



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“ANÁLISIS DEL % CUMPLIMIENTO DEL P80 Y DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DEL MATERIAL FRAGMENTADO POR VOLADURA PARA LA DETERMINACIÓN DEL MODELO ROSIN RAMMLER, DESMONTE VS MINERAL EN LA MINA LA ZANJA DE CAJAMARCA”

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO DE MINAS

Autor:

Leyson Rosel Guzman Cueva

Asesor:

Ing. Víctor Eduardo Alvarez León

Cajamarca - Perú

2022

## **DEDICATORIA**

Esta dedicado, a mis padres quienes me apoyaron, para poder llegar a estas instancias de mis estudios, ya que ellos siempre estuvieron ahí, para mí, también a mis hermanos por estar motivándome constantemente para alcanzar este anhelo en mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme la salud, la vida y las fuerzas necesarias para cumplir esta meta. A mis padres y hermanos, por haberme dado la oportunidad de formarme en esta prestigiosa universidad y haber sido mi apoyo durante toda esta etapa. A mis amigos y compañeros quienes sin esperar nada a cambio, compartieron sus conocimientos, alegrías, tristezas y a todas las personas que estuvieron a mi lado apoyándome, para lograr hacer esta meta una realidad.

De manera especial a mi asesor de tesis el Ing. Víctor Eduardo Alvarez León, por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria y haberme brindado el apoyo para desarrollarme profesionalmente y seguir cultivando mis valores.

A la Universidad Privada de Norte – Cajamarca, por haberme acogido y brindado tantas oportunidades, enseñanzas y enriquecerme en conocimiento.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>30</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>31</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> .....	21
<b>Tabla 2</b> .....	21
<b>Tabla 3</b> .....	22
<b>Tabla 4</b> .....	22
<b>Tabla 5</b> .....	23
<b>Tabla 6</b> .....	23
<b>Tabla 7</b> .....	24

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> .....	12
<b>Figura 2</b> .....	14
<b>Figura 3</b> .....	23
<b>Figura 4</b> .....	25
<b>Figura 5</b> .....	31
<b>Figura 6</b> .....	31
<b>Figura 7</b> .....	32
<b>Figura 8</b> .....	32

## RESUMEN

La presente investigación titulada Análisis del % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura para la determinación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca; nace a partir de la ausencia de estudios que determinan la optimización de fragmentación de la industria minera a tajo abierto. Planteándose como objetivo principal, analizar el % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura para la determinación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca 2021. Para lo cual, se utilizó el diseño de investigación No experimental, descriptivo –transversal. Tomando en cuenta el Instrumento 1: Tabla de parámetros de voladura para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca. Instrumento 2: Índice de porcentaje de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas. Instrumento 3: Curva característica del modelo Rosin Rammler. Finalmente, en el análisis de resultados, se evidenció que los parámetros de voladura utilizados para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina, son los parámetros de análisis conformado por el tipo de tajo, proyecto, material, dureza del material y tonelaje real por el tonelaje teórico, los parámetros de malla característica y parámetros de secuencia de salida y tipo de explosivos quienes optimizarán la fragmentación de la roca para hacer cumplir el % del p80. El % de cumplimiento del p80 en los 5 proyectos tienen un % de cumplimiento de 16%, 9%, 17%, 80% y 83%. Por lo que, los datos determinados en los parámetros de voladura son eficaces y el modelo Rosin Rammler muestra que los resultados muestran un frente homogéneo.

**Palabras clave:** Fragmentación, Voladura, Tajo abierto, Modelo Rosin Rammler.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Dentro de las operaciones mineras a tajo abierto que se realizan en Mina La Zanja, la voladura es uno de los medios importantes de extracción de minerales. Puesto que, el propósito principal de la operación de voladura es la fragmentación de la roca el cual genera productividad en mina y planta.

Por ende, siendo esta la única variable aleatoria que interrelaciona a todas y cada una de las operaciones mineras. Y con la intención de aplicar la mejora continua a la industria minera, se identificó el modelo Rosin Rammler para identificación del análisis de porcentaje de cumplimiento con el target P80 debido a que devuelve resultados variando los parámetros de voladura, con una variación aceptable de 1.5; y predice la fragmentación de las voladuras en los Bancos de mineral de la mina La Zanja.

Prospectivamente, tomando en cuenta la idea expuesta y con la finalidad de aportar un desarrollo complejo a las empresas extractivas de minerales, se debe tener en cuenta un análisis acotado del análisis del % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura para la determinación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca.

Puntualmente y con el fin de respaldar la efectividad en el desarrollo de dicho análisis, se presentarán antecedentes Internacionales y Nacionales.

En relación con las implicancias (Barrera, 2017) en su estudio “Validación del modelo Rosin Rammler para optimizar la fragmentación de roca por Voladura” en México, demostró que los resultados reales son muy parecidos a los que el modelo predijo, y pudo describir cada para parámetro de voladura y su influencia en la fragmentación. El uso del modelo Rammler permite evitar fragmentación secundaria, y se comprobó la facilidad de uso del método digital para la medición de la fragmentación, y se pudo obtener una fragmentación que se ajuste a curvas límite preestablecidas usando el modelo.

(Mamani, 2019) en su estudio “Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria – ANABI S.A.C.” en Perú, determina que es necesario utilizar explosivos que posean elevada velocidad de detonación para reducir el número de taladros (de 62 a 48), y la cantidad de sustancia explosiva requerida en cada voladura, mejoras que disminuirán el tiempo destinado a la barrenación y al cargado. Concluyendo que es relevante el diseño de malla de perforación y voladura en distintas alteraciones, y al analizar los resultados de trabajo, podemos demostrar la fragmentación por la clasificación del diseño de malla por alteraciones, logrando una fragmentación.

(Mendez, 2017) en su estudio “Análisis granulométrico de la fragmentación de una mina a tajo abierto” en Puno determina que, para una fragmentación muy buena, el porcentaje de llenado del cucharón es de 97,5 %; las demoras operativas son menores (o mínimas de 5,5 %), en cambio para una fragmentación muy difícil es bajo el porcentaje de llenado y mayor es el porcentaje en las demoras operativas (de 24,25 %). La granulometría debe estar entre 10 pulgadas (25 cm) a 60 pulgadas (153 cm) de longitud máximo, la cual permite el carguío continuo (sin interrupciones), así mismo,

incidiendo en mayor porcentaje de llenado al cucharón de las palas, en estas condiciones la operación (carguío) es económica (con utilidad). Pero si la granulometría de fragmentación es mayor a 60 pulgadas, el carguío será antieconómico, similarmente menor a 10 pulgadas, debido a que produce polvo en el área de carguío, anulando la visibilidad.

