

Capacidad de sostenimiento de las placas para pernos de roca

Support capacity of the plates to rockbolts

Emiliano Mauro Giraldo Paredes¹

RECIBIDO: 20/10/2015 APROBADO: 22/12/2015

RESUMEN

Siendo el objetivo del presente estudio determinar la capacidad de sostenimiento de las placas para pernos de roca de mayor aplicación en el Perú, ha sido necesario realizar pruebas de compresión y tracción sobre cuatro tipos de placas: Python, Expanbol y dos tipos para los pernos Hydrabolt. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la PUCP, a partir de las cuales se concluye que las placas que sufren menor deformación global a la compresión son las Python, que se deforma 3,5 mm para una carga máxima de 109,68 KN, y las placas refiladas Hydrabolt son las que más se deforman, 25,10 mm para la carga máxima de 40,56 KN. Es de destacar que las placas Python tienen 0,7 mm mayor espesor que las Hydrabolt y son muy rígidas.

Las placas que más se deforman por compresión y tracción son las Expanbol (586,44 %), seguido por las placas refiladas Hydrabolt. Las que menos se deforman son las Python, 16,30 % (compresión) y 15,43 % (tracción central). Asimismo, las placas sufren mayor deformación por la tracción en sus orejas, siendo las placas refiladas Hydrabolt las que más se deforman.

Palabras clave: Placas para pernos de roca, pernos de roca, compresión, tracción, sostenimiento rocas.

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the support capacity of the plates to rockbolts of greater application in the Peru; by means of, it has been necessary to perform tests of compression and traction on 4 types of plates: Python, Expanbolt, and two to Hydrabolt bolts. The tests were conducted in the Material Laboratory of the PUCP, from which it is concluded that: plates with lower global deformation compressive, are the Python plates, which distorts 3.5 mm to a maximum load of 109,68 KN, and lined plates to Hydrabolt, which most distortion, 25,10 mm for maximum 40,56 KN load. It is noteworthy that Python plates have thickness 0.7 mm greater than the Hydrabolt and are very rigid.

Plates which become more deformed by compression and traction, are the Expanbol (586,44 %), followed by the lined plates to Hydrabolt. Which least deform are the Python, 16.30% (compression) and 15.43% (central traction). In addition, plates suffer greater deformation traction in their ears, being lined plates to Hydrabol which become more deformed.

Key words: Plates to Rockbolts, Rockbolts, compression, traction, elastic limit, rock support.

¹ Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM). Email: mgiraldop@unmsm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

La instalación de pernos de roca en el sostenimiento de excavaciones requiere entre otros elementos, placas o planchuelas para incrementar su radio de acción en la cara libre de la excavación. En esta ocasión, se ha estudiado las placas para los pernos Python y Expanbolt, siguiendo el mismo procedimiento que para los pernos Hydrabolt, estudiados anteriormente; a fin de hacer una discusión comparativa de las bondades de las distintas placas.

Para cumplir con los objetivos del presente estudio, se gestionó a distintas compañías, cuyas solicitudes fueron atendidas generosamente por Volcan Compañía Minera, que donó las placas para los pernos Expanbolt y Panamericano Silver que hizo lo propio donando las placas Python.

Al igual que para las placas Hydrabolt, las pruebas de compresión y tracción se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), usando para ello la prensa hidráulica marca Zwick / Roell modelo SP 600, que tiene una capacidad de carga de 600 kN (60 TM) de carga.

Análogas a las pruebas sobre las placas Hydrabolt, las pruebas fueron destructivas, bajo una carga máxima, para cuyo análisis fue necesario interpolar puntos utilizando el Autocad, a fin de graficar las curvas deformación versus carga.

Los resultados indican que las placas que menos se deforman por la carga compresiva son las placas Python y las que más se deforman son las placas refileadas para los pernos Hydrabolt. Las placas que sufren menor deformación son las Python y las que sufren mayor deformación son las Expanbolt. Entre las placas con orejas, las Python alcanzan la ruptura antes que las placas Hydrabolt. Calibrando las placas deformadas y comparando con sus medidas originales en sus tres dimensiones, se determinaron las deformaciones globales porcentuales de las placas (Mansour, 2015).

