducción de sobrerotura de 4,91% menor a lo planificado (Véase **Figura 7** y **Figura 8**).

Tabla 5

Sobrerotura después con Emulnor y Famecorte E-20 en cada labor de avance de la RA 7595-4

Relación de la Voladura	Nº de disparo	Contra Inicial	Contra Final	Sección Media (m2)	Avance (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Teórica (m3)	Sobrerotura (%)
Programado				12,79	3,35	42,84	38,96	10,00%
	6	G1 - 14.44	G1 - 17.53	12,17	3,09	37,61	35,94	4,64%
	7	G1 - 17.53	G2 - 20.87	12,23	3,34	40,85	38,84	5,16%
Ejecutado	8	G2 - 20.87	G1 - 24.16	12,31	3,29	40,50	38,26	5,85%
RA 7595 - 4	9	G1 - 24.16	G2 - 27.48	12,21	3,32	40,54	38,61	4,99%
	10	G2 - 27.48	G1 - 30.78	12,19	3,30	40,23	38,38	4,82%
Sobrerotura Promedio con Emulnor y Famecorte - E 20								5,09%

Figura 7

Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor y Famecorte E-20 de las labores de la RA 7595-4

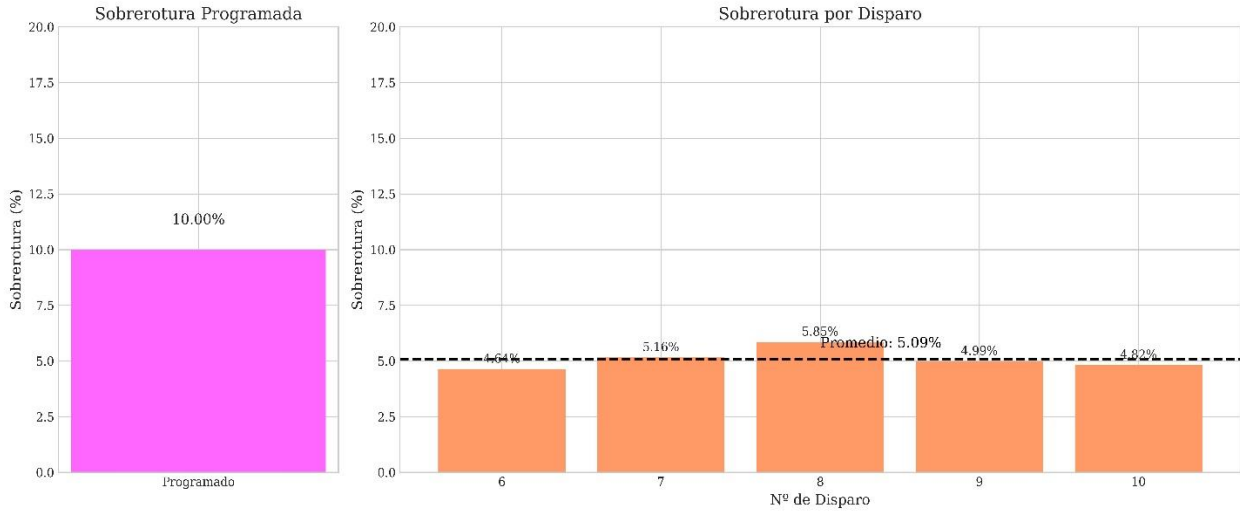


Figura 8

Generación de la sobrerotura con Emulnor y Famecorte E-20 en la labor RA 7595-4



La **Tabla 6** presenta una comparación entre lo que se planificó y lo que se logró en términos de sobrerotura. Las voladuras se llevaron a cabo utilizando tanto explosivo como Famecorte E-20 en la RA 7595-4, siendo el porcentaje de sobre rotura programada al 10%, mientras que en lo ejecutado la sobre rotura es menor a lo programado, dando una sobre rotura promedio de 5,18%, esto indica una reducción de sobre rotura de 4,82% menor a lo planificado (véase **Figura 9** y **Figura 10**).

Tabla 6

Sobrerotura después con Emulnor y Famecorte E-20 en cada labor de avance de la RA 7595-5

Relación de la Voladura	Nº de disparo	Contra Inicial	Contra Final	Sección Media (m2)	Avance (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Teórica (m3)	Sobrerotura (%)
Programado				12,79	3,35	42,84	38,96	10,00%
Ejecutado RA 7595 - 5	6	G1 - 14.55	G1 - 17,82	12,17	3,27	39,80	38,03	4,64%
	7	G1 - 17.82	G2 - 21.13	12,30	3,31	40,71	38,50	5,76%
	8	G2 - 21.13	G1 - 24.47	12,33	3,34	41,18	38,84	6,02%
	9	G1 - 24.47	G2 - 27.7	12,14	3,23	39,21	37,56	4,39%
	10	G2 - 27.7	G1 - 30.88	12,22	3,18	38,86	36,98	5,07%
Sobrerotura Promedio con Emulnor y Famecorte - E 20								5,18%

Figura 9

Sobrerotura programada y ejecutada con Emulnor y Famecorte E-20 de las labores de la RA 7595-5

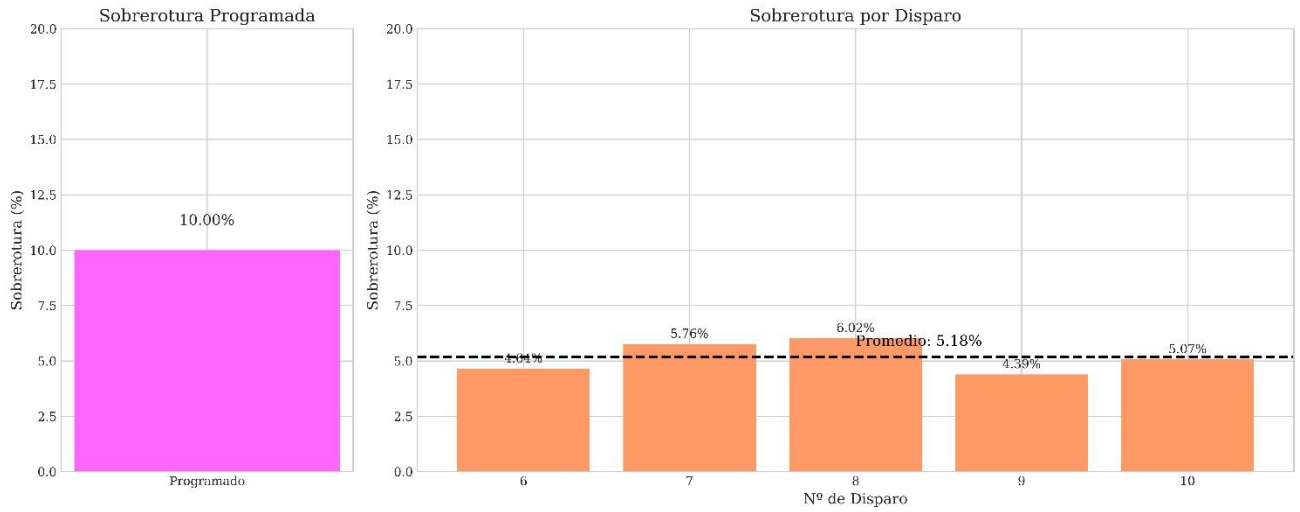


Figura 10

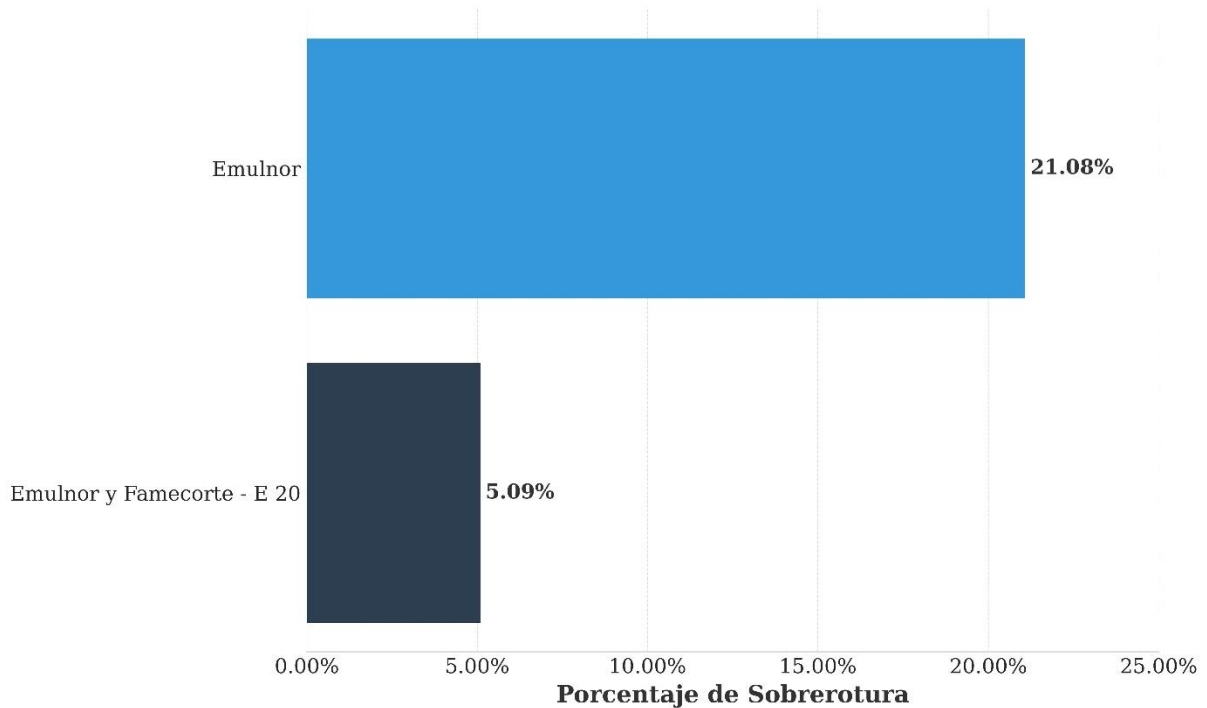
Generación de la sobrerotura con Emulnor y Famecorte E-20 en la labor RA 7595-5



En la **Figura 11**, se evidencia claramente la marcada diferencia en cuanto a la sobrerotura entre el uso de solo Emulnor con 21,08% y el uso de Famecorte E-20 con 5,09%. Evidenciando una diferencia de 15,99% a favor del uso de Emulnor y Famecorte E-20.

