

# Capacidad de anclaje de los *split sets* en función de su longitud efectiva de anclaje

## Anchor capacity of split sets according to their bond length

Emiliano Mauro Giraldo Paredez<sup>1</sup>

Recibido: Octubre 2017 - Aprobado: Junio 2018

### RESUMEN

El sostenimiento en las excavaciones subterráneas es esencial, para preservar la vida y la salud de los trabajadores, daños a los equipos y tener un adecuado avance de la excavación. Los elementos de sostenimiento de mayor aplicación son los pernos de roca, temporales o definitivos. Dentro de los pernos temporales, se tienen los Split Sets, muy difundido en el mundo por su facilidad de instalación y bajo costo. Los Split Sets, tienen el aspecto de un tubo con una ranura de 15 mm de ancho en toda su longitud, para cuya instalación los fabricantes y proveedores recomiendan taladros de 38 mm de diámetro y profundidades acorde con su longitud. Para realizar el presente estudio, se han simulado el terreno y los taladros con una mesa especial y tubos de acero, respectivamente. Los Split Sets, se acondicionaron para hacer anclajes de 1, 2, 3 y 4 pies de longitud efectiva de anclaje. Preparados los tubos simuladores y los Split Sets, se procedió con la instalación, luego del cual, se realizaron las pruebas de arranque de las 3 muestras por cada longitud ensayada para determinar la capacidad de anclaje. Las cargas pico para cada longitud en estudio, se registraron en formatos diseñados para este fin. Compilando los valores registrados y ajustándolos de acuerdo a la certificación de calibración del manómetro llevada a cabo en la UNI, se obtuvo las capacidades de anclaje para cada una de las longitudes ensayadas. Resultados que han sido plasmados en un cuadro y ábaco, de donde se colige que la capacidad de anclaje de los Split Sets es afectado por su longitud efectiva de anclaje, y que no guardan una relación. La longitud efectiva de anclaje máxima tiende a 4 pies, es decir, es innecesario usar longitudes superiores.

**Palabras clave:** Perno de roca; Split Set; sostenimiento; longitud efectiva de anclaje; capacidad de anclaje.

### ABSTRACT

The support in underground excavations is essential to preserve the life and health of the workers, damage to the equipment and to have proper progress of the excavation. The most common Rock support sets are the rock bolts, temporary or definitive. Among temporary rock bolts, there are the Split sets, widespread around the world due to their ease of installation and cheaper. Split Sets, have the appearance of a tube with a 15 mm slot in its entire length, manufacturers and suppliers recommended 38 mm diameter of drill holes and depths according to their length. In this research, the ground and holes were simulated with a special table and steel tubes. Split Sets, were conditioned to make anchors of 1, 2, 3, and 4 feet of bond length. Prepared the simulator tubes and Split Sets were installed, after which, were performed the pull test of the 3 samples for each bond length to determine their anchor capacity. Peak loads for each length researched were recorded in formats designed for this purpose. Compiling the recorded values and adjusting them according to certification of pressure gauge calibration carried out in UNI, obtained the anchor capacity for each of length tested. Results that have been captured in a table and graph, where is inferred that the anchor capacity of the Split Sets is affected by its bond length, and that do not have a relationship. Maximum bond length of anchorage tends to 4 feet, i.e., it is unnecessary to use greater lengths.

**Key words:** Rock bolt; Split Set; rock support; bond length; anchor capacity.

<sup>1</sup> Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú. E-mail: egiraldop@unmsm.edu.pe ; egiraldop@hotmail.com

## I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo a estadísticas del Ministerio de Energía y Minas del 2000 al 2016, más del 31 % de accidentes mortales ocurrieron por desprendimiento de rocas, de los cuales el 59 % se producen en los tajeos y 48,5 % en áreas no sostenidas (Giraldo 2016). Esto significa que, si se aplicara sostenimiento a los tajeos (que no se estila), podría reducirse drásticamente el número de accidentes, los elementos de sostenimiento más apropiados son los Split Sets, como pernos temporales de fácil aplicación y bajo costo, sobre todo por que actúa inmediatamente después de su instalación. El objetivo de este estudio, es demostrar que la capacidad de anclaje de los Split Sets depende de la longitud efectiva de anclaje.