I.1. ASPECTOS GENERALES

I.1.2. Pernos de roca

Los pernos de roca son herramientas de mayor aplicación en el sostenimiento de excavaciones en roca; como tal, existe una variedad de estos elementos: con ranura y cuña, con concha de expansión, pernos con material de acoplamiento como cartuchos de resina o cementicio, o lechada de cemento (barras corrugadas, helicoidales, etc.); pernos inflables (swellex, Hydrabolt, Python, Expanbolt, X-pandabolt, entre otros), de fibra de vidrio, autoperforantes y de fricción (Split Sets, Swellex, Hydrabolt, etc.) (Giraldo, 2013). Todos los pernos se instalan con placas o planchuelas, de allí la importancia de este estudio para garantizar su adecuado trabajo.

I.1.3. Placas para pernos de roca

Las placas o planchuelas son complementos esenciales de los pernos de roca, que sirven para incrementar su radio de acción para sostener bloques inestables. En el mercado se encuentran de diversas formas: cuadradas, circula-

res, refileadas en su borde; con o sin protuberancia en su centro. La protuberancia, además, puede tener diversas formas: domo, piramidal, elíptica, cónica o toroidal. Las dimensiones de las placas van de 100 x 100 a 300 x 300 mm, con espesores de 2 a 16 mm. El diámetro de las perforaciones centrales dependen del diámetro del perno con que se instalan (Giraldo, 2014). Figura N° 1.



Figura N° 1. Pines destructores sobre las respectivas placas

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Metodología del estudio

Una vez conseguidas las placas, se tomaron sus dimensiones usando un vernier digital y se pesaron en la balanza analítica del laboratorio de materiales de la PUCP. Se estableció que se realizarían 3 tipos de pruebas sobre las placas: en el centro de la placa, Compresión y tracción; y en la oreja, tracción.

Similar al caso de las placas Hydrabolt, estudiadas anteriormente, con la finalidad de tener resultados confiables, se determinó que por cada tipo de prueba se realizarían 5 ensayos, o sea, 15 ensayos en caso de las placas Python y 5 en la placa plana Expanbolt (por no tener protuberancia ni oreja), totalizando 20 ensayos.

Establecido los tipos y número de pruebas, se procedió a codificar las muestras y establecer los formatos para registrar los datos, durante los ensayos de laboratorio. Del mismo modo, los códigos establecidos se marcaron en forma reiterativa sobre las placas, a fin de que sean fácilmente identificables durante y después de las pruebas, para su registro y análisis del esfuerzo - deformación.

En los formatos ex profeso diseñados, se registraron los datos concernientes a las condiciones ambientales, la duración del ensayo y las cargas máximas soportadas por las placas. Adicional a los reportes recibidos de la PUCP, se calibraron las placas en sus tres dimensiones, para determinar su deformación global, con la ayuda del Autocad. Finalmente, se realizó la redacción y edición del informe.

2.2. Equipos, herramientas y materiales utilizados

Equipo destructor de placas: Se trata de equipo similar utilizado para los Hydrabolt, que consta básicamente de una base y pines destructores de dimensiones compatibles con el agujero de las placas estudiadas (Giraldo, 2014). Los pines destructores (ver Figura N° 1), en cada caso, tuvieron 3 mm de pestaña para actuar contra las placas. Para las pruebas de tracción en las orejas de los Python, se construyeron ganchos de fierro corrugado de 3/8".

- Vernier digital.
- Herramientas de taller.

- Insumos de ferretería.
- Marcadores.

2.3. Placas para los pernos Python

2.3.1. Características de las placas

Las dimensiones de estas placas son 150 x 150 x 4,4 mm y tiene oreja de 12 mm de ancho en el centro de uno de los lados de la placa, como ilustra la Figura N° 2. El peso de esta placa es 782 g (JM JENMAR, URL).

En la parte central, tiene una protuberancia en forma de domo de 107 mm de diámetro en su base y 16,43 mm de alto, en cuyo centro tiene una perforación de 30,8 mm de diámetro (ver Figura N° 2).



