



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“EVALUACIÓN GEOMECÁNICA DEL MACIZO ROCOSO EN UN YACIMIENTO DE CALIZA: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en **Ingeniería de Minas**

Autor:

Kevin Arnold Tante Rengifo

Asesor:

Mg. Ing. Elmer Ovidio Luque Luque

Trujillo - Perú

2022

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener unos de los anhelos más deseados.

A mis padres, esposa e hijas por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Ha sido el orgullo y privilegio de ser su hijo, padre y esposo

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, se el apoyo y la fortaleza en aquellos momentos de dificultar y de debilidad.

A nuestras familias por estar siempre apoyándonos y por ser los principales promotores de nuestros sueños, por confiar y creer en nuestras expectativas, y ser el soporte principal para concluir nuestra tesis.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
RESUMEN.....	6
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	7
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	9
CAPÍTULO III. RESULTADOS	14
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	21
REFERENCIAS	24

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Criterios de inclusión	9
Tabla 2: Recursos de Información	10
Tabla 3: Búsqueda.....	10
Tabla 4: Selección de datos	11
Tabla 5: Selección de datos por autor.	12
Tabla 6: Selección de estudios	14
Tabla 7: Características de los estudios.....	15
Tabla 7: Análisis global de los estudios	17

RESUMEN

Esta investigación, tiene la finalidad de prevenir accidentes de diferentes caídas de rocas en las minas, es determinar la inestabilidad del macizo rocoso y el grado de fracturación en la masa rocosa; asimismo planteando como objetivo el evaluar el comportamiento geomecánico en los macizos rocosos en las minas; utilizando consultas virtuales, teniendo como base bibliotecas virtuales nacionales e internacionales, Ascelibrary, Redalyc y academia.edu, llegando a obtener 53 artículos, de los cuales 20 fueron seleccionados de acuerdo al tema de investigación. Llegando a concluir que evaluación geomecánica tiene como finalidad el de brindar y dar a conocer las propiedades y características geotécnicas del macizo rocoso, como los planos de estratificación, fallas, pliegues y caracteres estructurales, y permita estimar la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, asimismo evaluar los métodos de explotación aplicables, y las condiciones naturales, y una optimización utilización de elementos de sostenimiento; con el fin de reducir accidentes de trabajo, mejorar los tiempos productivos, maximizar la recuperación mineral, mejorar las condiciones operacionales seguras.

PALABRAS CLAVES: Geomecánica, macizo rocoso, sostenimiento.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la minería subterránea y la evaluación del macizo rocoso constituye uno de los procesos más importantes, pues en base a la caracterización del macizo rocoso se determina la calidad y la zonificación y a partir de ésta se determina el dimensionamiento de las labores mineras y la selección del tipo de sostenimiento a utilizarse para garantizar la seguridad de los trabajadores y de los equipos (Osinergmin, 2018).

Asimismo el recurso humano está expuesto en las condiciones de inseguridad por desconocimiento del evaluación del macizo rocoso y su caracterización produciéndose accidentes fatales e incapacitantes en las labores de acceso y de operación, la misma que tiene relación con las estadísticas de accidentes proporcionadas por el ministerio de energía y minas, que nos indica que el 30% de los accidentes totales está asignado al desprendimiento de bloques (proyección de bloques de roca) a consecuencia de la falta de diseño en las dimensiones de las labores y relación del tipo de sostenimiento adecuado de acuerdo a las características del macizo rocoso (Seguridad Minera, 2018).

En la actualidad se viene utilizando cuadros de madera rectos, pero no hay un análisis que nos indique que los esfuerzos verticales y horizontales sean iguales para este tipo de sostenimiento, en otras minas del país se utilizan cuadros cónicos porque los esfuerzos horizontales son mayores, no se ha determinado si la madera que se utiliza es de buena calidad o si resistirá las condiciones de minado, tampoco se ha realizado un análisis para comparar otros tipos de sostenimiento, es por estas razones que se realiza el presente análisis geomecánico (Suasnabar Ortega, 2019).

Asimismo, esta revisión sistemática se justifica, ya que ayuda a prevenir los accidentes de diferentes caídas de rocas en la mina, y se debe determinar la inestabilidad del

macizo rocoso, teniendo en cuenta el grado de fracturamiento en la masa rocosa, el cual permite definir el comportamiento geomecánico, aplicando los métodos de sostenimiento de acuerdo al tipo de roca contribuyendo con la seguridad del personal.

Es por ello y lo antes expuesto que se genera el siguiente planteamiento del problema para esta investigación: ¿Existe inestabilidad geomecánica en el macizo rocoso en un yacimiento de caliza? Y con relación al problema planteado se considera como objetivo principal es evaluar el comportamiento geomecánico en los macizos rocosos en un yacimiento de caliza. Siendo por su naturaleza no experimental y descriptivo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

En el capítulo II, en cuanto a la metodología las investigaciones que fueron revisadas, cumplen con los criterios de inclusión y puede ser fundamental para el apoyo de dicha investigación el cual ayudará a despejar dudas e incógnitas y dar soluciones a la problemática.

