



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**



**OPTIMIZACIÓN EN LA INSTALACIÓN CONVENCIONAL DE  
PERNOS SWELLEX, CASO MINA “SAN RAMON”.**

**EXAMEN DE SUFICIENCIA DE COMPETENCIA PROFESIONAL**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. KENYO VICTOR ALARCON CHIPANA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO DE MINAS**

**PUNO - PERÚ**

**2019**



## DEDICATORIA

*Con profundo cariño y agradecimiento dedico este trabajo de suficiencia, a mis padres Jubileo Alarcón Hilasaca y Bonifacia Chipana de Alarcón; por el apoyo desmedido y constante en el transcurso de mi existencia.*

*A mis hermanos Juan Víctor, César Víctor, Víctor Leo, Víctor Emmanuel y Fanny Matilde, por ser mi mayor motivación en mi desarrollo profesional.*

***Kenyo Víctor Alarcón Chipana***



## AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mis padres por darme la vida, por los valores y fuerzas para afrontar el día a día, siempre dispuestos a escucharme y a darme su apoyo incondicional, también por el sacrificio que ellos realizaron para que yo culmine la carrera profesional de Ingeniería de Minas.

A todos los Ingenieros de la Facultad de Minas, por transmitirme sus sabias enseñanzas durante el transcurso de mi formación en aulas universitarias.

Mi eterna gratitud a los ingenieros: Julio López y Enrique Rivas de la empresa Prodac S.A, que con su enseñanza y asesoramiento se pudo plasmar el presente trabajo.

Mi agradecimiento a mis compañeros de estudio, con los cuales forme una gran amistad, gracias por ser tan buenos amigos.

A la Universidad Nacional del Altiplano Puno, que me tuvo entre sus aulas durante los años de mi formación profesional.

**Kenyo Victor Alarcón Chipana**



## INDICE GENERAL

DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
INDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	
RESUMEN .....	8
ABSTRACT .....	9
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>10</b>
<b>II. MATERIALES Y METODOS .....</b>	<b>13</b>
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
DISCUSIONES .....	21
<b>IV. CONCLUSIONES .....</b>	<b>22</b>
RECOMENDACIONES .....	23
AGRADECIMIENTOS .....	24
REFERENCIAS .....	25

**Área** : Ingeniería de minas.

**Tema** : Mecánica de rocas, geomecánica y geotecnia.

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 29 de noviembre del 2019.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Lanceta de inflado de pernos, diseñado por Atlas Copco para la instalación convencional de pernos Swellex.....	15
<b>Figura 2.</b> AMPI (adaptador manual para inflado) .....	15
<b>Figura 3.</b> Tiempos de instalación por perno.....	19
<b>Figura 4.</b> Curva de desplazamiento vs tonelaje .....	20



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b>	Labores donde se realizaron los ensayos. ....	13
<b>Tabla 2:</b>	Describe la cantidad de pernos instalados por cada labor y los ensayos de pull test realizados. ....	16
<b>Tabla 3:</b>	Parámetros para la instalación .....	16
<b>Tabla 4:</b>	Tiempo de instalación por perno .....	18
<b>Tabla 5:</b>	Resistencia al pull test. ....	19



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<b>AMPI</b>	:	Adaptador manual para inflado.
<b>AR</b>	:	Rampa de ataque.
<b>PETS</b>	:	Procedimiento escrito de trabajo seguro.
<b>ASTM</b>	:	Sociedad americana para pruebas y materiales.
<b>mm</b>	:	Milímetros.
<b>kg</b>	:	Kilógramos
<b>AISI</b>	:	Instituto americano de hierro y acero.
<b>HRC</b>	:	Dureza Rockwell
<b>ton</b>	:	Toneladas
<b>m</b>	:	Metro.



# Optimización en la instalación convencional de pernos Swellex, caso mina “San Ramon”.

Optimization in the conventional installation of Swellex bolts,  
mine case "San Ramon".

