



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

EVALUACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA LA MEJORA DE PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autores:

Sonia Emperatriz Rengifo Lopez
Edilberto Coquito, Bibiano Fernandez

Asesor:

Mg.Ing. César Pol, Arevalo Aranda

Trujillo - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



El Asesor Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda, docente de la Universidad Privada del Norte, facultad de INGENIERÍA DE MINAS, carrera profesional de Ing. Minas, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación, desarrollo, revisión de fondo y forma (cumplimiento del estilo APA y ortografía) y verificación en programa de antiplagio del Trabajo de Elijia un elemento. del o los estudiantes(s)/egresado (s):

- EDILBERTO COQUITO BIBIANO FERNANDEZ
(Nombre completo de estudiante o egresado)
- SONIA EMPERATRIZ RENGIFO LOPEZ
(Nombre completo de estudiante o egresado)

Por cuanto, **CONSIDERA** que el Trabajo de Elijia un elemento. titulado EVALUACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA LA MEJORA DE PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA.

para optar al grado de bachiller por la Universidad Priva del Norte, reúne las condiciones adecuadas en forma y fondo, por lo cual, **AUTORIZA** su presentación.

Con respecto al uso de la información de la empresa; el Asesor declara, según los criterios definidos por la universidad, lo siguiente:

- () Este trabajo Requiere la autorización de uso de información la empresa.
- () Este trabajo No requiere autorización de uso de información.

TRUJILLO, 17 de 04 del 2019
(Lugar) (día) (mes) (año)

Ing./Lic./Mg./Dr Mg. Ing. César Pol Arévalo Aranda
Asesor (Nombre completo del Asesor)

CÓDIGO DE DOCUMENTO	COR-F-REC-VAC-05.06	NÚMERO VERSIÓN	02	PÁGINA	Página 1 de 1
FECHA DE VIGENCIA	11/04/2019				

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN



El Director/Coordinador Danny Zelada Mosquera, de la carrera de Ing. de Minas de la Universidad Privada del Norte, ha procedido a realizar la evaluación del Trabajo de Elija un elemento. del (o los) estudiante (s)/egresado (s):

- EDILBERTO COQUI TO BIBIANO FERNANDEZ
(Nombre completo de estudiante o egresado)
- SONIA EMPERATTO RENGIFO LOPEZ
(Nombre completo de estudiante o egresado)

Para aspirar al grado de bachiller con el Trabajo de Elija un elemento. titulado "EVALUACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA LA MEJORA DE PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA."

Luego de la revisión, en forma y contenido, del Trabajo de Elija un elemento. expresa el siguiente resultado:

- Aprobado
 - Calificativo:
 - () Excelente: De 20 a 18.
 - () Sobresaliente: De 17 a 15.
 - (X) Bueno: De 14 a 13.
 - () Aprobado: 12.

Desaprobado

Tajico, 17 de 04 del 2019
(Lugar), (día) (mes) (año)

Ing./Lic. Danny Zelada Mosquera
UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C.
Director/Coordinador de Carrera

CÓDIGO DE DOCUMENTO	COR-F-REC-VAC-05.09	NÚMERO VERSIÓN	02	PÁGINA	Página 1 de 1
FECHA DE VIGENCIA	11/04/2019				

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El asesor Mg. Ing. Cesar Pol, Arévalo Aranda , docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de Ingeniería de Minas, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo de la investigación del (los) estudiante(s):

- Rengifo Lopez Sonia Emperatriz
- Bibiano Fernandez, Edilberto Coquito

Por cuanto, **CONSIDERA** que el trabajo de investigación titulado: Evaluación de Perforación y Voladura para la mejora de Producción en Minería Subterránea para aspirar al grado de bachiller por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al(los) interesado(s) para su presentación.

Trujillo, 17 de julio de 2018

Mg. Ing. César Arévalo Aranda

Asesor

ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El Sr(a) *Ing. Danny Zelada Mosquera* , ha procedido a realizar la evaluación del trabajo de investigación del (los) estudiante(s): *Bibiano Fernandez, Edilberto Coquito; Sonia Emperatriz Rengifo Lopez* para aspirar al grado de bachiller con el trabajo de investigación: Evaluación de Perforación y Voladura para la mejora de Producción en Minería Subterránea.

Luego de la revisión del trabajo en forma y contenido expresa:

Aprobado

Calificativo: Excelente [20 - 18]

Sobresaliente [17 - 15]

Bueno [14 - 13]

Desaprobado

Mg. Ing. César Arévalo Aranda
Evaluador

DEDICATORIA

A Dios, por darnos salud, fortaleza y sabiduría, además por permitirnos lograr nuestros objetivos, también a nuestros padres y hermanos por brindarnos su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de nuestras vidas.

AGRADECIMIENTO

A la universidad Privada del Norte, quien hizo posible nuestra formación académica.
A nuestro asesor César Arevalo Aranda, quien nos brindó su apoyo y asesoramiento en todo momento. A la plana docente de la facultad de ingeniería de minas quienes compartieron sus conocimientos y nos dieron los instrumentos para poder triunfar.

Tabla de contenido

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	4
ACTA DE EVALUACIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN	5
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTO	7
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
RESUMEN	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO III: RESULTADOS	18
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	29
REFERENCIAS	31
ANEXOS	32

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 ProQuest en Ingles.....	16
Tabla 2 ProQuest en Castellano.....	17
Tabla 3 E- Libro Catedra	17
Tabla 4 Gooole Académico	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Proceso de Resultados.....	19
Figura 2 Patrón de Perforación y Secuencia de Ignición.....	23
Figura 3 Ciclo de Minado.....	24
Figura 4 Representación Gráfica de Perforación y Voladura	25
Figura 5 Trasmisión y Reflexión de las ondas de detonación en una Interfaz entre dos Medios	27
Figura 6 Cadena Productiva	28

RESUMEN

Se analizó el tema de Evaluación de Perforación y Voladura para la mejora de Producción en Minería Subterránea, con el objetivo de analizar la calidad del macizo rocoso y los métodos de perforación y voladura para obtener una buena fragmentación y desplazamiento de esta manera contribuir con el acarreo y transporte para una producción eficiente, teniendo en cuenta que no afecte parte de la estructura. Se realizó una revisión sistemática de la literatura científica ProQuest, e-libro entre los años 1987- 2018, mediante indicadores como el año que fueron publicados, idioma, metodología empleada, tipo de muestra, contenido de la información, temática, índice de autores, filiación de la institución y productividad por país. Por medio de la técnica de selección bibliográfica mediante un filtro, con el uso de una estrategia de búsqueda estrictamente definida, la muestra estuvo conformada por 29 artículos y 2 tesis. En los resultados se observó información específica sobre la elaboración científica y sus contenidos positivos y negativos por ello se consideró el artículo de manual de perforación y voladura del año 1987 por contener información relevante referente al tema, que es imprescindible para la mejora de perforación y voladura que contribuye con la productividad en el desarrollo de la minería subterránea.

