



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v6i3.1366>

Ciencias naturales
Artículo de investigación

***Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un
pilar de contención en una Mina subterránea***

***Rock compression test to determine the maximum load supported by a
containment pillar in an underground Mine***

***Teste de compressão de rocha para determinar a carga máxima suportada por
um pilar de contenção em uma mina subterrânea***

Luis Patricio Tierra-Pérez ^I
patricio.tierra@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3366-7867>

Santiago Nathanael Toapanta-Santacruz ^{II}
santiago.toapanta@esepoch.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4378-3821>

Antony Gabriel Manosalvas-Quezada ^{III}
antony3097@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9233-7182>

***Recibido:** 20 de junio de 2020 ***Aceptado:** 30 junio de 2020 * **Publicado:** 18 de julio de 2020

- I. Magíster en Gestión Industrial y Sistemas Productivos, Magíster en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional, Ingeniero Industrial, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Macas, Ecuador.
- II. Magíster Construcción, Bachiller en Construcción Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Macas, Ecuador.
- III. Investigador Independiente, Ecuador.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo determinar la carga máxima que puede soportar un pilar de contención dentro de una mina subterránea, este estudio se realiza en base a la prueba de compresión; que se ejecuta a probetas estandarizadas (cilindros) estas tomadas como muestras del macizo rocoso del suelo a ser analizado (roca Andesita). Para el ensayo de compresión utilizaremos la máquina universal la misma que aplica una carga en uno de los extremos del cilindro hasta lograr deformarlo, estos resultados los podemos graficar. Utilizando la definición de la ley de Hooke realizamos el diagrama esfuerzo – deformación, el mismo que permite determinar el módulo de Young, conocido actualmente como coeficiente de elasticidad de un material, de esta manera determinar las características mecánicas de dicho material, tales como dureza y resistencia, de esta forma llegar a cumplir el objetivo de esta investigación. Para garantizar que los datos obtenidos sean los más reales posibles se realizará el mismo procedimiento a 4 probetas con las mismas características (tamaño, forma, diámetros y mismo material) de esta forma poder llegar a encontrar variaciones por características propias del material como porosidad, humedad, velocidad de carga aplicada etc., y poder realizar un análisis de los datos obtenidos para su interpretación conclusión y recomendaciones.

Palabras claves: Probeta; carga máxima; ensayo; compresión; deformación; máquina universal; esfuerzo.

Abstract

The objective of this article is to determine the maximum load that a containment pillar can bear within an underground mine. This study is carried out based on the compression test; that is executed to standardized test tubes (cylinders) are taken as samples of the rocky massif of the soil to be analyzed (Andesite rock). For the compression test we will use the universal machine that applies a load to one of the ends of the cylinder until it is deformed. These results can be graphed. Using the definition of Hooke's law, we carry out the stress-strain diagram, the same one that allows us to determine Young's modulus, currently known as the coefficient of elasticity of a material, in this way to determine the mechanical characteristics of said material, such as hardness and resistance, in this way to achieve the objective of this research. To guarantee that the data obtained are the most real possible, the same procedure will be carried out on 4 specimens with the same

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

characteristics (size, shape, diameters and the same material) in this way to be able to find variations due to characteristics of the material such as porosity, humidity, applied load speed, etc., and to be able to perform an analysis of the data obtained for its interpretation, conclusion and recommendations.

Keywords: Test tube; maximum load; test; compression; deformation; universal machine; effort.

Resumo

O objetivo deste artigo é determinar a carga máxima que um pilar de contenção pode suportar dentro de uma mina subterrânea. Este estudo é realizado com base no ensaio de compressão; que é executado para tubos de ensaio padronizados (cilindros) são tomadas como amostras do maciço rochoso do solo a ser analisado (rocha andesita). Para o ensaio de compressão utilizaremos a máquina universal que aplica uma carga em uma das extremidades do cilindro até que se deforme, resultados estes que podem ser representados graficamente. A partir da definição da lei de Hooke realizamos o diagrama tensão-deformação, o mesmo que nos permite determinar o módulo de Young, atualmente conhecido como coeficiente de elasticidade de um material, desta forma determinar as características mecânicas desse material, como dureza e resistência, desta forma, para atingir o objetivo desta pesquisa. Para garantir que os dados obtidos sejam os mais reais possíveis, o mesmo procedimento será realizado em 4 corpos-de-prova com as mesmas características (tamanho, forma, diâmetros e mesmo material) de forma a poder encontrar variações devido às características do material como porosidade, umidade, velocidade de carga aplicada, etc., e ser capaz de realizar uma análise dos dados obtidos para sua interpretação, conclusão e recomendações.

Palavras-chave: Tubo de ensaio; Carga máxima; teste; compressão; deformação; máquina universal; esforço.