Figura N° 2. Placa para los pernos Python

2.3.2. Ensayos de compresión central

Para los efectos de este ensayo, las muestras se codificaron como ilustra la Figura 4, donde C-PY-05 significa: C = Compresión, PY = Python y 05 = número de muestra. La posición de la placa en la prensa para este tipo de ensayo se ilustra en la Figura N° 3, apreciándose a la placa con el domo hacia arriba, apoyado sobre la base y con el pin en el agujero. La velocidad de los ensayos fue de 2 mm/min y la temperatura promedio de 21,3 °C. Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 2,82 minutos en promedio y se suspendió cuando la fuerza empezaba a descender luego de alcanzar un valor pico, es

decir, cuando el pin quedaba completamente incrustado en el domo. La Figura N° 4 ilustra el estado final de la placa.



Figura N° 3. Prueba de compresión en proceso sobre las placas Python.



Figura N° 4. Placa Python después del ensayo a la compresión.

2.3.3.1. Resultados de los ensayos

Luego del ensayo en la prensa, se observa que la placa se deforma únicamente en su domo, permaneciendo sus otras partes inalteradas, como muestran las Figuras N° 5 y 6. Se alcanza el límite elástico a una carga promedio de 79,34 KN. La carga máxima promedio que soportan estas placas es de 109,68 KN, siendo la correspondiente deformación del domo 3,50 mm. Bajo esta carga máxima, el pin penetra en el agujero de la placa (ver Figura N° 6). La deformación del domo por la carga compresiva es uniforme, como puede corroborarse en la Figura N° 7.



Figura N° 5. Deformación de la placa por compresión visto por el lado convexo del domo.

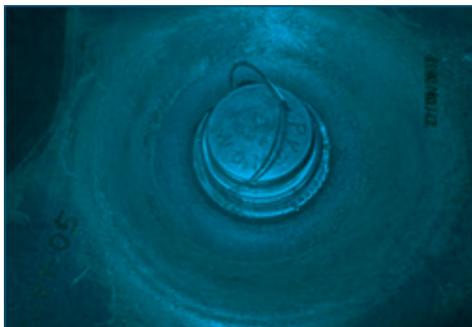


Figura N° 6. Deformación de la placa por compresión, visto por el lado cóncavo del domo

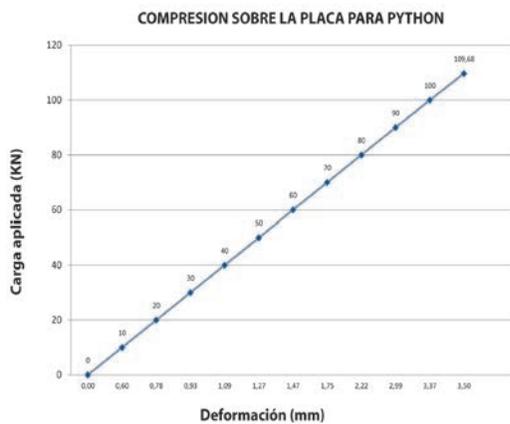


Figura N° 7. Comportamiento de la placa Python a la compresión

2.3.4.2. Análisis de la deformación global de las placas por la compresión

La deformación de las placas por efecto de este ensayo se manifiesta únicamente en el domo, manteniendo su forma inicial en sus 3 dimensiones. Por consiguiente, la deformación global de la placa es únicamente la deformación del domo, es decir, 16,3 %.

2.3.4. Ensayos de tracción central

Estos ensayos se llevaron a cabo con el pin destructor, introduciéndose por la parte cóncava del domo, como destaca la Figura N° 8. Análogas a las de la compresión, las muestras se codificaron como ilustra la Figura N° 9, donde T-PY-01 significa: T = Tracción, PY = Python y

01 = número de muestra. La disposición de la placa en la prensa ilustra la Figura N° 8. La velocidad de los ensayos fue de 2 mm/min y bajo una temperatura promedio de 22,1 °C.



Figura N° 8. Prueba de tracción en proceso sobre la placa Python.



Figura N° 9. Prueba de tracción en proceso sobre la placa Python.

Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 3,77 minutos en promedio y se suspendió cuando el pin se penetraba, después de una carga pico.