Figura 11

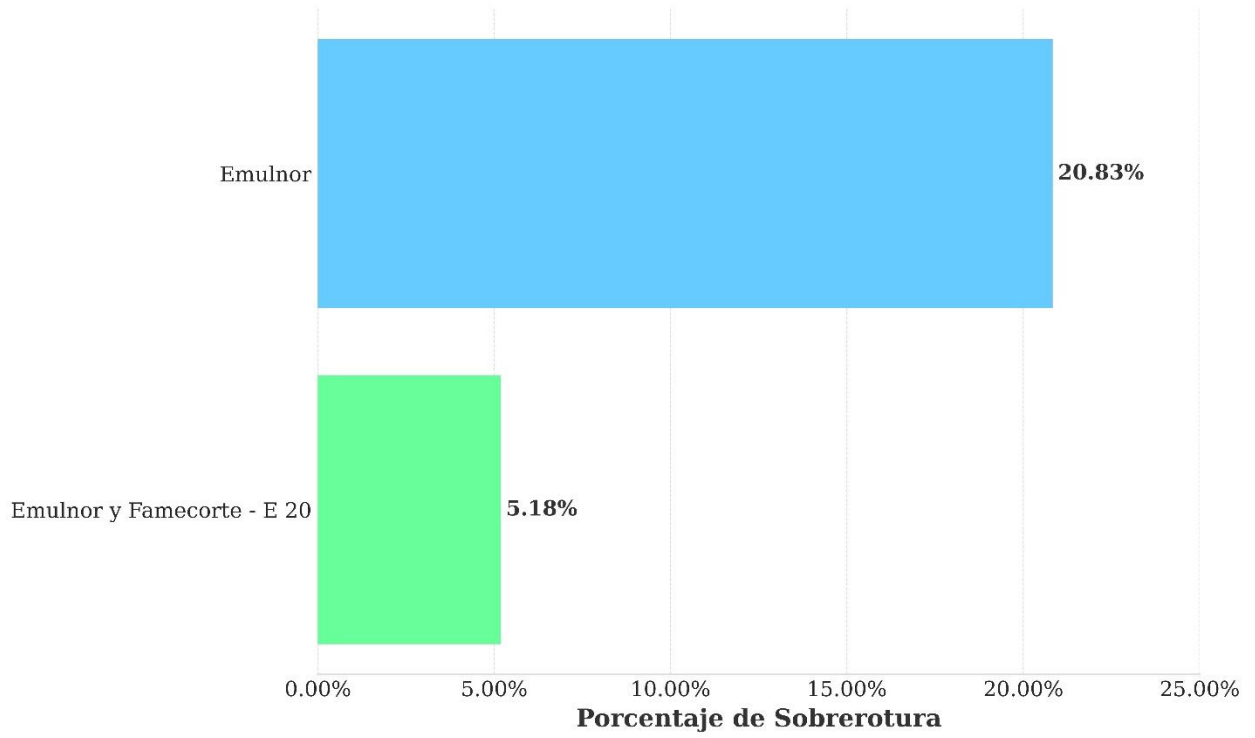
Sobrerotura promedio de la labor de avance de la RA 7595-4



En la **Figura 12** se aprecia la diferencia significativa de sobrerotura entre el uso de solo Emulnor con 20,83% y el uso de Famecorte E-20 con 5,18%. Evidenciando una diferencia de 15,65% a favor del uso de Emulnor y Famecorte E-20.

Figura 12

Sobrerotura promedio de la labor de avance de la RA 7595-5



3.2.Objetivo 2: Determinar los costos en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Para determinar los costos en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad, se deben tener en consideración los precios unitarios de los explosivos y accesorios, en la **Tabla 7** se muestra los costos de la voladura por disparo antes utilizando (Emulnor) de las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5.

Tabla 7

Costo de la voladura por disparo (Emulnor) de las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5

Descripción	Ident. Material	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
Mecha Rápida de Iniciación	Z-18	MTR	S/ 1,1	0,3	S/ 0,33
Detonador Ensamblado (300 PZA)	2.4 MTR	PZA	S/ 1,9	2	S/ 3,80
Cordón Detonante	5G	MTR	S/ ,59	20	S/ 11,80
Emulsión EMULNOR 1000 (100 PZA)	1.1/4" X 12"	PZA	S/ 1,39	63	S/ 87,57
Emulsión EMULNOR 3000 (94 PZA)	1.1/4" X 12"	PZA	S/ 1,54	144	S/ 221,76

Emulsión EMULNOR					
5000 (94 PZA)	1.1/4" X 12"	PZA	S/ 1,58	293	S/ 462,94
	1	PZA	S/ 2,64	1	S/ 2,64
	2	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
	3	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
	4	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
	5	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
	6	PZA	S/ 2,64	4	S/ 10,56
	7	PZA	S/ 2,64	4	S/ 10,56
Detonador no Eléctrico	8	PZA	S/ 2,65	4	S/ 10,60
Fanel 2.40M (LP)	9	PZA	S/ 2,65	6	S/ 15,90
	10	PZA	S/ 2,65	4	S/ 10,60
	11	PZA	S/ 2,64	4	S/ 10,56
	12	PZA	S/ 2,63	2	S/ 5,26
	13	PZA	S/ 2,63	7	S/ 18,41
	14	PZA	S/ 2,62	0	S/ 0,0
	15	PZA	S/ 2,59	5	S/ 12,95
	16	PZA	S/ 2,63	1	S/ 2,63
Costo Total por Voladura con Emulnor					S/ 919,99

En la **Tabla 8** se detalla el costo de la voladura por disparo después utilizando (Emulnor y Famecorte E-20) de las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5.

Tabla 8

Costo de la voladura por disparo (Emulnor y Famecorte E-20) de las labores de avance de la RA 7595 y RA 7595-5

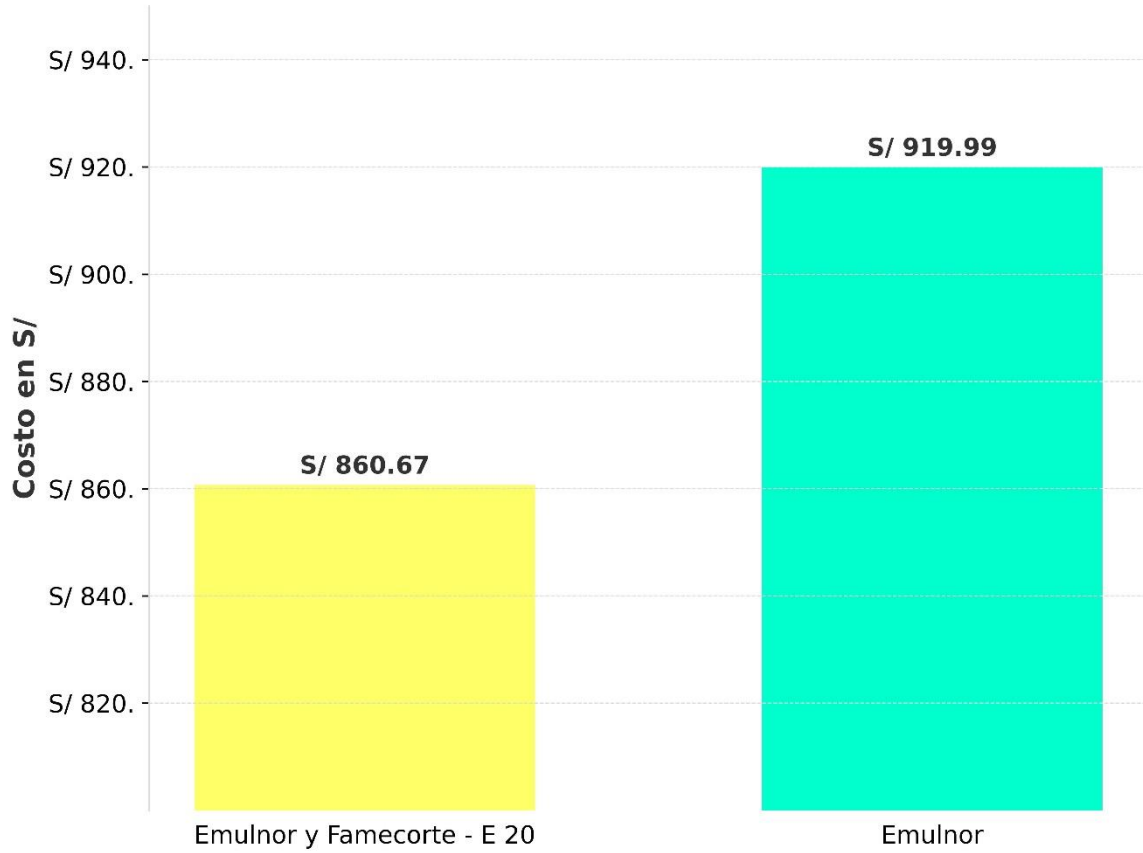
Descripción	Ident. Material	Unidad	Precio Unitario	Cantidad	Total
Mecha Rápida de Iniciación	Z-18	MTR	S/ 1,1	0,3	S/ 0,33
Detonador Ensamblado (300 PZA)	2.4 MTR	PZA	S/ 1,9	2	S/ 3,80
Cordón Detonante	5G	MTR	S/ ,59	20	S/ 11.80
Emulsión EMULNOR 1000 (100 PZA)	1.1/4" X 12"	PZA	S/ 1,39	48	S/ 66,72
Emulsión EMULNOR 3000 (94 PZA)	1.1/4" X 12"	PZA	S/ 1,54	96	S/ 147.84
Emulsión EMULNOR 5000 (94 PZA)	1.1/4" X 12"	PZA	S/ 1,58	268	S/ 423.44
Emulsión FAMECORTE E-20 (144 PZA)	17.5 X 512MM 74%	PZA	S/ 1,99	35	S/ 69,65
	1	PZA	S/ 2,64	1	S/ 2,64
Detonador no Eléctrico	2	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
Fanel 2.40M (LP)	3	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
	4	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28