Para alcanzar los propósitos de este estudio, los ensayos de arranque se llevaron a cabo en el laboratorio, sustituyendo el terreno con la “Mesa para determinar la capacidad de anclaje de pernos de roca”, diseñado y construido de fierro y acero y, los taladros perforados en roca fueron sustituidos por tubos de acero, a los que se le ha denominado tubos simuladores, cuyos diámetros fueron de 38 mm, tal como recomiendan los fabricantes para la instalación de los Split Sets (Atlas Copco, 2003 y Ros, 2005). La ventaja de este método para determinar la capacidad de anclaje de los pernos, radica en que garantizan las mismas condiciones en toda su longitud en cuanto a diámetro y fricción. Los Split Sets, se instalaron dentro de los tubos simuladores por percusión; luego del cual, se procedió con las pruebas de arranque, registrando los valores pico, consecuentemente su capacidad de anclaje.

Procesando los datos registrados en las pruebas de arranque, se demuestra que la capacidad de anclaje de los Split Sets depende la longitud efectiva de anclaje y su comportamiento no es lineal como se ha venido sosteniendo (Giraldo, 2012), dado como se ilustra más adelante, se torna asintótica por encima de 3,5 pies de longitud efectiva de anclaje, lo cual indica que es innecesario utilizar Split Sets de mayor longitud que 4 pies de LEA. Asimismo, dado que las pruebas de arranque también permiten medir el desplazamiento aparente, su comportamiento es lineal para las 4 longitudes efectivas de anclaje.

## II. MATERIALES, EQUIPOS Y MÉTODOS

Para el desarrollo del presente trabajo, cuyos resultados reflejen la real capacidad de anclaje de los Split Sets, se sustituyó el terreno por una mesa diseñada y construida para realizar este tipo de ensayos y los taladros se reemplazaron por tubos de acero de 38 mm de diámetro interior, que simulan la mejor roca que puede encontrarse en la naturaleza (clase I, RMR = 81-100). Los tubos simuladores se prepararon en un taller metal mecánico, cortándolos en longitudes apropiadas para que los Split Sets hagan anclajes de 1, 2, 3 y 4 pies en forma efectiva (longitud efectiva de anclaje), coronando por uno de sus extremos con una arandela para su adecuado apoyo en la mesa (arandela de tope).

Dado que los Split Sets conseguidos para este estudio tenían de 5 pies de longitud, se tuvo que acondicionarlos mediante cortes y conificado de sus colas, con la finalidad

de tener longitudes efectivas de anclaje de 1, 2, 3 y 4 pies. Asimismo, fue necesario preparar arandelas de arranque para que el gancho de la mordaza del equipo de arranque haga tracción sin dañar las cabezas de los Split Sets. Culminada la etapa preparatoria, se procedió instalar estos pernos dentro de los tubos simuladores a pulso usando combas de diferentes tamaños.

Llevada a cabo la instalación de los Split Sets, se procedió hacer las pruebas de arranque (pull test), usando para ello el equipo de arranque proporcionada por NCM en calidad de préstamo, que consta básicamente de: Bomba hidráulica manual, manómetro, manguera de impulsión, cilindro hidráulico, torre y mordaza. Las cargas pico aplicadas, se obtenían de la lectura del manómetro, valores que se iban registrando en un formato diseñado exclusivamente para este estudio.

Los datos registrados durante las pruebas de arranque, se compilaron y procesaron en un programa diseñado para calcular las cargas picos reales, dado que el manómetro tenía una calibración certificada por la UNI. Por consiguiente, las cargas registradas durante las pruebas de arranque se ajustaron según la ecuación de calibración. Con esos resultados se obtuvieron las capacidad de anclaje de los Split Sets en función de la longitud efectiva de anclaje (bond length).

### 2.1 Preparación de los Split Sets:

Los Split Sets usados en el presente estudio, tenían un diámetro de 39,5 mm (calibrado con vernier digital) y 5 pies (1,5 m) de longitud. Dado que todos los Split Sets recibidos en calidad de donación de la Cía: Minera Poderosa, tenían esta longitud, fue necesario cortarlos de acuerdo a lo planificado en longitudes apropiadas, con la cortadora de metales – Sierra de corte rápido: DEWALT de 14” D28700 – B2 de 2200 w, que muestra la Figura N° 1. Tal es así que, considerando la longitud de la conicidad en la cola de 15 cm y en la cabeza 11,6 cm para instalar la mordaza del equipo de arranque durante las pruebas, se cortaron en tamaños de: 56,6; 86,6; 116,6 y 146,6 cm, para tener longitudes efectivas de anclaje de 1, 2, 3 y 4 pies, respectivamente.

