

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA DE MINAS**

“DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN PARA  
MEJORAR EL AVANCE EN LA RAMPA BRENDA,  
EN LA UNIDAD MINERA SANTA BÁRBARA”

TESIS PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**Ingeniero de Minas**

**Autor:**

Kennedy Dionicio Medina Lopez

**Asesor:**

M. Sc. Ronald Smith Mayta Rodas  
<https://orcid.org/0000-0001-8826-8463>

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Edmundo Vereau Miranda</b>	<b>10557797</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Rubén Kevin Manturano Chipana</b>	<b>46905022</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Elmer Luque Luque</b>	<b>02044966</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### “DISEÑO DE MALLA DE PERFORACIÓN PARA MEJORAR EL AVANCE EN LA RAMPA BRENDA, EN LA UNIDAD MINERA SANTA BÁRBARA”

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>6</b> %
<b>2</b>	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2</b> %
<b>3</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>4</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>5</b>	<b>repositorio.unsaac.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %
<b>6</b>	<b>kupdf.net</b> Fuente de Internet	<b>1</b> %

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 1%

**Tabla de contenido**

JURADO CALIFICADOR	2
INFORME DE SIMILTUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	13
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	14
<b>1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA</b>	<b>14</b>
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>48</b>
<b>1.3. OBJETIVOS</b>	<b>48</b>
1.3.1. Objetivo General	48
1.3.2. Objetivo especifico	49
<b>1.4. HIPÓTESIS</b>	<b>49</b>
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	50
CAPÍTULO III: RESULTADOS	95
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	108
REFERENCIA	112
ANEXOS	118

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Calidad de la roca .....	22
Tabla 2 Valores de espaciamiento entre juntas.....	22
Tabla 3 Apertura de Juntas .....	23
Tabla 4 Orientación de discontinuidades.....	25
Tabla 5 Determinación el macizo rocoso .....	25
Tabla 6 Tipo de roca con parámetros de constante de roca y distancia de taladros	30
Tabla 7 Burden y espaciamiento.....	33
Tabla 8 Burden y Taco en diferentes zonas del túnel .....	34
Tabla 9 Revisión para el numero de cuadrantes .....	35
Tabla 10 Factor de Fijación .....	42
Tabla 11 Datos de diseño para Voladura .....	53
Tabla 12 Parámetros de Perforación y Voladura .....	54
Tabla 13 Distribución de carga.....	55
Tabla 14 Distribución de malla de perforación en Rp Brenda .....	58
Tabla 15 Propiedades de los explosivos .....	59
<i>Tabla 16 Faneles con retardo.....</i>	<i>59</i>
Tabla 17 Explosivos usados en la unidad Minera Santa Barbara .....	61
Tabla 18 Diseño de malla de perforación tomada en distintos tiempos .....	63
Tabla 19 Tiempos y cantidad de taladros en la malla empírica.....	65
Tabla 20 Promedio de los indicadores .....	65
Tabla 21 Datos de peroración real, factor de potencia, avance real obtenido y eficiencia de voladura .....	66

Tabla 22 Indicadores reales y esperados .....	67
Tabla 23 Factor de potencia y Kg de explosivos .....	67
Tabla 24 Distancias de las discontinuidades .....	70
Tabla 25 Valoración de la masa rocosa RMR .....	71
Tabla 26 Parámetros para el cálculo de Holmberg .....	72
Tabla 27 Cálculo de diámetro de equivalente.....	73
Tabla 28 Cálculo de profundidad del taladro para una barra de 12 pies .....	74
Tabla 29 Cálculo de profundidad del taladro para una barra de 14 pies .....	75
Tabla 30 Cálculo de avance medio de desviación .....	75
Tabla 31 Cálculo del Burden Práctico .....	76
Tabla 32 Espaciamiento ajustado .....	76
Tabla 33 Densidad de carga o concentración lineal de explosivo .....	78
Tabla 34 Numero de cartuchos para el arranque .....	78
Tabla 35 Cálculo del Burden para el primer cuadrante .....	79
Tabla 36 Densidad de carga y numero de cartuchos por taladro.....	80
Tabla 37 Burden para el segundo cuadrante.....	81
Tabla 38 Densidad de carga para los taladros del segundo cuadrante.....	83
Tabla 39 Cálculo del taco .....	83
Tabla 40 Cálculo del burden para el tercer cuadrante .....	84
Tabla 41 Densidad de carga en el tercer cuadrante.....	85
Tabla 42 Numero de cartuchos por taladro.....	86
Tabla 43 Burden para los taladros de arrastre .....	87
Tabla 44 Densidad de carga en arrastre .....	88
Tabla 45 Cartuchos para el arrastre .....	89
Tabla 46 Taladros en corona.....	89
Tabla 47 Densidad de carga en Corona y numero de cartuchos.....	90