5	PZA	S/ 2,64	2	S/ 5,28
6	PZA	S/ 2,64	4	S/ 10,56
7	PZA	S/ 2,64	4	S/ 10,56
8	PZA	S/ 2,65	4	S/ 10,60
9	PZA	S/ 2,65	8	S/ 21,20
10	PZA	S/ 2,65	4	S/ 10,60
11	PZA	S/ 2,64	4	S/ 10,56
12	PZA	S/ 2,63	2	S/ 5,26
13	PZA	S/ 2,63	7	S/ 18,41
14	PZA	S/ 2,62	0	S/ 0,0
15	PZA	S/ 2,59	5	S/ 12,95
16	PZA	S/ 2,63	1	S/ 2,63
Costo Total por Voladura con Emulnor y Famecorte - E 20				S/ 860,67

La **Figura 13** ilustra claramente la marcada diferencia en términos de costos entre el uso de solo Emulnor con S/ 919,99 y el uso de Famecorte E-20 con S/ 860,67. Evidenciando una diferencia de S/ 59,32 a favor del uso de Emulnor y Famecorte E-20.

Figura 13

Costo total por voladura de las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5



3.3.Objetivo 3: Calcular la distribución de carga en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.

Para calcular la distribución de carga en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad, en la **Tabla 9** se tiene una distribución de carga con Emulnor, la cual el total usado es de 500 con una distribución de 10 unidades por taladro.

Tabla 9

Distribución de carga con Emulnor

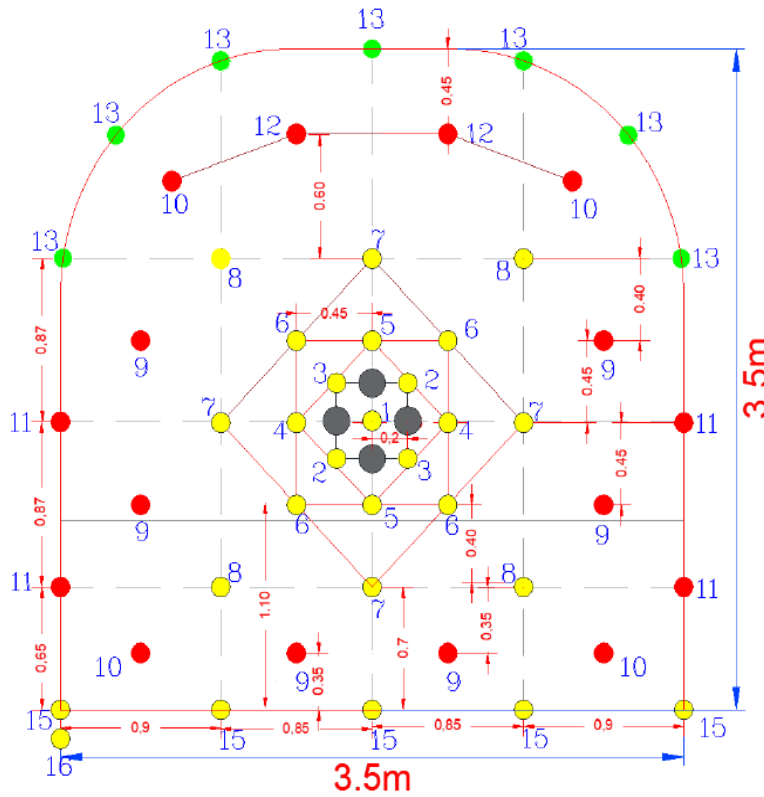
Distribución de Carga con Emulnor				
10 Emulnor por taladro				
N_Det_NE	Taladro	EMULNOR 1000, 1 1/4" X 12"	EMULNOR 3000, 1 1/4" X 12"	EMULNOR 5000, 1 1/4" X 12"
1	1			10
2	2			20
3	2			20
4	2			20
5	2			20
6	4			40
7	4			40
8	4			40
9	6		54	6
10	4		36	4
11	4		36	4

12	2		18	2
13	7	63		7
15	5			50
16	1			10
Total	50	63	144	293
Total Emulnor	500			

En la **Figura 14** se muestra la malla de perforación cuando se utiliza Emulnor en las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5.

Figura 14

Malla de perforación antes con Emulnor en las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5



En la **Tabla 10** se muestra la distribución de carga con Emulnor y Famecorte E-20, el total de emulnor usado es de 412 con una distribución de 9 unidades por taladro según la tabla 9 y en el caso del Famecorte E-20 usado es de 35 con una distribución de 5 unidades por taladro.

Tabla 10

Distribución de carga con Emulnor y Famecorte E-20

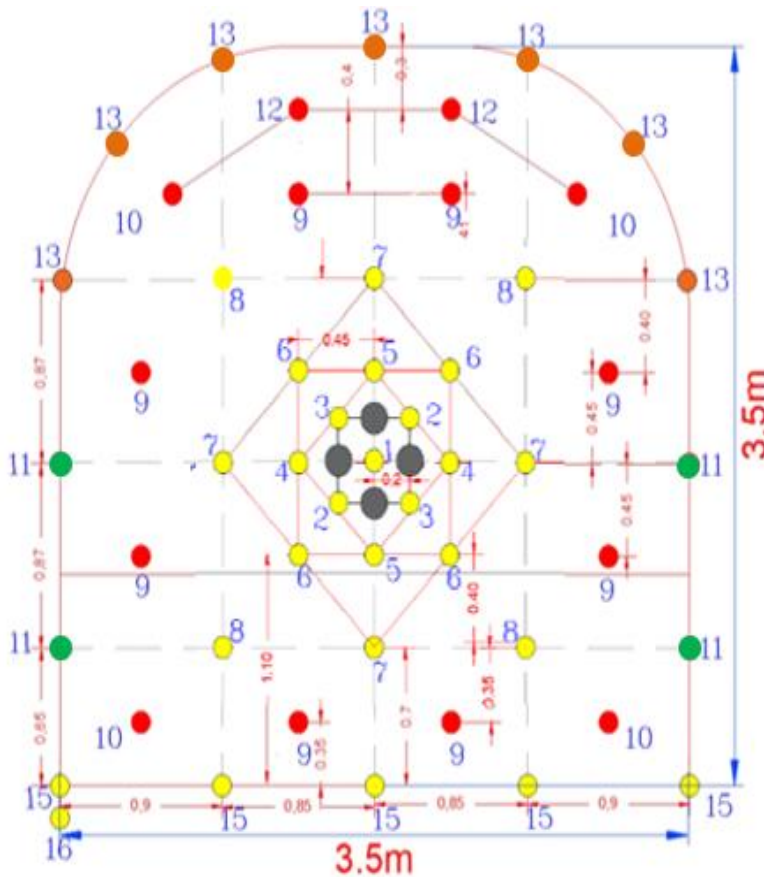
Distribución de Carga con Emulnor y Famecorte - E 20					
9 Emulnor por taladro					
5 famecorte por taladro					
N_Det_NE	Taladro	EMULNOR 1000, 1 1/4" X 12"	EMULNOR 3000, 1 1/4" X 12"	EMULNOR 5000, 1 1/4" X 12"	FAMECORTE E-20
1	1			9	
2	2			18	
3	2			18	
4	2			18	
5	2			18	
6	4			36	
7	4			36	
8	4			36	
9	8		64	8	
10	4		32	4	
11	4	32		4	
12	2	16		2	

13	7		7	35
15	5		45	
16	1		9	
Total	52	48	96	268
Total Emulnor				412
Total Famecorte				35

En la **Figura 15** se muestra la malla de perforación cuando se utiliza Emulnor y Famecorte E-20 en las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5.

Figura 15

Malla de perforación después con Emulnor y Famecorte E-20 en las labores de avance de la RA 7595-4 y RA 7595-5



3.4. Estadística

Para los resultados estadísticos se inició con un análisis descriptivo Pre-test y Post-test para objetivo general de estudio según los datos recolectados sobre la sobrerotura, estos resultados se realizaron mediante el software SPSS y se muestran en la **Tabla 11**.