Una vez cortados en las longitudes antes indicadas, fue necesario volver a conificar sus colas, similar a lo realizado en la fábrica, usando un yunque y comba, para facilitar su instalación en los tubos simuladores, como muestra el extremo inferior de la Figura N° 1.

### 2.2 Preparación de los tubos simuladores:

La longitud de los tubos simuladores para configurar longitudes efectivas de anclaje de 1, 2, 3 y 4 pies, se cortaron de 45, 75, 105 y 135 cm, respectivamente, considerando la longitud muerta de los Split Sets en la cola.

Establecidas las longitudes de los tubos simuladores para las longitudes efectivas de anclaje antes indicadas, se calcularon la cantidad de tubos que requeriría el estudio, para adquirirlos y trasladarlos a un taller metal mecánico, parte de estos tubos se aprecia en la Figura N° 2 durante el proceso de corte. Además, en esta figura se observa el paso inicial en la preparación de las arandelas, es decir, el corte en longitudes de acuerdo al diseño, a partir de un fleje de fierro de 10 mm de espesor, luego pasa por un proceso de



**Figura N° 1.** Preparación de Split sets, se observa la cortadora Dewalt.

maquinado que consiste en perforarlos en su centro hasta un diámetro acorde con el diámetro del tubo simulador, y, finalmente son soldados en uno de los extremos de los tubos simuladores. Estas arandelas sirven de apoyo por debajo de la mesa, de tal forma que durante los ensayos de arranque, actúan como tope evitando que el tubo simulador sufra deformación por la carga aplicada.



**Figura N° 2.** Preparación de tubos simuladores en taller metal mecánico

### 2.3 Codificación de las muestras:

Trasladado los tubos simuladores del taller metal mecánico a la sede de la EAP de Ingeniería de Minas, donde también se cortaron y conificaron los Split Sets; se procedió a codificar las muestras, como ilustra la Figura N° 3, para su fácil identificación, mientras dure el estudio (antes, durante y después de los ensayos). Por cada longitud efectiva de anclaje, se ensayaron 3 muestras, totalizando 12 pruebas. En el extremo izquierdo de la Figura N° 3, se lee lo siguiente: SS-38-4'-3, este código indica lo siguiente: SS = Split Set, 38 = Diámetro interior del tubo simulador, 4' = Longitud efectiva de anclaje de 4 pies y 3 = Número de muestra. El marcado de estos códigos en la pared exterior de los tubos simuladores fue reiterativo a lo largo de estos tubos y en distintas posiciones, para garantizar su identificación así se borrara o quedara ilegible alguna de las marcas por el manipuleo de las muestras.

### 2.4 Instalación de los Split Sets

La instalación de los Split Sets dentro de los tubos simuladores, es la que demandó mayor trabajo y dificultad en la etapa preparatoria. En una operación, los Split Sets se instalan dentro de los taladros previamente perforados, utilizando una perforadora rotopercutiva (jacklegs o jumbos), equipo que no estuvo disponible en el laboratorio de pruebas acondicionado en la sede de la EAP de Ingeniería de Minas (dentro del campus universitario de la UNMSM). Por esta razón, se tuvo que instalarlos a pulso, utilizando combas, como puede apreciarse en la Figura N° 4.

Por demandar arduo trabajo, fue necesario contratar una cuadrilla de personal de construcción civil, además de los estudiantes de la EAP de Ing. de Minas que venían colaborando. La Figura N° 4 corresponde a la instalación de Split sets de 3 y 4 pies, que demandaron la mayor dificultad.



Figura N° 3. Codificación de muestras de Split Sets



Figura N° 4. Instalación de Split Sets con una cuadrilla de personal con comba

Para evitar dañar las cabezas de los Split Sets durante su instalación, se diseñó y construyó un adaptador de acero endurecido en un taller metal mecánico, similar a lo que se usan con las perforadoras rotopercutivas. La cabeza de este adaptador, se construyó de la culata de un barreno integral para soportar los impactos de los golpes propinados con las combas. La Figura N°5 ilustra las 3 muestras de Split Sets de 4 pies de longitud efectiva de anclaje ya instalados, listos para proceder con las pruebas de arranque (pull test).