Según (Tipo, 2019), concluye que se ha optimizado la fragmentación de rocas de un P80 con un pasante a parrilla de 10pulg, y se ha modificado el parámetro de perforación de una malla cuadrada a triangular con dimensiones de Burden y espaciamiento, y se minimizó el costo de producción de mineral.

(Quispe, 2018) concluye que con el modelo Rosin Rammler, se obtiene una reducción de costo por disparo. Donde se ahorró un porcentaje de los explosivos, porque se mejoró la adecuada distribución de los taladros, y se determinó la distribución integral de los taladros donde se mejoró el factor de carga, y con el nuevo diseño de malla y perforación es muy favorable para el Crucero 340 NW en la empresa minera Yansur S.A.C.

Con respecto a las definiciones teóricas y de acuerdo con lo mencionado por (EXSA, 2016) la voladura es una de las actividades más importantes en la extracción de mineral, su meta inicial es conseguir una apropiada dimensión de roca, y acopio del mineral fragmentado.

El mecanismo de fragmentación, se puede dividir en tres etapas (FAMESA, 2019)

- a) Primera etapa: Posteriormente de la explosión de un explosivo, la elevada presión derivada supera la resistencia a la compresión de la roca, causar un fenómeno de

pulverización y vaporización en el área contigua del taladro. Esta onda de choque transita a una rapidez de que transforma entre los 3000 a 500m/s, instituyendo energías tangenciales que crean aberturas circulares, las cuales se agitan dentro del dominio del taladro.

- b) Segunda etapa: La etapa inicial de la onda de choque es auténtica, si alcanza un perfil dispuesto, es reflejado, en consecuencia, presión decae velozmente hasta llegar al menos cero, eso da paso a la onda de tracción, la cual va a la roca y siendo este de menor resistencia en comparación a la compresión, pudiendo generar roturas iniciales.
- c) Tercera etapa: En la última parte del proceso, existe una presión demasiado alta, se origina la primera grieta la cual va aumentando de dimensión debido a la combinación del esfuerzo de tracción inducida mediante la compresión radial y la expansión de vapores. De esta manera la aglomeración en frente de las barrenas cede y se desplaza hacia el Burden, los enormes esfuerzos de compresión se descargan dentro de una roca de la forma que libra su carácter un muelle estrechado que se suelte deliberadamente.

La densidad en la mayoría de los explosivos varía entre 0.8 gr/cm<sup>3</sup> y 1.6 gr/cm<sup>3</sup>, factor muy importante para el cálculo de carga necesaria para una voladura, mayor sea la densidad del explosivo, tanto mayor será su eficiencia (EXSA, 2016).

Velocidad de detonación, es el parámetro que define el ritmo de liberación de energía.

La velocidad de detonación es considerada como el mejor “barómetro” para estimar la

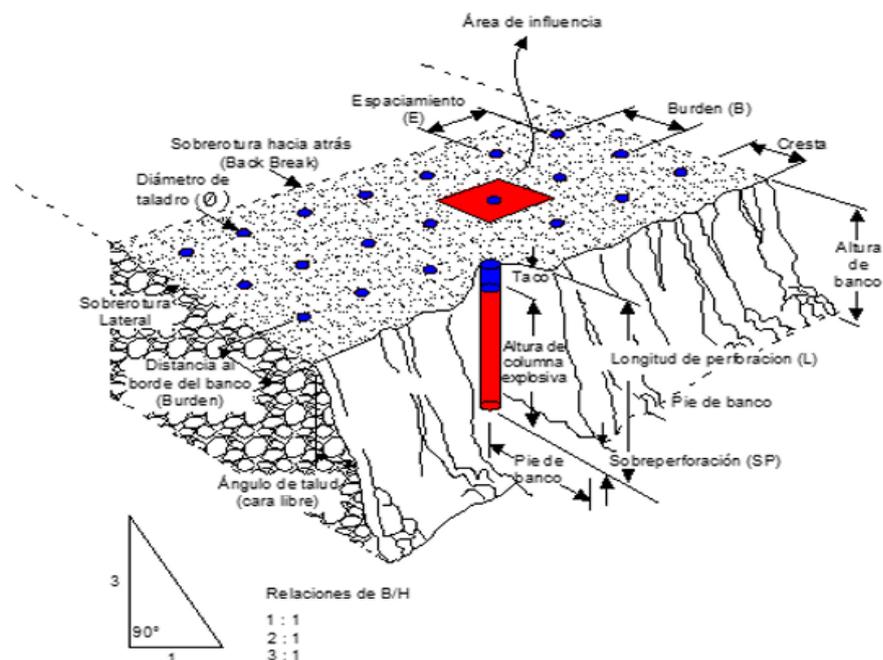
performance y consistencia de formulaciones de explosivos. Un aumento de la velocidad de detonación implica un aumento de la energía de tensión (ET) y por consiguiente una disminución de la energía de los gases (EG), porque, la suma de ambas performances es constante.

Para el diseño de mina se ha considerado los parámetros óptimos de diseño de Pit, cumpliendo con los requerimientos geomecánicos y geotécnicos de la estabilidad de taludes y peligros sísmicos según el estudio de factibilidad (FAMESA, 2019).

Parámetros de altura de banco, son todas aquellas variables que son controladas a través de los diseños de voladura, en términos generales son las denominadas variables controlables de una voladura, las variables que no se controlan en una voladura son todas aquellas relacionadas a los macizos rocosos donde la mano o la acción del hombre no puede modificarlas (Mamani, 2019).

## Figura 1

### *Parámetros de voladura*



Un macizo rocoso es un medio interrumpido, diverso, anisotrópico, y sus particularidades físico/mecánicas transforman de un espacio a otro, esta diferenciación en las particularidades, implícitamente se muestran en interrupciones de pocos metros perturbando las consecuencias en las voladuras cuantiosamente (Huaire, 2019).

Ante este suceso, es que el especialista que delinea las voladuras deberá de tomar en deferencia toda esa diferenciación de permutas litológicos para llegar a lograr una participación de igualdad de al menos 80% en la dimensión de las gravas deseadas (García, Llopiz, & Puyáns, 2013)