Tabla 11

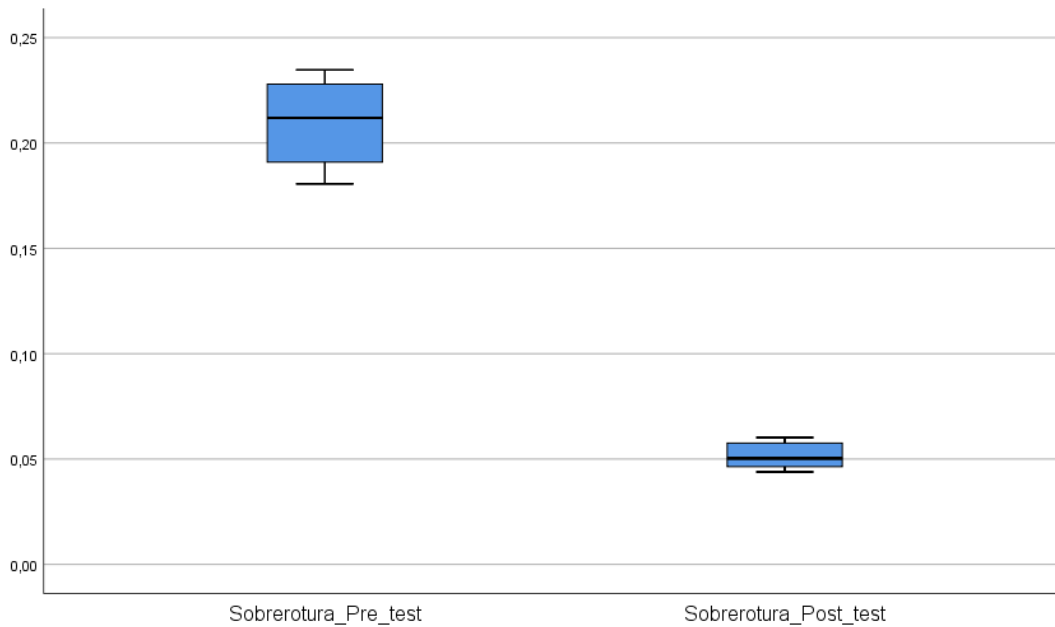
Análisis estadístico de la sobrerotura

Estadísticos descriptivos					
	N	Mínimo	Máximo	Media	Desv. Desviación
Sobrerotura_Pre_test	10	,18	,23	,2095	,02032
Sobrerotura_Post_test	10	,04	,06	,0513	,00563
N válido (por lista)	10				

En la **Tabla 11** se evalúa la comparación de la sobrerotura del Pre-test y Post-test con 10 datos trabajados, donde los valores mínimos son 18% y 4% respectivamente, luego se tiene los valores máximos los cuales son 23% y 6%, por último, se tiene los valores de la media tanto del antes y después del análisis lo cuales son 20,95% y 5,13%, con una diferencia del 15,82% entre ellos y en la gráfica siguiente se puede observar la comparación del antes y después de la sobrerotura.

Figura 16

Sobrerotura Pre-test y Post-test



En cuanto al análisis estadístico inferencial, se llevó a cabo una prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk, utilizando el software SPSS por tener muestras de 10 datos menor a 50 muestras según establece el autor.

Sobrerotura

Para indicar la normalidad se planteó las siguientes hipótesis:

H₀: Los datos del resultado de la sobrerotura tienen la distribución normal.

H₁: Los datos del resultado de la sobrerotura tienen la distribución no normal.

Tabla 12

Prueba de Shapiro-Wilk de la sobrerotura

	Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.
Sobrerotura_Pre_test	,885	10	,147
Sobrerotura_Post_test	,917	10	,334

En la **Tabla 12** se presenta el valor de significancia obtenido antes y después de realizar la prueba de normalidad utilizando el método de Shapiro-Wilk, que resultaron en 0,147 y 0,334, respectivamente. Estos valores son superiores a 0.05, lo que indica que se acepta la hipótesis nula y se confirma que la distribución de los datos es normal. Estos resultados permiten utilizar la prueba de T de Student para el análisis de la hipótesis.

La prueba de hipótesis se realizó mediante la prueba de T de Student para distribuciones normales, y se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (Ho): La voladura controlada de precorte no tiene un impacto significativo en la reducción de la sobrerotura en las operaciones lineales de una mina subterránea en La Libertad.

Hipótesis alternativa (Ha): La voladura controlada de precorte sí tiene un impacto significativo en la reducción de la sobrerotura en las operaciones lineales de una mina subterránea en La Libertad.

Tabla 13

Prueba T de Student de la sobrerotura

Prueba de muestras emparejadas								
Diferencias emparejadas								
	Media	Desv.	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
				Inferior	Superior			
Sobrerotura								
Pre_test	,15820	,02277	,00720	,14191	,17449	21,973	9	,000
Sobrerotura								
Post_test								

En la **Tabla 13** se presenta la significancia bilateral obtenida a partir de la prueba de T de Student para la sobrerotura, con un valor de 0,000. Dado que este valor de significancia es menor a 0,05, se procede a rechazar la hipótesis nula y a aceptar la hipótesis alternativa. En conclusión, se determina que la voladura controlada de precorte efectivamente tiene un impacto significativo en la reducción de la sobrerotura en las operaciones lineales de una mina subterránea en La Libertad.

CAPITULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

En relación con el objetivo general, se llevó a cabo una aplicación de la técnica de voladura controlada de precorte que ha demostrado tener un impacto positivo en la reducción de la sobrerotura en las operaciones lineales de una mina subterránea en La Libertad. En concordancia con investigaciones previas, Romaní (2019) llegó a la conclusión de que el diseño de las mallas de perforación y voladura tiene un efecto significativo en la optimización de los avances y la mitigación de la sobrerotura en el Nv. 1225 de la Mina Andaychagua de VCM S.A.A. en 2018. Además, Berajano (2021) encontró en su investigación que la implementación de la voladura controlada tiene un impacto positivo en la reducción de la sobrerotura en las operaciones subterráneas de Minera Aurífera Retamas S.A. Por su parte, Marín (2021) concluyó en su estudio que la perforación y voladura controlada desempeñan un papel importante en la mejora del avance y la reducción de la sobrerotura en la profundización de la rampa Patrick V en Minera Aurífera Retamas S.A.

Como relación al primer objetivo que consistió en calcular el porcentaje de reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores de avances lineal en una mina subterránea, La Libertad. Se tuvo como resultado que en las labores RA 7595-4 y RA 7595-5 con el uso de Emulnor se tiene una sobrerotura de promedio de 21,08% y 20,83 respectivamente, pero al usar Emulnor y Famecorte E-20 la sobrerotura promedio posteriores reduce significativamente a 5,09% y 5,18% respectivamente. Al comparar estos resultados con otras investigaciones, donde Marín (2021) en su investigación indicó una reducción de sobrerotura a 6% en la línea recta de la

rampa y 5,5% en la curvatura de la rampa usando la voladura controlada de precorte. Así mismo, Cerna (2022) en su investigación redujo la sobrerotura de 16% a 10,49% en una rampa usando voladura controlada de precorte. Del mismo modo Matos (2022) en su investigación logró reducir la sobrerotura en las labores de avance de 18,81% a 4,82% usando voladura controlada de precorte.

Con respecto al segundo objetivo específico que fue determinar los costos en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad. En la cual se obtuvo como resultado que en las labores RA 7595-4 y RA 7595-5 con el uso de Emulnor se tiene un costo de voladura de S/ 919,99; pero al utilizar Emulnor y Famecorte E-20 el costo de voladura se reduce a S/ 860,67 evidenciando una diferencia de S/ 59,32 por voladura. Al comparar estos resultados con otras investigaciones, Belito y Belito (2021) en su investigación obtuvo un ahorro de \$ 352,96 por disparo y de igual forma Matos (2022) en su investigación tuvo un ahorro de \$ 64,50.

Con respecto al tercer objetivo de calcular la distribución de carga en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad. Se obtuvo como resultado que las labores RA 7595-4 y RA 7595-5 con el uso del Emulnor se tiene un total de Emulnor usado de 500 unidades con una distribución de 10 unidades por taladro y con el uso de Emulnor y Famecorte un total de Emulnor usado de 412 unidades con una distribución de 9 unidades por taladro y en el caso de Famecorte E-20 un total usado de 35 con una distribución de 5 unidades por taladro. Al comparar estos resultados con otras investigaciones, Romani (2019) usó un total de Emulnor de 328 unidades con una distribución promedio de 10 unidades por taladro y

Famecorte E-20 un total usado de 30 unidades con una distribución de 6 unidades por taladro.

4.2. Conclusiones

En la presente investigación se logró determinar la influencia de la voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad, la cual con la voladura de precorte se redujo la sobrerotura, los costos de voladura por disparo y la distribución de carga.

Al aplicar la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad, se redujo el porcentaje de sobrerotura de 21,08% y 20,83% a 5,09% y 5,18% en las labores RA 7595-4 y 7595-5, donde se evidencio una reducción de porcentaje de sobrerotura de 16,71% y 15.65%, respectivamente.

Con la aplicación de la voladura controlada de precorte en labores lineales en una mina subterránea en La Libertad, se redujo el costo de voladura por disparo de S/ 919,99 a S/ 860,67 evidenciando una reducción de costo de S/ 59,32.

Se logró una reducción de la distribución de carga al aplicar la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, en La Libertad. Esto se redujo de 500 unidades de Emulnor a 412 unidades de Emulnor y 35 unidades de Famecorte E-20.

REFERENCIAS

- Aguilar, C. E., & Vera, Q. F. (2016). *Mejoramiento de los indicadores de avance por incremento de la longitud de perforación de 6 a 8 pies, aplicando voladura controlada con accesorios no eléctricos de retardo en la mina de la Compañía Minera Poderosa s.a.* [Tesis de título, Universidad Nacional de Trujillo]. Repositorio UNT. Obtenido de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/3853>
- Baldeon, C. O. (2019). *Optimización de voladura en frentes de avance con el uso de faneles ms en la mina Catalina Huanca.* [Tesis de título, Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion]. Repositorio UNDAC. Obtenido de <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2053>
- Bejarano, B. J. (2021). *Voladura controlada y su influencia en la disminución de sobrerotura en labores subterráneas - Minera Aurífera Retamas S.A.* [Tesis de título, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/7887>
- Belito, L. Y., & Belito, L. J. (2021). *Reducción de sobrerotura mediante el uso de voladura controlada del precorte en el crucero cx 1160 del nivel 2360 de la zona candelaria de la CIA. Consorcio Minero Horizonte - 2019.* [Tesis de título, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH. Obtenido de <https://repositorio.unh.edu.pe/items/b94bf3df-da9b-42f1-9820-82698456c6fd/full>
- Bernaola, A. J., Castilla, G. J., & Herrera, H. J. (2013). *Perforación y voladura de rocas en minería.* Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Explotación de

Recursos Minerales y Obras Subterráneas.

doi:<https://doi.org/10.20868/UPM.book.21848>

Botía, C., & Jurado, T. (2018). El proceso de una investigación cualitativa longitudinal sobre la transición a la maternidad y paternidad en España. *Revista de Metodología de Ciencias Sociales*(41), 33-56.