Kenyo V. Alarcón-Chipana<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ing. Minas Av. Sesquicentenario N°  
1154 Ciudad Universitaria, Puno, Perú, kenyo.alarcon@hotmail.com, cel. 945690234.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo optimizar los tiempos de instalación de los pernos Swellex, y verificar que la resistencia del perno al ensayo de pull test cumpla con lo requerido por mina. Dichas pruebas se realizaron, en el mes de mayo 2018, en la mina San Ramon que se encuentra a 70 km al norte de Medellín, Colombia. Se desarrollo un nuevo adaptador denominado AMPI (adaptador manual de pernos inflables) que reemplazo a la lanceta de inflado que normalmente se venía usando para la instalación de pernos Swellex. Se considero 08 tajos de explotación para las pruebas realizadas de instalación con el nuevo adaptador y ensayo de pull test con el equipo ENERPAC a los pernos instalados. Para el control del procedimiento de instalación se usó los PETS (procedimiento escrito de trabajo seguro) de la empresa Prodac S.A. Para los ensayos de pull test se consideró la Norma ASTM D4435-13 y resistencia mínima requerida por mina según dimensionamiento de perno (10 ton.). En cada tajo de explotación, se mejoró el tiempo de instalación en un 69 %, y la resistencia al pull test resulto en 12 ton, superior a la resistencia mínima requerido por mina. Con la implementación del adaptador AMPI, se optimiza el tiempo de instalación, y la resistencia del perno cumple con el estándar de mina. Se verifica a la vez que se mejora el pegado de la malla electrosoldada al macizo rocoso, dando mejores condiciones para la seguridad del trabajador.

**Palabras clave:** Adaptador, implementación, lanceta, resistencia, tajo de explotación.





## ABSTRACT

This research work aims to optimize the installation times of Swellex bolts and verify that the resistance of the bolt to the pull test meets what is required by mine. These tests were carried out, in the month of May 2018, at the San Ramon mine that is 70 km north of Medellin, Colombia. A new adapter called AMPI (manual adapter of inflatable bolts) was developed to replace the inflation lancet that was normally used for the installation of Swellex bolts. 04 exploitation pitches were considered for the installation tests performed with the new adapter and pull test with the ENERPAC equipment to the bolts installed. To control the installation procedure, the PETS (written safe work procedure) of the company Prodac S.A. was used. For the pull test tests, the ASTM D4435-13 Standard and minimum resistance required per mine according to bolt sizing (10 ton.) Were considered. At each operating site, the installation time was improved by 69% p, and the pull test resistance was 12 ton, higher than the minimum required resistance per mine. With the implementation of the AMPI adapter, the installation time is optimized, and the bolt strength meets the mine standard. It is verified while the bonding of the welded mesh to the rock mass is improved, giving better conditions for worker safety

**Keywords:** Adapter, implementation, lancet, resistance, operating pit.



## I. INTRODUCCIÓN

Mendieta (2015), nos dice que, en toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción, pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes al personal y al equipo.

Cámara (2010) se entiende por sostenimiento en una excavación subterránea el conjunto de elementos estructurales que es preciso colocar para garantizar la estabilidad de la excavación, en las condiciones y durante el tiempo en que va a ser utilizada.

Brito (2013) la caída de roca es uno de los mayores riesgos para los trabajadores de la industria minera subterránea, por ello ha sido una preocupación permanente lograr un control de este riesgo, en el mínimo de tiempo y con la menor exposición del personal.

López (2009), existen varios métodos de refuerzo de la roca, siendo el de mayor efectividad el perno, pues es rápido de instalar y de bajo costo. Se conocen varios sistemas de pernos de anclaje desarrollados a través de los años por grupos de investigación y empresas fabricantes para su aplicación en la estabilización de excavaciones subterráneas y superficiales. Estos van desde el bulón de madera hasta el tubo de fierro o acero y varilla de acero corrugado que pueden anclarse de dos formas diferentes: puntual y longitudinal.