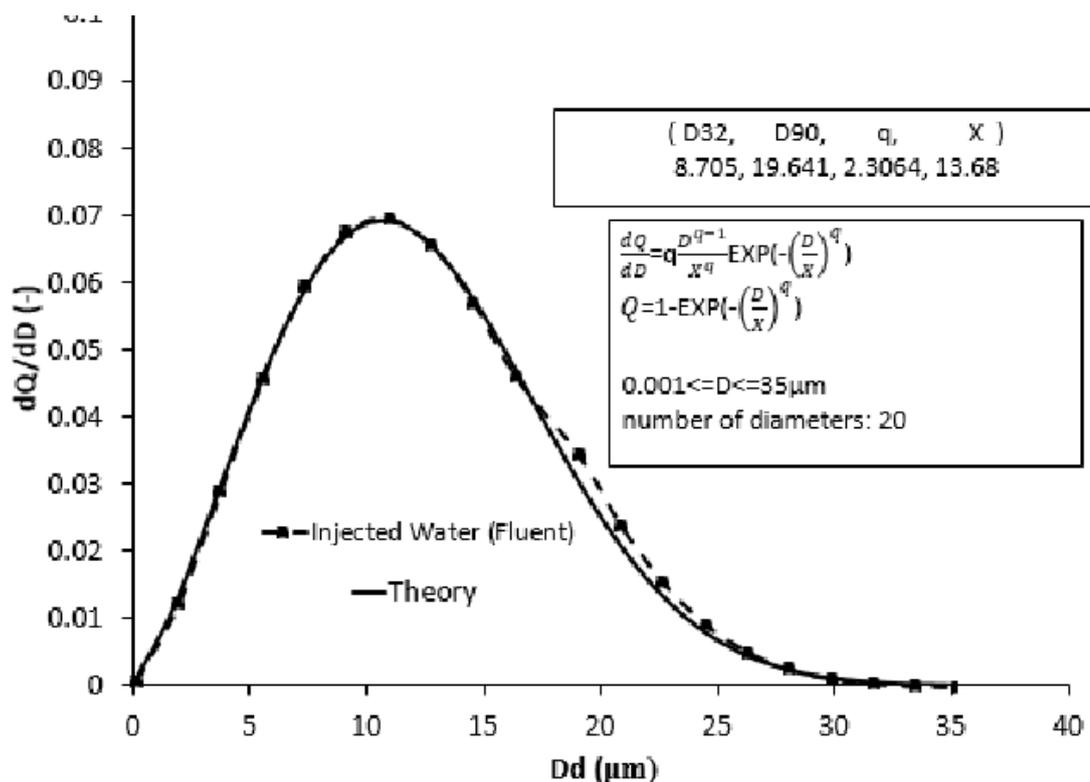
Consecuencia de fragmentación gruesas: La explosión de rocas, es la etapa inicial de conminución del mineral fraccionado, es muy importante la jerarquía el rendir a la mayor participación de la energía química del detonante para causar un conveniente encargo mecánico en la piedra. Uno de los semblantes para calcular la performance de las explosiones que ejecutamos en la mina, es el aspecto de la segmentación, el cual tiene que estar agrupado a las consecuencias de seguridad, oscilación y permanencia (HANAMPA, 2021)

La segmentación, compone, una de las inconstantes primordiales para el progreso de una buena producción en los trabajos de cargar, acarrear y chancar el mineral, este semblante, está muy separadamente para esparcir una buena rapidez en los ordenamientos de minado. Incremento de los ciclos de minado, Consumo acelerado de componentes de los equipos de mina, Retraso del plan de minado, Incremento de voladura secundaria, Incremento global del costo de minado

El Modelo Rosin Rammler por defecto, definirá la distribución del tamaño de las partículas ingresando un diámetro para el primer y último punto y usando la ecuación lineal próximamente mencionada para variar el diámetro de cada flujo de partículas en el grupo. Sin embargo, cuando desee una tasa de flujo másico diferente para cada tamaño de partícula/gota, es posible que la variación lineal no produzca la distribución que necesita. Su distribución de tamaño de partícula se puede definir más fácilmente ajustando los datos de distribución de tamaño a la ecuación de Rosin-Rammler (Cobos, 2019).

**Figura 2**

*Modelo Rosin Rammler*



En este enfoque, el rango completo de tamaños de partículas se divide en un conjunto de rangos de tamaño discretos, cada uno definido por una sola corriente que forma parte del grupo.

Ajuste de las distribuciones de tamaño al modelo de Rosin-Rammler-Sperling (R.R.S)

$$-\ln(1 - y) = (d P/36.8)$$

Si se aplica  $\log_{10}$  a ambos miembros de la ecuación, se obtiene la expresión de una línea recta con pendiente  $n$ . Al ajustar los datos experimentales de distribución de tamaño de las suspensiones anteriores a la expresión, se obtienen las curvas representadas en la figura 3, en las cuales se observa que la tendencia al comportamiento lineal solo se alcanza en los tamaños relativamente grandes de las partículas, es decir, para valores de  $(dp/36,8) \geq 0,543$  en el caso de la pulpa M-13, y  $(dp/36,8) \geq 10,71$  para la suspensión M-36.

Fragmentación, es la fractura de la roca en el área de la línea de mínima resistencia (Burden) como resultado ejercido por los explosivos (FAMESA, 2019).

Burden, es el trayecto del taladro a la cara independiente más cercana, encaminado perpendicularmente al eje del taladro (FAMESA, 2019).

Espaciamiento se define como el trayecto entre taladros de una igual fila perpendicular al burden (EXSA, 2016).

Malla, es la manera geométrica en la que se colocan los taladros de una voladura, teniendo en cuenta fundamentalmente la relación burden y espacio (FAMESA, 2019).

Desplazamiento consiste en el movimiento de la aglomeración rocosa triturada como resultado del ejercicio ejercido por los detonantes hacia una dirección determinada (EXSA, 2016).

La investigación se justifica debido a que la voladura juega un papel muy significativo en la minería porque es la forma en que podemos apertura labores de acceso hacia un yacimiento económicamente explotable. El diseño de voladuras, las característica física, química y mecánica de las rocas, así como la estratigrafía y los rasgos organizadas del macizo rocoso, juegan un papel importante pues a base de ello sabremos la energía explosiva necesaria para romper dicho macizo, en este escenario, el explosivo gasificado tendrá enorme relevancia en los resultados finales de fragmentación. Por ende, se determina los parámetros de voladura de manera eficiente y así analizar de manera concreta el % de cumplimiento del p80 determinado el modelo Rosin Rammler.

Asimismo, para justificar el desarrollo del presente trabajo de investigación, es el de disponer de información con respecto a la aplicación del modelo Rosin Rammler y así promover la atención de empresas mineras para optimizar la fragmentación de acuerdo a la predicción de modelo Rosin Rammler.

## **1.2. Formulación del problema**

¿De qué manera influirá el análisis del % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura en la determinación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca 2021?

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Analizar el % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura para la determinación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca 2021.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

Describir los parámetros de voladura utilizados para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca.

Determinar el % de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas.

Determinar la curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca.

## **1.4. Hipótesis**

### **1.4.1. Hipótesis general**

El análisis del % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura determina el modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca 2021.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicada con diseño No experimental, descriptivo – transversal (Huaire, 2019).

La investigación aplicada es el tipo de investigación en la cual el problema está establecido y es conocido por el investigador, por lo que utiliza la investigación para dar respuesta a preguntas específicas.

El diseño de investigación es No experimental- Transversal, porque se está evaluando en mismos tiempos de una misma población, con una serie de antecedentes que posee la empresa minera con el propósito de evaluar los cambios.