Carrillo, L. (2003). Uso de explosivos en demoliciones para voladuras controladas. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*(13), 109-118.

Castañeda Rojas, N. (2019). *Reducción de la sobrerotura mediante la mejora de los parámetros de voladura en la profundización de la rampa 2705, en la Unidad Minera de Parcoy de Consorcio Minero Horizonte S.A.- La Libertad*. [Tesis de título, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio UNSAAC. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/4441>

Cerna, I. Y. (2022). *Reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la rampa 210 mina Coturcan – 2022*. [Tesis de título, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio UNASAM. Obtenido de <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5432>

Hernandez, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la Investigación las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana Editores.

IIMP. (2020). *Instituto de Ingenieros de Minas del Perú*. Obtenido de <https://iimp.org.pe/raiz/peru-en-primeros-lugares-en-ranking-mundial-de-produccion-y-reservas-mineras>

Marin, M. J. (2021). *Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V-Minera Aurífera Retamas SA*.

[Tesis de Título, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP.

Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6939>

Matos, V. J. (2022). *Aplicación de Voladura Controlada para reducir la sobrerotura y costo de sostenimiento de las labores de avance en la zona cuerpos de Alpayana S.A.* – 2022. [Tesis de título, Universidad Nacional del Centro del Perú].

Repositorio UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/9077>

Mestas, R. (2016). *Diseño de mallas de perforación y voladura aplicado al modelo matemático de áreas de influencia.*

Perni, J., & Lopez, C. (1987). *Manual de perforación y voladura de rocas.* Madrid, España: Instituto Geológico y Minero de España.

Pomasoncco, N. A. (2021). *Aplicación de la voladura de pre-corte en las labores de desarrollo de la mina MARSÁ para la reducir la sobrerotura en el macizo rocoso.* [Tesis de título, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. Repositorio UPC.

Obtenido de <http://hdl.handle.net/10757/655528>

Reymundo, S. R. (2022). *Mejoramiento de perforación y voladura para reducir sobrerotura con taladros largos en vetas angostas en unidad minera Yauliyacu - 2022.* [Tesis de maestría, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio

UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/8053>

Rodriguez, R. L. (2022). *Perforación y Voladura y su Influencia en Sobrerotura en Labores Subterráneas-Yauliyacu – Empresa Minera Los Quenuales S.A.* [Tesis de título, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/9130>

Romaní, C. R. (2019). *Diseño de mallas de perforación y voladura para optimizar avances y sobre rotura Nv. 1225 - Mina Andaychagua - VCM S.A.A.* [Tesis de título, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio UNCP. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12894/5133>

Vargas, Z. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación*, 33(1), 155-165.

ANEXOS

ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “REDUCCIÓN DE SOBREROTURA EN LABORES LINEALES MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA DE PRECORTE EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, LA LIBERTAD.”

PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cómo influye el uso de voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en labores lineales en una mina subterránea, La Libertad?	La voladura controlada de precorte influye en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.	Determinar cómo influye la voladura controlada de precorte en la reducción de la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.	Voladura controlada de precorte	TIPO DE INVESTIGACIÓN: Aplicada	Todas las labores de avance lineal en una mina subterránea, La Libertad.
		OBJETIVOS ESPECÍFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: Preexperimental con pre y post test	MUESTRA
		Calcular el porcentaje de reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.	Sobrerotura	TÉCNICA: Registros/reportes.	Labores de avance RA 7595-4 y RA 7595-5.
		Determinar los costos en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineales en una mina subterránea, La Libertad.		INSTRUMENTO: Guía de análisis documental	
		Calcular la distribución de carga en la reducción de la sobrerotura usando la voladura controlada de precorte en las labores lineal en una mina subterránea, La Libertad.			

ANEXO 2: MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

TÍTULO: “REDUCCIÓN DE SOBROTORURA EN LABORES LINEALES MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA DE PRECORTE EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, LA LIBERTAD.”

VARIABLES	DEFINICIÓN	DEFINICIÓN	DIMENSIÓN	INDICADORES	INSTRUMENTO
	CONCEPTUAL	OPERACIONAL			
VARIABLE INDEPENDIENTE Voladura controlada de precorte	La voladura controlada se utiliza para reducir el exceso de rompimiento y tiene el objetivo de disminuir o distribuir mejor las cargas explosivas para reducir al mínimo los esfuerzos y la fractura de la roca (Carrillo, 2003).	Detonación de cargas explosivas en una secuencia predefinida y precisa para crear cortes o grietas en una formación rocosa o suelo antes de realizar la voladura principal.	Carga explosiva Precorte	und Und/tal	Registros/reportes
VARIABLE DEPENDIENTE Sobrerotura	Fenómeno en el cual, durante una operación de voladura, se fragmenta más material del que estaba previsto. En otras palabras, es cuando se excede la cantidad de excavación planificada, lo que puede tener impactos negativos en términos de costos, eficiencia y seguridad (Castañeda Rojas, 2019).	La sobrerotura genera pérdidas del ciclo de minado, para evitar la sobrerotura en una labor se debe aplicar la voladura controlada (precorte o recorte), teniendo las condiciones de uso de cargas explosivas lineales con mínima cantidad de energía, empleo de carga explosiva desacoplada y espaciado, condición del terreno y al perfil que se desea obtener.	Exceso de rotura Distribución de carga	% Und/tal	Registros/reportes

ANEXO 3: INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS


	<p>INSTRUMENTO N° 01: REGISTRO DE SOBREROTURA EN LABORES DE AVANCE LINEAL</p>
	<p>TÍTULO: “REDUCCIÓN DE SOBREROTURA EN LABORES LINEALES MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA DE PRECORTE EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, LA LIBERTAD”</p>
<p>OBJETIVO: Este instrumento tiene como objetivo recopilar información documentaria respecto a la sobrerotura en las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad.</p>	

Tabla 14

Sobrerotura en las labores de avance lineal utilizando Emulnor

Relación de la Voladura	N° de disparo	Contra Inicial	Contra Final	Sección Media (m2)	Avance (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Teórica (m3)	Sobrerotura (%)
Programado								
Ejecutado								
Sobrerotura Promedio con Emulnor								

Tabla 15

Sobrerotura en las labores de avance lineal utilizando Emulnor y Famecorte E-20

Relación de la Voladura	Nº de disparo	Contra Inicial	Contra Final	Sección Media (m2)	Avance (m)	Rotura Real (m3)	Rotura Teórica (m3)	Sobrerotura (%)
-------------------------	---------------	----------------	--------------	--------------------	------------	------------------	---------------------	-----------------

Programado

Ejecutado

Sobrerotura Promedio con Emulnor y Famecorte - E 20

ANEXOS 5: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS


 <p>UPN UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE</p>	<p>INSTRUMENTO N° 03: REGISTRO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN VOLADURA</p>
	<p>TÍTULO: “REDUCCIÓN DE SOBREROTURA EN LABORES LINEALES MEDIANTE VOLADURA CONTROLADA DE PRECORTE EN UNA MINA SUBTERRÁNEA, LA LIBERTAD”</p>
<p>OBJETIVO: Este instrumento tiene como objetivo determinar la distribución de carga al aplicar explosivo Emulnor y Famecorte E-20 para reducir la sobrerotura de las labores lineales en una mina subterránea en La Libertad.</p>	

Tabla 17

Distribución de carga con Emulnor y Famecorte E-20 en labores de avance lineal

Distribución de Carga con Emulnor y Famecorte - E 20					
		EMULNOR	EMULNOR	EMULNOR	FAMECORTE
N_Det_NE	Taladro	1000, 1 1/4" X	3000, 1 1/4" X	5000, 1 1/4" X	E-20
		12"	12"	12"	