Pantigozo (2013) los operadores pueden elegir a partir de una mayor variedad de opciones y equipos de apertamiento ahora más que nunca el desafío es identificar la mejor solución para las condiciones locales de la roca.

Para los fines de este estudio, analizaremos la instalación de pernos Swellex de forma convencional a fin de mejorar los tiempos de instalación y la seguridad para el trabajador.

Fernandez (2018), el Swellex consiste en un tubo doblado durante el proceso de manufactura para crear una unidad con un diámetro menor. Cuando se coloca el perno en el pozo, se expande con una alta presión hidráulica, lo que produce un contacto friccional



estrecho y un entrelazado mecánico en la interfaz perno/roca. En la instalación convencional se hace uso de una lanceta y bomba hidroneumática, donde la bomba hidroneumática a una presión de 300 bar infla el perno dentro del taladro (Placido, 2016).

Mendieta (2015), el Swellex es un perno de anclaje por fricción, pero en este caso la resistencia friccional al deslizamiento se combina con el ajuste, es decir, el mecanismo de anclaje es por fricción y por ajuste mecánico, el cual funciona como un anclaje repartido. El perno swellex está formado por un tubo de diámetro original de 41 mm y puede tener de 0.6 a 12 m de longitud o más (en piezas conectables), el cual es plegado durante su fabricación para crear una unidad de 25 a 29 mm de diámetro”.

Hasta ahora poca investigación se ha relacionado a la efectividad de los pernos Swellex en la instalación manual del elemento (Soni, 2000).

Rojas (2016) la capacidad de anclaje de un perno Swellex se mide a través de uso de un aparato de prueba de tracción denominado equipo de Pull Test. Giraldo (2013), en su estudio de investigación: “Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca”; de acuerdo con el estudio, los resultados de las 51 pruebas realizadas (11 Split Set, 17 Barras Helicoidales, 12 Hydrabolts y 11 Swellex), demuestran que la capacidad de anclaje de los pernos no guarda una relación lineal con sus longitudes, es decir, al duplicar la 7 longitud de un perno, su capacidad de anclaje no necesariamente será el doble; asimismo, la elongación de los pernos tiende a guardar una relación lineal con la carga aplicada.

Muchas minas subterráneas usan pernos Swellex para soporte de rocas en la instalación mecanizada con equipos como el Bolter, Boltec, Muky, Maclen, entre otros, por su fácil, rápida y segura instalación (Ramirez, 2008). Sin embargo, en la instalación convencional de este elemento de soporte donde se usa equipo de perforación convencional como Jackleg, y la instalación e inflado del perno se realiza con una lanceta, tipo barra telescópica, y una bomba hidroneumática (peso 35 kg) hace que el tiempo de instalación del perno no sea lo óptimo para la operación, y más tiempo aun cuando se instala en combinación con la malla electrosoldada, y esto ocasiona que minas subterráneas con sostenimiento convencional tengan demoras en su instalación y el personal se exponga demasiado al riesgo. Es debido a este enfoque que se desarrolla el



adaptador AMPI en reemplazo de las lancetas usadas en la instalación lo cual reduce el tiempo, facilita la operatividad y mejora la seguridad para el trabajador. La correcta instalación de este elemento de sostenimiento se evidencia a través de los ensayos de Pull Test con el equipo ENERPAC en donde se debe de obtener una resistencia mínima de 10 ton a ensayos no destructivos.

## II. MATERIALES Y METODOS

La investigación se realizó en el mes de mayo 2018, en la mina San Ramon que se encuentra a 70 km al norte de Medellín, Colombia. Las labores donde se realizaron los ensayos fueron en 08 tajos de explotación, denominados con la siguiente nomenclatura: AR 126 HE, AR 126 HW, AR 127 HE, AR 127 HW, AR 103 FE, AR 103 FW, AR 105 FE y AR 105 FW, la característica de las labores se muestra en la tabla 01.