El nivel de investigación es Descriptivo, porque las variables no son afectadas por ningún tipo de proceso, hecho por el cual solamente se dedican a observar al evento tal cual sucede, limitándose únicamente a analizarlos. Básicamente consisten en realizar una descripción de las variables que se desean medir en un fenómeno, y analizar la incidencia en el momento en que ocurre dicho suceso.

### 2.2. Población y muestra

#### 2.2.1. Población

Es el material fragmentado de los proyectos de voladura de los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca.

Porque el material fragmentado (mineral y desmonte) son materia de estudio de la presente tesis.

#### 2.2.2. Muestra

Es el material fragmentado de los proyectos de voladura 3444-043 y 3450-040 de los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca.

Porque es el material fragmentado (mineral y desmonte) que se tiene en cuenta para los estudios del % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños.

## **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

### **2.3.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos fueron la observación directa, el análisis documental, mediciones de los parámetros de voladura, mediciones de granulometría de rocas; lo que consistió en observar al personal de perforación y voladura y el contexto cuando efectúan su trabajo.

Los instrumentos utilizados para la recolección de datos fueron: Libreta de campo, Formato de trabajos de campo, Parámetros de voladura para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca.

### **2.3.2. Técnicas e instrumentos de análisis de datos**

La información obtenida, se tabuló y se realizaron graficas estadísticas utilizando el software Microsoft Excel, para poder analizar e interpretar los resultados. Los instrumentos utilizados para el análisis de datos fueron los siguientes:

Instrumento 1: Tabla de parámetros de voladura para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca.

Instrumento 2: Índice de porcentaje de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas.

Instrumento 3: Curva característica del modelo Rosin Rammler.

## **2.4. Procedimiento**

### **2.4.1. Etapa de Gabinete**

La investigación se realizó identificando temas que son similares a lo que se está investigando, de modo que se pueda consolidar información de otros investigadores. Para ello se utilizaron buscadores de información virtual como: Scielo, Redalyc, Google Scholar, Ebsco y Repositorio Universitario.

### **2.4.2. Etapa de Campo**

Con la finalidad de registrar las características y la información que nos será útil en esta investigación, se recolectaron datos del proyecto de voladura de los tajos PV y SPS, para posteriormente analizarlos y determinar los parámetros de voladura y % de cumplimiento del P80 fragmentado.

### **2.4.3. Etapa de Análisis de datos**

Con los resultados obtenidos en campo, se describieron los parámetros de voladura utilizados para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca, se determinó el % de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas y la curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca. Haciendo uso del software Microsoft Excel.

## **2.5. Aspectos éticos**

La investigación se realizó de acuerdo a los estándares que utiliza la Universidad Privada del Norte, en tal sentido, cumple la normatividad institucional, que rige una investigación con derechos de autor (Apa 7ma edición).

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

#### 3.1. Parámetros de voladura utilizados para fragmentar el mineral y desmante en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca.

**Tabla 1**

*Parámetros de análisis consecuente*

Tajo	Proyecto	Tipo de material	Dureza del Material	Tonelaje (t)	F.P. REAL (kg/t)	F.P. TEORICO (kg/t)
SPS	3444-043	Mineral	Medio	39779.86	0.25	0.35
SPS	3444-043	Desmante	Medio	39779.86	0.25	0.35
SPS	3444-043	Mineral	Medio	39779.86	0.25	0.35
PV	3450-040	Mineral	Medio	46632.40	0.33	0.34
PV	3450-040	Desmante	Medio	46632.40	0.33	0.34

*Nota.* La tabla muestra los parámetros de análisis consecuente, conformados primordialmente por el tipo de proyecto, dureza del material y el tonelaje real.

**Tabla 2**

*Parámetros de malla característica*

Altura taladro (m)	Taco (m)	Diámetro taladro (pulg)	Burden	Spacing	Subdrill
6.00	2.80	6.75	4.00	4.60	0.50
6.00	2.80	6.75	4.00	4.60	0.50
6.00	2.80	6.75	4.00	4.60	0.50
6.50	2.80	6.75	4.00	4.60	0.50
6.50	2.80	6.75	4.00	4.60	0.50

*Nota.* La tabla muestra los parámetros particulares para una óptima voladura como son Burden, Espaciamiento y Subdrill.

**Tabla 3**

*Parámetros de Secuencia de salida y tipo de explosivo*

Cantidad de taladros	Tiempo/ Taladros (milisegundos)	Tiempo/ Filas (milisegundos)	Tipo de Amarre	Explosivo
109	5.0	63	V	SANG APU 100%
109	5.0	63	V	SANG APU 100%
109	5.0	63	V	SANG APU 100%
170	5.0	83	V	SANG APU 100%
170	5.0	83	V	SANG APU 100%

*Nota.* La tabla muestra el tipo de amarre, el tiempo de salida de taladros y tiempo de filas efectuadas por el explosivo SANG APU 100%.

### 3.2. % de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo

**SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas.**

**Tabla 4**

*Curva característica para afianzar el cumplimiento*

Xc (pulg)	n	<1	P10 (pulg)	P20 (pulg)	P30 (pulg)	P40 (pulg)	P50 (pulg)	P60 (pulg)	P70 (pulg)	P80 (pulg)	P90 (pulg)	Xmax (pulg)
3.3	1.773	10.10%	1.02	1.77	2.36	2.87	3.35	3.82	4.33	4.88	5.63	8.35
3.09	1.778	19.20%	0.94	1.65	2.2	2.72	3.15	3.58	4.06	4.57	5.24	7.4
3.27	1.289	11.90%	0.87	1.65	2.28	2.83	3.31	3.82	4.33	4.92	5.71	8.07
4.4	0.752	17.30%	0.3	0.95	1.9	2.88	4	5.1	6.32	7.8	9.3	13.8
4.51	0.918	21.60%	0.24	0.91	1.81	2.83	3.9	5.04	6.26	7.68	9.45	13.39