PALABRAS CLAVES EN INGLES: Rock, Drilling and Blasting

PALABRAS CLAVES: Roca, Perforación y Voladura

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad la perforación y voladura es un procedimiento aplicado en las labores mineras, en este caso subterránea, el cual consiste en hacer orificios en el macizo rocoso con la finalidad de realizar la carga de explosivos, por consiguiente, su detonación se propaga mediante la energía suficiente para la fragmentación del macizo rocoso a explotar.

En perforación y voladura se evalúa las características físicas, químicas y mecánicas, así como también la estratigrafía y los rasgos estructurales del macizo rocoso, su importancia regulariza los tiempos de retardo, la geometría y el consumo específico de la voladura.

La perforación es la primera actividad que se realiza mediante barrenos, casi en la totalidad de los casos, en masas rocosas.

Por lo que es interesante antes de iniciar una obra conocer los diferentes tipos de materiales que se presentan y sus propiedades básicas. Estas características de las rocas dependen en gran medida de su origen. (Pernia, 1987)

En minería la optimización se lleva a cabo mediante la evaluación y análisis de cada una de las operaciones unitarias necesarias para la extracción del recurso mineral de interés, una de estas, es la operación de perforación y voladura, la cual es uno de los métodos de arranque de material más utilizado, ya que permite obtener mayor cantidad de material arrancado en un tiempo más corto. (Dias, 2012)

La fragmentación de la roca de voladura es de gran importancia en una operación de minería de roca dura porque afecta directamente el costo de los procesos de rotura de rocas,

incluyendo voladura, aplastamiento y molienda. Una fragmentación explosiva mal controlada podría disminuir la productividad de la minería procesar y aumentar los costos de producción debido a la voladura secundaria (o aplastamiento) o al excesivo buena producción. (Park, 2016).

Singh (1998), definió la desviación de barrenos como la diferencia entre la localización planeada de la ubicación del barreno y el destino final del barreno.

Para la minería de roca dura típica, el proceso de reducción de tamaño llamado trituración es importante para producir un material deseado y la gestión del consumo de energía. En industria minera, el proceso de trituración incluye un proceso de voladura, trituración y molienda. El principal objetivo de la voladura es reducir el tamaño de partícula para facilitar el transporte, y el objetivo de trituración y molienda es liberar el mineral del mineral de ganga al aumentar las posibilidades de separarse unos a otros. (Park, 2016)

La mejor forma de seguir el proceso de perforación es monitorear dichos parámetros de operación, que después de su preprocesamiento pueden identificar operaciones parciales de ciclos de perforación y brindar información sobre: la adecuación del rendimiento de los parámetros de perforación (longitud, cantidad, geometría), cambios de rostros de minería, condiciones geológicas, irregularidades y sus causas, etc. (Pawel, 2016)

Aunque el comportamiento de un macizo rocoso es muy impredecible y complejo, este puede ser simplificado con la utilización de modelos geomecánicos, por ejemplo, el índice de esfuerzo geológico (GSI), que da una clasificación de la roca bastante acertada según su calidad. (Ortega, 2016).

Con el fin de obtener un buen alcance en la estructuración de la malla de perforación para cada tipo de roca.

¿Qué parámetros se debe considerar en perforación y voladura para que la producción sea eficiente en minería subterránea?

Con el objetivo de analizar la calidad del macizo rocoso y los métodos de perforación y voladura para obtener una buena fragmentación y desplazamiento de esta manera contribuir con el acarreo y transporte para una producción eficiente, teniendo en cuenta que no afecte parte de la estructura.

Para que la voladura sea la adecuada y se pueda lograr el objetivo se debe tener en cuenta el correcto diseño y control de un buen confinamiento, cantidad y distribución de energía.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El presente trabajo consiste en un estudio de revisión sistemática, de la literatura científica de la base de datos multidisciplinaria ProQuest y e - libro, mediante las palabras claves que son Roca, Perforación y Voladura, así mismo se utilizaron las palabras claves en ingles Rock, Drilling y Blasting, para ampliar una mejor información con el tema propuesto en la “**Evaluación de perforación y voladura para la mejora de producción en minería subterránea**”.

Para la investigación sistemática se considera la siguiente pregunta:

¿Qué parámetros se debe tener en cuenta en perforación y voladura para que la producción sea eficiente en minería subterránea?

Criterios de selección

La selección y exclusión de documentos se realizó mediante la base de datos de revistas Científicas publicados en ProQuest entre los años (2004 -2018), artículos en ProQuest en el idioma inglés entre los años (2016 – 2018) y e - libro entre los años (1987 – 2006) en el idioma español e inglés, estos artículos fueron publicados en diferentes países como son: Miami, Caracas, Bogotá, Kuching, Panamá City, Barcelona, San Francisco, Cairo, New York, entre otros, los articulo considerados entre los años (1987 – 2006)que se seleccionaron por contener información importante estos fueron publicados en España y ecuador, fueron tomados de la base de datos e- libro

En la búsqueda se encontraron 38 artículos de la revista científica ProQuest de los cuales se consideraron 19; en la revista científica e – libro, se obtuvo 11 artículos de los cuales solo se consideraron 3 en la tabla de datos, los demás no contienen información específica para esta investigación. Además, se tomó en cuenta 3 artículos de google académico,

Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas

Tabla 1 ProQuest en Ingles

1	Title	Authors	companies	language	placeOfPubl	pubdate	pubtitle	URL	Database
2	Determine the potential drill utilization improvements	Dill, KevinDillKevinDill, Kevin		English		2016	ProQuest Dissertatio		SciTech Premium Collection
3	Estimation of Rock Comminution Characteristics Usi	Park, JunhyeokParkJunhyeokPark		English		2016	ProQuest Dissertatio		SciTech Premium Collection
4	Vibration Reduction Mechanism and Experiment of S	Zou, XinkuanXinkuanXinkuan ZouZ		English	Irbid	2016	Jordan Journal of Civi		SciTech Premium Collection
5	A brief history of the development of blasting and the	Kirsanov, AKA K KirsanovKirsanov		English	Malang	2016	Journal of Degraded &		ProQuest Central, SciTech Premium Collection
6	THE MULTIVARIATE ANALYSIS OF MONITORING &	Stefaniak, PawelStefaniakPawelK		English	Sofia	2016	International Multidis		SciTech Premium Collection
7	Measurement-while-drilling technique and its scope ii	Raia, PiyushPiyushPiyush RaiaRa		English		July 1, 2016	Internatioi	http://www	SciTech Premium Collection
8	Rock Solid Solutions Corporation		Rock Solid	English	Boca Raton	Dec 2016	Netwise Manufacturin		ProQuest Central
9	Drilling Blasting Rock Specs		Drilling Bla	English	Boca Raton	Dec 2016	Netwise Manufacturin		ProQuest Central
10	Water-Depth-Based Prediction Formula for the Blasti	Gu, WenbinGuWenbin0000-0002-3		English	Cairo	2017	Shock and Vibration		SciTech Premium Collection
11	Optimization of Drilling Layouts Based on Controlled	Xie, ZhichengZhichengZhicheng Xie		English	Basel	2017	Energies		SciTech Premium Collection
12	Experimental Study of Bilinear Initiating System Bas	Miao, YusongMiaoYusong0000-000		English	Cairo	2017	Shock and Vibration		SciTech Premium Collection
13	Application of Confined Blasting in Water-Filled Deep	Yang, JingxuanJingxuanJingxuan Y		English	Basel	2017	Energies		SciTech Premium Collection
14	Determination of Seismic Safety Zones during the Su	Malbasic, VladimirVladimirVladimi		English	Basel	2018	Minerals		ProQuest Central, SciTech Premium Collection
15	Numerical Investigation of Influences of Drilling Arran	Tong-bin, ZhaoState Key Laborator		English	New York	2018	Advances in Civil En		ProQuest Central, SciTech Premium Collection
16	The influence of drilling process automation on impro	Bodlak, MaciejMaciejMaciej Bodla		English	Les Ulis	2018	E3S Web of Conferen		SciTech Premium Collection
17	Excavation Method of Reducing Blasting Vibration in	Xie, LixiangState Key Laboratory fi		English	Cairo	2018	Shock and Vibration		SciTech Premium Collection
18	Optimization of the Excavator-and-Dump Truck Comp	Demirel, NurayNurayNuray Demire		English	Les Ulis	2018	E3S Web of Conferen		SciTech Premium Collection
19	A Vibration-Isolating Blast Technique with Shock-Ref	Hu, HaoranState Key Laboratory o		English	Cairo	2018	Shock and Vibration		SciTech Premium Collection
20	Modified Q-index for prediction of rock mass quality	Ji, FengState Key Laboratory of Gi		English	Heidelberg	Jun 2018	Bulletin of Engineerin		SciTech Premium Collection
21	Permeability enhancement of deep hole pre-splitting	Ti, ZhengyiZhengyiZhe China Univ		English	San Francisc	Jun 2018	PLoS One	Methane , Coal , Permeability , Radii ,	ProQuest Central, SciTech

Nota: de los 20 artículos obtenidos en ingles solo se consideraron 13 por contener información del estudio realizado.

Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas

Tabla 2 ProQuest en Castellano

1	Title	Abstract	Authors	placeOfPubl	pubdate
2	Avanza edificación de central hidroeléctrica por constructora Odebrecht;	Asi mismo, Jose Martins Brandao, gerente de in		Miami	May 6, 2004
3	Comienza la construcción del túnel de La Línea en departamento del Tolima; [So	Con la primera voladura de roca en la cordillera c		Miami	Jan 13, 2005
4	En 2008 estará listo central hidroeléctrico Yacambú	La obra Proyecto Yacambi	Camacho, LarryLarry	Caracas	Oct 16, 2005
5	ANÁLISIS DE EXCAVACIONES EN LA MINA SUBTERRÁNEA EL TORO POR N	En la mina subterránea E	Castro C, Álvaro JÁlv	Bogota	2007
6	EXTRACCION SELECTIVA EN MINERIA AURIFERA	En la mina La Independe	ANDRÉS FELIPE RC	Bogota	2009
7	Fomento de Construcciones y Contratas, S.A. - Annual Report, 2012	This Annual Report covers Fomento de Construci		Kuching	2012
8	ANÁLISIS Y DISEÑO DE LA OPERACION DE PERFORACION Y VOLADURAS	En este artículo se prese	JOVANI ALBERTO JI	Bogota	2012
9	Tipos de minería			Bogotá	Aug 21, 2012
10	Fomento de Construcciones y Contratas, S.A. - Annual Report, 2013	This Annual Report covers Fomento de Construci		Kuching	2013
11	Desaparece un cerro para agrandar el Canal		jtason@laestrella.com	Panama City	Jun 14, 2016
12	Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del índice de esfu	Having proper rock mass	Camilo Andres Orteg	Bogota	2016
13	Método iCOM: compensación optimizada de masas en obras lineales	Earthworks represents one	Villar, YYY VillarVill	Barcelona	2017
14	Improvement of the breakage through the drilling deviations control, case "El Robl	In the unitary operation of	Rincón-Durán, Juan C	Bogota	2017
15	Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formac	From the XX century, vario	Fernández-Gutiérrez,	Barcelona	2017
16	Comparative study among rock mass classification systems in a Porphyry depos	The Porphyry deposits are	Santiago Perez Rodrí	Bogota	2018
17	Nueva metodología empírica para la estimación del desgaste de los cortadores d	The aim of this article is to	Lain, CCC LainLainC	Barcelona	2018
18	El segundo túnel de Occidente, en la vía 4G Mar 1, ya inició trabajos			Miami	Feb 20, 2018
19	El segundo túnel de Occidente, en la vía 4G Mar 1, ya inició trabajos			Bogotá	Feb 20, 2018

Nota: de los 18 artículos obtenidos en castellano solo se consideraron 6 por contener información del estudio realizado