2.3.4.1. Resultados de los ensayos

Las Figuras N° 10 y 11 ilustran el estado final de las placas Python después del ensayo a la tracción en su centro. En esta prueba, se alcanzó el límite elástico bajo una carga promedio de 88,28 KN y la correspondiente deformación de 2,61 mm. El pin se penetra en el agujero de la placa bajo una carga máxima de 99,88 KN en promedio. La deformación de la placa para esta prueba es uniforme, como ilustra la Figura N° 12.



Figura N° 10. Placa Python después del ensayo a la tracción



Figura N° 11. Placa Python después del ensayo a la tracción en posición invertida.



Figura N° 12. Deformación de la placa Python bajo la carga de tracción central

2.3.4.2. Análisis de la deformación global de las placas por tracción central

Al igual que para la compresión, la deformación de las placas por la acción de la carga de tracción se manifiesta únicamente en el domo, permaneciendo sus otras partes sin variación de forma. Por lo tanto, la deformación global de la placa es 15,43 %.

2.3.5. Ensayos de tracción en la oreja de la placa

Para esta prueba, se construyó un gancho de fierro corrugado de 3/8" en forma de "U", de 255 mm de longitud y 55 mm de abertura, para que la mordaza superior de la prensa lo sujete y haga tracción, estando la placa fijada en la mordaza inferior con arandela y perno, como ilustran las Figuras N° 13 y 14. Al igual que en los casos anteriores, las muestras se codificaron como ilustra la Figura N° 13, donde OR-PY-02 significa: OR = Oreja, PY = Python y 02 = número de muestra. La velocidad de los ensayos fue 6 mm/min y la temperatura promedio de 21 °C. Se realizaron 5 ensayos de este tipo y cada ensayo demandó un tiempo neto de 4,40 minutos en promedio. Cada prueba finalizó con la ruptura de la oreja bajo una carga máxima, como puede apreciarse en las Figuras N° 14 y 15.



Figura N° 13. Ensayo de tracción en la oreja de la placa Python en proceso



Figura N° 14. Fin del ensayo de tracción en la oreja de la placa Python

2.3.5.1. Resultados de los ensayos

La Figura N° 15 muestra el estado en que quedaron las placas por este tipo ensayo. La carga máxima de ruptura en promedio fue de 23,86 KN, luego de deformarse 14,16 mm. La Figura N° 16 muestra el comportamiento de la oreja de estas placas a la deformación al aplicar tracción, apreciándose que guarda una relación uniforme con la carga aplicada.

2.3.5.2. Análisis de la deformación global por tracción en la oreja

La deformación global de las placas Python por este ensayo también se reduce a la deformación de la oreja, manteniéndose las otras partes de la placa intactas y representando una deformación global de 91,55 %.



Foto N° 15. Placas Python después del ensayo de tracción en la oreja

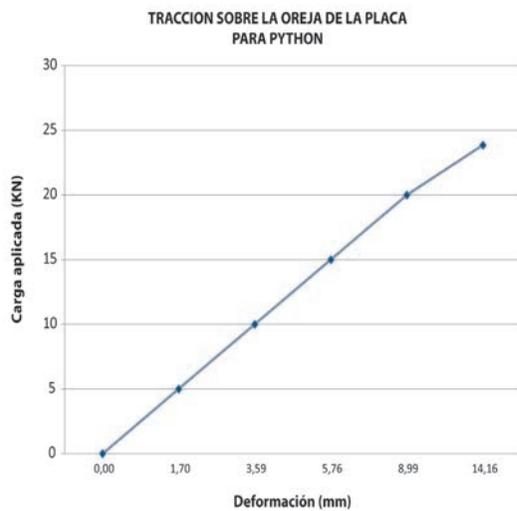


Figura N° 16. Deformación de la oreja de la placa al aplicar tracción

2.3.6. Placas para los pernos Expanbol

2.3.6.1. Características de las placas

Las dimensiones de estas placas son: 150 x 150 x 3,6 mm. Estas placas son completamente planas, no tienen protuberancia ni oreja, como ilustra la Figura N° 17. En su centro tiene una perforación de 35,01 mm de diámetro y su peso es 581 g (Mansour, URL).