Tabla 48 Cálculo de la altura disponible. ....	91
Tabla 49 Burden para taladros de Hastiales .....	91
Tabla 50 Densidad de carga para taladros de hastiales y numero de cartuchos .....	92
Tabla 51 Altura disponible para la corona.....	93
Tabla 52 Burden práctico para los taladros en corona.....	93
Tabla 53 Densidad de carga con numero de cartuchos por taladro .....	94
Tabla 54 Resumen de factores de la malla del nuevo diseño de malla.....	95
Tabla 55 Comparación de factores de carga.....	95
Tabla 56 Parámetros de Burden y espaciamiento diseño actual.....	96
Tabla 57 Número de cartuchos por taladro Malla nueva.....	97
Tabla 58 Comparación de numero de taladros y cantidad de cartuchos en la malla antigua y malla actual .....	100
Tabla 59 Cantidad de cartuchos por zona en el frente de perforación.....	101
Tabla 60 Comparación de malla antigua versus malla actual.....	103
Tabla 61 Avance real con la nueva malla de perforación.....	104
Tabla 62 Avance obtenido usando mallas empírica vs el diseño de la nueva malla .. .....	104
Tabla 63 Kilogramos totales por malla.....	105
Tabla 64 Consumo de explosivo, y combustible.....	106
Tabla 65 Costos totales por mes y ahorro en explosivo y combustible.....	107

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Medida y cálculo del RQD (Practical Rock Engineering, Hoek, 2007). .	20
Figura 2: Resistencias medias de algunas rocas, según Bieniawski 1973. ....	21
Figura 3: Resistencia a la compresión simple en roca intacta. Según Hoek y Brown, 1997. (Salinas, 2018) .....	22
Figura 4: Espaciamiento entre juntas en el macizo rocoso .....	23
Figura 5: Condición de Juntas .....	24
Figura 6: Presencia de agua en el túnel .....	25
Figura 7: Diagrama de un frente de un túnel .....	26
Figura 8: Diferentes secciones en el interior de voladura:.....	27
Figura 9: Diseño de malla de perforación.....	28
Figura 10: Contorno de una labor luego del disparo .....	29
Figura 11: Diámetro equivalente, derivado de los diámetros de los taladros vacíos	30
Figura 12: Burden, distancia desde taladro de alivia hacia primer taladro.....	31
Figura 13: Distribución de arranque con Burden y Espaciamiento (D) .....	32
Figura 14: Espaciamiento en cada cuadrante.....	32
Figura 15: Secuencia de iniciación de voladura (Atlas Copco).....	33
Figura 16: Desviación de los taladros de contorno.....	43
Figura 17: Flujograma de Proceso .....	56
Figura 18 :Diseño de malla con 42 taladros, elaborado por el operador de Jumbo.	62
Figura 19: Análisis de distribución de carga explosiva .....	68
Figura 20: Conteo de fracturas por metro lineal. Para este caso se identificaron 8 fracturas por metro.....	69
Figura 21: Mapeo in situ. Rp Brenda.....	71
Figura 22: sección y perímetro de la labor. ....	73

Figura 23: Diseño de arranque con 4 taladros de alivio, 5 taladros de arranque.  
Fuente: Propia..... 77

Figura 24: Burden y Espaciamiento en el primer cuadrante de nuestra malla de perforación..... 80

Figura 25: Perforación con otro tipo de arranque usado en la malla de perforación actual..... 81

Figura 26: Distribución del segundo cuadrante con Burden practico 2 “Bp’2” ..... 82