Artículos incluidos en la revisión según las palabras clave utilizadas

Tabla 3 E- Libro Catedra

TITULO	EDITORIAL	AUTOR	FECHA	RESUMEN
Manual de perforación y voladura	Instituto geológico y minero de España	José María Permía Llera	1/01/1987	Métodos de mallas, y tipos de brocas y explosivos para la mejora en perforación y voladura
Análisis técnico económico –de la perforación de pozos direccionales en el campo Shushufindi	B- Universidad central de Ecuador	Jenny Marianela Jara Jaramillo	1/01/2009	Optimizar la eficiencia técnico económico de la perforación del pozo en estudio, complementando un estudio comparativo.
Optimización de parámetros de voladura sobre los estratos de manto 30 y 45 en la mina Santa Cruz	Fundación Universidad del Área Andina	Wilson José Cuadro Flores	1/01/2006	Reducir los costos de la voladura

Nota: De los 11 artículos encontrados solo se consideraron 3 en la tabla por contener información importante referente al tema de estudio

Tabla 4 Google Académico

TEMA	PAIS	AUTOR	FECHA	RESUMEN
reducción de los costos operativos en mina, mediante la optimización de los estándares de las operaciones unitarias de perforación y voladura	Lima	Jauregui Aquino, Oscar Alberto	14/07/2009	Exponer la factibilidad de la producción de los costos operativos en una empresa minera, aplicando para ello estándares óptimos de trabajo en las principales operaciones unitarias de minado de perforación y voladura
optimización de procesos de perforación y voladura en las labores de desarrollo, para mejorar la eficiencia en la compañía minera poderosa S.A	Lima - Trujillo	Palomino Vidal, Henry Alexander	8/07/1905	está dirigido a las operaciones mineras de perforación y voladura que se realizan en la unidad de producción.
Manual Práctico de voladura		Exsa		

CAPÍTULO III. RESULTADOS

La búsqueda de artículos en las bases de datos de e –libro y ProQuest arrojó un total de 49 artículos originales en el periodo de tiempo de 1987-2018 y distribuidos así e- libro 11 artículos, ProQuest 38 en el idioma inglés y castellano A partir de este número total fueron eliminados 27 para un valor total de 22 artículos originales. Posteriormente, se agregaron 3 artículos más que pertenecen a tesis y Exsa para la presentación de resultados obteniendo finalmente 25 artículos seleccionados se procedió a la identificación de la revisión sistemática de los diferentes países presentados en las tablas 1, 2, 3 y 4 en los 25 artículos se analizaron los conceptos de clasificación de las rocas, perforación, voladura, proceso de detonación de un explosivo, ciclo de minado optimización para reducir costos en producción.



Figura 1 Proceso de Resultados

SISTEMA RMR DE BIENIAWSKI Y SISTEMA Q DE BARTON Y CORRELACIONES

Sistema RMR

Este sistema fue propuesto inicialmente por Bieniawski en 1973 se trata de un índice que evalúa la competencia del macizo rocoso basándose en 6 parámetros.

- Resistencia de la roca intacta.
- Rock quality designation (RQD).
- Estado de las juntas (Js).
- Agua subterránea.
- Corrección por la orientación de las discontinuidades.

Para cada uno de los 6 parámetros se presentan 5 v alores en función de las condiciones de esos parámetros. El valor de RMR se obtiene como suma de los valores asignados a los parámetros señalados, oscilando el valor linealmente entre 0 y 100, siendo mayor cuanto mejor es la roca. (Fernandez, 2017)

SISTEMA Q

El sistema Q, fue desarrollado por Bartón, también utiliza 6 parámetros para estimar el comportamiento del macizo rocoso:

- Rock Quality Design (RQD)
- Número de familias o juntas en las discontinuidades (Jn).
- Rugosidad de las juntas (Ja)
- Presencia de agua (Jw).
- Estado tensional de la roca, stress Reduction factor (SRF).

el sistema especifica la valoración de cada uno de los parámetros y el valor Q es calculado mediante la ecuación:

$$Q = (RQD / J_n) \cdot (J_r / J_a) \cdot (J_w / SRF).$$

CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS POR SU ORIGEN

Rocas ígneas. Las rocas ígneas son las que se formaron por solidificación del magma, mezcla de materiales pétreos y de gases disueltos, denominado magma.

Rocas metamórficas. Están formadas por transformaciones de los componentes mineralógicos de otras rocas preexistentes

Rocas sedimentarias. Se forman por la acumulación de restos o detritus de otras rocas preexistentes, por la precipitación química de minerales.

LA PERFORACIÓN DE ROCAS

La perforación de rocas es la primera operación en la preparación de una voladura. Su propósito es el de abrir en la roca huecos cilíndricos destinados a alojar al explosivo y sus accesorios iniciadores, denominados taladros, barrenos hoyos o blast holes.

Esta operación es necesaria para lograr el confinamiento del explosivo y aprovechar mejor las ondas expansivas. Se basa en principios mecánicos de percusión y rotación, cuyos efectos de golpes y fricción producen el astillamiento y trituración de la roca en un área equivalente al diámetro de la roca y hasta una profundidad dada por la longitud del barreno utilizado. la eficiencia en perforación consiste en lograr la máxima penetración al menos costo. (Dias, 2012)

Perforación Optima

Se dice que una operación es óptima cuando cumple los estándares de las operaciones unitarias de perforación, logrando de esta manera conseguir un avance eficiente en cuanto a metros lineales; metro perforado es igual a metro avanzado.

Los estándares de perforación son los siguientes:

paralelismo de taladros mantener el burden uniforme en toda longitud del taladro para alcanzar un fracturamiento adecuado y a la vez un avance eficiente. Los espaciamientos regular entre taladros propicia una fragmentación casi uniforme y esto evita que el disparo se sople la igualdad en longitud de los taladros nos permite alcanzar el avance esperado especialmente si los taladros llegan alcanzar la misma profundidad en el macizo rocoso. Distribución adecuada en el diámetro por números de taladros de alivio esto produce que se tenga una adecuada cara libre dando, así como resultado una perforación y voladura optima y eficiente. (Palomino, 1905).