**Tabla 1:** Labores donde se realizaron los ensayos.

Labor	Sección (m)	Tipo de Roca	Sostenimiento	
			Swellex	Malla electrosoldada
AR 126 HE	2.7 x 2.7	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 126 HW	2.7 x 2.7	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 127 HE	3.0 x 2.7	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 127 HW	3.0 x 2.7	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 103 FE	2.5 x 2.5	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 103 FW	2.5 x 2.5	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 105 FE	2.7 x 2.7	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m
AR 105 FW	2.7 x 2.7	Mala IV A	5 pies	Nº 10, 3" x 3" de 2.4m x 5.5 m

Fuente: Elaboración propia.

Los equipos usados para la instalación de pernos Swellex se detallan a continuación:

*Bomba hidroneumática:* Es una bomba portátil de alta presión, usada para la instalación de pernos expansivos, la cual inyecta agua a alta presión de forma rápida y constante al interior del perno, logrando inflar el perno dentro del taladro. Esta bomba de simple uso es robusta y construida para trabajos bajo condiciones mineras duras y exigentes.

Características:

**Peso:** 35Kg.

**Min. presión de entrada aire:** 4 bar

**Max. presión de entrada aire:** 6 bar

**Presión de entrada agua:** 2 bar

**Max presión de salida:** Hasta 300 Bar

**Caudal de agua:** 6 Lts. por minuto

**Dimensiones:** 620x340x240

*Lanceta para inflado de pernos Swellex:* Es una lanceta metálica que sirve para inflar pernos Swellex. La lanceta cuenta con un manómetro donde indica la presión de inflado hacia el perno; esta presión debe llegar entre 250 y 300 bar de presión. Además, cuenta con una manguera de 5 metros de longitud, dicha manguera se conecta en la salida de presión de una bomba de inflado. Como accesorios consumibles contiene en la boquilla sellos y anillos que ayudan para el inflado del perno. En la figura 01 se ilustra la lanceta de inflado de pernos.

*AMPI (Adaptador manual para inflado):* Es un adaptador para el inflado de pernos Swellex adecuados para equipo de perforación convencional (Jackleg). Para la fabricación de este innovador adaptador se utilizan aceros de alta resistencia y buena tenacidad, acero bonificado AISI 4340 y acero inox AISI 431, con tratamiento térmico (40 – 50 HRC). Cuenta con una manguera de 5 m. de longitud que se conecta a la bomba de inflado. Como accesorios consumibles contiene en la boquilla sellos y anillos que ayudan para el inflado del perno.

El adaptador AMPI es la propuesta para reemplazar a la tradicional Lanceta de inflado de pernos. Con dicho adaptador se propone mejorar tiempos de instalación, mejorar el pegado de la malla y la seguridad de los trabajadores. En la figura 02 se ilustra la imagen del adaptador AMPI



**Figura 1.** Lanceta de inflado de pernos, diseñado por Atlas Copco para la instalación convencional de pernos Swellex.



**Figura 2.** AMPI (adaptador manual para inflado)

En la figura 2 nos muestra el AMPI diseñado para el inflado de pernos Swellex en reemplazo de la lanceta, diseño realizado por la empresa PRODAC S.A. a fin de mejorar los tiempos de instalación, pegado de la malla y seguridad de los trabajadores

*Equipo de Pull Test:* Marca ENERPAC calibrado según código FOR004699, compuesto por: Cilindro hidráulico 30 ton, bomba hidráulica 10.000 psi, Manómetro 10.000 psi (30 ton) castillo, adaptadores de extracción para perno Swellex, mariposa y esparrago. Este equipo servirá para las pruebas de tracción a realizar a los pernos según norma ASTM D4435-13 y considerando una resistencia mínima de 10 ton, según estándar geomecánico para las labores en evaluación.