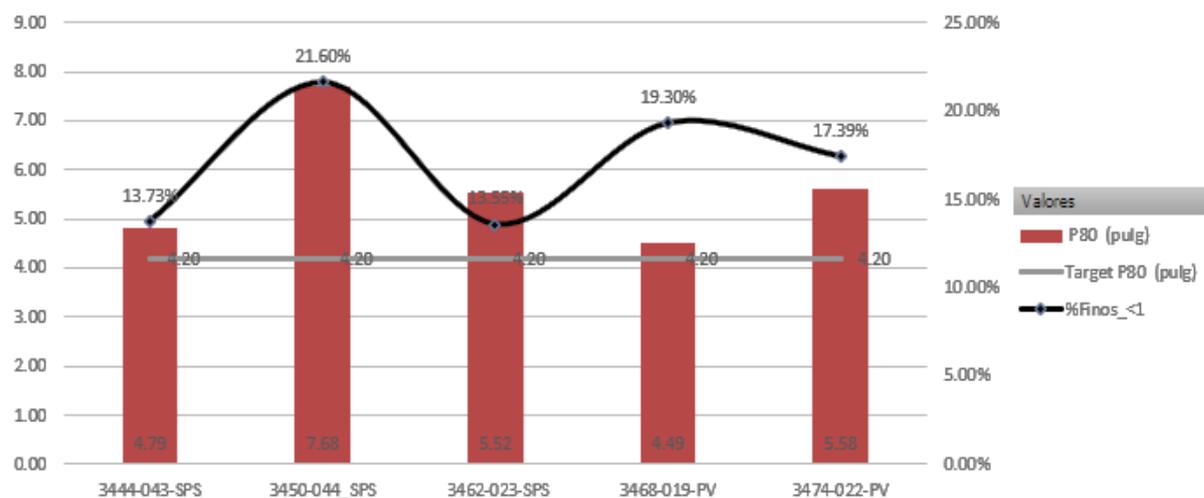
**Tabla 5**

*% de Target P80 de acuerdo a las etiquetas SPS Y PV*

Etiquetas de fila	%Finos_<1	P80 (pulg)	Target P80 (pulg)
3444-043-SPS	13.73%	4.79	4.20
3450-044_SPS	21.60%	7.68	4.20
3462-023-SPS	13.55%	5.52	4.20
3468-019-PV	19.30%	4.49	4.20
3474-022-PV	17.39%	5.58	4.20
<b>Total, general</b>	<b>16.55%</b>	<b>5.48</b>	<b>4.20</b>

**Figura 3**

*% de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas.*



**Tabla 6**

*% de cumplimiento*

Target P80 (pulg)	Cumplimiento (%)
4.20	16%
4.20	9%
4.20	17%
4.20	80%
4.20	83%

*Nota.* La tabla muestra el % de cumplimiento por Target P80.

### 3.3. Curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca.

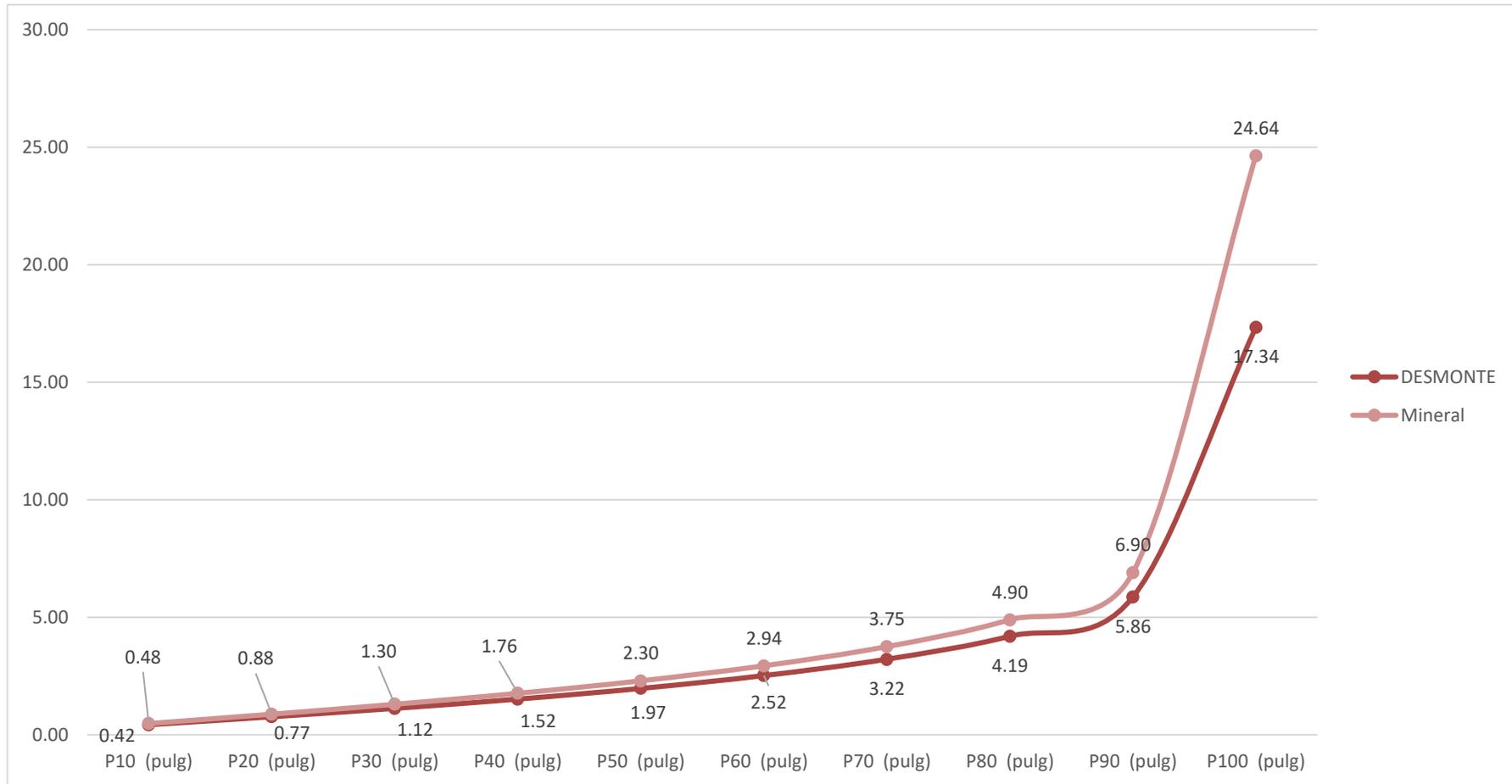
**Tabla 7**

*Curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca*

0.5	1	2	4	6	T. Crítico	T. Grueso	T. Muy Grueso	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	X <sub>max</sub> _RR (pulg)
< 1/2"	< 1"	< 2"	< 4"	< 6"	[2-4]"	[4-6]"	> 6"	X <sub>c</sub> (in)	P10_R (pulg)	P20_R (pulg)	P30_R (pulg)	P40_R (pulg)	P50_R (pulg)	P60_R (pulg)	P70_R (pulg)	P80_R (pulg)	P90_R (pulg)	
59%	61%	64%	66%	68%	3%	1%	32%	3.3	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7	4.3	5.3	9.8
54%	59%	64%	69%	72%	5%	3%	28%	3.1	0.9	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.4	4.0	4.9	9.2
59%	62%	65%	68%	70%	3%	2%	30%	3.3	0.6	1.0	1.5	1.9	2.5	3.1	3.8	4.7	6.2	14.6
58%	63%	69%	76%	78%	7%	3%	24%	4.3	0.3	0.8	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7	6.3	12.3	39.8
58%	64%	69%	75%	78%	5%	3%	22%	4.5	0.4	0.9	1.5	2.2	3.0	4.1	5.5	7.6	11.2	37.0