Introducción

La minería ha sido desde la antigüedad, una de las actividades fundamentales para el progreso económico y técnico del hombre. La casi totalidad de los bienes materiales que el hombre utiliza, proviene de la transformación de productos naturales, donde los recursos mineros ocupan un lugar destacado. (Marcelo Ruiz Días, 2009)

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

“Mecánica de rocas es la ciencia teórica y aplicada que estudia el comportamiento mecánico de las rocas y los macizos rocosos. Sería pues la rama de la ingeniería dedicada al estudio de la respuesta de las rocas y macizos rocosos al campo de fuerzas que actúan en su entorno”. (RAMIREZ, 2004)

La minería subterránea tiene como finalidad extraer recursos naturales bajo la superficie de la tierra, las minas de superficie excavan de arriba hacia abajo, un método que puede volverse ineficiente a profundidades superiores a los 60 metros. Todas las minas subterráneas tienen algunos componentes cruciales en común: mangas de ventilación para eliminar los humos tóxicos de las perforaciones, rutas de escape, ejes de acceso para transportar trabajadores y equipos; túneles de transporte de mineral, pozos de recuperación para llevar el mineral excavado a la superficie y sistemas de comunicación para enviar información de ida y vuelta entre la superficie y los niveles inferiores de la mina. (Ingeoexpert, 2019)

Sin embargo, no existe dos minas iguales, por ello para garantizar la seguridad e integridad de los trabajadores a la hora de realizar sus actividades se debe tener en cuenta un aspecto fundamental como las características mecánicas (dureza y resistencia) de las rocas para garantizar la estabilidad de la mina.

Los pilares de contención utilizados en la minería subterránea para ser más claro en métodos como el de cámaras y pilares, estos pilares tienen la función de contener el techo que se encuentra sobre la mina, en muchas ocasiones estos pilares están formados por la misma roca del depósito y otras son reforzados con hierro u otro material (Fritzsche, 1965).

La accidentabilidad en la minería ha tenido episodios fatales en nuestro país, uno de los más recordados en la provincia de Morona Santiago fue el ocurrido en la empresa San Carlos Panantza, donde 3 mineros perdieron la vida a causa de una fractura en los pilares de contención, el cual se desplomo dejando caer toneladas de material encima de ellos.

El presente artículo describe como calcular la resistencia de una de las rocas más comunes en la minería “Andesita”, la cual con pruebas de compresión buscaremos obtener valores máximos que puede resistir esta roca.

Para garantizar que los datos obtenidos sean los correctos se realizará cuatro ensayos de compresión bajo las mismas condiciones, se realizará un análisis de cada uno de ellos, para al final realizar un solo gráfico de los cuatro ensayos, mediante la gráfica esfuerzo deformación se obtendrá la carga máxima a soportar el material.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

Metodología

Ensayo de compresión

La resistencia de un material depende de su capacidad para soportar una carga excesiva sin presentar deformación o falla. Esta propiedad es inherente al propio material y debe determinarse mediante la *experimentación*. Una de las pruebas más importantes a este respecto es el *ensayo de tensión o compresión* (Hibbeler, 2011)

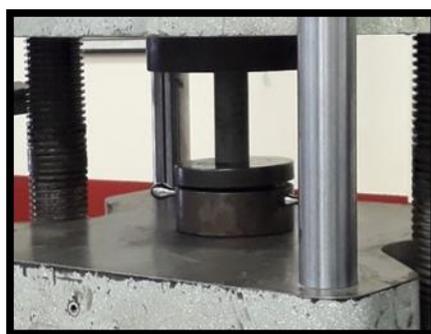


Ilustración 1. Ensayo de compresión

Procedimiento

- Anotamos las dimensiones para evaluar el área transversal.
- Verificamos que la máquina universal esté en las condiciones adecuadas (en cero).
- Coloque la probeta centrada en los platos de compresión de la máquina universal.
- A través del software de control, programe la máquina para ejecutar el ensayo de compresión.
- Proceda a la realización del ensayo hasta que se note que la muestra falle. (obsérvese fisuras).
- Aplicar la carga progresivamente
- Retire la probeta de la máquina y proceda a colocar una nueva muestra repitiendo el procedimiento antes descrito. (Nieto & avendaño, 2015)

Tabla 1. Datos ensayo de compresión

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

TIPO DE	FUERZA	ÁREA	ESFUERZO
MATERIAL	(N)	(mm^2)	(N/mm^2)
PROBETA 1			
PROBETA 2			
PROBETA 3			
PROBETA 4			

Indicaciones para el ensayo

Para establecer las características de la roca en estudio debemos conocer varios aspectos fundamentales tales como:

Esfuerzo de compresión

Se evalúa dividiendo la fuerza axial aplicada sobre un área trasversal (perpendicular) a la dirección de la fuerza.

$$\hat{\sigma}_f = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Deformación unitaria