Las pruebas se realizaron comparando la instalación de pernos swellex aplicando el uso de la lanceta de inflado y el adaptador AMPI en 08 tajos de explotación. En la tabla

02 se detalla el número de pernos instalados por cada labor y la cantidad de ensayos de Pull Test realizados. En la tabla 03 se describe los parámetros para la instalación.

**Tabla 2.** Describe la cantidad de pernos instalados por cada labor y los ensayos de pull test realizados.

<b>Labor</b>	<b>Dispositivo para inflado</b>	<b>Cantidad de pernos Swellex instalados</b>	<b>Cantidad de ensayos de Pull Test realizados.</b>
<b>AR 126 HE</b>	Lanceta	11	1
	AMPI	11	1
<b>AR 126 HW</b>	Lanceta	11	1
	AMPI	11	1
<b>AR 127 HE</b>	Lanceta	12	1
	AMPI	12	1
<b>AR 127 HW</b>	Lanceta	12	1
	AMPI	12	1
<b>AR 103 FE</b>	Lanceta	11	1
	AMPI	11	1
<b>AR 103 FW</b>	Lanceta	11	1
	AMPI	11	1
<b>AR 105 FE</b>	Lanceta	11	1
	AMPI	11	1
<b>AR 105 FW</b>	Lanceta	11	1
	AMPI	11	1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.** Parámetros para la instalación

<b>Descripción</b>	<b>Control</b>
<b>Sostenimiento</b>	Swellex + malla electrosoldada
<b>Diámetro de taladro</b>	38 mm
<b>Longitud de perforación para perno de 5 pies.</b>	1.6 m
<b>Barrido o limpieza del taladro</b>	Sin detrito
<b>Espaciamiento de pernos</b>	1.2 m x 1.2 m
<b>Bomba y adaptador de inflado</b>	Operativos
<b>Presión de inflado</b>	300 bar
<b>Tipo de roca en las labores ensayadas</b>	IV A
<b>Equipo de perforación</b>	Jackleg

Fuente: Elaboración propia





Los datos para tomar en cuenta para la comparación en la instalación son medidos en los siguientes parámetros: Tiempo de instalación y resistencia al ensayo de pull test. En el tiempo de instalación se considera desde que el operador inicia con la perforación del taladro, inserción del perno swellex e inflado a 300 bar. La instalación se realizará en combinación con la malla electrosoldada. Para este control se considerará el tiempo por perno instalado.



### III. RESULTADOS

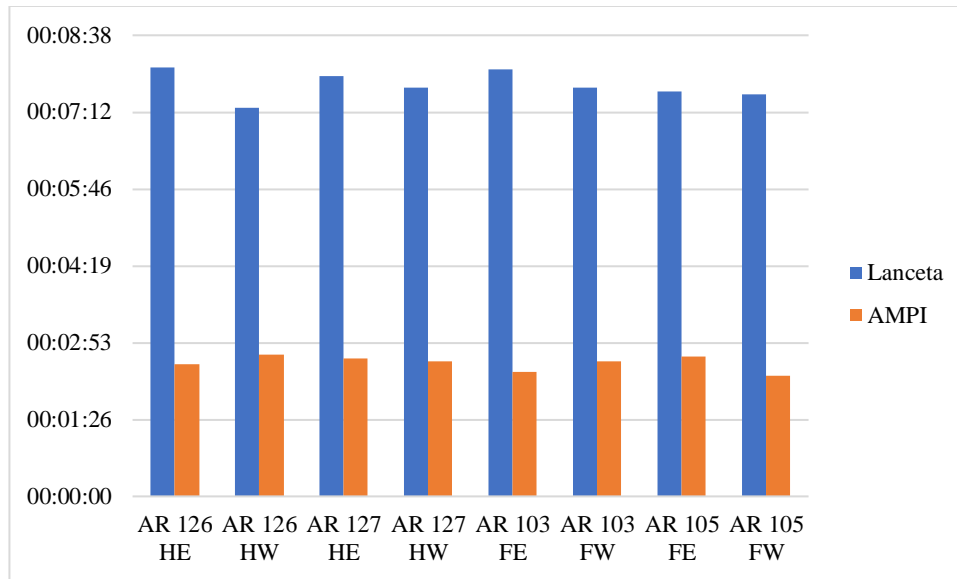
Se realizaron 90 instalaciones de pernos swellex de 5 pies, con la lanceta para inflado de pernos diseñado por Atlas Copco y 90 instalaciones de pernos swellex de 5 pies, con el adaptador AMPI (adaptador manual para inflado) diseñado por Prodac S.A. Las instalaciones se realizaron en 08 tajos de explotación donde se controlaron el tiempo total de instalación por cada perno, los cuales se muestran en la tabla 04.