Figura 27: Diseño de taladros del tercer cuadrángulo. Fuente: Elaboración Propia 85

Figura 28: Taladros de arrastres con espaciamentos de esquina y espaciamentos centrales. .... 88

Figura 29: Numero de taladros en la corona. Fuente: Elaboración propia ..... 90

Figura 30: cantidad de taladros en hastiales se considera el doble. Debido a que tenemos dos hastiales en un frente de perforación. .... 92

*Figura 31: Distribución de taladros de ayudas en la corona. Fuente: Elaboración Propia* ..... 94

Figura 32: Comparación entre el factor de carga usado anteriormente, respecto al factor de carga obtenido en malla de perforación actual. .... 96

Figura 33 Nueva malla de perforación, realizada con formulismo..... 98

Figura 34: Alalisis de distribución de carga de explosivo, utilizado con el cálculo del diseño actual de voladura. .... 99

Figura 35: Comparación entre la cantidad de taladros distribuidas con malla antigua y el nuevo diseño. .... 100

Figura 36: Comparación entre número total de distribución de taladros..... 101

Figura 37: Numero de cartuchos por cada sección de perforación, comparativa entre mallas antigua y nueva. .... 102

Figura 38: Comparación en cantidad de cartuchos totales ..... 102

Figura 39: Comparación entre el tiempo de perforación , malla antigua y malla nueva ..... 103

Figura 40: Comparación de perforación entre malla. Tiempos de perforación, número de taladros, rendimiento por hora. ....	103
Figura 41 : Avance Real y Esperado .....	104
Figura 42: Cantidad total de explosivos coma malla antigua es de 115.42kg mientras que con el nuevo diseño es de 102.9kg. Reduciendo en 12.5kg el consumo .....	105
Figura 43: Comparativa entre consumo por disparo de explosivos y consumo de combustible para el tiempo de perforación.....	106
Figura 44: Costo mensual en uso de explosivos. Utilizando malla antigua y malla actual.....	107
Figura 45: Costo mensual en uso de Combustible. Utilizando malla antigua y malla actual.....	107

## RESUMEN

En la unidad minera Santa Barbara se lleva a cabo un proyecto de desarrollo de una Rampa, donde se trabaja en un tipo de roca regular III (granodiorita y pizarra). La principal problemática para este desarrollo se centra en el avance, el cual ha tenido retrasos, debido la perforación y voladura. El objetivo de esta tesis es diseñar un esquema de malla de perforación para mejorar el avance en la Rampa Brenda. Este estudio tiene como tipo de investigación cuantitativo, ya que se recolectan datos mediante mediciones. Como efecto del diseño de la nueva malla se ha obtenido una disminución del número de taladros en comparación con la malla antigua, reduciendo de 42 a 37 taladros. Por ende, la cantidad de explosivo y el tiempo de perforación disminuyeron. Asimismo, se optimizó el número de cartuchos por taladros pasando de usar 277 a 247 cartuchos de explosivo. En conclusión, el nuevo diseño de malla permite disminuir el factor de carga de  $1.9\text{kg/m}^3$  a  $1.63\text{kg/m}^3$ . Igualmente, la eficiencia de avance pasó de 87.33% a 96.72%. Igualmente, los costos de combustible para perforación disminuyeron de S/.66,690, a S/.38070 y los costos de voladura bajaron de S/.69,250 a S/.61,750 permitiendo una disminución del 10.83%.

**PALABRAS CLAVES:** Perforación, diseño de malla de perforación, explosivos, voladura, Burden, Espaciamiento, Densidad de Carga.

## **NOTA**

El contenido de la investigación no se encuentra disponible en **acceso abierto**, por determinación de los propios autores amparados en el Texto Integrado del Reglamento RENATI, artículo 12.