Figura N° 17. Placa Expanbol

Por ser esta placa completamente plana, las pruebas de compresión y tracción son idénticas, tampoco tiene oreja. Por consiguiente, solo se pudo hacer la prueba de compresión, la que también se puede considerar de tracción.

2.3.6.2. Ensayos de compresión y/o tracción central

Antes de proceder con los ensayos, estas placas se codificaron como ilustra la Figura N° 19, donde C-EX-01 significa: C = Compresión, EX = Expanbol y 01 = número de muestra. La Figura N° 18 muestra la posición de la placa en la prensa para este ensayo. La velocidad de los ensayos fue de 2 mm/min y la temperatura promedio de 22,84 °C. Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 5,23 minutos en promedio y concluyeron al penetrarse el pin bajo una carga máxima, como ilustra la Figura N° 20.



Figura N° 18. Ensayo de compresión en proceso sobre la placa Expanbol



Figura N° 19. Placa Expanbol después del ensayo de compresión

2.3.7. Resultados de los ensayos

Las Figuras N° 20 y 21 muestran el estado de las placas Expanbol después de los ensayos de compresión y/o tracción. Alcanza el límite elástico, bajo una carga promedio de 55,78 KN. La carga máxima que soportan es de 72,34 KN, luego de alcanzar una deformación promedio de 14,18 mm. La Figura N° 22 muestra que el comportamiento de estas placas a la deformación al aplicar compresión y/o tracción es uniforme.



Figura N° 20. Estado final de las placas Expanbol después de la compresión.



Figura N° 21. Vistas de perfil del después de la prueba de compresión sobre las placas Expanbol



Figura N° 22. Deformación de la placa Expanbol por compresión y/o tracción

2.3.8. Análisis de la deformación global de las placas Expanbol

La deformación de las placas por efecto de los ensayos de compresión y/o tracción ilustran las Figuras N° 20 y 21, donde se puede apreciar que la zona adyacente al agujero, queda convertida en una protuberancia cónica y toda la placa en un casquete esférico, alcanzando una deformación global de 586,44 %.

III. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

3.1. Ensayos de compresión central

Los resultados de las pruebas de compresión para los distintos tipos de placas tratadas en los capítulos precedentes, se sintetiza en la Figura N° 23, del que se concluye que las placas que sufren menor deformación son las Python, que se deforma 3,5 mm para una carga máxima de 109,68 KN. La placa refilada Hydrabolt es la que más se deforma, tan así que para una carga máxima de 40,56 KN se deforma 25,10 mm.

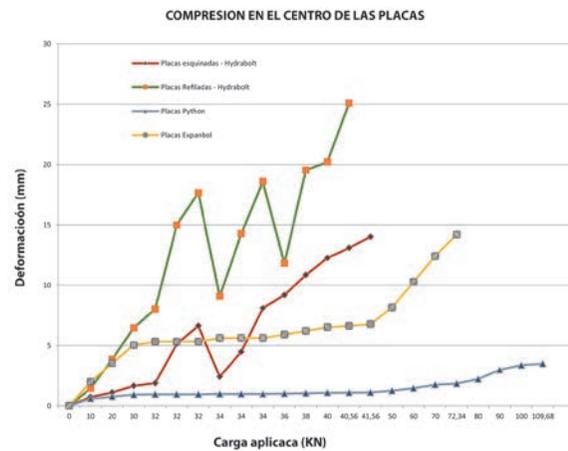


Figura N° 23. Deformación de los distintos tipos de placas al aplicar carga compresiva.

Las placas que muestran deformación uniforme son las placas Python, seguidas por las Expanbol. Sin embargo, todas las placas muestran una deformación uniforme hasta 30 KN de carga. Asimismo, las placas que soportan más carga hasta la penetración del pin destructor son las placas Python (109,68 KN) y Expanbol (72,34 KN).

Considerando que las placas cuando están instaladas con los pernos, trabajan en modo de compresión, su excesiva deformación afectará la estabilidad en las zonas adyacentes a la excavación. Sin embargo, este efecto será más prominente para los pernos que trabajan en tensión, como es el caso de las barras y cables; puesto que los pernos inflables como Python, Hydrabolt y Expanbol trabajan por fricción de la pared exterior de los pernos con las paredes de los taladros donde se instalan mediante el inflado. Por consiguiente, en los pernos inflables, las placas soportan mínima carga o sujetan la malla en terrenos que requieren de este elemento de sostenimiento.