**Tabla 4.** Tiempo de instalación por perno

ADAPTADOR LANCETA			ADAPTADOR AMPI		
Labor	N° Pernos swellex instalados	Tiempo de instalación por perno	Labor	N° Pernos swellex instalados	Tiempo de instalación por perno
AR 126 HE	11	00:08:02	AR 126 HE	11	00:02:29
AR 126 HW	11	00:07:17	AR 126 HW	11	00:02:39
AR 127 HE	12	00:07:52	AR 127 HE	12	00:02:35
AR 127 HW	12	00:07:40	AR 127 HW	12	00:02:32
AR 103 FE	11	00:08:00	AR 103 FE	11	00:02:20
AR 103 FW	11	00:07:40	AR 103 FW	11	00:02:32
AR 105 FE	11	00:07:35	AR 105 FE	11	00:02:37
AR 105 FW	11	00:07:32	AR 105 FW	11	00:02:16

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con la tabla 04, se sabe que el promedio de instalación de los pernos swellex de 5 pies de longitud con el adaptador tipo lanceta es de 7 min con 42 seg y con el adaptador AMPI es de 2 min con 30 seg. Por lo cual el uso del adaptador AMPI optimiza el tiempo de instalación de los pernos swellex en un 69 %. Brito (2013) ha sido una preocupación permanente lograr un control de este riesgo, en el mínimo de tiempo y con la menor exposición del personal. Según lo manifestado por Brito sobre su preocupación por controlar el riesgo a un mínimo tiempo posible, llegamos a deducir que con el cambio del adaptador mejoraremos en estos aspectos en la instalación del Swellex.



**Figura 3.** Tiempos de instalación por perno.

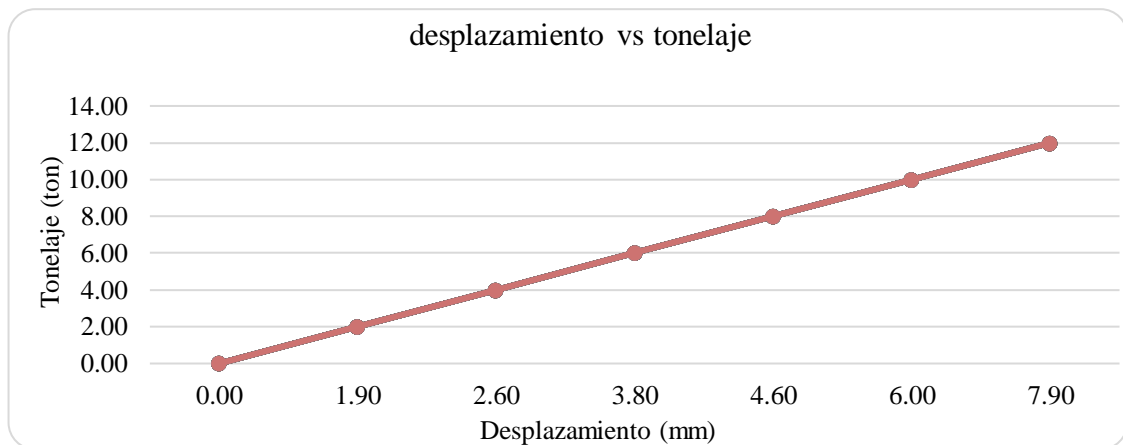
En relación con los ensayos de pull test realizado al perno swellex se muestra la tabla 05.