Total

Total Emulnor

Total Famecorte

ANEXO 6: UBICACIÓN DE MINA PODEROSA



ANEXO 7: FOTOGRAFÍAS

Figura 17

Plano geomecánico de los avances Nv 2910 RA 7595-4

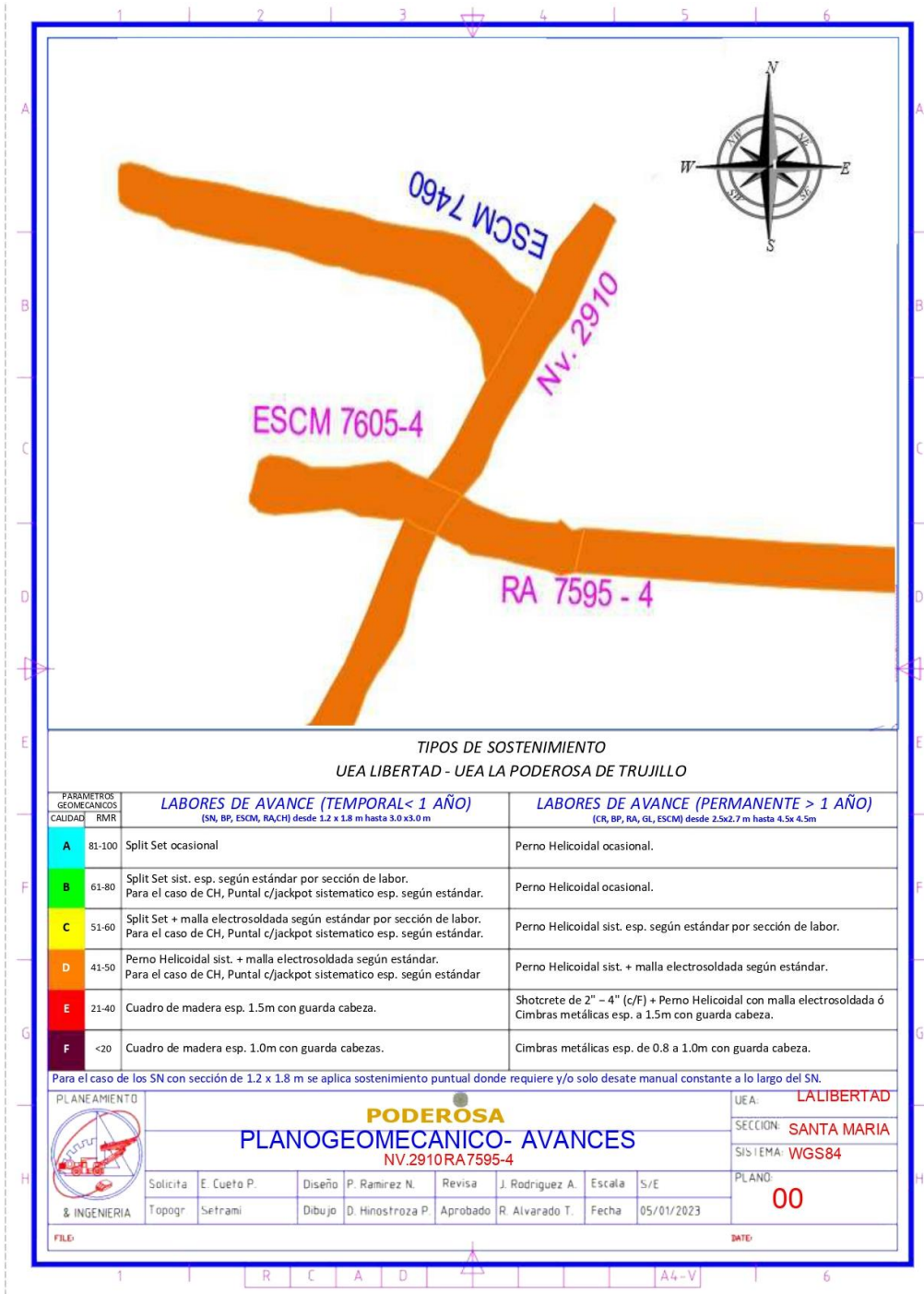


Figura 18

Clasificación geomecánica RMR 89 de la labor de avance RA 7595-4

CLASIFICACION GEOMECANICA - RMR 89							
PARAMETRO	VALOR	VALORACION/PUNTAJE					
Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	100 - 250 Mpa	12					
RQD(%)	75 - 90 %	17					
Espaciamiento entre Discontinuidades(m)	0.06 - 0.2 m	8					
Condición de Discontinuidades - Familia Representativa							
Persistencia	10 - 20 m	1					
Apertura	Abierta: 1.0-5.0 mm	1					
Rugosidad	Lig. Rugoso	3					
Relleno	Blando > 5mm	0					
Alteración	Mod. Alterada	3					
Agua Subterránea	Mojado	7					
Corrección por Orientación	Regular	-5					
RESUMEN							
RMR ₈₉ - Ajustado	47						
Tipo de Roca	REGULAR TIPO III B						
Calidad de Roca según GSI	CALIDAD - D						
Inide Q, de Barton	1						
Inide GSI	42						
RESUMEN							
RMR	81-100	61-80	51-60	41-50	31-40	21-30	<=20
CLASE	I	II	IIIA	IIIB	IVA	IVB	V
DESCRIPCION	MUY BUENA	BUENA	REGULAR-A	REGULAR-B	MALA-A	MALA-B	MUY MALA
COLOR	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Dark Red	Black

Figura 19

Mapeo geomecánico RA 7595-4



Figura 20

Plano geomecánico avances Nv. 2910 RA 7595-5

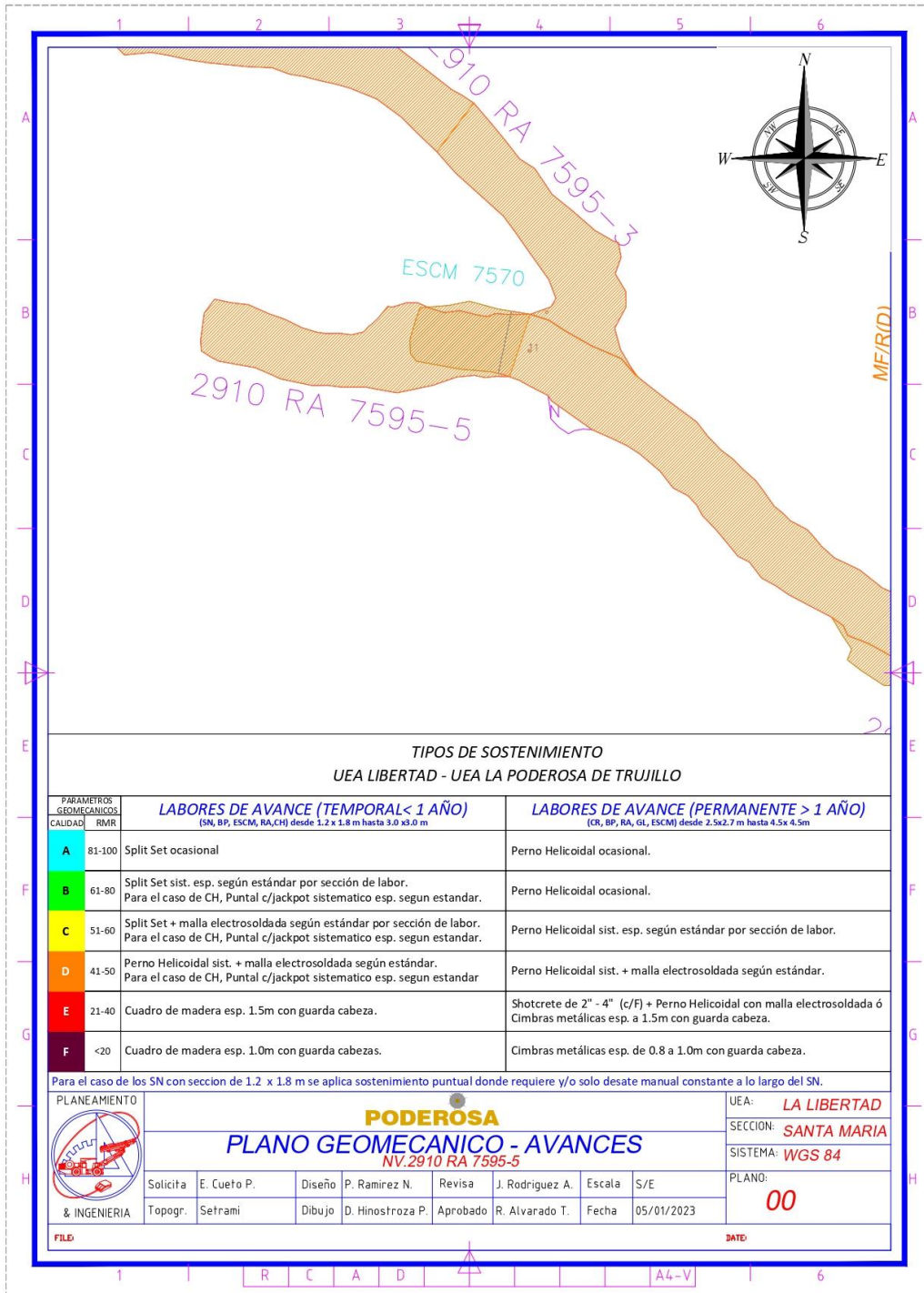


Figura 21

Clasificación geomecánica RMR 89 de la labor de avance RA 7595-5

CLASIFICACION GEOMECANICA - RMR 89							
PARAMETRO	VALOR			VALORACION/PUNTAJE			
Resistencia a la Compresión Uniaxial (MPa)	100 - 250 Mpa			12			
RQD(%)	75 - 90 %			17			
Espaciamiento entre Discontinuidades(m)	0.06 - 0.2 m			8			
Condición de Discontinuidades - Familia Representativa							
Persistencia	10 - 20 m			1			
Apertura	Abierta: 1.0-5.0 mm			1			
Rugosidad	Lig. Rugoso			3			
Relleno	Blando > 5mm			0			
Alteración	Mod. Alterada			3			
Agua Subterránea	Mojado			7			
Corrección por Orientación	Regular			-5			
RESUMEN							
RMR ₈₉ - Ajustado	47						
Tipo de Roca	REGULAR TIPO IIIB						
Calidad de Roca según GSI	CALIDAD - D						
Inide Q, de Barton	1						
Inide GSI	42						
RESUMEN							
RMR	81-100	61-80	51-60	41-50	31-40	21-30	<=20
CLASE	I	II	IIIA	IIIB	IVA	IVB	V
DESCRIPCION	MUY BUENA	BUENA	REGULAR-A	REGULAR-B	MALA-A	MALA-B	MUY MALA
COLOR							