## REFERENCIA

- Andres Saucedo Linares Romel Andy, & Zegarra Chavez Asesor, G. (2022). Diseño y aplicación de una nueva malla de perforación y voladura para optimizar los costos en una unidad minera de La Libertad – 2021. En *Universidad Privada del Norte*.  
<https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/31044>
- Bernaola Alonso, J., Castilla Gómez, J., & Herrera Herbert, J. (2013). Perforación y voladura de rocas en minería. En *Perforación y voladura de rocas en minería*. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas y Energía.  
<https://doi.org/10.20868/upm.book.21848>
- Bernaola Chávez Horinson Gilvert. (2012). *GESTION DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL EN MINERIA SUBTERRANEA*.
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering Rock Mass Classifications\_ A Complete Manual for Engineers and Geologists in Mining, Civil, and Petroleum Engineering*.
- Cabrera Huamaní, M. (2016). “Optimización de estándares de perforación y voladura para mejorar el factor de avance en la mina Santander - Cía. Minera Trevali Perú S.A.C.” En *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*.  
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/2210>
- Cconislla Huamani, E., & Villagomez Arenas, W. J. (2012). *Diseño de malla de perforación y voladura en el by pass 976 - e, aplicando el modelo matemático: áreas de influencia, en la unidad minera San Genaro - Castrovirreyna compañía minera s.a. 2012* [Universidad Nacional de Huancavelica].  
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/588>

- Cerna Ibañez, Y. O. (2022). Reducción de la sobrerotura mediante la perforación y voladura controlada en la profundización de la rampa 210 mina Coturcan – 2022. En *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*.  
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/5432>
- ChancasanampaGomez Wilber. (2019). Diseño de la malla de perforación y voladura para incrementar la productividad de tajeos en la Compañía Minera Great Panther Coricancha S.A. *Universidad Nacional del Centro del Perú*.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5431>
- Chilon Huaman, J. A., & Morillo Gil, R. P. (2019). Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el diseño del sostenimiento de la rampa Karent de la unidad minera María Antonieta - La Libertad [Universidad Privada del Norte]. En *Universidad Privada del Norte*. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/22307>
- Cóndor Araujo, J. E. (2020). *Modelo de voladura controlada para mejorar estabilidad de rampa 3293 en Nivel 2100 Veta Milagros - Mina Parcoy - 2019* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6756>
- Correa Arroyave, Á., & Rueda Fonseca, J. E. (2021). RMR y tipo de explosivo: incidencia en las voladuras subterráneas. *BISTUA REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS BASICAS*, 19(1), 41-50. <https://doi.org/10.24054/01204211.v1.n1.2021.959>
- Cruz Lucano, J. E., & Tovar Huamán, J. L. (2015). Pérdidas en perforación y voladura en la rampa Carmen, nivel 125 de la unidad Chungar de Compañía Minera Volcan S.A.A. [Universidad Nacional del Centro del Perú]. En *Universidad Nacional del Centro del Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3847>

- Cuellar Gonzales, J. L., & Valverde Camero, E. (2022). Optimización de los Índices de Perforación y Voladura en el Avance de la Rampa Patrick IV para la Reducción de Costos Operacionales, en la U.M. San Andrés CIA. Minera Marsa 2021 [Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac]. En *Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac*. <http://repositorio.unamba.edu.pe/handle/UNAMBA/1187>
- Davila Candiotti Miguel Angel. (2021). *Optimización del número de taladros mediante la implementación de malla de perforación y voladura en la rampa 440 – Mina Macdesa* [Universidad Continental]. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8723>
- Espinoza Egoavil, C. I. (2021). Mejoramiento de la malla de perforación para reducir costos de voladura, en la zona intermedia del cuerpo Mery de la Compañía Minera Alpayana S.A. En *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2316>
- Gomez Gaspar, D. A. (2020). «Optimización de las operaciones mineras mediante la profundización de la rampa mascota del nivel 1170 al 1220 sociedad minera corona S.A.» <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6835>
- Lopez Jimeno, C., Lopez Jimeno, E., Pernia Llera Jose Maria, & Ortiz de Urbina, F. P. (2003). *Manual de Perforación y Voladura de Rocas* (IGME).
- Marin Mallqui, J. (2021). *Perforación y voladura controlada para mejorar avance y sobrerotura en profundización de Rampa Patrick V - Minera Aurífera Retamas S.A.* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. oai:repositorio.uncp.edu.pe:20.500.12894/6939
- Méndez Barzola, M. R. (2019). «Mejoramiento de la perforación y voladura en la construcción de la rampa 2705 de la unidad minera Parcoy Consorcio Minero Horizonte