El valor de la deformación (Unitaria), ϵ es el cociente de alargamiento (deformación Total) δ y la longitud inicial L_0 en la que se ha producido, por lo tanto, tenemos: (Pyntel, 1994)

$$\hat{\epsilon} = \frac{\hat{\delta}}{L_0} \quad (2)$$

ϵ : *Adimensional*

Ductilidad. – Cualquier material que pueda someterse a grandes deformaciones antes de fracturarse se denomina **material dúctil**. (Hibbeler, 2011)

El **porcentaje de elongación** es la deformación a la fractura expresada en porcentaje. Por lo tanto, si la longitud calibrada

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

original de la probeta es L_0 y su longitud a la fractura es L_f , entonces:

$$\text{Porcentaje de elongación} = \frac{L_f - L_0}{L_0} (100\%) \quad (3)$$

Otra manera de especificar la ductilidad es el **porcentaje de reducción de área**. Está definida dentro de la región de estricción de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de reducción de área} = \frac{A_0 - A_f}{A_0} (100\%) \quad (4)$$

Diagrama de esfuerzo-deformación

Si los valores correspondientes de σ y P se trazan de manera que el eje vertical sea el esfuerzo y el eje horizontal sea la deformación, la curva resultante se llama diagrama de esfuerzo-deformación convencional. Sin embargo, tenga en cuenta que dos diagramas de esfuerzo deformación para un material particular serán muy similares, pero nunca exactamente iguales. Esto se debe a que los resultados en realidad dependen de variables tales como la composición del material, imperfecciones microscópicas, la forma en que se fabrica, la rapidez con que se aplica la carga y la temperatura durante la realización del ensayo. (Hibbeler, 2011)

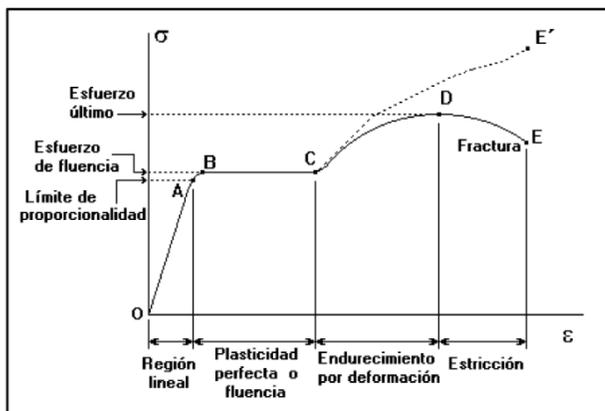


Ilustración 2. Diagrama esfuerzo deformación

Materiales y equipo

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

A continuación, describimos cada uno de los equipos y materiales que se utilizan para realizar el ensayo.

Máquina universal

La máquina consiste de dos partes esenciales: Una estructura superior y una inferior. En la estructura superior se realizan las diferentes pruebas y se encuentra el reloj para observar la carga aplicada mientras que la estructura inferior se encarga de soportar el peso de la máquina (peso muerto) y servir de alojamiento para los distintos aditamentos que se utilizan en las pruebas, las cuales se realizan gracias a la fuerza generada por un gato hidráulico de operación manual con la capacidad suficiente para desarrollar las pruebas.



Ilustración 3. Máquina universal (laboratorio ESPOCH)

Probetas de estudio

Las probetas de roca estandarizadas no se las puede obtener por cualquier método convencional, en la minería es muy común extraer este tipo de probetas para determinar la dureza, resistencia y permeabilidad de la roca madre. A estas se la conocen como testigos en el ámbito minero, las cuales se pueden conseguir mediante máquinas perforadoras o máquinas de sondeos (maquinaria específica para realizar aperturas de orificios de diámetros pequeños para el estudio de la roca).

Máquina especializada que incluye la realización de sondeos rotativos con recuperación de testigos continuos. Esta realiza perforaciones y recuperaciones según la norma ASTM D7401, pudiendo realizar obtenciones de testigos desde diámetros de 45 a 70mm.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea



Ilustración 4. Máquina universal (laboratorio ESPOCH)

Descripción de la probeta

A continuación, se detalla las dimensiones de cada una de las probetas para el ensayo.

Tabla 2. Datos de la probeta

PROBETA	LONGITUD	DIÁMETRO	PRECARGA
1	0.125855 m	0.0475 m	10.18 N
2	0.1257 m	0.04756 m	10.1825 N
3	0.12661 m	0.04745 m	10.1832 N
4	0.1265 m	0.0456 m	10.2332 N



Ilustración 5. Testigos o probetas cilíndricas

Desarrollo

Proceso de obtención de datos

A continuación, se realiza el ensayo de compresión a cada una de las probetas siguiendo el procedimiento antes indicado. Estos datos para cada uno de las prácticas realizadas.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

Ensayo N°1.