**Figura 4**

*Distribución de la curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler*



*Nota.* Los valores mayores al 1.5 indica que el frente es homogéneo en cuanto a fragmentación. Si los valores son menores a 1.5, indica que el frente de minado es heterogéneo.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1 Discusión

A partir de los hallazgos encontrados, con la información doctrinada expuesta y la información estadística presentada, se analizó el % de cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura, para la determinación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca 2021. Y se obtuvo los siguientes resultados afianzados:

Los parámetros de voladura utilizados para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja, se dividieron en parámetros para análisis (Tajo SPS y PV, Proyecto 3444-34043, tipo de material (mineral y desmonte), dureza de material(media), Tonelaje, F.P. Real y F.P. Teórico. Parámetros de malla característica (Altura de taladro, taco, diámetro de taladro, Burden, Spacing y Subdrill) y Parámetros de secuencia de salida (Cantidad de taladros, Tiempo de salida del taladro, Tiempo de filas, Tipo de amarre) promulgados por el explosivo Sang Apu 100%.

Estos resultados se afianzan con (Cobos, 2019) debido a que en su estudio “Determinación de los parámetros de voladura para optimizar la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone” se demostró que los resultados por la determinación del desglose de parámetros de análisis, parámetros de malla característica y parámetros de salida obtuvieron un nivel de significancia del 75%, minimización del factor de potencia 5%. Finalmente se ha reducido en un 51% las fallas de voladura en los cuatro últimos meses.

El % de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, de acuerdo a los tajos SPS Y PV en los 5 proyectos tienen un % de cumplimiento de 16%, 9%,17%,80% y 83%. considerando un target p80 de 4.20 pulgadas. Por lo que, los datos determinados en los parámetros de voladura son eficaces. Para una mayor interpretación se elaboró la distribución gráfica de los porcentajes, donde se muestra como resultado una variación positiva, obteniendo mayor cantidad pasante de mineral y además es muy importante el tamaño y forma de voladura para la obtención de mayor cantidad de finos.

Estos resultados se respaldan con (HANAMPA, 2021) en su estudio “Aplicación del explosivo SANG-APU para optimizar la fragmentación en perforación y voladura en la unidad minera UTUNSA - ANABI SAC” porque obtuvo una granulometría del material volado de 4.25 pulgadas que representa una disminución de 5.68% de lo requerido de 4.50 pulgadas, una velocidad de detonación promedio 5,312.941 m/s que representa un aumento de 26.29%. Y un cumplimiento del 60% en el cumplimiento del P80.

La curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler, tiene referenciado al  $X_c$  como el tamaño característico y distribución granulométrica y al  $X_{max}$  como el tamaño máximo y el 100% pasante de la muestra. Por lo tanto, al tener valores de 4.19 y 4.90 en el target P80, la muestra indica que el frente de minado tiene uniformidad con alcances mayores al 1.5 y tiene una fragmentación óptima. Sin embargo, en targets menores tiene un alcance heterogéneo, por lo que se asume que este modelo es completo y hace referencia a mejoras en cuanto a la fragmentación por voladura en cuanto al desmonte y el mineral.

Estos resultados se afianzan con (García, Llópiz, & Puyáns, 2013) ya que en su estudio “Modelo matemático Rosin Rammler para describir la distribución granulométrica de la fase dispersa de las suspensiones de laterita” al ajustar los datos experimentales de distribución de tamaño de las suspensiones anteriores a la ecuación 1 anexada en bases teóricas, se obtienen las curvas representadas en la curva Rosin Rammler, en las cuales se observa que la tendencia al comportamiento lineal solo se alcanza en los tamaños relativamente grandes de las partículas, es decir, para valores de  $(dp/36,8) \geq 0,543$  en el caso de la pulpa M-13, y  $(dp/36,8) \geq 10,71$  para la suspensión M-36.

#### **4.2 Conclusiones**

El análisis del % cumplimiento del p80 y distribución de tamaños del material fragmentado por voladura determina el modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca 2021. Por ende, se acepta la hipótesis general.

Los parámetros de voladura utilizados para fragmentar el mineral y desmonte en los tajos PV y SPS de la mina La Zanja de Cajamarca, son los parámetros de análisis conformado por el tipo de tajo, proyecto, material, dureza del material y tonelaje real por el tonelaje teórico, los parámetros de malla característica y parámetros de secuencia de salida y tipo de explosivos quienes optimizarán la fragmentación de la roca para hacer cumplir el % del p80.

El % de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas en los 5 proyectos tienen un % de cumplimiento de 16%, 9%, 17%, 80% y 83%. Por lo que, los datos determinados en los parámetros de voladura son eficaces.

La curva de fragmentación del modelo Rosin Rammler, desmonte vs mineral en la mina La Zanja de Cajamarca. Muestra que el frente de minado tiene uniformidad con alcances mayores al 1.5 al tener valores de 4.19 y 4.90 y tiene una fragmentación óptima. Sin embargo, en targets menores tiene un alcance heterogéneo, por lo que se asume que este modelo es completo y hace referencia a mejoras en cuanto a la fragmentación por voladura en cuanto al desmonte y el mineral.

### **Limitaciones y Recomendaciones**

Las principales limitaciones que tuvimos al realizar el estudio, fue el acceso a ciertas páginas para la obtención de información, el año de publicación de las investigaciones y la información limitada sobre Rosin Rammler, en el rubro minero.

Se recomienda actualizar información sobre el modelo Rosin Rammler, que conlleven a buscar nuevas estrategias, ya que según la recopilación de investigaciones la información de este modelo en minería es escasa y se está perdiendo debido a la consideración de años que requiere la formalidad de las bases teóricas.