Figura 22

Mapeo geomecánico RA 7595-5



Figura 23

Voladura con explosivo Emulnor en RA 7595-4

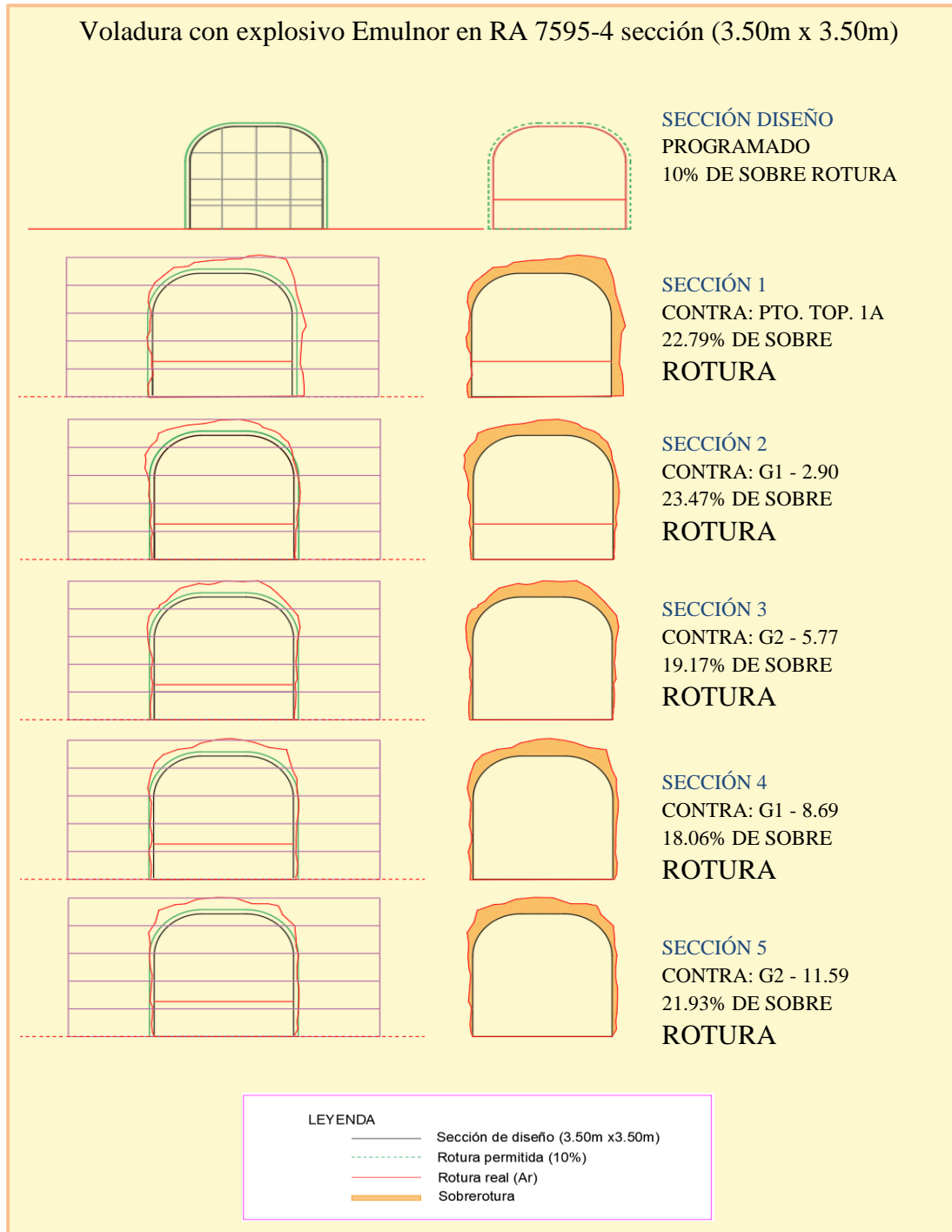


Figura 24

Voladura con explosivo Emulnor en RA 7595-5

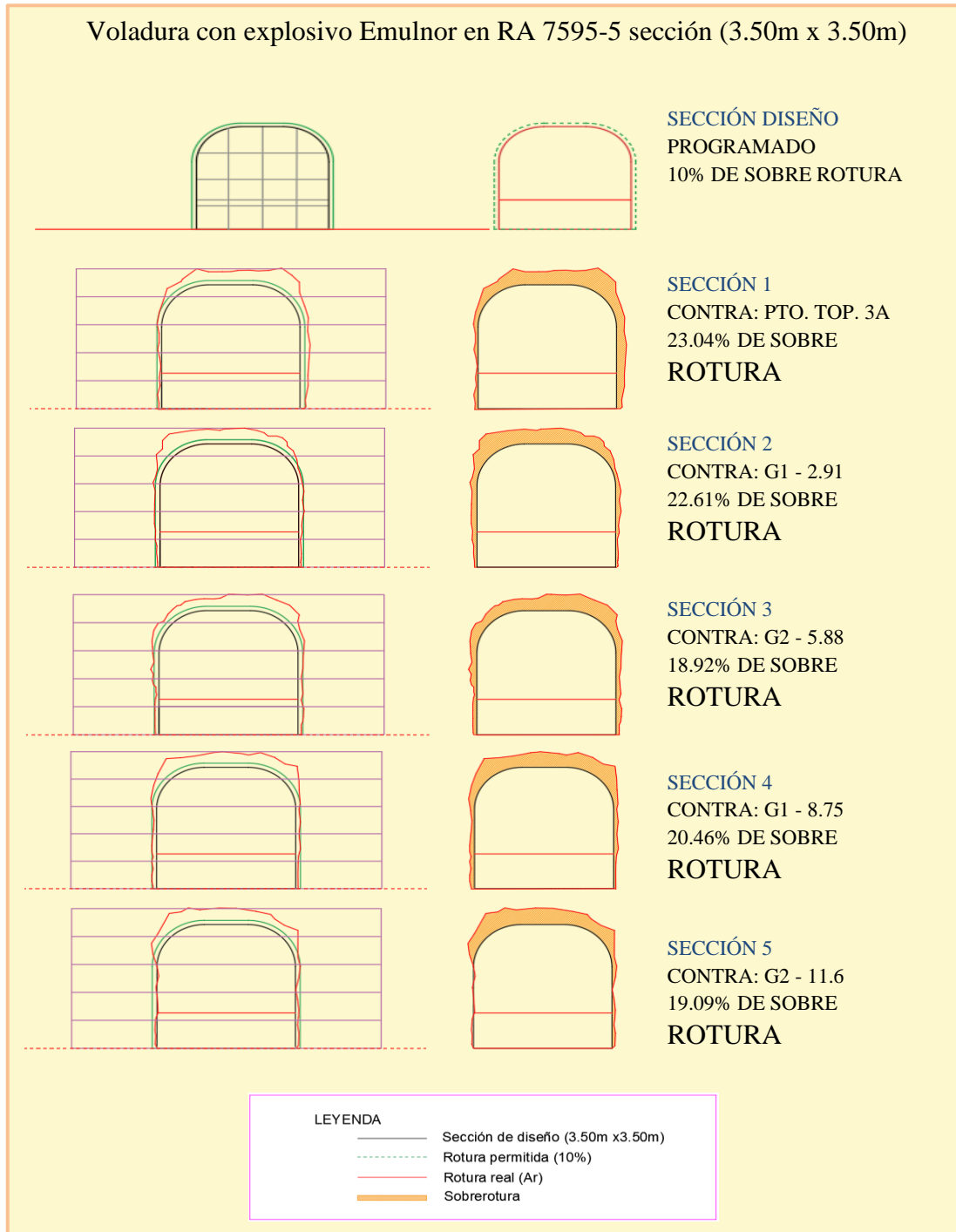


Figura 25

Voladura con explosivo Emulnor y Famecorte E-20 en RA 7595-4

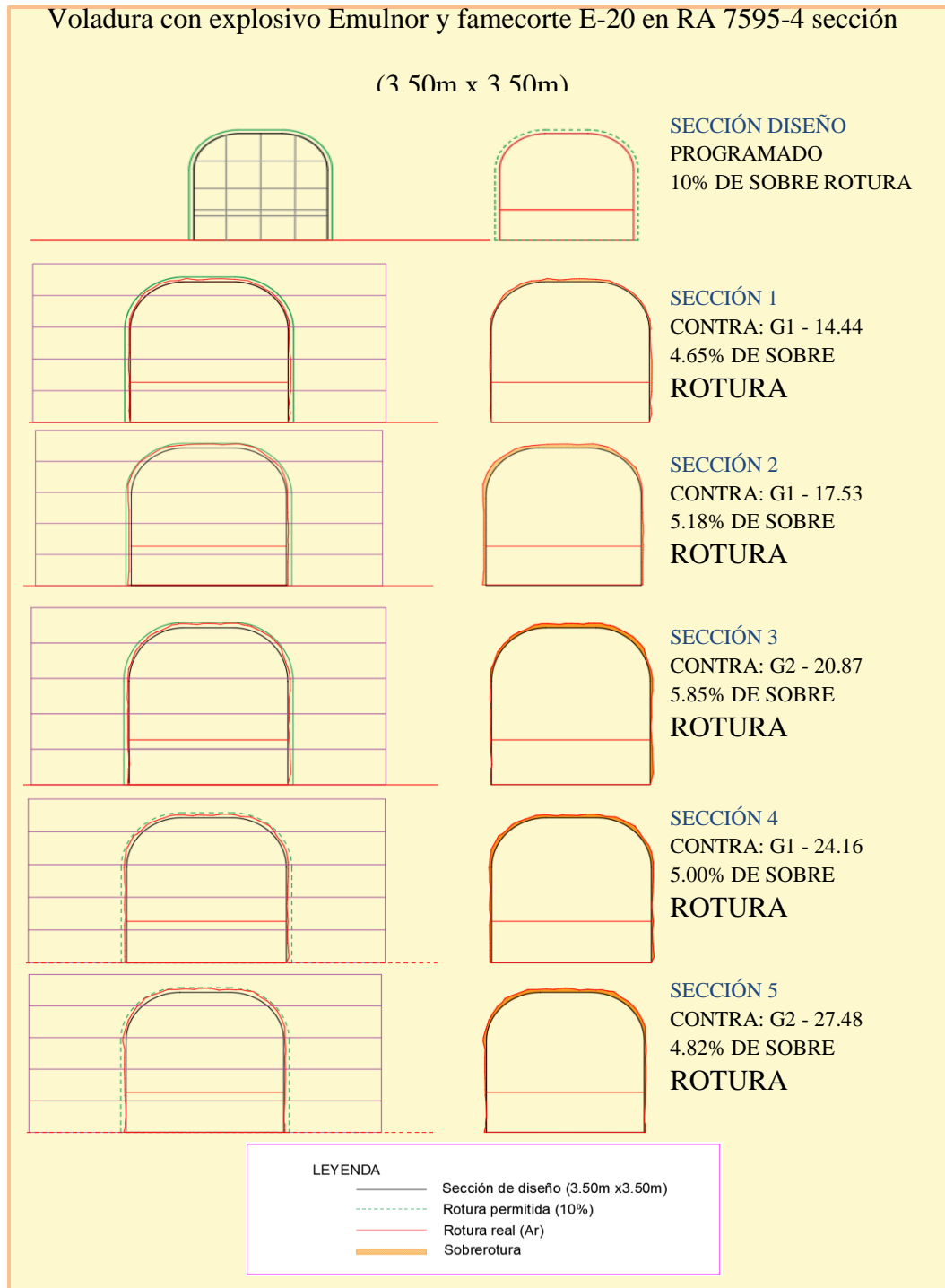


Figura 26

Voladura con explosivo Emulnor y Famecorte E-20 en RA 7595-5

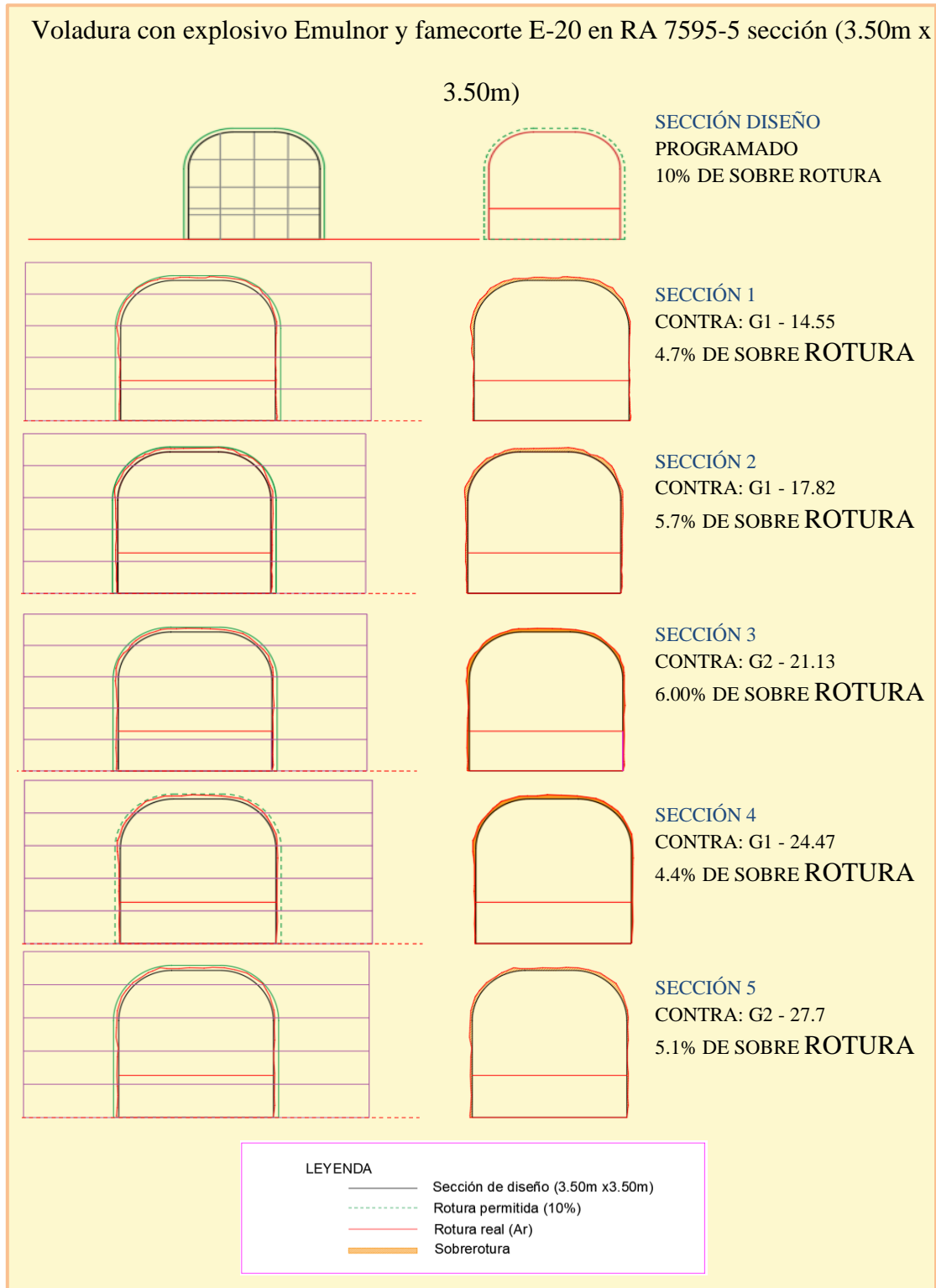


Figura 27

Malla de perforación en RA 7595-4



Figura 28

Carguío de taladros en RA 7595-4 sección 3.50 m x 3.50 m



Figura 29

Malla de perforación en RA 7595-5



Figura 30

Cargúo de taladros en RA 7595-5 sección 3.50 m x 3.50 m



Figura 31

Uso de guidores al realizar la perforación con barreno de 12 pies en Jumbo DD210



Figura 32

Carguío de taladros sección 3.50 x 3.50 m

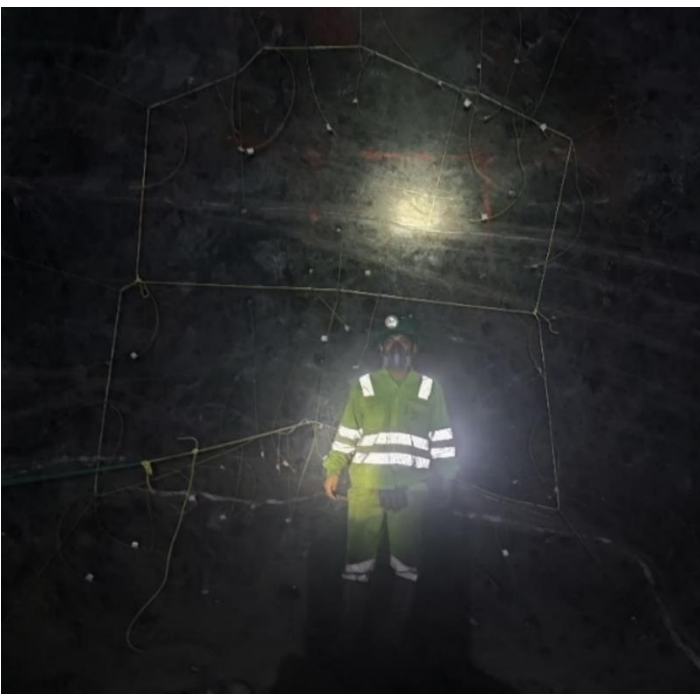


Figura 33

Frente de perforación



Figura 34

Área de trabajo



Figura 35

Perforación con jumbo de la malla de perforación



ANEXOS 8: VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo, Wilbert Lenin Risco Julca, con CIP N° 143756, ostento el grado de ingeniero y ejerzo la carrera profesional en ingeniería de minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento “**REGISTRO DE SOBREROTURA EN LABORES DE AVANCE LINEAL**” que será aplicado en la investigación “Reducción de sobrerotura en labores lineales mediante voladura controlada de precorte en una mina subterránea, La Libertad” del alumno Bach. Huver Orlando Medina Navarro.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES			
		1	2	3	4
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.				x
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.				x
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.			x	
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.				x
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.			x	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.				x
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información			x	

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Trujillo, 30 de Noviembre 2023



Wilbert Lenin Risco Julca
CIP. 143756