Tabla 3. Valores de deformación

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)
1	10,1822	0,000502108
2	50,9112	0,0746741
3	90,3674	0,149214
4	130,672	0,221483
5	170,1228	0,307298
6	211,281	0,442139
7	250,738	0,442388
8	291,042	0,51537
9	330,922	0,517753
10	371,652	0,518806
11	417,472	0,518053
12	450,564	0,518053
13	495,96	0,518103
14	533,295	0,517937
15	577,842	0,51732
16	611,783	0,51732
17	659,3	0,531168
18	696,211	0,539723
19	733,546	0,568124
20	773,85	0,587911

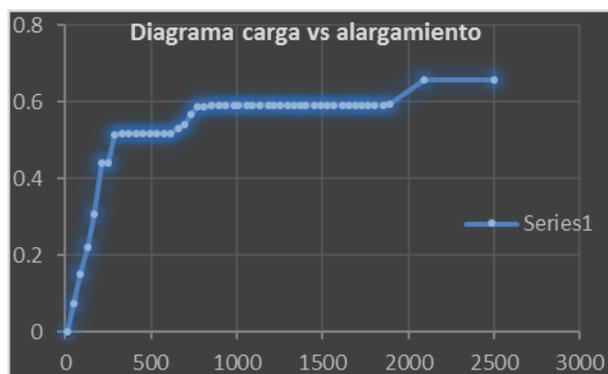


Ilustración 6. Carga vs alargamiento

Ensayo N°2

De la misma forma se procede a realizar el ensayo con la probeta N°2 para determinar la grafica carga aplicada vs alargamiento.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

Tabla 4. Valores de deformación

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)
1	10,1825	0,000514082
2	50,9114	0,0746843
3	90,3676	0,149617
4	130,772	0,221593
5	170,2328	0,308278
6	211,681	0,436539
7	250,798	0,442378
8	291,094	0,51636
9	330,79	0,518753
10	371,852	0,518806
11	417,682	0,518163
12	450,569	0,518073
13	495,899	0,518203
14	533,295	0,518967
15	577,567	0,51762
16	611,723	0,51792
17	659,345	0,531563
18	696,432	0,539923
19	733,675	0,566144
20	773,355	0,587611

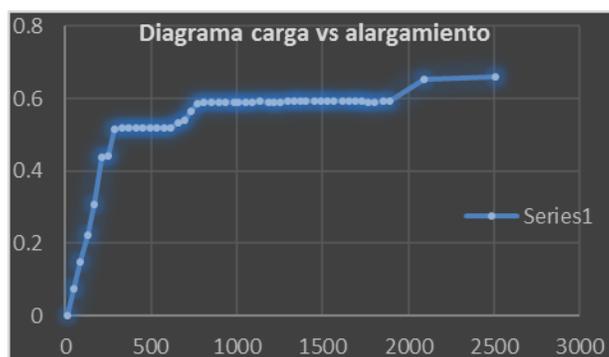


Ilustración 7. Carga vs alargamiento

Ensayo N° 3

A continuación, se procede a realizar el ensayo con la probeta N° 3 para determinar la gráfica carga aplicada vs alargamiento con los datos obtenidos.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

Tabla 5. Valores de deformación

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)
1	10,1832	0,000512138
2	50,9119	0,07463141
3	90,3679	0,149616
4	130,972	0,321483
5	170,3221	0,327298
6	211,721	0,452139
7	250,832	0,482388
8	291,154	0,52537
9	330,936	0,537753
10	371,937	0,538806
11	417,472	0,518553
12	452,564	0,518753
13	497,96	0,518803
14	536,295	0,517437
15	578,872	0,517325
16	612,483	0,517323
17	659,654	0,541168
18	696,851	0,549753
19	733,866	0,568184
20	773,986	0,587941
21	810,761	0,589536

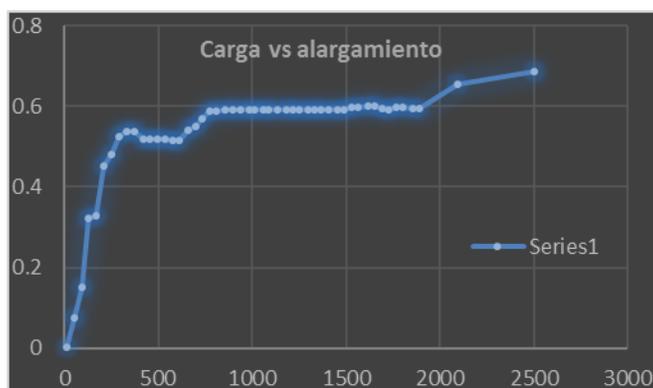


Ilustración 8. Carga vs alargamiento

Ensayo N° 4

De la misma forma se procede a realizar el ensayo con la probeta N°4 para determinar la gráfica carga aplicada vs alargamiento.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