Tabla 1: Criterios de inclusión

Titulo	Año	Idioma	Calidad (1-5)	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
1. Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina esperanza de minera Croacia E.I.R.L.	2021	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
2. Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa	2019	Español	5	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	-
3. Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos.	2019	Español	4	Responde la pregunta de investigación	-
4. Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá.	2016	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
5. Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.	2019	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
6. Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales	2019	Español	5	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	-
7. Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, unidad minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018	2018	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
8. Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules – Cia Minera Lincuna S.A.	2017	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
9. La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C	2016	Español	4	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	-
10. Evaluación geomecánica de la masa rocosa para a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020	2020	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
11. Diseño y evaluación de sostenimiento de labores de desarrollo para minería artesanal del sector de Ollachea – Puno Caso de estudio	2020	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
12. Diseño de labores de desarrollo en minería convencional, para la identificación de nuevas estructuras mineralizadas e incrementar las reservas en la unidad minera Cuatro de Enero	2018	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
13. Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica	2017	Español	5	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	-

14. Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea	2017	Español	4	Responde la pregunta de investigación	-
15. Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo	2016	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
16. Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018	2018	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
17. Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules S.A.	2017	Español	5	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	-
18. Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (MINAS PAZDEL RÍO S.A.)	2016	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
19. Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad	2017	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-
20. Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu Iii”) y de Píntag (“Esperanza”)	2015	Español	5	Responde la pregunta de investigación	-

Para la investigación, en la tabla 2, en cuanto a los recursos informativos las bases consultadas fueron internacional virtual libraries, Ascelibrary y Redalyc, etc., teniendo un total de 53 artículos encontrados de los cuales 20 fueron seleccionados, el cual cumple los requisitos para la investigación.

Tabla 2: Recursos de Información

Base de datos consultadas	Total, de artículos encontrados	Seleccionados
Bibliotecas virtuales	19	9
international virtual libraries	10	4
Ascelibrary	9	2
Redalyc	8	3
Academia.edu	7	2

Para la búsqueda se consideró como tema principal, teniendo en cuenta las bases de datos de los repositorios de las universidades de las cuales se publica los artículos de su investigación, teniendo en cuenta las palabras claves.

Tabla 3: Búsqueda

Base de datos consultadas	Palabras claves	Antigüedad	Tipo de estudios	Idioma
Dspace	Geomecánica, geología, litología, mapeo geomecánico, análisis de inestabilidad, discontinuidades, cuñas	2021	No Experimental	Español
Redalyc	Sostenimiento, madera y geomecánica.	2019	No Experimental	Español

Repositorio	evaluación geomecánica; polimetálicos; yacimiento Castellanos; minería a cielo abierto	2019	No Experimental	Español
Repositorio	Geomecánica, geología, litología, mapeo geomecánico	2016	No Experimental	Español
Redalyc	Geomecánica, estabilidad, tipo de roca, GSI, RQD, RMR	2019	No Experimental	Español
Dspace	Alteración hidrotermal, clasificación geomecánica con Sistema Q y metodología RMR, discontinuidades, macizo rocoso, roca encajante	2019	No Experimental	Español
Repositorio	Geomecánicas: RMR, Índice Q e Índice GSI.	2018	No Experimental	Español
Redayc	Sostenimiento, geomecánicas, abertura subterránea.	2017	No Experimental	Español
Repositorio	Geomecánica, diseño de malla de perforación, eficiencia, voladura y costos	2016	No Experimental	Español
Dspace	Evaluación geomecánica, masa rocosa, explotación del tajo	2020	No Experimental	Español
Dspace	Sostenimiento de labores, geomecánica.	2020	No Experimental	Español
Repositorio	Galería, chimenea, subnivel, costos, VAN, TIR	2018	No Experimental	Español
Repositorio	Sostenimiento de labores, geomecánica, rocas.	2017	No Experimental	Español
Dspace	Evaluación geomecánica, masa rocosa	2017	No Experimental	Español
Repositorio	Tajos, geomecánica, compañía minera.	2016	No Experimental	Español
Dspace	Geomecánica, sostenimiento de labores.	2018	No Experimental	Español
Dspace	Evaluación geomecánica, masa rocosa, explotación del tajo	2017	No Experimental	Español
Repositorio	Geomecánica, geología, litología, mapeo geomecánico	2016	No Experimental	Español
Repositorio	Geomecánica, método de explotación, dimensionamiento, veta	2017	No Experimental	Español
Dspace	Geomecánica, estabilidad, diseño, explotación, liquidación, reservas.	2015	No Experimental	Español

Para cada una de las investigaciones revisadas, se tuvieron en cuenta el procedimiento de la recolección de datos y en todas se concuerda que se debe utilizar la guía de observación y el análisis documental, el cual se toma como un estudio experimental.