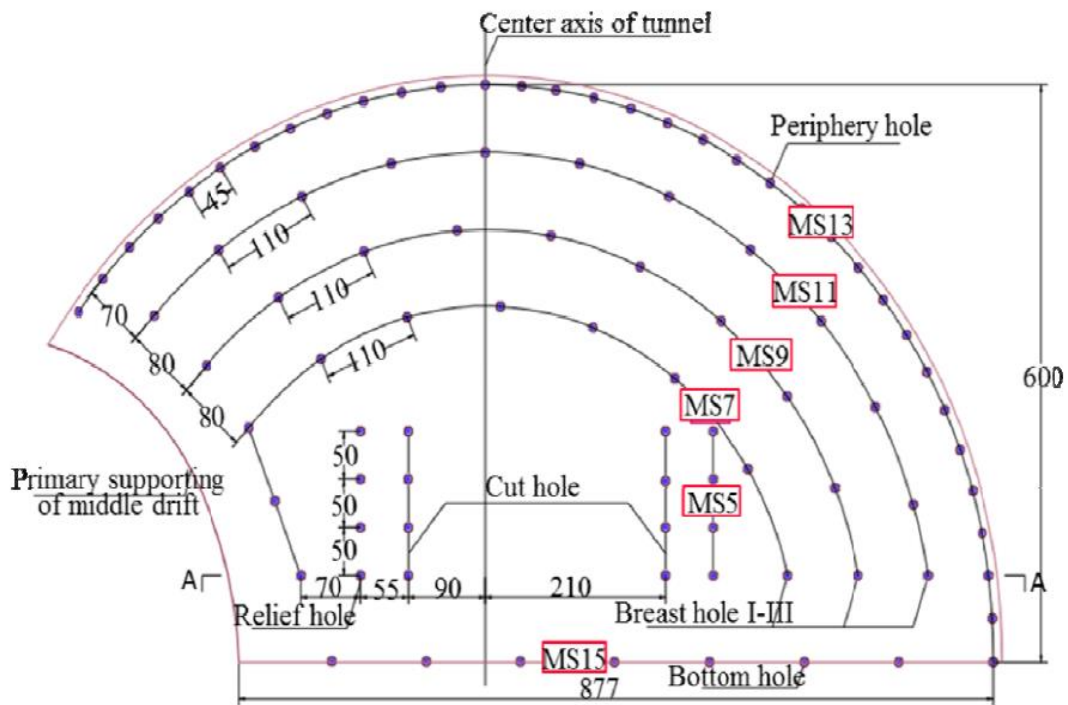


Figura 2 Patrón de Perforación y Secuencia de Ignición

Patrón de Retardo

La secuencia de retardo (secuenciación) consiste en detonar los taladros en secuencias de tiempo predeterminados. Para obtener una secuencia de retardo se utilizan detonadores no eléctricos, o cordón detonante y retardos superficiales. Los patrones de retardos más utilizados son: retardo por fila, retardo por columna y retardo escalonado. (Gaona, 2015).

DIAGNOSTICO DEL PROCESO DE PERFORACIÓN Y VOLADURA

La perforación tiene como entrada la operación de limpieza y como salida para el proceso de voladura, entonces tenemos que ver no solo la operación de perforación, sino también ver los efectos que hay en la operación de voladura y así mismo como le afecta el proceso de limpieza a la perforación.

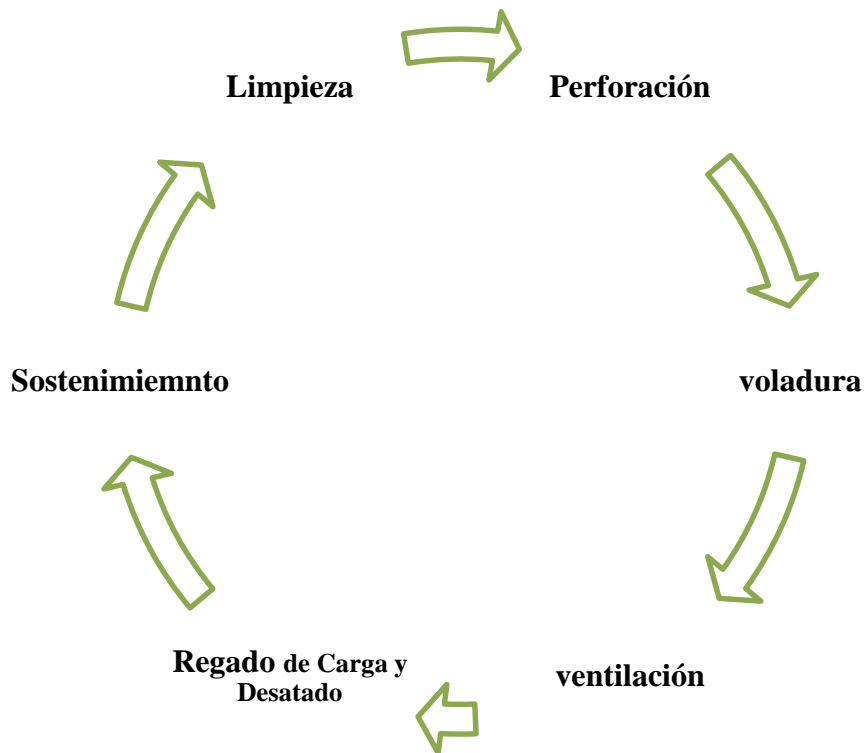


Figura 3 *Ciclo de Minado*

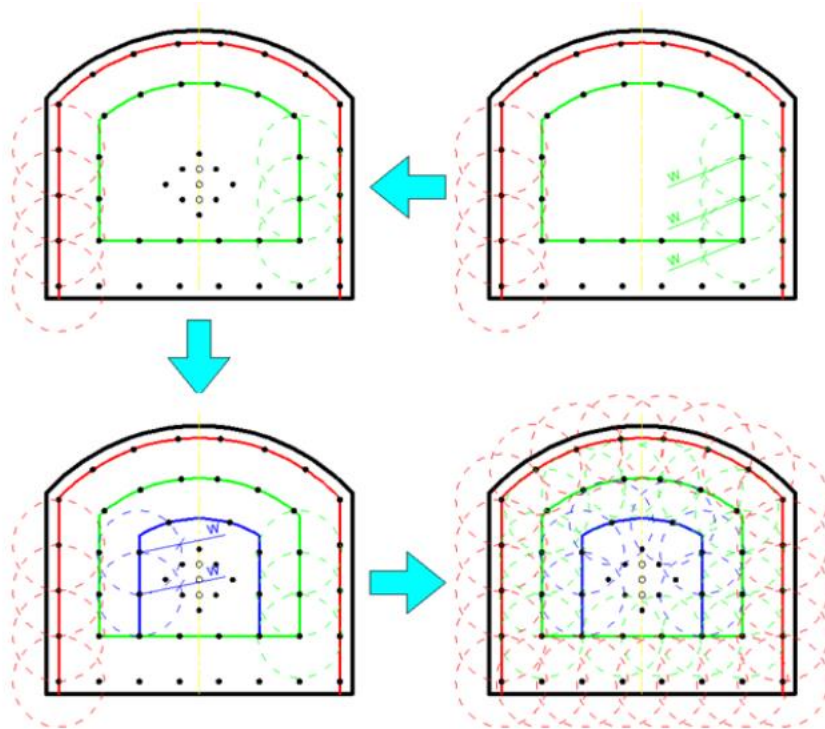


Figura 4 *Representación Gráfica de Perforación y Voladura*

MÉTODOS DE PERFORACIÓN

Métodos rotopercutivos. Son los más utilizados en casi todos los tipos de roca, tanto si el martillo se sitúa en cabeza como en el fondo del barreno.