Tabla 6. Valores de deformación

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)
1	10,2332	0,00061214
2	50,9119	0,0746741
3	90,5619	0,149691
4	131	0,221483
5	170,4221	0,379316
6	212,554	0,442139
7	252	0,482353
8	291,154	0,525764
9	330,936	0,535764
10	371,925	0,518806
11	417,677	0,518806
12	452,564	0,518953
13	498,16	0,518803
14	537,295	0,517489
15	578,872	0,517489
16	612,483	0,517623
17	659,854	0,541168
18	697,751	0,549753
19	733,866	0,568184
20	774,186	0,588911

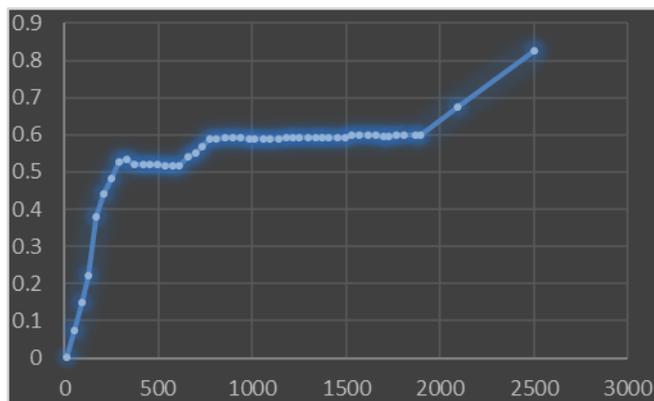


Ilustración 9. Carga vs alargamiento

Análisis del proceso de obtención de datos por compresión

Mediante los gráficos obtenidos de cada ensayo realizado se determina que cada probeta al ser sometida a compresión sigue un mismo modelo, ósea no varían drásticamente, esto sucede porque las probetas ensayadas son del mismo material, mismas características, su variación depende de factores propios de cada una de ellas como es porosidad, humedad, velocidad de aplicación de fuerza etc.

Como se puede observar en las ilustraciones del ensayo 1 y 2 no se puede notar alguna diferencia de alargamiento a simple vista ya que presentan casi la misma curva, al contrario, en las

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

ilustraciones del ensayo 3 y 4 si se nota una mayor deformación al estar sometido a cargas máximas de 2503.79Kgf y 2504.79Kgf respectivamente, puesto que, a mayor carga, mayor alargamiento se presenta en el cuerpo.

Resultados y Discusión

Norma a aplicar; ASTM D7012

Conocida como método de prueba estándar para resistencia a la compresión y módulos de elasticidad de varias muestras de rocas de núcleos bajo diferentes estados de estrés y temperaturas. Estos métodos de ensayo cubren la determinación de la fuerza de especímenes del núcleo de roca intacta en compresión uniaxial y triaxial. Las pruebas proporcionan datos en la determinación de la fuerza de roca, a saber: la resistencia uniaxial, fuerzas de cizallamiento en presiones diferentes y a temperaturas elevadas, el ángulo de fricción interna, (ángulo de resistencia al cizallamiento), y la cohesión intercepción.

Los métodos de ensayo especifican en el aparato, la instrumentación, y procedimientos para la determinación de la tensión-deformación axial y las curvas de deformación-esfuerzo lateral, así como el módulo de Young, E ratio y de Poisson, ν . Se debe observar que estos métodos no prevén medidas de presión de poro y las muestras son sin escurrir (placas no son ventiladas). Así, los valores de resistencia determinados son en términos de tensión total, es decir, no son corregidos por las presiones intersticiales. Estos métodos de ensayo no hacen incluir los procedimientos necesarios para obtener una curva de tensión-deformación más allá de la resistencia a la rotura

Probeta 1

Una vez realizado el ensayo la máquina universal nos arroja los siguientes datos los mismos que generan la siguiente gráfica.

Tabla 7. Deformación por compresión

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

DATOS	CARGA (Kgf)	LARGAMIENTO (m)	DEFORMACIÓN UNITARIA.	ESFUERZO (kgf / m ²)
1	10,1822	0,000502108	0,003989575	5746,16253
2	50,9112	0,0746741	0,593334393	28730,9255
3	90,3674	0,149214	1,185602479	50997,4041
4	130,672	0,221483	1,759826785	73742,6637
5	170,1228	0,307298	2,441682889	96006,0948
6	211,281	0,442139	3,513082516	119233,07
7	250,738	0,442388	3,515060983	141500
8	291,042	0,51537	4,094950538	164244,921
10	330,922	0,517753	4,113885026	186750,564
11	371,652	0,518806	4,122251798	209735,892
12	417,472	0,518053	4,116268722	235593,679
13	450,564	0,518053	4,116268722	254268,623
14	495,96	0,518103	4,116666005	279887,133
15	533,295	0,517937	4,115347026	300956,546
16	577,842	0,51732	4,110444559	326095,937
17	611,783	0,51732	4,110444559	345250
18	659,3	0,531168	4,220475945	372065,463
19	696,211	0,539723	4,288450995	392895,598
20	733,546	0,568124	4,51411545	413965,011