Por lo antes indicado, en el caso de los pernos de expansión no amerita instalarlos con placas sobredimensionadas o muy robustas, porque es innecesario, considerando además que la cabeza de los pernos o sus pestañas que sujetan las placas tienen una resistencia límite. Es decir, la resistencia de la placa no debe exceder dicha resistencia; tampoco es conveniente que las placas sean demasiado

rígidas, sino un tanto dúctiles para absorber las tensiones que se generen en el macizo rocoso, cuando trabajan conjuntamente con los pernos.

3.2. Ensayos de tracción central

Los resultados de las pruebas de tracción central para las distintas placas, se presenta la Figura N° 24, donde se observa que la placa que sufre menor deformación es la Python y la que sufre mayor deformación es la de los pernos Expanbol. Tan es así que por ejemplo para una carga de 35 KN, se deforman 1,34 y 5,27 mm, respectivamente.

3.3. Ensayos de tracción en la oreja de las placas

Los ensayos de tracción en la oreja se llevaron a cabo sobre las placas Python y anteriormente sobre las placas Hydrabolt, puesto que las Expanbol no tienen orejas, son completamente planas. Los resultados se sintetizan en la figura N° 25. La ruptura de la oreja de los Python se

produce bajo una carga de 23,86 KN, luego de alcanzar una deformación de 14,16 mm. Mientras que la ruptura de las orejas de las placas Hydrabolt se producen a 30,98 y 33,90 KN, con las respectivas deformaciones de 43,9 y 26,73 mm.

3.4. Deformación global de las placas

La deformación global de las placas de acuerdo al tipo de ensayo y bajo las cargas máximas, se ilustra en la Figura N° 26, donde se advierte que las placas que sufren mayor deformación al ser sometidas a compresión y tracción central son las Expanbol, que alcanzan deformarse 586,44 %, a las que siguen las refiladas Hydrabolt, que alcanzan deformarse 451,59 % (compresión) y 398,61 % (tracción). Las placas Python son las que menos se deforman, tan es así que alcanzan deformarse 16,30 % (compresión) y 15,43 % (tracción).

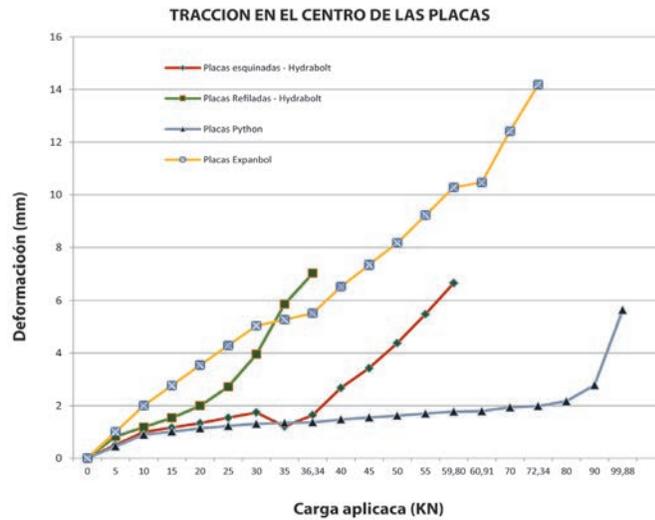


Figura N° 24. Deformación de las placas por la carga de tracción.

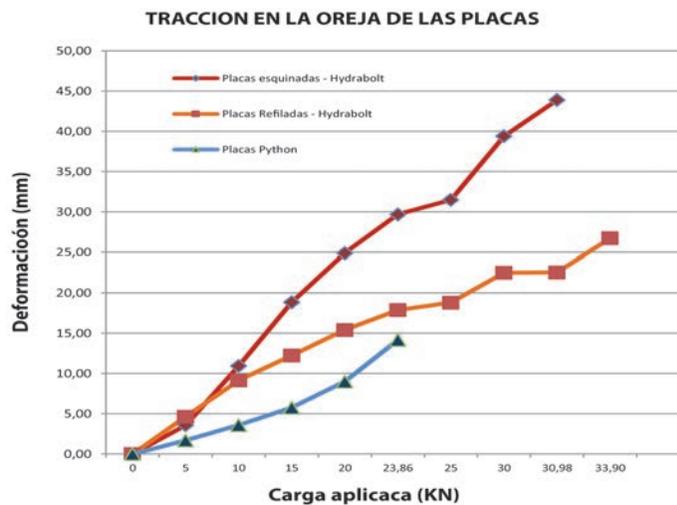


Figura N° 25. Deformación de las orejas de las placas al aplicar cargas de tracción.