Métodos rotativos. Se subdividen a la vez en dos grupos, según que la penetración se realice por trituración, empleando triconos, o por corte utilizando brocas especiales. El primer sistema se aplica en rocas de dureza media a alta y el segundo en rocas blandas. (Pernia, 1987)

PROCESO DE DETONACION DE UN EXPLOSIVO

Consiste en la propagación de una reacción química que se mueve a través del explosivo a una velocidad superior a la del sonido en dicho material, transformando a este en nuevas especies químicas, la característica básica de estas reacciones es que es iniciada y soportada por una onda de choque supersónica. (Pernia, 1987).

Explosivos más usuales. Existe una variedad en la gama de explosivos industriales fabricados, que cubren prácticamente todas las necesidades que puedan presentar. Por su aspecto físico y presentación comercial los explosivos se clasifican así: Gelatinoso, Pulverulento, Anfo, Hidrogel, pólvora y emulsiones. (Cuadro, 2004).

cabe resaltar que en una operación minera unitaria que la voladura consiste en procesos de movimiento y fragmentación de macizo rocoso el cual vienen hacer procesos resultantes de la detonación de las mezclas explosivas comerciales que son cargados a los taladros de acuerdo a las mallas de perforación y voladura que previamente son diseñados, se puede definir factores que influyen determinantemente en los resultados tales como son los siguientes: el macizo rocoso, el explosivo, la geometría del diseño, además se debe mencionar que la mayoría de investigadores están de acuerdo en agrupar estos factores aleatorios mencionados anteriormente para poder “modelizar” la voladura de las rocas y las variables aleatorias, son importantes y necesarios.

VOLADURA

El éxito de una buena voladura depende que tan buena sea la malla de perforación, y de la cantidad óptima de explosivo por taladro. De acuerdo a los criterios de mecánica de rotura la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos fragmentación y desplazamiento. (Exsa)

Después de la detonación, se produce una transmisión compleja y una reflexión de las ondas de detonación en la interfaz entre los dos medios luego superponga a lo largo de las direcciones de los dos ejes. El desplazamiento de la onda resultante a lo largo de la dirección

de cada eje de coordenadas se puede calcular como la suma de los desplazamientos de las ondas. (Jingxuan, 2017).

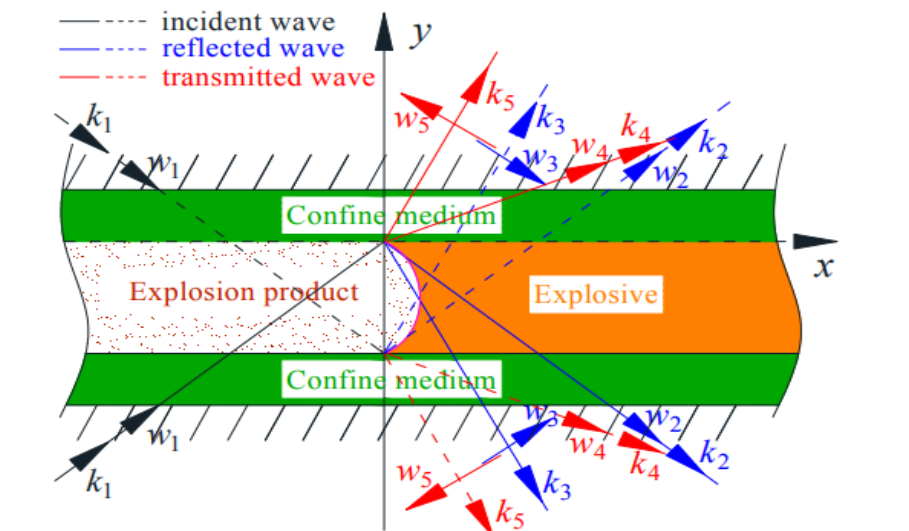


Figura 5 *Trasmisión y Reflexión de las ondas de detonación en una Interfaz entre dos Medios*

CICLO DE MINADO OPTIMIZADO Y REDUCCIÓN DE COSTOS

Una buena optimización al inicio es posible que se da en el incremento de la productividad y de un buen rendimiento en la perforación y voladura, consecuentemente de optimizar la malla e perforación y/o voladura que cumpla con los parámetros tales como; burden, espaciamiento, inclinación, longitud del taladro, características propias de la máquina perforadora; en voladura debemos de realizar un adecuado consumo de explosivos el cuales conocido como el factor de carga o potencia establecida con relación al diámetro de la broca.

La limpieza se puede optimizar en vista que se requiere trasladar la cantidad de material establecido en tiempo adecuado, con la granulometría adecuada, un buen ambiente de trabajo. Producto de la Optimización de la limpieza y sostenimiento, es la obtención de un

incremento en los indicadores de productividad, toneladas limpias, toneladas movidas por TM/h, metros cúbicos limpiados o movidos por hora m^3/h pernos sostenidos por hora pernos / hora.