Tabla 8. Características de material

Muestra	1
Material	Roca (Andesita)
Área	0.001772 m ²
Módulo de elasticidad	32340,80983 kgf/m ²
Carga máxima	1857.41 kgf
Esfuerzo máximo	1048200 kgf/m ²



Ilustración 10. Diagrama esfuerzo deformación

Podemos evidenciar que la curva nos representa un módulo de elasticidad muy pequeño característico del macizo rocoso estudiado.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
 Mina subterránea

La línea recta representa la zona elástica, el material soporta la carga sin deformarse, la siguiente curva indica que el material empieza a sufrir fractura interna, la curva final representa que el material se fracturó. Podemos considerar que la curva indica que el material es muy rígido y poco flexible.

Probeta 2

Continuamos realizando el ensayo N°2 en la máquina universal obteniendo los siguientes datos descritos a continuación.

Tabla 9. Deformación por compresión

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)	Deformación Unitaria.	Esfuerzo (kgf/m ²)
1	10,1825	0,000514082	0,004089753	5731,77596
2	50,9114	0,0746843	0,594147176	28658,2606
3	90,3676	0,149617	1,190270485	50868,3366
4	130,772	0,221593	1,762871917	73612,1587
5	170,2328	0,308278	2,452490056	95824,8241
6	211,681	0,436539	3,472863962	119156,206
7	250,798	0,442378	3,519315831	141175,345
8	291,094	0,51636	4,107875895	163858,148
9	330,79	0,518753	4,126913286	186203,209
10	371,852	0,518806	4,127334924	209317,197
11	417,682	0,518163	4,12221957	235115,114
12	450,569	0,518073	4,12150358	253627,357
13	495,899	0,518203	4,122537788	279143,822
14	533,295	0,518967	4,128615752	300194,202
15	577,567	0,51762	4,117899761	325115,114
16	611,723	0,51792	4,120286396	344341,683
17	659,345	0,531563	4,228822593	371148,325
18	696,432	0,539923	4,295330151	392024,768
19	733,675	0,566144	4,503929992	412989,023
20	773,355	0,587611	4,674709626	435325,077

Tabla 10. Características de material

Muestra	2
Material	Roca (Andesita)
Área	0.001777 m ²
Módulo de elasticidad	32698,706 kgf/mm ²
Carga máxima	1893.84 kgf
Esfuerzo máximo	1066051 kgf/m ²

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea



Ilustración 11. Diagrama esfuerzo deformación.

La gráfica obtenida luego de realizar el ensayo con la probeta N°2 indica que el material tiene un coeficiente elástico casi nulo esto quiere decir que es muy rígido y poco flexible, cabe recalcar que, aunque varían en sus puntos críticos, la gráfica sigue la misma tendencia que la de la probeta N° 1.

Probeta 3

Continuamos realizando el ensayo de la misma manera que con la probeta 1 y 2 en la máquina universal obteniendo los siguientes datos detallados en la siguiente tabla.

Tabla 11. Deformación por compresión

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)	Deformación Unitaria.	Esfuerzo (kgf/m²)
1	10,1832	0,000512138	0,004045	5758,68621
2	50,9119	0,07463141	0,58945905	28791,1125
3	90,3679	0,149616	1,18170761	51103,8161
4	130,972	0,321483	2,53915962	74065,7799
5	170,3221	0,327298	2,58508807	96318,5962
6	211,721	0,452139	3,57111603	119730,026
7	250,832	0,482388	3,8100308	141847,629
8	291,154	0,52537	4,14951426	164650,063
9	330,936	0,537753	4,24731854	187147,123
10	371,937	0,538806	4,25563542	210333,537
11	417,472	0,518553	4,09567175	236083,967
12	452,564	0,518753	4,0972514	255928,791
13	497,96	0,518803	4,09764632	281600,615
14	536,295	0,517437	4,08685728	303279,384
15	578,872	0,517325	4,08597267	327357,039
16	612,483	0,517323	4,08595688	346364,346
17	659,654	0,541168	4,27429113	373039,948
18	696,851	0,549753	4,34209778	394075,167
19	733,866	0,568184	4,4876708	415007,465
20	773,986	0,587941	4,64371693	437695,666

Tabla 12. Características de material

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

Muestra	3
Material	Roca (Andesita)
Área	0.001768 m ²
Módulo de elasticidad	35086,5552 kgf/mm ²
Carga máxima	1857.88 kgf
Esfuerzo máximo	1050646.94 kgf/m ²



Ilustración 12. Diagrama esfuerzo deformación

Nuevamente la gráfica obtenida nos indica que el material es muy rígido o poco elástico, su módulo de Young es muy pequeño, se puede notar también que, aunque varían los valores en sus puntos críticos, la gráfica sigue la misma tendencia que la de la probeta 1 y 2.