### 2.5 Pruebas de arranque y desplazamiento aparente

Los ensayos realizados a los Split Sets, comprende la prueba de arranque (pull test) propiamente, cuyo valor de la carga aplicada se obtiene a partir de la lectura en el manómetro del equipo de arranque; paralelamente se registra el desplazamiento aparente del perno al aplicar cargas crecientes. La Figura N° 6, ilustra el desarrollo de las pruebas de arranque en el pequeño laboratorio acondicionado en la sede de la EP de Ingeniería de Minas con la colaboración de los alumnos de esta Escuela.

## 2.6 Equipo utilizado

La Figura N° 6 ilustra el equipo de arranque utilizado en este estudio durante las pruebas de arranque y que consta de:

- Mesa para determinar la capacidad de anclaje de pernos de roca.
- Bomba hidráulica manual POWER TEAM.
- Gata Hidráulica POWER TEAM con una capacidad de 20 ton.
- Manómetro ENERPAQ modelo GF 813P escala RCH-202, lectura en ton.
- Torre, mordaza, esparrago y perno mariposa.
- Vernier digital TRUPER 0” – 6”

El manómetro del equipo de arranque, fue calibrado en el Laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), estableciendo el ajuste para las cargas registradas directamente del manómetro durante las pruebas, mediante la ecuación:  $Y = 0,9924 x$ ; donde: Y es la lectura patrón (UNI) y x es la lectura en el manómetro.

En las pruebas de arranque no se presentaron inconvenientes, finalizando cada prueba sin daños en las cabezas de los Split Sets ni en las arandelas. Las lecturas de las cargas y los desplazamientos aparentes para todas las longitudes efectivas de anclaje, se registraron en incrementos de 1 ton. Alcanzándose cargas pico de 3, 4, 6 y 7 ton (lecturas en el manómetro), para las respectivas longitudes efectivas de anclaje de 1, 2, 3 y 4 pies.



Figura N° 5. Split Sets de 4 pies de longitud efectiva de anclaje ya instalados



Figura N° 6. Ejecución de las pruebas de arranque en la EP ingeniería de Minas

### III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Capacidad de anclaje en función de la longitud efectiva de anclaje

Compilando las cargas registradas en las pruebas y haciendo los ajustes de las cargas según certificación de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), se obtiene la Figura N° 7, que grafica la capacidad de anclaje de los Split Sets, en función de la longitud efectiva de anclaje, instalada en tubos simuladores de 38 mm de diámetro. Se observa que, la capacidad de anclaje de estos pernos no es una relación lineal con su longitud. La ecuación cuadrática tiene un coeficiente de determinación de 0,9339. La curva tiene pendiente ascendente hasta 4 pies de LEA, lo cual implica que no amerita aplicar mayores LEAs, puesto que a partir de dicho valor, la curva se torna asintótica.

#### 3.2 Desplazamiento aparente de los Split Sets en tubo simulador

El desplazamiento aparente, es la propiedad del perno, que al practicar la prueba de arranque (pull test), muestra como un desplazamiento y/o estiramiento, pero la carga en el manómetro sigue en ascenso, por consiguiente, no puede ser desplazamiento, dado que si fuera este efecto el manómetro marcaría la misma carga o inferior; tampoco es elongación puesto que el nivel de carga aplicada es muy inferior al límite elástico del perno. Por estas consideraciones, a este fenómeno se le ha denominado “desplazamiento aparente”.

El desplazamiento aparente de los Split Sets instalados en tubos de 38 mm, es uniforme, sufriendo mayor desplazamiento para longitudes efectivas de anclaje de 3 y 4 pies. La curva del desplazamiento aparente es lineal, cuyas ecuaciones tienen coeficientes de correlación de 1 o muy próximos a 1, tal como ilustra la Figura N° 8.

#### 3.3 Discusión de resultados

Para lograr las longitudes efectivas de anclaje (LEA) de 1, 2, 3 y 4 pies, los tubos simuladores se cortaron en longitudes de 45, 75, 105 y 135 cm, es decir 15 cm adicionales a las LEAs por la conicidad en la cola de los Split Sets.