- S.A» [Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga]. En *Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga*. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3542>
- Mendoza Muñoz, N. (2014). Optimización de la voladura controlada aplicando un modelo matemático en la unidad minera Paraiso-Ecuador. En *Universidad Nacional del centro del Perú*. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1339>
- Morales Garcia. Alisson Katuska. (2020). Diseño de malla de perforación y voladura para optimizar el avance en la rampa negativa 940 de Sociedad Minera Austria Duvaz S. A. C. [Universidad Continental]. En *Universidad Continental*. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/8429>
- Osorio Yupanqui, M. (2021). Diseño de malla de perforación y voladura en la construcción del Bypass 4250 de la Empresa Administradora Chungar S.A.C [Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión]. En *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*. <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2223>
- Portal Minero Ediciones. (2006). *Manual General de Minería y Metalurgia: Vol. I* (Primera Edición). [www.portalminero.com](http://www.portalminero.com)
- Quezada Jacobo, W. U. (2017). Optimización De Perforación Y Voladura Aplicando El Modelo Matemático De Roger Holmberg En Frentes De 3.5m\*3m En Roca Tipo II Veta Papagayo. Mina Poderosa. 2017 [Universidad Nacional de Trujillo]. En *Universidad Nacional de Trujillo*. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/10020>
- Ramírez Malca Wan Seyni, & Sandoval Rivera Juan Roberto. (2020). EVALUACIÓN TÉCNICA DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA REDUCIR COSTOS OPERATIVOS DE UNA MINA SUBTERRÁNEA EN CAJAMARCA – 2020. *Universidad Privada del Norte*. <https://hdl.handle.net/11537/24115>

Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004b). *Mecánica de Rocas: Fundamentos e Ingeniería de Taludes*.

Roger Holmberg, Per-Anders Persson, & Jaimin Lee. (1993). *Rock Blasting and Explosives Engineering*.

[https://books.google.com.pe/books?id=sdLO5HESJwgC&printsec=frontcover&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=sdLO5HESJwgC&printsec=frontcover&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. (6ta ed.). Interamericana editores. S.A.

Palacios Berrospi, L., B., (2019). Diseño de malla de perforación - voladura y extracción de rocas para escolleras - cantera Christopher - Carabayllo - 2019.  
[https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5653/T010\\_44379651\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/5653/T010_44379651_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Romero Cadillo, N. S. (2018). Optimización de la perforación y voladura para minimizar costos en la construcción de la rampa (-) 4640 de la mina Pallca, compañía minera Santa Luisa S.A.C. - 2018 [Universidad Nacional Antúnes de Mayolo]. En *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*.  
<http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/3312>

Salinas Riveros, E. (2018). *Análisis-de-propiedades-geotécnicas-de-algunas-rocas-comunes-en-Chile*.

Calderón Navarro M., A., (2015) “Optimización de las prácticas de perforación y voladura en el avance y producción de la minería de mediana escala (UNIDAD MINERA MACDESA)”

Sulcacondor Misarayme, J. (2018). *Optimización de operaciones unitarias de perforación y voladura mediante voladura controlada en labores horizontales en la CIA Minera Poderosa S.A.* [Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga].  
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3264>

Torres Sandoval, M. J., & Zavaleta Mariños, W. W. (2016). “ventaja del corte cilíndrico sobre el corte quemado, para el avance lineal en la cortada NW de sección 8’x8’, en roca estructural tipo II, en la mina Charito del proyecto de la compañía minera poderosa S.A.”.

Vega Gonzáles, F. H. (2021). Implementación del diseño de perforación y voladura para optimizar los parámetros de avance en galerías del nivel 3990 de la mina Uchucchacua – 2019. *Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión*.  
<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2335>

Williams-Jones, A. E., & Heinrich, C. A. (2005). 100th Anniversary Special Paper: Vapor Transport of Metals and the Formation of Magmatic-Hydrothermal Ore Deposits. *Economic Geology*, *100*(7), 1287-1312.  
<https://doi.org/10.2113/GSECONGEO.100.7.1287>

Ramírez Oyanguren, P., & Alejano Monge, L. (2004a). *Mecánica de rocas: Fundamentos e ingeniería de taludes*.