La deformación global, por efecto de tracción en la oreja, es mayor para las placas refiladas Hydrabolt, que alcanzan deformarse 824,58 % bajo la carga de ruptura de 33,90 KN. Las placas que menos se deforman son las Python, para carga de ruptura de 23,86 KN las placas se deforman 91,55 %.

La Tabla N° 1, abajo presentada, sintetiza las características, el límite elástico, cargas máximas y las correspondientes deformaciones mostradas por las distintas placas durante los ensayos. Asimismo, la deformación global y la forma final que adoptan las placas para cada tipo de ensayo.

Tabla N° 1. Cuadro resumen de las características, cargas y deformaciones de las placas estudiadas

Parámetros Comparat.	PLACAS				
	Python	Hydrabolt esquinado	Hydrabolt refilado	Expanbol	
Dimensiones (mm)	150x150x4,4	146,5x148,6x3,7	150x150x3,5	150x150x3,6	
Peso (g)	782	624	571	581	
Protuberancia	Domo	Domo	Tronco cónico	No	
Diámetro del agujero (mm)	30,8	35,1	35,17	31,01	
Oreja	Sí	Sí	Sí	No	
Diámetro del pin destructor (mm)	35,8	40,0	40,0	36,6	
ENSAJO DE COMPRESIÓN	Límite elástico, LE (KN)	79,34	32,64	55,18	
	Deformación en LE (mm)	2,155	2,02	9,01	
	Carga máxima, CM (KN)	109,68	41,56	40,56	72,34
	Deformación en CM (mm)	3,50	14,01	25,10	14,18
	Deformación vs Carga	Uniforme	Irregular	Irregular	Regular
	Deformación Global (%)	16,30	28,91	451,59	586,44
	Forma final de la placa	Domo deformado	Domo deformado	Domo hundido y casquete esférico	Casquete esférico
ENSAJO DE TRACCIÓN CENTRAL	Límite elástico, LE (KN)	88,28	36,90	24,26	55,78
	Deformación en LE (mm)	2,61	2,28	2,646	9,01
	Carga máxima, CM (KN)	99,88	59,80	36,34	72,34
	Deformación en CM (mm)	5,63	6,66	7,032	14,18
	Deformación Vs Carga	Uniforme	Ligeramente irregular	Regular	Regular
	Deformación Global (%)	15,43	28,40	398,61	586,44
	Forma final de la placa	Domo deformado	Domo deformado	Domo crecido y casquete esférico	Casquete esférico
ENSAJO DE TRACCIÓN EN LA OREJA	Carga máxima, CM (KN)	23,86	30,98	33,903	No
	Deformación en CM (mm)	14,16	43,90	26,729	No
	Deformación Vs Carga	Uniforme	Uniforme	Uniforme	No
	Deformación Global (%)	91,55	143,90	824,58	No
	Forma final de la placa	Oreja rota	Oreja rota y curvado por ese lado	Oreja rota, completamente deformada	No