Toda esta optimización operativa de los parámetros técnicos trae como consecuencia una optimización y reducción de los costos unitarios operativos. (Jáuregui, 2009)

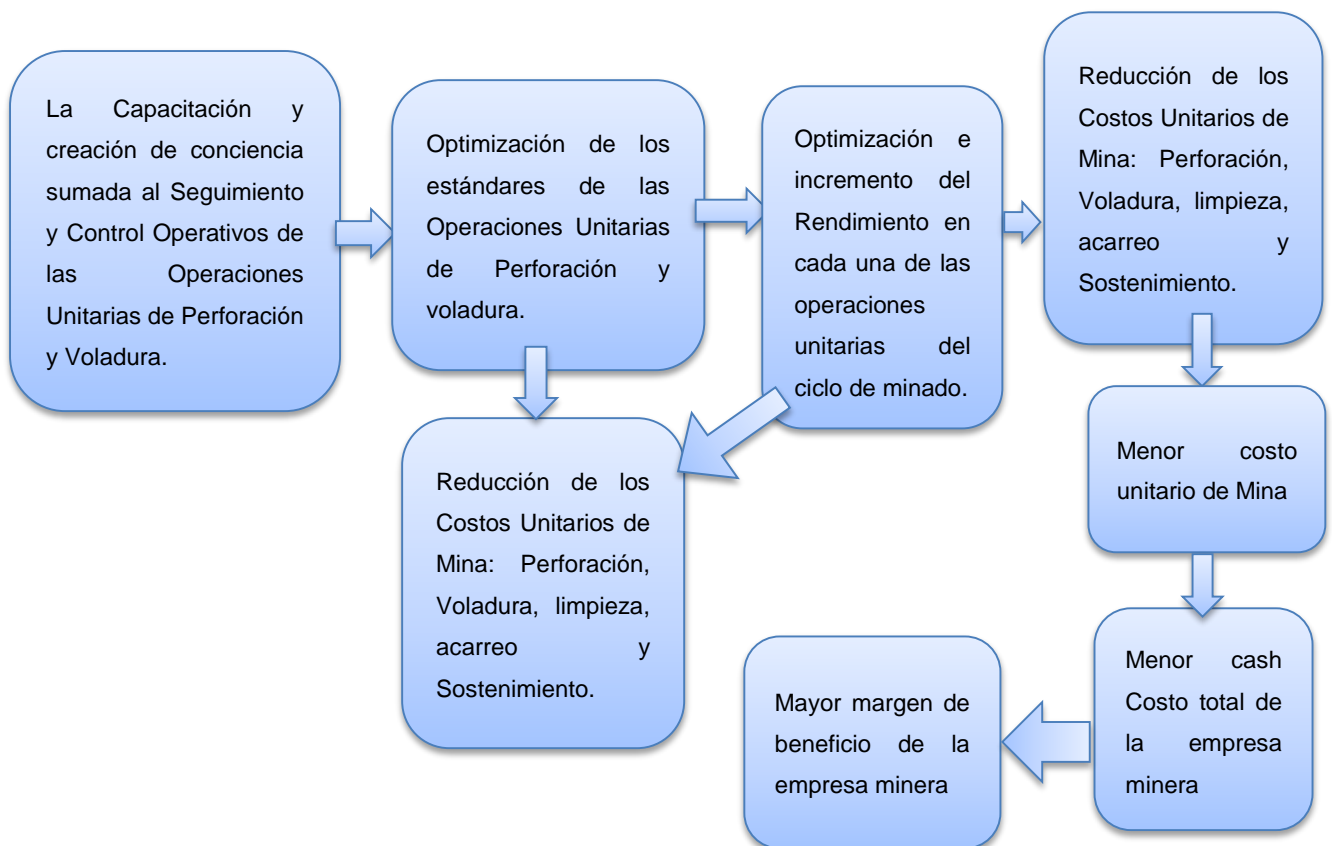


Figura 6 Cadena Productiva

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A través de los descubrimientos encontrados en Evaluación de Perforación y Voladura para mejorar la Producción en Minería Subterránea se puede determinar que en la perforación de la roca es lograr el confinamiento del explosivo y aprovechar mejor las ondas expansivas, así podemos decir que una perforación es óptima cuando cumple los estándares de las operaciones unitarias de la perforación; además se puede definir que los factores que influyen determinadamente en los resultados tales como son los siguientes: El macizo rocoso, el explosivo, la geometría del diseño. En referencia al éxito de una voladura se debe tener en cuenta que tan buena sea la malla de perforación, y de la cantidad óptima de explosivo por taladro, así el diseño de malla es de suma importancia. En la búsqueda efectuada se encontraron 49 artículos con relación al tema, pero 13 de ellos lograron tener mayor relevancia para el estudio y en el tiempo (2016-2018). Por conocimientos obtenidos y por ser partícipes de las prácticas de voladura en minería; por parte de los autores, se debe resaltar que en la perforación existen errores prácticos, el cual nos da una mala calidad de avance por ende saber que diámetro del taladro de alivio, mantener el paralelismo de los taladros, el espaciamiento entre los taladros, longitud de los taladros, intersección de los taladros, sobre carga (excesiva densidad de carga); la voladura que se ve reflejado en la granulometría de la roca para su posterior acarreo y transporte.

Conclusiones:

Después de haber realizado un análisis de los parámetros que debemos considerar en la Perforación y Voladura para contribuir con la producción en minería subterránea, se llegó a determinar las conclusiones siguientes:

- En minería subterránea tanto la Voladura, Perforación, es saber elegir una buena alternativa de excavación el cual tendrá que adaptarse a la Masa Rocosa de los esfuerzos tensionales y un diseño de voladura correcta.
- Que la voladura es óptima cuando se llega a obtener una fragmentación adecuada, el cual permite aminorar los costos en transporte, acarreo, chancado, molienda, evitar

el daño al macizo rocoso, desgaste prematuro de equipo por consiguiente se precisara que una buena voladura es eficiente y económica cuando permite reducir costos.

- Conocer bien los parámetros de la roca, dado que es una variable incontrolable, conforme se avanza en un frente.
- Es imprescindible conocer las características y propiedades de la roca tales como sus propiedades elásticas y de resistencia; además la geología de la masa rocosa.
- Para los parámetros de explosivos el cual son controlables se debe tomar en cuenta el diseño de la malla de Perforación y Voladura.