Tabla 4: Selección de datos

Año de publicación	Revista	País	Tipo de estudios	Instrumentos
2021	Dspace	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2019	Redalyc	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2019	Repositorio	Cuba	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2016	Repositorio	Colombia	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2019	Redalyc	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2019	Dspace	Colombia	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2018	Repositorio	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental

2017	Redayc	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2016	Repositorio	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2020	Dspace	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2020	Dspace	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2018	Repositorio	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2017	Repositorio	Cuba	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2017	Dspace	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2016	Repositorio	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2018	Dspace	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2017	Dspace	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2016	Repositorio	Colombia	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2017	Repositorio	Perú	No Experimental	guía de observación y el análisis documental
2015	Dspace	Ecuador	No Experimental	guía de observación y el análisis documental

Para la selección de datos por autor se consideró investigación y la base de datos de búsqueda para dicho artículo así mismo el año que fue publicado basándose en la idea principal.

Tabla 5: Selección de datos por autor.

Autor y Año	Título	Búsqueda
(Cayao Coronel, 2021)	Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina esperanza de minera Croacia E.I.R.L.	Dspace
(Arana Alvites, 2019)	Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa	Redalyc
(Mucuta Lito, 2019)	Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos.	Repositorio
(Rincón Silva, 2016)	Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá.	Repositorio
(Acosta Medina, 2019)	Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.	Redalyc
(Betancur Arenas, 2019)	Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales	Dspace
(Cipriano Chudán, 2018)	Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, unidad minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018	Repositorio

(Tacuri Gamboa, 2017)	Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules – Cia Minera Lincuna S.A.	Redayc
(Inga Muñoz, 2016)	La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C	Repositorio
(Palacios Quispe, 2020)	Evaluación geomecánica de la masa rocosa para a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020	Dspace
(Lazaro Quicaña, 2020)	Diseño y evaluación de sostenimiento de labores de desarrollo para minería artesanal del sector de Ollachea – Puno Caso de estudio	Dspace
(Flores Huayhua, 2018)	Diseño de labores de desarrollo en minería convencional, para la identificación de nuevas estructuras mineralizadas e incrementar las reservas en la unidad minera Cuatro de Enero	Repositorio
(Adeoluwa Olajesu, 2017)	Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica	Repositorio
(Pantaleón Junco, 2017)	Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea	Dspace
(Sosa Paucar , 2016)	Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo	Repositorio
(Loarte Trujillo, 2018)	Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018	Dspace
(Gamboa, 2017)	Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules S.A.	Dspace
(Solano Martínez , 2016)	Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (MINAS PAZDELRÍO S.A.)	Repositorio
(Quinto Espinoza , 2017)	Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad	Repositorio
(Caizaluisa Jacome, 2015)	Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu Iii”) y de Píntag (“Esperanza”)	Dspace

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Para esta revisión sistemática, en cuanto al capítulo III, en resultados se tiene en cuenta la selección de estudio considerando los 20 artículos, que cumple con los criterios de inclusión con su título de su investigación respectiva.

Tabla 6: Selección de estudios

N° de estudios	Título	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
1.	Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina esperanza de minera Croacia E.I.R.L.	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
2.	Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	No hay exclusión
3.	Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos.	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
4.	Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá.	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
5.	Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
6.	Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	No hay exclusión
7.	Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, unidad minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
8.	Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules – Cia Minera Lincuna S.A.	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
9.	La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	No hay exclusión
10.	Evaluación geomecánica de la masa rocosa para a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
11.	Diseño y evaluación de sostenimiento de labores de desarrollo para minería artesanal del sector de Ollachea – Puno Caso de estudio	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
12.	Diseño de labores de desarrollo en minería convencional, para la identificación de nuevas estructuras mineralizadas e incrementar las reservas en la unidad minera Cuatro de Enero	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
13.	Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	No hay exclusión

14.	Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
15.	Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
16.	Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
17.	Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules S.A.	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	No hay exclusión
18.	Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (MINAS PAZDELRIÓ S.A.)	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
19.	Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad	Responde la pregunta de investigación	No hay exclusión
20.	Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu Iii”) y de Píntag (“Esperanza”)	Ayuda a despejar dudas sobre la pregunta de investigación	No hay exclusión

Fuente: elaboración propia.

Asimismo, las características de acuerdo al año, al tipo de estudio, al tema y revista dándole un valor de porcentaje a cada uno con la importancia que tiene cada artículo de investigación.

Tabla 7: Características de los estudios

Titulo	Año	Por tipo de estudio	Temas abordados	Revistas	Total de %
Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina esperanza de minera Croacia E.I.R.L.	25%	20%	33%	22%	100%
Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa	23%	25%	28%	24%	100%
Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos.	32%	15%	23%	30%	100%
Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá.	23%	24%	26%	27%	100%
Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.	25%	26%	26%	23%	100%
Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales	15%	16%	18%	51%	100%

Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, unidad minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018	12%	13%	13%	62%	100%
Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules – Cia Minera Lincuna S.A.	19%	20%	22%	39%	100%
La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C	30%	31%	31%	8%	100%
Evaluación geomecánica de la masa rocosa para a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020	29%	30%	32%	9%	100%
Diseño y evaluación de sostenimiento de labores de desarrollo para minería artesanal del sector de Ollachea – Puno Caso de estudio	27%	28%	28%	17%	100%
Diseño de labores de desarrollo en minería convencional, para la identificación de nuevas estructuras mineralizadas e incrementar las reservas en la unidad minera Cuatro de Enero	24%	25%	27%	24%	100%
Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica	25%	26%	26%	23%	100%
Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea	28%	29%	31%	12%	100%
Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo	21%	22%	22%	35%	100%
Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018	20%	21%	23%	36%	100%
Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules S.A.	16%	17%	17%	50%	100%
Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (MINAS PAZDELRÍO S.A.)	19%	20%	22%	39%	100%
Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad	23%	24%	24%	29%	100%
Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu Iii”) y de Píntag (“Esperanza”)	30%	31%	33%	6%	100%

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la tabla 7, el análisis global consiste en cada uno de los artículos con sus respectivos resultados, el cual sirve de apoyo para el tema; teniendo en cuenta como fueron evaluados y obtenidos cada uno de ellos.

Tabla 8: Análisis global de los estudios

Titulo	Hallazgos
Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina esperanza de minera Croacia E.I.R.L.	<p>Se evaluó la parte geomecánica a través de una matriz donde se obtuvieron datos del macizo rocoso, determinándose su clasificación geomecánica en cada estación, clasificándola como una roca tipo IV (mala calidad). Se comprobó la formación de cuñas y su comportamiento con respecto a la dirección del túnel de las estaciones geomecánicas mediante el software Dips V6 y Unwedge V3. Realizando todos estos estudios se concluyó que las galerías de veta Miriam presentan inestabilidad Geomecánica.</p>
Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa	<p>El sostenimiento que se ha elegido es el de cuadros de madera, porque según las diferentes clasificaciones geomecánicas que se han estudiado se ha obtenido valores de RMR entre 38 y 63 en rocas sin mineralización, en cambio en zonas mineralizadas el RMR es menor a 23 por lo cual el sostenimiento es inmediato así como se ha determinado en la evaluación de labores auto soportadas, por otra parte el análisis de esfuerzos en la roca circundante es mínimo siendo menor de 5 MPa con lo cual no existe la posibilidad de deformación ni casos de rotura porque la roca en la pruebas físico mecánicas que se han realizado ha arrojado resultado entre 40 y 60 MPa, en las zonas mineralizadas es donde se tiene presencia de roca alterada y de mala calidad así como indican los resultados del GSI en donde se encontró roca MF/M, el sostenimiento con madera es la mejor opción en sus diferentes formas tales como cuadros de madera puntales de avance, es posible la aplicación de split set, pero la minera prefiere la compra de madera a las comunidades aledañas como parte de un contrato que tienen, el sostenimiento con cerchas no es posible por el elevado costo de sostenimiento que implica, el sostenimiento con shotcrete vía seca con el equipo aliva puede ser posible pero las dimensiones de la sección dificultaría su empleo, los estudios de estabilidad demostraron que las labores son estables, las convergencias no llegan a 20mm y no son de riesgos para las labores, las deformaciones no son significativos, tampoco se ve la presencia de fracturamiento significativo en la roca por lo que la presencia de cuñas y bloques no es posible o en el caso de que existieran no son representativas y no comprometen la estabilidad ni la seguridad en la mina Apmnac Pulpera</p>
Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos.	<p>En la evaluación del agrietamiento se empleó el software DIP V.6.0, para determinar las direcciones de los principales sistemas de grietas. Con auxilio del GEMCOM v 6.5 se obtuvo el modelo 3D de cada frente. La calidad del macizo se estableció a partir de los índices RQD y RMR de la metodología de Bieniawski. Como resultado se identificaron tres familias de grietas predominantes y tamaños de bloques naturales de tamaño pequeño a medio con formas cúbicas, alargadas y tabulares; el macizo rocoso se clasificó en general como de calidad media. La existencia de rocas pizarra, por sus características, disminuyen la calidad geomecánica del macizo.</p>
Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96 “Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá.	<p>La cooperativa Cooprocabon Sugamuxi posee tres bloques carboníferos delimitados por fallas regionales los cuales se denominan bloque Guanto Norte, Bloque Guanto Sur y Bloque Motua. El presente estudio se realizó con la clasificación propuesta por Bieniawski, la cual se concluyó clasificando el macizo rocoso como clase III calidad media con una valoración correspondiente al rango 60-41 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm², y un ángulo de rozamiento de 25°-35°. Indicando que es medianamente estable, pero al variar alguna de las condiciones estudiadas este podría tender a fallar.</p>

Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque.

Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones hidrotermales

Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, unidad minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018

Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules – Cia Minera Lincuna S.A.