Los resultados de los análisis para cada longitud efectiva ensayada demuestran su influencia sobre la capacidad de anclaje de los Split Sets. Asimismo, la relación entre ambos no es lineal, como estilan considerar los fabricantes y proveedores de estos pernos. Tal es así que, su comportamiento es ascendente hasta 4 pies, con tendencia a tornarse asintótica para longitudes superiores.

De lo anterior se puede concluir que longitudes efectivas de anclaje superiores a 4 pies es innecesario. Por consiguiente, para calcular la longitud adecuada de los Split Sets es necesario sumar a la longitud efectiva de anclaje, la altura de la capa inestable y las longitudes muertas en su cabeza y cola.

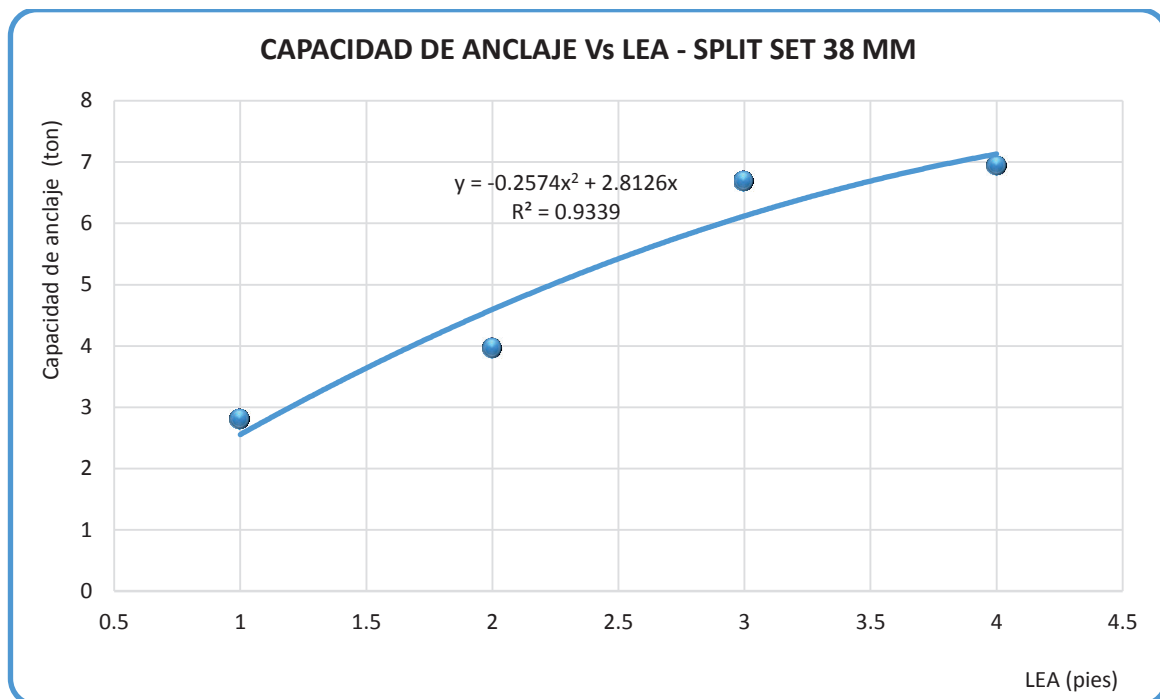
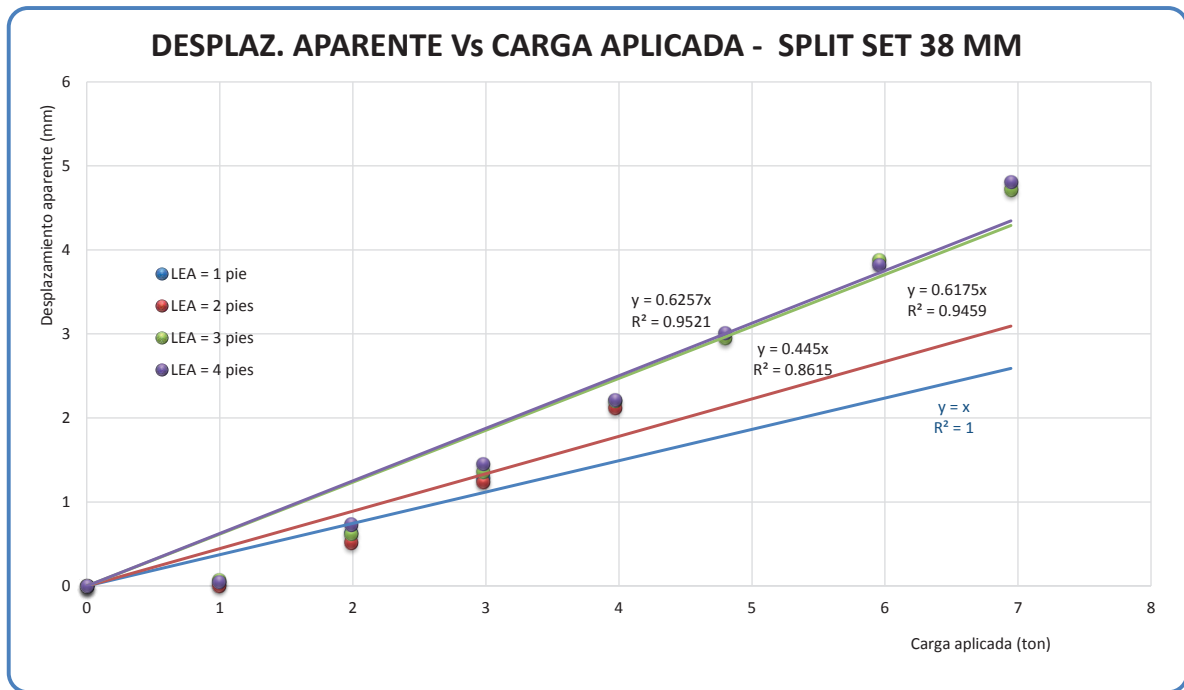