## REFERENCIAS

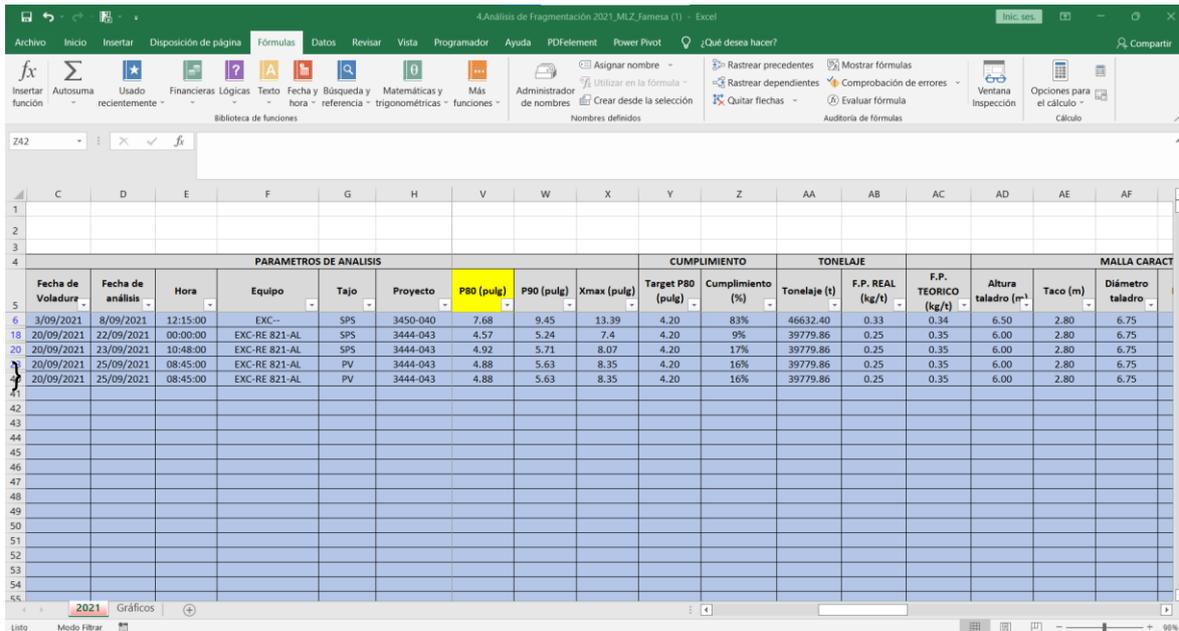
- Barrera, P. L. (2017). *Validación del modelo Rosin para optimizar la fragmentación de roca por Voladura*. México.
- Cobos, O. D. (2019). “*Determinación de los parámetros de voladura para optimizar la fragmentación en zona de mineral en la unidad minera Cuajone*”.
- EXSA. (2016). *Manual Practico de Voladura*.
- FAMESA. (2019). *Manual Practico de Voladura*. .
- García, L. P., Llópez, Y. C., & Puyáns, L. R. (2013). *MODELO MATEMÁTICO PARA DESCRIBIR LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA FASE DISPERSA DE LAS SUSPENSIONES DE LATERITA*.
- HANAMPA, D. M. (2021). “*APLICACIÓN DEL EXPLOSIVO SANG-APU PARA OPTIMIZAR COSTOS EN PERFORACIÓN Y VOLADURA EN LA UNIDAD MINERA UTUNSA - ANABI SAC*” .
- Huaire, I. E. (2019). *Método de investigación. Material de clase*.
- Mamani, C. P. (2019). *Optimización de la fragmentación y diseño de malla por alteración en perforación y voladura de U.E.A. Valeria – ANABI S.A.C. Puno*.
- Mendez, L. A. (2017). *Análisis granulométrico de la fragmentación de una mina a tajo abierto*. Puno.
- Quispe, C. H. (2018). *Reducción de costos de perforación y voladura con nuevo diseño de malla en el frente Crucero 340 NW de la empresa minera Yansur S.A.C. – Rinconada*. Puno.
- Tipo, C. R. (2019). . *Optimización de fragmentación de rocas modificando los parámetros de perforación en la Unidad Minera Tacaza – CIEMSA. P. Puno*.

## ANEXOS

Instrumento 1: Data de fragmentación por voladura en los tajos SPS Y PV.

**Figura 5**

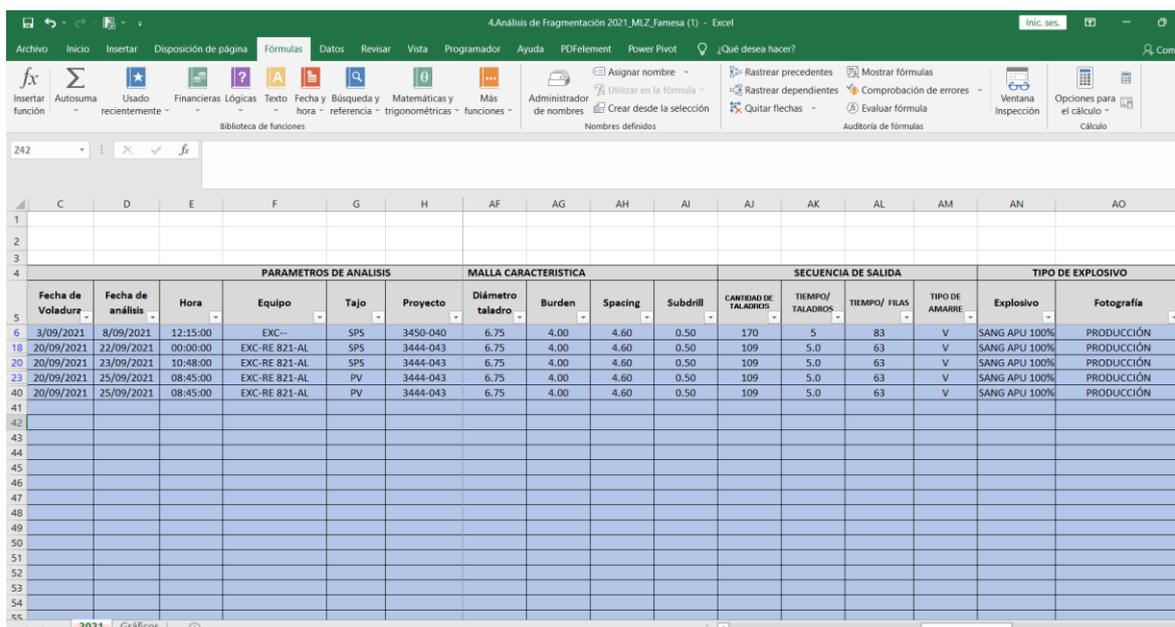
*Parámetros de análisis de fragmentación SPS Y PV - LA ZANJA*



PARAMETROS DE ANALISIS							CUMPLIMIENTO		TONELAJE			MALLA CARACT				
Fecha de Voladura	Fecha de análisis	Hora	Equipo	Tajo	Proyecto	P80 (pulg)	P90 (pulg)	Xmax (pulg)	Target P80 (pulg)	Cumplimiento (%)	Tonelaje (t)	F.P. REAL (kg/t)	F.P. TEORICO (kg/t)	Altura taladro (m)	Taco (m)	Díametro taladro
3/09/2021	8/09/2021	12:15:00	EXC--	SPS	3450-040	7.68	9.45	13.39	4.20	83%	46632.40	0.33	0.34	6.50	2.80	6.75
20/09/2021	22/09/2021	00:00:00	EXC-RE 821-AL	SPS	3444-043	4.57	5.24	7.4	4.20	9%	39779.86	0.25	0.35	6.00	2.80	6.75
20/09/2021	23/09/2021	10:48:00	EXC-RE 821-AL	SPS	3444-043	4.92	5.71	8.07	4.20	17%	39779.86	0.25	0.35	6.00	2.80	6.75
20/09/2021	25/09/2021	08:45:00	EXC-RE 821-AL	PV	3444-043	4.88	5.63	8.35	4.20	16%	39779.86	0.25	0.35	6.00	2.80	6.75
20/09/2021	25/09/2021	08:45:00	EXC-RE 821-AL	PV	3444-043	4.88	5.63	8.35	4.20	16%	39779.86	0.25	0.35	6.00	2.80	6.75