**Tabla 5.** Resistencia al pull test.

Adaptador AMPI			Adaptador lanceta		
Labor	Nº Pernos swellex ensayados	Resistencia al pull test. (ton)	Labor	Nº Pernos swellex ensayados	Resistencia al pull test. (ton)
AR 126 HE	1	12	AR 126 HE	1	12
AR 126 HW	1	12	AR 126 HW	1	12
AR 127 HE	1	12	AR 127 HE	1	12
AR 127 HW	1	12	AR 127 HW	1	12
AR 103 FE	1	12	AR 103 FE	1	12
AR 103 FW	1	12	AR 103 FW	1	12
AR 105 FE	1	12	AR 105 FE	1	12
AR 105 FW	1	12	AR 105 FW	1	12

Fuente: Elaboración propia.

Se puede verificar en la tabla 05, que los resultados de resistencia a la tracción a través del equipo pull test, están por encima de lo requerido por mina (10 ton), logrando obtener una resistencia de 12 ton a ensayos no destructivos.



**Figura 4.** Curva de desplazamiento vs tonelaje

La elongación de los pernos tiende a guardar una relación lineal con la carga aplicada (Giraldo, 2011). Revisando la investigación de Giraldo Paredes “Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca”, se llega a corroborar que la elongación de los pernos guarda una relación lineal con la carga aplicada.



## DISCUSIONES

Para la instalación convencional de pernos Swellex en diferentes unidades mineras de Colombia, cabe mencionar Mina el Roble, Mina Continental Gold, Mina San Ramon y entre otras minas de Latinoamérica; es costumbre el uso de la lanceta de inflado como accesorio para las instalaciones de pernos Swellex. Sin embargo con el uso de la lanceta de inflado se evidencia falta de continuidad en la operación, incorrecto pegado de las mallas electrosoldadas al macizo rocoso, entre otras actividades del proceso que se enmarcan en un entorno de inseguridad para el trabajador; estas observaciones van enmarcadas en el proceso de la instalación; sin embargo en cuanto a la resistencia requerida por el área de geomecánica el uso de esta lanceta de inflado cumple adecuadamente el trabajo de inyección de la presión de agua dentro del perno y logra inflarlo adecuadamente a fin de obtener una resistencia mínima de 10 ton, requerido según el tipo de roca detallado líneas arriba.

Debido a las observaciones operativas de la lanceta de inflado, se propone el uso del adaptador AMPI (Adaptador manual para inflado) lo cual logra optimizar los tiempos de instalación, da continuidad a la operación, asegura el correcto pegado de la malla electrosoldada, logrando un entorno de trabajo seguro. Según Brito (2013) indica que el procedimiento de instalación de los pernos de anclaje siempre debe de ser seguro, evitando actos y condiciones subestándares. Debido al concepto propuesto por Brito se comparte la idea de realizar operaciones cada vez mas seguras y poder mejorar procesos aportando conocimientos de ingeniería y diseñar alternativas viables para la operación.

Ramos Yataco Arturo (2015), en su exposición: “Sostenimiento en minería subterránea”; hace mención que, en toda explotación minera, el sostenimiento de las labores es un trabajo adicional de alto costo que reduce la velocidad de avance y/o producción pero que a la vez es un proceso esencial para proteger de accidentes a personal y al equipo. El sostenimiento es un proceso critico en las operaciones mineras, para lo cual se debe de poner énfasis en realizar estudios de optimización y mejorar los procedimientos y así evitar incidentes que podrían ser fatales.