Figura N° 7. Capacidad de anclaje de los Split Sets en función de su longitud efectiva de anclaje.



**Figura N° 8.** Desplazamiento aparente de los Split Sets instalados en tubos simuladores de 38 mm.

## IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

1. La capacidad de anclaje de los Split Sets, se ve afectada por la longitud efectiva de anclaje.
2. La capacidad de anclaje de los Split Sets no guarda una relación lineal con su longitud, alcanzado un valor máximo de torna asintótica, lo cual indica que, para longitudes superiores, la capacidad de anclaje tiende a mantenerse invariable.
3. Los Split Sets no se acoplan completamente en las paredes del taladro o tubo simulador, se generan franjas de aberturas y su ranura no se cierra completamente en diámetro de 38 mm.
4. Pasado un tiempo, después de su instalación, estos pernos se aflojan dejando o reduciendo su capacidad de anclaje.

### 4.2. Recomendaciones como producto de estudio

1. Realizar estudio sobre la capacidad de anclaje de estos pernos, en otros diámetros de tubo simulador, con la finalidad de establecer si el diámetro de 38 mm es el más adecuado.
2. Realizar estudios similares con otros diámetros de Split Sets, para hacer un análisis comparativo de sus capacidades de anclaje y seleccionar el que garantice mejor sostenimiento.

## V. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Cía. Minera Poderosa S.A. por su gentileza de proporcionar los pernos Split Sets. A la Cía. New Concept Mining por facilitar el equipo de arranque para las pruebas de pull test y por su colaboración con el préstamo de un equipo de arranque. Asimismo, agradece a sus alumnos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, por su colaboración en la preparación y ejecución de las pruebas de arranque.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Giraldo Paredes, Emiliano Mauro (2016). Identificación de factores para reducir accidentes por desprendimiento de rocas en minería subterránea. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, Vol. 19 N° 37, enero – junio 2016. pp. 47-55.
2. Giraldo Paredes, Emiliano Mauro (2012). Rendimiento de pernos de roca de mayor aplicación en el Perú. *Revista del Instituto de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería, Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, Vol. 14 N° 28, Julio – Diciembre 2012. pp. 25-40.
3. Atlas Copco AB (2003): *Rock Reinforcement* (2nd. Ed.). Oebro, Sweden: Atlas Copco Rock Drill AB.
4. Ros Esteban, Antonio (2005). *Bulones Split Sets. Tipos de Anclajes* (pag. 255–261).