La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C

Evaluación geomecánica de la masa rocosa para a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020

Diseño y evaluación de sostenimiento de labores de desarrollo para minería artesanal del sector de Ollachea – Puno Caso de estudio

Diseño de labores de desarrollo en minería convencional, para la identificación de nuevas estructuras mineralizadas e

Se obtuvo como resultados que en la labor de desarrollo su RQD de 80, con RMR 55 una valorización de 60-41, clase de roca III roca regular, teniendo un Q de Barton de 2.66 y GSI 60, en la labor de producción su RQD 75, con RMR 53 una valorización de 60-41, clase de roca III roca regular, teniendo un Q de Barton de 1.25 y GSI de 55 todos estos resultados se presentan por medio de cálculos, análisis de laboratorio y tablas geomecánicas, cada una con sus respectivos análisis que contribuyeron a comprobar la hipótesis: el análisis geomecánico permitirá determinar la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7 – Chongoyape-Lambayeque, todo este trabajo permitió concluir que el análisis geomecánico, permitió determinar, el grado de estabilidad de las labores, determinando, que las labores son inestables para los diferentes tipos de trabajos que se puedan realizar.

Esta evaluación se hace de forma independiente para roca encajante y zonas mineralizadas. Al correlacionar la clasificación obtenida con la interacción roca-fluido, se estima que sí existe una influencia significativa en la calidad del macizo rocoso. Para el caso objeto de estudio, se le atribuye mayor implicación a la alteración argílica caracterizada por sericita que a la alteración argílica de esmectita. Además, se infiere que para las zonas clasificadas con baja calidad el comportamiento de la alteración fue más pervasivo que en las zonas de mayor calidad.

La resistencia a la compresión de la roca es de 70 MPa promedio de las 5 estaciones, obtenido en base al ensayo de carga puntual en laboratorio y el uso del martillo Schmidt en campo. El ángulo de fricción de la roca es de 36° promedio de las 5 estaciones, obtenido por ensayo de Tilt test. La densidad de la roca caliza es de 0.027 MN/m³.

Conforme a la aplicación de sistemas Geomecánicos el RMR del macizo rocoso en el nivel 4300 está comprendido entre 21 a 75 y el Q entre 3 a 9. La clasificación Geomecánica tiene dos aplicaciones, la primera es para seleccionar el tipo de sostenimiento que debe aplicarse a una determina labor subterránea y la segunda es un parámetro para diseñar adecuadamente la malla de perforación – voladura.

El diseño de la malla de perforación en función a la geomecánica del macizo rocoso permite mejorar la eficiencia de la voladura en el Nivel 940 en Compañía Minera Raura S.A.C., fue validada positivamente

Las propiedades físicas y mecánicas de la roca intacta y del macizo rocoso para la exploración del tajo 6380 del nivel 2910, de acuerdo a los datos obtenidos por el muestreo geomecánico, se establece que el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV -

Las labores de desarrollo se realizan con equipos convencionales tales como perforadoras Jacklegs, perforadoras eléctricas, para la voladura se emplean explosivos de 80% y 65%. El método de explotación que se emplea es de corte y relleno ascendente que permita la selectividad del mineral al fin de poder evitar la dilución. Por otro lado, la estructura de las cajas que encontramos en las vetas se trabaja previo sostenimiento con puntales de seguridad y cuando haya espacio después de poder realizar la limpieza se arman los cuadros de madera. el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV

Respecto a la caracterización geomecánica del macizo rocoso circundante a las excavaciones de explotación, exploración y desarrollo es realizado utilizando tablas estandarizadas de GSI de la Compañía Minera. Se realizó el estudio técnico económico de diseño de labores de desarrollo en el nivel 1760, zona esperanza de

incrementar las reservas en la unidad minera Cuatro de Enero

la veta Nancy – Unidad Minera Cuatro de enero, con dicho estudio técnico se determinó un VAN positivo de 5,154,477.16 US\$, y un TIR de 76.80% para una tasa anual de descuento de 15%.

Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica

Los resultados del análisis muestran que el macizo rocoso es quebradizo y los modelos creados revelan que para las minas estudiadas, las tensiones máximas con valores entre 0,22 MPa y 0,99 MPa, ocurren en las secciones de cambio brusco de la excavaciones, los desplazamientos máximos con magnitudes de 0,20 mm a 0,95 mm, ocurren por las esquinas superiores y los techos, las deformaciones con valores entre 0,001 m² y 0,01 m² ocurren en los techos y por los lados y el valor mínimo del factor de resistencia es de 1,30 a 1,83. Estos resultados, obtenidos de los modelos confirman la competencia del macizo rocoso de las minas analizadas, por lo tanto no necesitan sostenimiento. No obstante, los resultados de esta investigación permitirán, también, establecer un monitoreo eficaz del macizo por ser quebradizo para evitar el riesgo de la caída de los pedazos de rocas.

Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea

Se realizó el dimensionamiento óptimo de tajeos y el diseño de sostenimiento con cable bolting. Para ello, se recurrió a los métodos empíricos, tales como la gráfica de estabilidad modificada, que analiza la estabilidad del tajeo por medio del equivalente lineal de sobre rotura de las paredes laterales de paredes (ELOS). Asimismo, se realizó el diseño de cable bolting mediante el análisis cinemático y método de la cuña máxima para el techo o corona de los tajeos, y el análisis empírico para la caja techo de los tajeos. Asimismo, se diseñó una secuencia de minado del tipo secuencial, ascendente, piramidal y en retirada, la cual permite asegurar la estabilidad global y mejorar la redistribución de esfuerzos. En cuanto al modelamiento numérico, se consideraron las nuevas dimensiones obtenidas a partir de la optimización de los tajeos y la secuencia de minado propuesta; así como, la evaluación de la recuperación del pilar puente.

Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera Cerro Lindo – compañía minera Milpo

En una primera etapa el estudio estuvo orientado a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permitió evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos. En una segunda etapa, se integró la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de realizar el diseño y las condiciones de estabilidad de las excavaciones durante la explotación de los tajeos de producción a través del análisis del gráfico según Potvin y Nickson.

Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018

En una primera etapa del estudio estará orientado a la ejecución de investigaciones básicas, con el fin de obtener la información necesaria, que permitirá evaluar los factores principales del control de la estabilidad, y estimar los parámetros geomecánicos básicos. En una segunda etapa, se integrará la información obtenida durante las investigaciones básicas, con el fin de evaluar las condiciones de estabilidad de las excavaciones subterráneas, para finalmente dar las recomendaciones para garantizar la estabilidad de las labores mineras subterráneas. Utilizando toda la información geológica y geomecánica desarrollada durante las investigaciones básicas y utilizando herramientas de cálculo de la mecánica de rocas, se ha llevado a cabo un número de análisis, mediante los cuales se han determinado los elementos o sistemas de sostenimiento en caso se requiera en las labores mineras subterráneas.

Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules S.A

Los tipos de sostenimiento aplicados en la mina Hércules son: Shotcrete, pernos helicoidales, malla electrosoldada, pernos de fricción, pernos expansivos, cuadros de madera, pilares de madera y puntales. La clasificación Geomecánica practicada en el nivel 4300 de la Mina Hércules al conocimiento de tres tipos de rocas que a su vez ha determinado el sostenimiento a utilizarse para su estabilidad como también la formulación de los costos unitarios de excavación. Teniendo en cuenta el proceso constructivo y el RMR hallado, las rocas a su vez se clasifican en roca

Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (MINAS PAZDELRIÓ S.A.)

Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad

Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu Iii”) y de Píntag (“Esperanza”)

tipo I, II, III y IV respectivamente. De acuerdo a la clasificación Geomecánica GSI, las rocas existentes en el nivel 4300 de la Mina Hércules, tienen calidad: buena (RMR >70) regular (RMR=51 a 70), calidad mala (RMR=21-40).

Según los resultados del ejemplo aplicativo se evidencia que la calidad del macizo rocoso, de acuerdo a la calificación RMR (Rock Mass Rating) corresponde a clase II y III, las cuales se clasifican en bueno y medio respectivamente, presentando cohesión de 3-4 Kpa/cm³ .y ángulos de fricción de 35°– 45° para la clase II y cohesión de 2-3 Kpa/cm³ con ángulos de fricción de 25°-35° para la clase III. La calidad de macizo rocoso obtenida tanto en afloramiento como del análisis de los núcleos de perforación presenta una clasificación II, denomina como calidad buena presentando pequeña variación dentro de los parámetros descritos en afloramiento que se encuentran ligados a los planos de discontinuidad, esto debido a la actividad antrópica propia dentro de desarrollo, preparación y explotación del proyecto minero el Santuario.

La veta Almiranta se caracteriza por presentar mineralización fundamentalmente de Ag, Cu, Pb y Zn, con minerales de enargita y calcopirita en abundante piritita, y cantidades subordinadas de galena, tetrahedrita y esfalerita; así mismo, según el sistema de valoración RMR 89 de Bieniawski, se ha caracterizado el macizo rocoso, en la que se clasifica como REGULAR III (Caja techo RMR de 52 y Caja piso RMR de 46) y MALA A (Veta RMR de 34); Se determinó que los métodos que presentan las mayores calificaciones son el método “Open Pit”(29.27), “Cut and Fill Stopping”(28.25) y “Square Set”(24.25); para las labores de explotación debemos tener en cuenta el radio hidráulico el cual para el presente estudio está dado en la pared norte 0.9 m, Pared sur 0.9 m, pared yacente 2.3 m, pared colgante 2.3 m y techo 1.4 m; así mismo se ha obtenido un factor A de 0.4 en pared colgante y pared yacente; un factor I en pared norte y pared sur, 0.2 en pared yacente y pared colgante y 0.3 en Techo; por otro lado, al determinar el factor C de obtuvo valor 8 para pared norte y pared sur, 7.4 para pared yacente y pared colgante y 2 para techo; teniendo en cuenta que el método “Open Pit” (de mayor puntuación) no es aplicable a las características de la mina, se ha seleccionado el método de explotación “Cut and Fill Stopping” (Puntaje 28.25), segundo en el ranking de puntuación, como método óptimo, teniendo en cuenta que las actividades que se realizan en mina Quiruvilca es de la forma convencional, y las condiciones geológicas y geomecánicas actuales de la veta Almiranta posibilitan la aplicación de dicho método.