Probeta 4

Finalmente realizamos el ensayo en la probeta N° 4, la misma que registra los siguientes datos.

Tabla 13. Deformación por compresión

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

DATOS	CARGA (Kgf)	ALARGAMIENTO (m)	Deformación Unitaria.	Esfuerzo (kgf/m ²)
1	10,2332	0,00061214	0,00483904	6258,83792
2	50,9119	0,0746741	0,59030909	31138,7768
3	90,5619	0,149691	1,18332806	55389,5413
4	131	0,221483	1,75085375	80181,0398
5	170,4221	0,379316	2,99854545	104233,7
6	212,554	0,442139	3,49516996	130002446
7	252	0,482353	3,81306719	154394,495
8	291,154	0,525764	4,15623715	178075,841
9	330,936	0,535764	4,23528854	202407,339
10	371,925	0,518806	4,1012332	227477,064
11	417,677	0,518806	4,1012332	255459,939
12	452,564	0,518953	4,10239526	276797,554
13	498,16	0,518803	4,10120949	304685,015
14	537,295	0,517489	4,09082213	328620,795
15	578,872	0,517489	4,09082213	354050,153
16	612,483	0,517623	4,09188142	374607,339
17	659,854	0,541168	4,27800791	403580,428
18	697,751	0,549753	4,34587352	426759,021
19	733,866	0,568184	4,49157312	448847,706
20	774,186	0,588911	4,65542292	473508,257

Tabla 14. Características de material

Muestra	4
Material	Roca (Andesita)
Área	0.001635 m ²
Módulo de elasticidad	40683,2418 kgf/m ²
Carga máxima	1766.58 kgf
Esfuerzo máximo	1071010.903 kgf/m ²



Ilustración 13. Diagrama esfuerzo deformación

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

Se puede interpretar que la curva descrita por los datos generados por la probeta N° 4 indica que su módulo de Young es mínimo, (casi cero), lo que nos permite determinar que el material es muy resistente a la deformación por tracción, característicos de los materiales de hormigón, se puede decir que este tipo de materiales posee características similares a un hormigón prediseñado.

Una vez realizado los ensayos en las 4 probetas, obtenemos la gráfica esfuerzo - deformación, observando que el comportamiento de las mismas es muy similar, esto indica que las propiedades internas de los testigos son casi las mismas, con un pequeño desfase en sus puntos críticos, ya que ninguna probeta será exactamente igual.

A continuación, determinamos el esfuerzo, la carga máxima y el área promedio de todas las muestras obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 15. Datos promedio

PROBETAS ENSAYADAS (4)	PROMEDIO
Esfuerzo máximo promedio.	1058977.211 kgf/m ²
Peso máximo promedio	18088.92848 Kg
Área promedio	0.001738 m ²

Comparaciones de resistencia con datos estandarizados

Para finalizar realizamos la comparación de los resultados obtenidos con datos estandarizados de esta manera comprobar si los ensayos están dentro del rango establecido.

Tabla 16. Peso máximo a soportar

PROPIEDAD	PROBETA	ESTANDARIZA	DIFERENC
S	S	DOS	IAL
Resistencia a la compresión	1.06 Kg/m ²	4 - 32 Kg/m ²	3.94 Kg/m ²
Módulo de Young	35202,3284 Kg / m ³	23000 – 37500 Kg / m ³	2298 Kg / m ³

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

Cálculo de Peso a soportar por cm^2 de roca

Tabla 17. Peso máximo a soportar

DESCRIPCIÓN	PROBETAS	ESTANDARIZADOS
Área	0.0001738 m^2	12.25 m^2
Peso máximo	1.843 toneladas	180000 toneladas

Después de las pruebas de ensayo se pudo determinar, el peso máximo que se puede soportar la probeta, con la cual podemos estimar u obtener el peso máximo que se debe ejercer por cm^2 , para no provocar una ruptura en los pilares de contención, con estos datos obtenidos podemos analizar cuanto es el peso máximo que puede ejercer en un pilar de contención según sus medidas estandarizadas.

Tabla 18. Peso máximo a soportar por cm^2

	PROBETAS	ESTANDARIZADOS	UNIDAD
Área	0.0001738 m^2	12.25 m^2	1 m^2
Peso máximo a soportar	1.843 toneladas	129900.75 Toneladas	10604.14 Toneladas
Peso máximo a soportar estandarizados	2.5538 toneladas	180000 toneladas	14693.88 Toneladas

En las tablas 17 y 18 se puede observar la resistencia de la Andesita y por ende el peso máximo que puede soportar esta por cada cm^2 de roca en un pilar de contención. Después de varios cálculos se determinó el peso máximo de varias probetas de Andesita, las cuales promediamos para obtener un peso estandarizado de nuestro ensayo en esta roca.