**Figura 6**

*Parámetros de la malla característica para la fragmentación SPS Y PV - LA ZANJA*

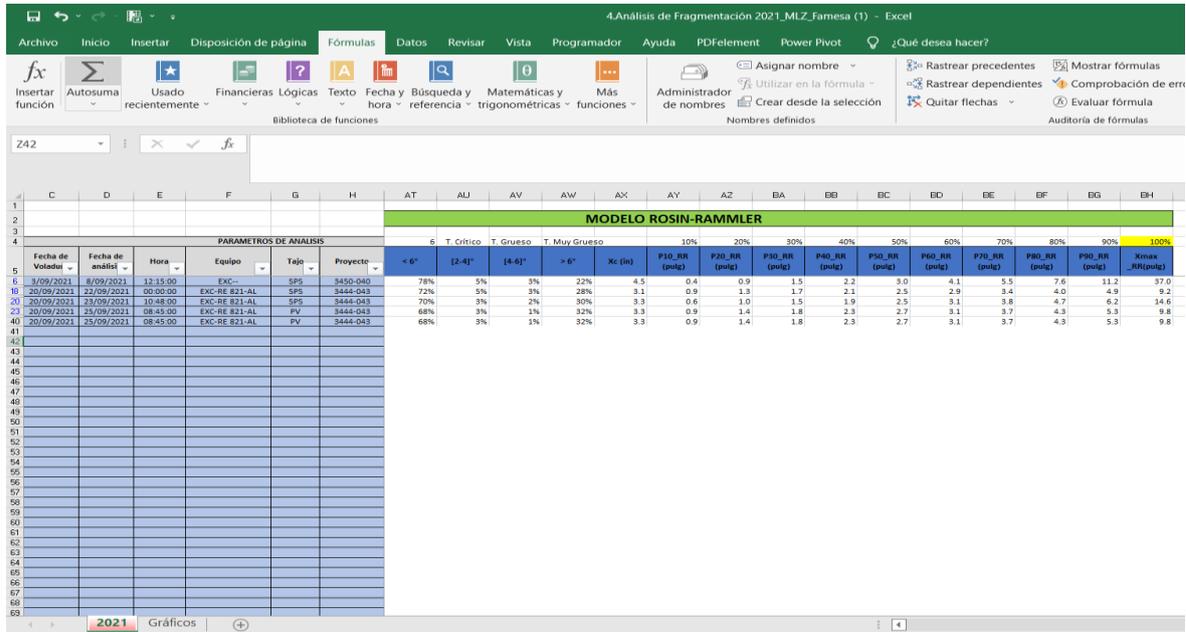


PARAMETROS DE ANALISIS						MALLA CARACTERISTICA			SECUENCIA DE SALIDA			TIPO DE EXPLOSIVO			
Fecha de Voladura	Fecha de análisis	Hora	Equipo	Tajo	Proyecto	Díametro taladro	Burden	Spacing	Subdrill	CANTIDAD DE TALADROS	TIEMPO/ TALADROS	TIEMPO/ FILAS	TIPO DE AMARRE	Explosivo	Fotografía
3/09/2021	8/09/2021	12:15:00	EXC--	SPS	3450-040	6.75	4.00	4.60	0.50	170	5	83	V	SANG APU 100%	PRODUCCIÓN
20/09/2021	22/09/2021	00:00:00	EXC-RE 821-AL	SPS	3444-043	6.75	4.00	4.60	0.50	109	5.0	63	V	SANG APU 100%	PRODUCCIÓN
20/09/2021	23/09/2021	10:48:00	EXC-RE 821-AL	SPS	3444-043	6.75	4.00	4.60	0.50	109	5.0	63	V	SANG APU 100%	PRODUCCIÓN
20/09/2021	25/09/2021	08:45:00	EXC-RE 821-AL	PV	3444-043	6.75	4.00	4.60	0.50	109	5.0	63	V	SANG APU 100%	PRODUCCIÓN
20/09/2021	25/09/2021	08:45:00	EXC-RE 821-AL	PV	3444-043	6.75	4.00	4.60	0.50	109	5.0	63	V	SANG APU 100%	PRODUCCIÓN

Instrumento 2: Índice de porcentaje de cumplimiento del p80 del material fragmentado por voladura con explosivo SANG APU 100%, considerando un target p80 de 4.20 pulgadas.

Figura 7

Datos del Modelo Rosin-Rammler



PARAMETROS DE ANALISIS							MODELO ROSIN-RAMMLER														
Fecha de Voladura	Fecha de análisis	Hora	Equipo	Tajo	Proyecto		< 6"	[2-4]"	[4-6]"	> 6"	Kc (in)	P10_RR (pulg)	P20_RR (pulg)	P30_RR (pulg)	P40_RR (pulg)	P50_RR (pulg)	P60_RR (pulg)	P70_RR (pulg)	P80_RR (pulg)	P90_RR (pulg)	Xmax_RR (pulg)
30/09/2021	8/09/2021	12:15:00	EXC-	SPS	3455-043		78%	5%	3%	22%	4.5	0.4	0.9	1.5	2.2	3.0	4.1	5.5	7.6	11.2	37.0
20/09/2021	22/09/2021	00:00:00	EXC-RE R21-AL	SPS	3444-043		72%	5%	3%	28%	3.1	0.9	1.3	1.7	2.1	2.5	2.9	3.4	4.0	4.9	9.2
20/09/2021	23/09/2021	10:48:00	EXC-RE R21-AL	SPS	3444-043		70%	3%	2%	30%	3.3	0.6	1.0	1.5	1.9	2.5	3.1	3.8	4.7	6.2	14.6
20/09/2021	23/09/2021	08:45:00	EXC-RE R21-AL	PV	3444-043		68%	3%	1%	32%	3.3	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7	4.3	5.3	9.8
20/09/2021	25/09/2021	08:45:00	EXC-RE R21-AL	PV	3444-043		68%	3%	1%	32%	3.3	0.9	1.4	1.8	2.3	2.7	3.1	3.7	4.3	5.3	9.8

Instrumento 3: Curva característica del modelo Rosin Rammler.

Figura 8

Gráficos del % de cumplimiento target P80 y curva de modelo Rosin-Rammler