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo, Juan Antonio Vega Gonzalez, con D.N.I. N° 18212091, ostento el grado de doctor y ejerzo la carrera profesional en ingeniería metalúrgica. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento “**REGISTRO DE COSTOS DE VOLADURA**” que será aplicado en la investigación “Reducción de sobrerotura en labores lineales mediante voladura controlada de precorte en una mina subterránea, La Libertad” del alumno Bach. Huver Orlando Medina Navarro.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES			
		1	2	3	4
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.				x
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.				x
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.				x
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.			x	
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.			x	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.			x	
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información				x

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Trujillo, 30 de Noviembre 2023



Juan Antonio Vega Gonzalez
DNI. 18212091

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTOS

Yo, Marco Antonio Cotrina Teatino, con D.N.I. N° 41872247, ostento el grado de doctor y ejerzo la carrera profesional en ingeniería de minas. Por medio de la presente hago constar que he revisado, con fines de validación, el instrumento “REGISTRO DE LA DISTRIBUCIÓN DE CARGA EN VOLADURA” que será aplicado en la investigación “Reducción de sobrerotura en labores lineales mediante voladura controlada de precorte en una mina subterránea, La Libertad” del alumno Bach. Huver Orlando Medina Navarro.

Luego de hacer las verificaciones permitentes, puedo formular las siguientes apreciaciones.

EVALUACIÓN DEL INSTRUMENTO

N°	INDICADORES	VALORES			
		1	2	3	4
1	El instrumento presenta coherencia con el problema de investigación.				x
2	El instrumento evidencia el problema a solucionar.				x
3	El instrumento guarda relación con los objetivos propuestos en la investigación.				x
4	El instrumento facilita la comprobación de la hipótesis que se plantea en la investigación.				x
5	Los indicadores son los correctos para cada dimensión.			x	
6	La redacción de los ítems es clara y apropiada para cada dimensión.			x	
7	En general, el instrumento permite un manejo ágil de la información			x	

1: Deficiente 2: Regular 3: Bueno 4: Excelente

Trujillo, 30 de Noviembre 2023



M. A. COTRINA T.

Marco Antonio Cotrina Teatino
DNI. 41872247