La Cantera Fucusucu III, posee un diseño de explotación y liquidación, sin embargo mediante el análisis de estabilidad de taludes realizado mediante el Método Romana (SMR), se identificaron zonas de inestabilidad para las cuales se propuso una corrección en los elementos geométricos de dichos taludes, con el fin de garantizar una estabilidad temporal durante la etapa de operación y una a largo plazo durante la etapa de liquidación. La Cantera Esperanza se explota de manera anti-técnica, razón por la cual se ha realizado un diseño de explotación y uno de liquidación, tomando como base la topografía del área y sus características geomecánicas; además se ha estimado el volumen de reservas extraíbles en la cantera a través de un análisis gráfico, método de Isolíneas

Fuente: elaboración propia.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Esta revisión científica, nos ubica una realidad de diversidad de información, el cual permite tener un conocimiento más amplio del tema sobre la evaluación geomecánicas de los macizos rocosos en yacimientos de caliza, en cuanto Arana (2019), menciona que el sostenimiento con madera es la mejor opción en sus diferentes formas tales como cuadros de madera puntales de avance, es posible la aplicación de split set, pero la minera prefiere la compra de madera a las comunidades aledañas como parte de un contrato que tienen. Asimismo, Cayo (2021), comprobó la formación de cuñas y su comportamiento con respecto a la dirección del túnel de las estaciones geomecánicas mediante el software Dips V6 y Unwedge V3, y que las galerías de veta Miriam presentan inestabilidad Geomecánica.

Por otra parte, Betancur (2019), menciona que al correlacionar la clasificación obtenida con la interacción roca-fluido, se estima que sí existe una influencia significativa en la calidad del macizo rocoso. Como Mucuta (2019), se identificaron tres familias de grietas predominantes y tamaños de bloques naturales de tamaño pequeño a medio con formas cúbicas, alargadas y tabulares; el macizo rocoso se clasificó en general como de calidad media. La existencia de rocas pizarra, por sus características, disminuyen la calidad geomecánica del macizo.

Acosta (2019), hace mención que el análisis geomecánico, permitió determinar, el grado de estabilidad de las labores, determinando, que las labores son inestables para los diferentes tipos de trabajos que se puedan realizar. En el caso de Cipriano (2018), menciona que la resistencia a la compresión de la roca es de 70 MPa promedio de las 5 estaciones,

obtenido en base al ensayo de carga puntual en laboratorio y el uso del martillo Schmidt en campo, y la densidad de la roca caliza es de 0.027 MN/m³.

Según Tacuri (2017), la clasificación Geomecánica tiene dos aplicaciones, la primera es para seleccionar el tipo de sostenimiento que debe aplicarse a una determina labor subterránea y la segunda es un parámetro para diseñar adecuadamente la malla de perforación – voladura. Asimismo, Rincón (2016), clasifico el macizo rocoso como clase III calidad media con una valoración correspondiente al rango 60-41 (RMR) con una cohesión aproximada de 2-3 kg/cm², y un ángulo de rozamiento de 25°-35°. Indicando que es medianamente estable, pero al variar alguna de las condiciones estudiadas este podría tender a fallar.

Por lo contrario, Palacios (2020), hallo que el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV. Y para Lazaro (2020), la estructura de las cajas que encontramos en las vetas se trabaja previo sostenimiento con puntales de seguridad y cuando haya espacio después de poder realizar la limpieza se arman los cuadros de madera. el macizo rocoso se encuentre: entre mala a regular con una valoración total RMR está entre 35 a 55 puntos, cuya descripción de la clase de macizo rocoso es de Mala IV.

Para Gamboa (2017), los tipos de sostenimiento aplicados en la mina Hércules son: Shotcrete, pernos helicoidales, malla electrosoldada, pernos de fricción, pernos expansivos, cuadros de madera, pilares de madera y puntales. Como Adeoluwa (2017), menciona que los modelos confirman la competencia del macizo rocoso de las minas analizadas, por lo tanto,

no necesitan sostenimiento. No obstante, los resultados de esta investigación permitirán, también, establecer un monitoreo eficaz del macizo por ser quebradizo para evitar el riesgo de la caída de los pedazos de rocas.

Conclusiones

Esta investigación concluye que, la evaluación geomecánica tiene como finalidad el de brindar y dar a conocer las propiedades y características geotécnicas del macizo rocoso, como los planos de estratificación, fallas, pliegues y caracteres estructurales.

Asimismo, se puede concluir que para el macizo rocoso tiene varias clasificaciones geomecánicas, de los cuales son los principales el Deere (RQD), Bieniawski (RMR), Barton (Q), Hoek (GSI).

Por lo tanto, permitirá estimar la magnitud y dirección de los esfuerzos principales, asimismo evaluar los métodos de explotación aplicables, y las condiciones naturales, y una optimización utilización de elementos de sostenimiento; con el fin de reducir accidentes de trabajo, mejorar los tiempos productivos, maximizar la recuperación mineral, mejorar las condiciones operacionales seguras.