REFERENCIAS

Bibliografía

- Cuadro, W. (2004). *optimización de parámetros de voladura sobre los estratos de manto 30 y 45 en la Mina Santa Cruz*. Valledupar.
- Dias, J. e. (2012). analisis y diseño de la operacion de perforación y voladura en mineria de superficie empleado el enfoque de la programación estructurada. *Boletin de Ciencias de la Tierra*, 16.
- Dill, K. (2016). Determine the potential drill utilization improvements and rock fragmentation requirements using directional drilling in a coal mining overburden highwall application. *ProQuest* , 92.
- Exsa. (s.f.). *Manual practico de voladura*.
- Fernandez, J. e. (2017). *Correlación entre el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton en formaciones sedimentarias de grano fino*. Barcelona.
- Gaona, A. (2015). *Optimizacion de la voladura, mina la Virgen - de la compañía minera San Simon S.A - Huamachuco - trujillo*". Piura.
- Jáuregui, O. (2009). *Reduccion de los costos operativos en mina, mediante la optimizacion de los estandares de las operaciones unitarias de perforacion y voladura*. Lima.
- Jingxuan, Y. e. (2017). Aplicación de voladuras confinadas en rellenos de agua Agujeros profundos para controlar la presión de roca fuerte en difícil Rock Mines. *Energies; Basel*, 5.
- Ortega, C. e. (2016). Modificación de las mallas de perforación de voladuras a partir del indice de esfuerzo geológico (GSI), caso mina "La Maruja", Colombia. *Boletin de Ciencias de la Tierra*, 32.
- Palomino, H. (1905). *Optimización de perforación y voladura en las labores de desarrollo, para mejorar la eficiencia en la compañía minera Poderosa S.A*. Trujillo.
- Park, J. (2016). *estimacion de las características de la roca comminution al utilizar tasas de penetración de taladro*. Arizona.
- Pawel, S. e. (2016). análisis multivariado de los datos del sistema de monitoreo de la máquina perforadora minería. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference : SGEM : Surveying Geology & mining Ecology Management; Sofia*, 913.
- Pernia, J. (1987). *Manual de perforación y voladura*. Madrid: Instituto geologico y minero de España.

- Piyush, R. (2016). Measurement-while-drilling technique and its scope in design and prediction of rock blasting. *International Journal of Mining Science and Technology*.
- Xinkuan, Z. (2016). Vibration Reduction Mechanism and Experiment of Stepped V-Cut Millisecond Blasting. *Journal of Degraded and Mining Lands Management* .
- Yusong, M. (2017). Experimental Study of Bilinear Initiating System Based on Hard Rock Pile Blasting. *Shock and Vibration*.

ANEXOS

1. Acta de autorización para presentación del trabajo de investigación.
2. Declaración para desarrollar el trabajo de investigación para obtener bachillerato
3. Rúbrica de evaluación de trabajo de investigación

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE REVISIÓN SISTEMÁTICA

Título de la investigación: <i>EVALUACIÓN DE PERFORACIÓN Y VOLADURA PARA LA MEJORA DE PRODUCCIÓN EN MINERÍA SUBTERRÁNEA.</i>							
Nombres y apellidos del evaluador: <i>Mg. Ing. Cesar Pol, Arévalo Aranda</i>							
Sede:		Carrera: <i>Ing. Minas.</i>		Facultad:			
CONDICIONES OBLIGATORIAS							
Coherencia		Los resultados, discusión y conclusiones responde a la pregunta y objetivo de la investigación			Sí	No	
Consistencia		Cada una de las secciones del trabajo de investigación están debidamente sustentadas			Sí	No	
Informe de similitud		Tiene 0% de similitud después de eliminar falsos positivos			Sí	No	
CRITERIOS DE EVALUACIÓN							
Sección	Ítem	Reportado en la página #	Puntaje				
			Bien desarrollado	Parcialmente	No lo presenta	Puntaje obtenido	
Título	Título	Identifica el reporte como una revisión sistemática.	0.5	0.25	0		
Resumen	Resumen	Proporciona en 200 palabras: antecedentes; objetivos; fuentes de datos; criterios de elegibilidad, objeto de estudio; métodos de evaluación y síntesis del estudio; resultados; limitaciones; conclusiones.	1	0.5	0		
Introducción	Justificación	Describe la justificación de la revisión en el contexto de lo que ya se conoce.	1	0.5	0		
Introducción	Objetivos	Proporciona una declaración explícita de las preguntas que se están tratando con referencia al objeto de estudio.	2	1	0		
Metodología	Criterios de elegibilidad	Especifica las características de los estudios considerados (por ejemplo, los estudios que miden la empleabilidad de los universitarios) y las características del informe (por ejemplo, los años considerados, el idioma y el estado de publicación).	1	0.5	0		
Metodología	Recursos de información	Describe las bibliotecas virtuales consultadas para el estudio, por ejemplo: Ebsco, Redalyc, Google Académico, etc.	0.5	0.25	0		

Metodología	Búsqueda	Presenta la estrategia de búsqueda utilizada, por ejemplo palabras claves, limitadores utilizados (por ejemplo, periodo, tipos de documentos, idioma, etc.) de tal forma que pueda replicarse el estudio.	0.5	0.25	0	
Metodología	Selección de estudios	Indica los criterios por los que descartó o incluyó estudios (por ejemplo, del total del resultado de la búsqueda se descartaron 5 porque no tenían instrumentos de medición de empleabilidad).	1	0.5	0	
Metodología	Proceso de recopilación de datos	Describe el método de extracción de datos de los estudios (por ejemplo, en tablas que describen los estudios con campos como: año de publicación, revista, país, institución, tipo de estudio, etc.) y cualquier proceso para obtener y confirmar los datos de los estudios.	0.5	0.25	0	
Resultados	Selección del estudio	Proporciona el número de estudios examinados, evaluados por elegibilidad e incluidos en la revisión, con razones para las exclusiones en cada etapa, idealmente con un diagrama de flujo.	2	1	0	
Resultados	Características de los estudios	Para cada estudio, presenta las características para las que se extrajeron los datos (por ejemplo, año de publicación, revista, país, institución, tipo de estudio, etc.).	2	1	0	
Resultados	Análisis global de los estudios	Presenta las características de los estudios de manera globalizada (por ejemplo, porcentaje de estudios por año de publicación, por tipos, por temas abordados, etc.) .	2	1	0	
Discusión	Resumen de los resultados	Resume los principales hallazgos, incluyendo la fuerza de la evidencia para cada resultado principal; considera su relevancia para el objeto de estudio.	3	1.5	0	
Discusión	Limitaciones	Discute las limitaciones en el estudio y el nivel de resultado (p. Ej., Riesgo de sesgo) ya nivel de revisión (por ejemplo, recuperación incompleta de la investigación identificada, sesgo de notificación).	1	0.5	0	
Discusión	Conclusiones	Proporcionar una interpretación general de los resultados, responde la pregunta de la investigación, y las implicaciones para la investigación futura.	2	1	0	
Puntaje total						14

Adaptado de: Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, The PRISMA Group (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLoS Med 6(7): e1000097. doi:10.1371/journal.pmed1000097