IV. CONCLUSIONES

1. Las placas con protuberancia tipo domo son las que muestran mayor resistencia a la deformación, lo cual confirma la hipótesis planteada.
2. Del análisis de los reportes del laboratorio de materiales de la PUCP, sin tomar en cuenta la deformación de las zonas no tensionadas de las placas, se concluye que: las placas que menos se deforman a los 3 tipos de ensayos son las Python. Las placas que sufren mayor deformación a la compresión son las placas refiladas Hydrabolt, mientras que a la tracción central, sufren mayor deformación las placas Expanbol. Para los ensayos en la oreja, sufren mayor deformación las placas esquinadas Hydrabolt.
3. Para las pruebas de compresión, las fuerzas máximas de mayor a menor que soportan las distintas placas son: Python (109,68 KN), Expanbol (72,34 KN), esquinadas Hydrabolt (41,56 KN) y refiladas Hydrabolt (40,56 KN); bajo esas cargas los respectivos pines destructores, se penetran en el agujero central de las placas. Demostrándose que la placa que ofrece mayor resistencia es la Python y la que ofrece menor resistencia es la Hydrabolt.
4. Las placas que muestran mayor uniformidad de deformación son las de los pernos Python y Expanbol. El primero por la robustez de las placas ($t = 4,4$ mm) y sobre todo por la forma del domo casi elíptica, el segundo por el tipo de acero.
5. Durante las pruebas de tracción en el centro, todas las placas demostraron mejor uniformidad en su deformación que en compresión. Los pines destructores comenzaron a penetrarse en el agujero central de las placas al alcanzar las siguientes cargas de mayor a menor, como sigue: Python (99,88 KN), Expanbol (72,34 KN), esquinada Hydrabolt (59,80 KN) y refilada Hydrabolt (36,34 KN).
6. Para las pruebas de tracción en las orejas, las placas mostraron una deformación uniforme, alcanzando la ruptura bajo las siguientes cargas máximas: refilada Hydrabolt (33,90 KN), esquinada Hydrabolt (30,98 KN) y Python (23,86 KN).
7. Dimensionando las placas deformadas después de los ensayos en el laboratorio y comparando con las dimensiones tomadas antes de las pruebas, se establece la deformación global de las placas. Tan es así que, para los 3 tipos de ensayos, las placas que sufren menor deformación son las Python. Las placas que muestran mayor deformación por efecto de la compresión y tracción central son las Expanbol. Las placas que sufren mayor deformación por causa de tracción en la oreja son las placas refiladas Hydrabolt.
8. Para los pernos de inflables (Python, Hydrabolt, Expanbol, etc.), las placas solamente sirven para sostener la malla y mínima carga, puesto que su acción de sostenimiento es radial y conforman un arco en el entorno de la excavación; es decir, cohesionan o solidifican el terreno, así esté muy fracturado. Por consiguiente, no es sustancial que las placas para estos pernos sean muy robustas o sobredimensionadas, que en algunos casos inclusive pueden sobrepasar la resistencia de la cabeza de los propios pernos. Los pernos que actúan por tensión, como las barras y cables, son las que requieren placas robustas y resistentes, porque las cargas tensionales actúan directamente sobre estas.
9. Las placas de los pernos Hydrabolt muestran mayor ductilidad que las otras placas, lo cual posibilitará observar la deformación del macizo rocoso (roca remanente), para tomar las previsiones del caso, como: mayor reforzamiento del área, desquinche oportuno o hacer mantenimiento de los elementos de sostenimiento antes que se produzcan desprendimientos o colapsos.



Figura N° 26. Deformación global de las placas de acuerdo al tipo de ensayo

V. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Cía. Minera Argentum S.A., unidad Morococha; a Volcan Cía. Minera S.A.A., Mina Chungar; a la Cía. New Concept Mining; por haber facilitado placas de pernos para materializar el presente estudio.

Asimismo, agradece a la Pontificia Universidad Católica del Perú y a todos sus amigos y colegas que colaboraron en la proyección, ejecución y culminación del presente estudio.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Giraldo Paredez, Emiliano Mauro (2014). Propiedades mecánicas y de sostenimiento de las placas para pernos de roca Hydrabolt. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 17 N° 33, Julio – Diciembre, 2014.
2. Giraldo Paredez, Emiliano Mauro (2013). Efecto de la presión del agua en el interior de los pernos de roca inflables sobre su capacidad de anclaje. *Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG*, Vol. 16 N° 31, Julio – Diciembre 2013.
3. JM Jennmar. *Placas y Control de Superficies*. [En línea] URL<WWW.ncm.co.za> Consulta, 20 de Oct. 2014.
4. Mansour Mining Technologies Inc. Catálogo de productos. [En línea] URL<WWW.mansourmining.com> Consulta, 19 de enero de 2015.