Posterior a obtener los datos del ensayo de compresión, se comenzó a hacer una pequeña comparación con datos estandarizados de pilares de contención dentro del país, no muy profunda pero esencial, la cual nos otorgó resultados de resistencias, pesos máximos que se aplican en un pilar estandarizado de 3.5 m x 3.5m.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una Mina subterránea

Durante la elaboración del presente proyecto se determinó que los resultados mostrados después de los ensayos de compresión, es un valor mucho menor a lo estandarizado, lo cual nos quiere decir que hay un gran índice de probabilidad que los pilares de contención tengan fracturas y dado que pueden existir posibles accidentes durante la labor, con esto se trata de demostrar que el peso aplicado para un pilar estandarizado es muy riesgoso, por lo tanto lo recomendable es que esta estructura soporte un peso máximo de 129900.75 toneladas de materia estéril (suelo), según el análisis aplicado en el ensayo.

Conclusiones

Los datos obtenidos en los ensayos de compresión nos permitieron determinar las características mecánicas de la (**Andesita**) roca en estudio, cada una de las probetas ensayadas al aplicar una carga en aumento presentan características propias, estas varían en un rango muy pequeño, pero podemos decir que siguen el mismo comportamiento, las gráficas detallan que su variación no es significativa, aunque sus puntos críticos son muy próximos ninguno de ellos coincide.

Es fundamental obtener la resistencia de la roca por ensayo de compresión de esta manera determinar el esfuerzo que esta sufre internamente al ser sometida a una carga axial, de esta manera garantizar la seguridad y estabilidad de talud, lozas y techos de las minas subterráneas.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que los límites máximos de carga deben tener un factor de seguridad, este debe ser el mas alto recordando que dentro de las minas están personas y la integridad de cada uno de ellos depende del diseño y los materiales que en estos se utilizan para la construcción o reforzamiento de estos pilares.

Para la realización del ensayo de compresión en rocas fue necesario guiarse por estándares determinados por la norma ASTM D7012 la cual nos sirvió de guía, desde la elaboración de las probetas hasta las cargas máximas a aplicar para el ensayo.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

Tabla 19. Peso máximo a soportar por cm²

	PROBETAS	ESTANDARIZADOS	UNIDAD
Área	0.0001738 m ²	12.25 m ²	1 m ²
Peso máximo a soportar	1.843 toneladas	129900.75 Toneladas	10604.14 Toneladas
Peso máximo a soportar estandarizados	2.5538 toneladas	180000 toneladas	14693.88 Toneladas

Posterior al ensayo de compresión obtuvimos datos de cargas aplicadas y deformación de la roca, con las cuales, siguiendo su respectivo proceso logramos receptor datos de esfuerzos máximos que se debe ejercer en la probeta para evitar su fractura.

La obtención de estas probetas no fue nada sencillo, puesto que para obtenerlas debemos seguir un proceso minero conocido como sondeo, utilizando diferentes maquinarias se pueden obtener las probetas conocidas en el ámbito minero como testigos.

En la minería subterránea es muy importante el análisis de resistencia de la roca ya sea por la fabricación de pilares u otro tipo de estructura como se explica anteriormente, si este tipo de análisis no es tomado en cuenta puede ocasionar grandes accidentes tanto en el personal como en la maquinaria o la estructura. Por lo mismo hago énfasis que la resistencia de las rocas (Mecánica de rocas), es prescindible dentro del ámbito minero.

Referencias

1. Fritzsche, C. (1965). Tratado de laboreo de minas. Madrid, España: Labor, S.a.
2. Hibbeler, R. C. (2011). Mecánica de materiales. México: Pearsón educación .
3. Ingeoexpert. (18 de Enero de 2019). Ingeoexpert. Obtenido de <https://ingeoexpert.com/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/?v=3fd6b696867d>
4. Marcelo Ruiz Días. (2009). Salud y seguridad en trabajos de minería. Buenos Aires: Aulas y andamios.
5. Nieto, G. C., & avendaño, D. P. (2015). Guía de laboratorio de Resistencia de materiales. Bogota D.C: Inimagdalena.
6. Pyntel, A. (1994). Resistencia de materiales. México: Mexicana.

Ensayo de compresión en rocas para determinar la carga máxima que soporta un pilar de contención en una
Mina subterránea

7. RAMIREZ, P. A. (2004). Mecánica de rocas e ingeniería de taludes. Madrid : E.T.S.I. Minas (UPM).

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).