## IV. CONCLUSIONES

El adaptador AMPI (adaptador manual para inflado) optimiza la instalación de los pernos Swellex a comparación de la lanceta que tradicionalmente se utiliza para la instalación de estos; la mejora alcanzada con los nuevos adaptadores se refleja en la continuidad de la operación, mejor control a la estabilidad del macizo rocoso y seguridad adecuada para los trabajadores.

Respecto a las pruebas de Pull Test realizado a los pernos, la resistencia no varía con referencia directa del cambio del adaptador y en los dos casos se llega a superar la resistencia mínima requerida por mina, resultados que avalan que el adaptador AMPI cumple con las expectativas de la operación y el área de geomecánica.

Finalmente, este tipo de estudio es valioso, ya que aporta información útil para las áreas de geomecánica que quisieran implementar este sistema en su sostenimiento convencional; sin embargo, es conveniente realizar más pruebas en diferente tipo de rocas y con equipos diferentes a fin de tener más datos para el análisis respectivo.



## RECOMENDACIONES

Se recomienda que antes de poner decidir y optar el tipo de sostenimiento a instalar en la mina, también se pueda considerar evaluar temas de operatividad, seguridad en la instalación, performance en combinación con otros elementos de sostenimiento, tiempos de ejecución y la seguridad con que va a estar relacionado todo el procedimiento de instalación.

El uso del adaptador AMPI (adaptador manual para inflado) se recomienda el uso para instalaciones convencionales de pernos Swellex, adaptador que optimiza tiempos de instalación, seguridad en el trabajo y otros aspectos. Se recomienda evaluarlo para el uso en diferentes unidades mineras que opten por este sistema de fortificación al macizo rocoso.



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Altiplano, a la Facultad de Ing. Minas, por permitirme haber realizado mis estudios de pregrado e inculcar la ciencia de la minería en mi persona.

Al Ing. Julio Lopez, por haberme guiado de manera oportuna a través de sus conocimientos teóricos y prácticos en las pruebas realizadas en mina San Ramon, Colombia.

A la empresa PRODAC S.A. por las capacitaciones constantes e información relevante para la presente investigación.





## REFERENCIAS

- Mendieta Brito, L (2015). *Optimización de los costos operativos en la unidad Cerro Chico*. Pontificie Universidad Católica del Perú. Recuperada de: <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5946>
- Cámara Zapata, E. (2010). *Modelización mediante el método de los elementos finitos (fem) de los componentes del bulonaje en una mina de potasa*. Escuela Politécnica Superior de Ing. Minas, España.
- Ramírez Oyanguren, P. et al. (2008). *Mecánica de Rocas aplicada a la Minería Metálica Subterránea*. I.T.G.E., Madrid, España.
- Brito Gonzales, F. (2013). *Comparación de la resina de poliéster respecto a la lechada de cemento usada en la fortificación minera metálica subterránea*. Universidad Pedro de Valdivia Facultad de Ingeniería Minas.
- Blas Plácido, C. (2016). *La geomecánica en el sostenimiento de la mina Ricotona, Apurímac*. Universidad Nacional de Apurímac.
- Rojas Pilco, W. (2016). *Sostenimiento con pernos Swellex*. Corona (1) 13-14 Lima, Perú
- López Félix, G. (2008). *Sostenimiento con shotcrete vía húmeda en la mina*. Universidad Nacional Daniel Alcides Carrion.
- Giraldo Paredes, M. (2011). *Variabilidad de la capacidad de sostenimiento de un macizo rocoso Vs longitud de pernos de roca*. RIIGEO Vol. 14 Núm. 28 U.N.M.S.M. Lima, Perú.
- Soni, A. (2000). *Analysis of swellex bolt performance and a standardized rockbolt pull test datasheet and database*. Master of Applied Science Graduate Department of Civil Engineering University of Toronto
- Robles Espinoza, N. (1994). *Excavación de y Sostenimiento de Túneles en Roca*. CONCYTEC, Lima – Perú.
- Ros Esteban, A. (2005). *Bulones Split Sets. Tipos de Anclajes (pag. 255– 261)*.