- Acosta Medina, I. (2019). Análisis geomecánico para la estabilidad en las labores de desarrollo y producción de la mina Santa Clotilde 7-Chongoyape-Lambayeque. Chiclayo - Perú: Universidad Cesar Vallejo.
- Adeoluwa Olajesu, O. (2017). Criterios para la evaluación del comportamiento mecánico-estructural del macizo rocoso con el empleo de la modelación numérica. Moa-Cuba: Ministerio de Educacion Superior.
- Arana Alvites, G. (2019). Análisis geomecánico para seleccionar el tipo de sostenimiento en la mina Apmnac Pulpera Caylloma - Arequipa. Cusco - Perú: Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.
- Betancur Arenas, B. (2019). Caracterización y clasificación geomecánica del macizo rocoso en el nivel veintiuno de la mina la maruja (distrito minero de Marmato, Caldas) para estimar las recomendaciones de estabilidad y soporte en la excavación y su correlación con las alteraciones. Medellin - Colombia: Universidad EAFIT.
- Caizaluisa Jacome, V. (2015). Caracterización geomecánica del macizo rocoso para el plan de cierre y liquidación de las canteras ubicadas en las parroquias de San Antonio de Pichincha (“Fucusucu Iii”) y de Píntag (“Esperanza”). Quito-Ecuador : Universidad Central del Ecuador .
- Cayao Coronel, J. (2021). Evaluación geomecánica de los niveles 1665 y 1720 de la mina esperanza de minera Croacia E.I.R.L. Cajamarca - Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Cipriano Chudán, R. (2018). Propuesta de sostenimiento en base a la caracterización geomecánica de la galería Nv. 9, unidad minera Colquirrumi, Cajamarca, 2018. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Flores Huayhua, E. (2018). Diseño de labores de desarrollo en minería convencional, para la identificación de nuevas estructuras mineralizadas e incrementar las reservas en la unidad minera Cuatro de Enero.

- Gamboa, J. (2017). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules S.A. Ayacucho-Diciembre: Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga.
- Inga Muñoz, C. (2016). La geomecánica y diseño de la malla de perforación para mejorar la eficiencia de voladura en el nivel 940 en compañía minera Raura S.A.C. Huancayo - Peru: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- Lazaro Quicaña, J. (2020). Diseño y evaluación de sostenimiento de labores de desarrollo para minería artesanal del sector de Ollachea – Puno Caso de estudio. Arequipa-Perú: Universidad Tecnológica del Perú.
- Loarte Trujillo, O. (2018). Geomecánica para el diseño del sostenimiento de las labores mineras en la corporación minera Toma La Mano – Cormitoma S.A. – año 2018. Huaraz-Perú: Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo .
- Mucuta Lito, H. (2019). Evaluación geomecánica del macizo rocoso en frentes de explotación del yacimiento polimetálico Castellanos. Cuba: Universidad de Moa.
- Osinermin. (2018). Guía de criterios geomecánicos para diseño, construcción, supervisión y cierre de labores subterráneas. Perú: Gerencia de Supervisión Minera.
- Palacios Quispe, L. (2020). Evaluación geomecánica de la masa rocosa para a explotación del tajo 6380 NV. 2910 Compañía Minera Poderosa - 2020. Huancayo-Perú: Universidad Continental.
- Pantaleón Junco, H. (2017). Evaluación geomecánica para el dimensionamiento, secuencia de minado y relleno de tajeos de una mina subterránea. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Quinto Espinoza , J. (2017). Análisis geomecánico para la selección óptima del método de explotación de la veta almiranta – zona profundización de la mina Quiruvilca – Sociedad Minera Quiruvilca Inversiones S.A. – La Libertad. Lircay-Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Rincón Silva, B. (2016). Caracterización geomecánica del macizo rocoso del área del contrato 01-068-96

“Cooperativa Cooprocabon Sugamuxi” Municipio de Gámeza Boyacá. Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia .

Seguridad Minera. (2018). Ocho casos de accidente por desprendimiento de rocas. Revistas Seguridad Minera.

Solano Martinez , N. (2016). Enfoque para la zonificación geomecánica de macizos rocosos aplicado a explotación minera a tajo abierto. (MINAS PAZDELRÍO S.A.). Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Sosa Paucar , J. (2016). Evaluación geomecánica para el diseño de tajeos de producción en la unidad minera cerro lindo – compañía minera Milpo. Cerro de Pasco-Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.

Suasnabar Ortega, P. (2019). Análisis técnico para la optimización del sostenimiento en los frentes de la compañía Minera Casapalca S.A. Cerro de Pasco-Perú: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión.

Tacuri Gamboa, A. (2017). Evaluación geomecánica del macizo rocoso para la aplicación del sostenimiento en la Mina Hércules – Cia Minera Lincuna S.A. Ayacucho - Perú: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga .