

# Propiedades mecánicas y de sostenimiento de las placas para pernos de roca hydrabolt

## MECHANICAL AND SUPPORT PROPERTIES OF THE PLATES TO HYDRABOLT ROCKBOLTS

Emiliano Giraldo\*

RECIBIDO: 05/05/2014 – APROBADO: 10/06/2014

### RESUMEN

Para determinar las propiedades mecánicas y de sostenimiento de las placas para los pernos de roca Hydrabolt, se ha realizado pruebas de compresión y tracción. Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), a partir de las cuales se concluye que las placas que sufren menor deformación a la compresión son las placas esquinadas, que se deforman 14,01 mm para una carga máxima de 41,56 KN, mientras que las placas refiladas se deforman 25,10 mm para la carga máxima de 40,56 KN.

Las placas que más se deforman por compresión y tracción son las placas refiladas. Las esquinadas son las que menos se deforman, 28,91 % a la compresión y 28,40 % a la tracción central. Asimismo, las placas que sufren mayor deformación por la tracción en las orejas son las placas refiladas.

Es de destacar que no es conveniente que las placas sean muy rígidas, dado que al ir aumentando la tensión en el macizo, no será notorio hasta que se produzca una ruptura violenta, que puede traducirse en un colapso. Por el contrario, en una placa dúctil, será notorio el incremento de tensión, lo cual posibilitará tomar las previsiones de mantenimiento o reforzamiento preventivo del área tensionada.

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

### ABSTRACT

To determine the mechanical and support properties of plates to Hydrabolt rock bolts; has been tested compression and traction. The tests were carried out in the Materials Laboratory at the Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), from which we conclude that suffering less plates compressive deformation, are the squared plates that deforms 14,01 mm under a maximum load of 41,56 KN, while the lined plates deform 25,10 mm under maximum load of 40,56 KN.

The plates are deformed more compression and tension, are lined plates. The squared plates are least deformed, 28,91% to compression and 28.40% to central traction. Also, the plates that suffer greater tensile strain on the ears are the lined plates.

It is noteworthy that it is not desirable that the plates are very harsh, as to gradually increase the tension in the rock mass will not be known until a violent rupture, which can result in a collapse occurs. By contrast, in a ductile plate, is notary increased tension, which will enable to take care to preventive maintenance or tensioned reinforcement area.

**Keywords:** Rockbolt plates, compression, traction, rock support.

\* Docente de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).  
egiraldop@hotmail.com / egiraldop@unmsm.edu.pe

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación se desarrolló como una inquietud para establecer las propiedades mecánicas y de sostenimiento de las placas o planchuelas para los pernos de roca Hydrabolt. Para cumplir con los objetivos del estudio, se estableció hacer pruebas de laboratorio al menos con 2 tipos de placas. Para contar con el material en estudio, se contó con la colaboración de Volcan Compañía Minera y New Concept Mining, las que proporcionaron, cada una, un tipo diferente de placas.

Las pruebas de compresión y tracción se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la PUCP, usando para ello la prensa hidráulica marca Zwick / Roell, modelo SP 600, que tiene una capacidad de carga de hasta 600 KN (60 TM).

Por las características de las placas, se estableció realizar 3 tipos de pruebas: compresión y tracción en el centro y en la oreja solamente tracción. Por cada tipo de prueba, se ensayaron 5 muestras, que totalizaron 30 ensayos.

Todas las pruebas fueron destructivas, de las que la PUCP reportó el límite elástico, la carga máxima y el gráfico carga-deformación de la zona afectada, y, en algunos casos, solo la carga máxima. A fin de procesar con mayor detalle y que los resultados permitan hacer los análisis de las propiedades mecánicas de las placas, fue necesario interpolar puntos utilizando el Autocad, con cuyos resultados ha sido posible obtener todos los gráficos que se presentan en este informe.

Los resultados indican que las placas que menos se deforman debido a cargas compresivas y de tracción son las placas esquinadas. Y la que sufre mayor deformación por la tracción en las orejas son las placas refileadas. Calibrando las placas deformadas y comparando con sus medidas originales en sus 3 dimensiones, se determinó que las placas refileadas son las que sufren mayor deformación, es decir, son más dúctiles.

## II. ASPECTOS GENERALES

### 2.1. Placas para pernos de roca

Las placas o planchuelas son elementos complementarios y esenciales de los pernos de roca que sirven para aumentar su radio de acción para sostener bloques de roca inestables. Asimismo, sirven para sujetar otros elementos de sostenimiento como las mallas y cables instalados en terrenos deleznable. Existen distintos tipos, tamaños y formas.

Las formas pueden ser cuadradas, circulares, refileadas en su borde. Del mismo modo, pueden tener o no protuberancia, la que a su vez puede ser tipo domo, piramidal, elíptica, cónica o toroidal. Las dimensiones de las placas van de 100 x 100 mm a 300 x 300 mm, espesores de 2 a 16 mm. El diámetro de las perforaciones centrales depende del diámetro del perno con que se instale. En el Perú, los más comunes son los de 150 x 150 mm.

### 2.2. Metodología del estudio

Planteado el tema a investigar, se tuvo que conseguir las placas, gestionando a distintas empresas que aplican

o proveen estos accesorios. Se recopiló 2 tipos de placas para los pernos Hydrabolt, donadas por Volcan Cía. Minera y New Concept Mining.

Por las características de las placas, se estableció que se realizarían 3 tipos de pruebas: En el centro de la placa, compresión y tracción, y en las orejas, tracción.

Con la finalidad de tener resultados precisos, se determinó que por cada tipo de prueba se realizarían 5 ensayos, o sea, 15 pruebas por cada tipo de placa, es decir, 30 pruebas.

Durante cada prueba de laboratorio, se registró la duración, la temperatura, la carga máxima soportada por las placas. Después de los ensayos de laboratorio, según los reportes de la PUCP y las mediciones practicadas a las placas deformadas, se registraron los datos complementarios, como límite elástico, las deformaciones correspondientes a las cargas máximas y en distintas partes de las placas.

Para determinar los ábacos carga - deformación, se tuvo que interpolar puntos en los gráficos reportados por la PUCP. Para tal objetivo, fue necesario utilizar el Autocad, para tener resultados precisos, por no decir exactos. Con base en lo antes expuesto, se elaboró el presente informe.

### 2.3. Equipos, herramientas y materiales utilizados

**Equipo destructor de placas** Este equipo se diseñó de acuerdo a las dimensiones de las placas y se construyó en un taller metal-mecánico de un acero endurecido. Consta de una base y pines destructores de dimensiones compatibles con el agujero de las placas estudiadas.

- El equipo destructor se diseñó para las pruebas de compresión y tracción central, donde los pines destructores en cada caso tuvieron 3 mm de pestaña para actuar contra las placas. Para las pruebas de tracción en las orejas, se construyeron ganchos de fierro corrugado de ½" y 3/8", de acuerdo a su abertura.
- Vernier digital.
- Herramientas de taller.
- Insumos de ferretería.
- Marcadores.

### 2.4. Ensayos de laboratorio

Las pruebas se llevaron a cabo en el Laboratorio de Materiales de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), que cuenta con una prensa hidráulica Zwick / Roell 600, con una capacidad de carga de 600 KN (60 TM), que se ilustra en la Figura N° 1.

Los montajes para los ensayos en la prensa se ilustran en la Figura N° 2. Cada ensayo culminó al vencer la resistencia de la placa bajo una carga máxima. La fuerza aplicada y correspondiente deformación se grafica progresivamente, gracias al equipo de cómputo conectado a la prensa. Los resultados de estos ensayos, la PUCP

reportó en ábacos acompañados de las cargas máximas y el límite elástico en ciertos casos.

**2.5. Procesamiento de reportes de laboratorio**

Dado que la PUCP reporta únicamente el gráfico de la curva fuerza – deformación, la fuerza máxima y el límite elástico mas no la tabla de valores intermedios, fue necesario hacer cuadros estadísticos para dichos valores a partir del ábaco reportado. A fin de obtener los valores mas precisos posibles, para la interpolación de puntos se usó el Autocad 2012, obteniéndose el progreso de la deformación como se incrementa la carga y, consecuentemente, los resultados del estudio.

**III. ENSAYOS SOBRE PLACAS ESQUINADAS**

**3.1. Características de las placas**

Las dimensiones de estas placas son: 146,51 x 148,6 x 3,7 mm. En su centro tiene una protuberancia que se asemeja a un domo achatado, con un diámetro en su base de 95,93 mm y una altura de 15,9 mm, en cuyo centro tiene una perforación de 35,1 mm de diámetro. La oreja de la placa se ha maquinado, doblando una de las esquinas hasta 45°, quedando en forma de un triángulo recto isósceles de 53 mm de lado y con una perforación de 16,6 mm de diámetro, el peso de la placa es 624 g., new concept mining (en línea)

**3.2. Ensayos de compresión central**

Antes de proceder con los ensayos, estas placas se codificaron como ilustra la Figura N° 3 (b), donde C-HY-05 significa: C = compresión, HY = Hydrabolt y 05 = número de muestra. La Figura 8 (a) muestra la posición de la placa en la prensa para este ensayo, con el domo hacia arriba, apoyado sobre la base y con el correspondiente pin destructor en el agujero.

La velocidad de los ensayos fue de 2 mm/min y la temperatura promedio de 22,58 °C. Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 3,93 minutos en promedio y concluyeron al penetrarse el pin destructor bajo una carga máxima.

**3.2.1. Resultados de los ensayos**

La deformación de las placas en este ensayo se manifiesta únicamente en su domo, manteniéndose su forma y dimensiones en otras partes. Se alcanza el límite elástico a una carga promedio de 32,64 KN. La carga máxima promedio que soportan estas placas es de 41,56 KN, siendo la correspondiente deformación del domo 14,01 mm. Bajo esta carga máxima, el pin se penetra en el agujero de la placa. La deformación del domo bajo la carga compresiva, es uniforme hasta el límite elástico; luego, en el estado plástico, prosigue deformándose con cierta uniformidad, tal como ilustra la Figura N° 4.

**3.2.2. Análisis de la deformación global de las placas por la compresión**

La deformación de las placas por efecto del ensayo compresivo se manifiesta únicamente en el domo, mas no en otras partes de la placa. Por lo que la deformación global es igual a la deformación del domo, es decir 28,91%.

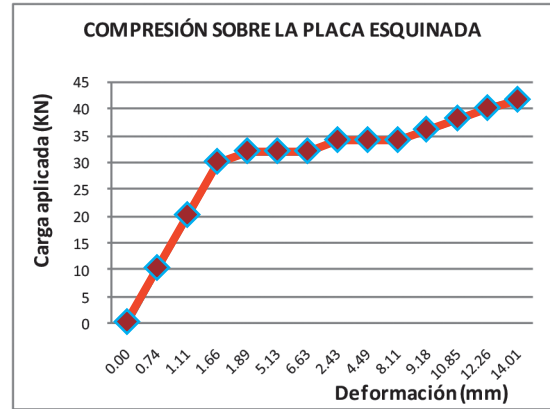


Figura N° 4. Comportamiento de la placa esquinada a la compresión.

**3.3. Ensayos de tracción central**

Las muestras para este ensayo se codificaron igual que en los casos anteriores, como muestra la Figura N° 5, donde T-HY-01, significa: T = Tracción, HY = Hydrabolt y 01 = número de muestra. Esta misma figura muestra a la placa después de este ensayo. La velocidad de los ensayos fue de 2 mm/min y la temperatura promedio de 22,7 °C. Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 2,37 minutos en promedio y concluían al penetrarse el pin bajo una carga máxima.

**3.3.1. Resultados de los ensayos**

Bajo este ensayo, el domo es la única parte de la placa que se deforma, como ilustran la Figura N° 10. Se alcanza el límite elástico a una carga promedio de 36,9 KN. La carga máxima promedio que soportan estas placas es de 59,80 KN, siendo la correspondiente deformación del domo 6,66 mm. Bajo esta carga máxima, el pin se penetra en el agujero de la placa. La Figura N° 6 muestra que la acción de tracción central sobre esta placa la deforma de manera uniforme, hasta y después del límite elástico.

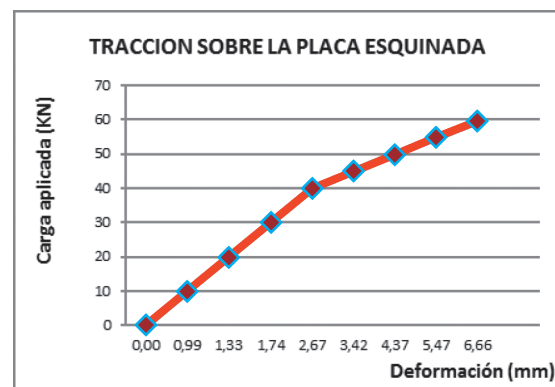


Figura N° 6. Deformación de la placa esquinada por tracción.

### 3.3.2. Análisis de la deformación global de las placas causadas por efectos de la tracción central

Luego de analizar la deformación de las placas por la acción de tracción, se concluye que se produce únicamente en el domo, adquiere la forma de cráter y representa una deformación de 28,40 % de la placa.

### 3.4. Ensayos de tracción en la oreja de la placa

El gancho para realizar estas pruebas se construyó de Fe corrugado de  $\frac{1}{2}$ " 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 ilustra la Figura N° 7. Al igual que en los casos ya vistos anteriormente, las muestras se codificaron como ilustra la Figura N° 8, donde OR-HY-01 significa: OR = Oreja, HY = Hydrabolt y 01 = número de muestra. La velocidad de los ensayos fue de 6 y 10 mm/min y la temperatura promedio de 21,02 °C. Se realizaron 5 ensayos de este tipo y cada ensayo demandó un tiempo neto de 6,22 minutos en promedio. Cada prueba finalizó con la ruptura de la oreja bajo una carga máxima. La oreja quedó como ilustra la Figura N° 8.

#### 3.4.1. Resultados de los ensayos

La Figura N° 13 muestra el estado en que quedaron las placas por efecto de este tipo de ensayo. La carga máxima de ruptura en promedio fue de 30,98 KN, luego de deformarse 43,90 mm. La Figura N° 9 muestra la deformación uniforme hasta límite elástico de las orejas de estas placas al aplicar tracción.

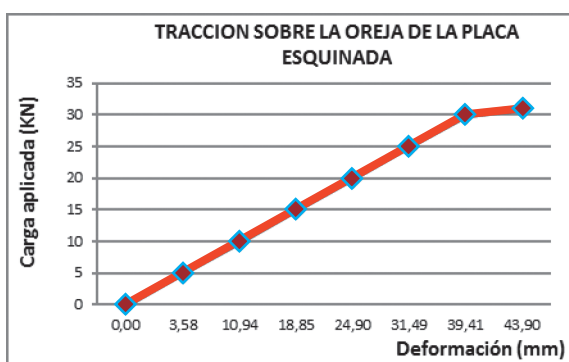


Figura N° 9. Deformación de la placa esquinada Hydrabolt por tracción en su oreja.

#### 3.4.2. Análisis de la deformación global de las placas por este ensayo

La deformación global de la placa por acción de tracción en la oreja ilustra la Figura N° 8, donde puede observarse que la placa se curva por el lado de la oreja, con una deformación de 143,9 %.

## IV. ENSAYOS SOBRE PLACAS REFILADAS

### 4.1. Características de las placas

Las dimensiones de estas placas son: 150 x 150 x 3,5 mm. En su centro tiene una protuberancia en forma de cono truncado de 65,89 mm de diámetro en su base y 10,97 mm

de alto y en cuyo centro tiene una perforación de 35,71 mm de diámetro. La oreja de la placa se ha maquinado, doblando una de las esquinas hasta 60°, quedando en forma de un triángulo recto (radio de refilado 15 mm) isósceles de 72,44 mm de lado y con una perforación triangular equilátero de 41,7 mm de lado, al que se le ha refilado en su base con curva de 6,5 mm de radio y en la parte superior con curva de 12,5 mm de radio, como ilustra la Figura N° 10. El peso de esta placa es 571 g.

### 4.2. Ensayos de compresión central

Antes de proceder con los ensayos, estas placas se codificaron como ilustran las Figuras N° 17 (a) y (b), donde, para diferenciarlas de las placas esquinadas, se modificó el orden de las siglas, como sigue HY-C-01 significa: HY = Hydrabolt, C = compresión y 01 = número de muestra. La Figura N° 11 ilustra la posición de la placa en la prensa para este ensayo, es decir, con la protuberancia hacia arriba, apoyado sobre la base y con el correspondiente pin en el agujero. La velocidad de estos fue 2,5 mm/min y la temperatura promedio de 21,86 °C. Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 5,58 minutos en promedio y concluyeron al penetrarse el pin bajo una carga máxima.

#### 4.2.1. Resultados de los ensayos

La deformación de las placas debido a este ensayo se manifiesta en la protuberancia cónica que queda completamente hundida (invertida), como ilustran las Figuras N° 12 (a) y (b), lo que consecuentemente deforma a la placa hasta convertirla en un casquete esférico. La carga máxima promedio que soportan estas placas es de 40,56 KN, siendo la correspondiente deformación del domo 25,10 mm. Bajo esta carga máxima, el pin se penetra en el agujero de la placa. La deformación del domo por la carga compresiva es bastante irregular como muestra Figura N° 13.

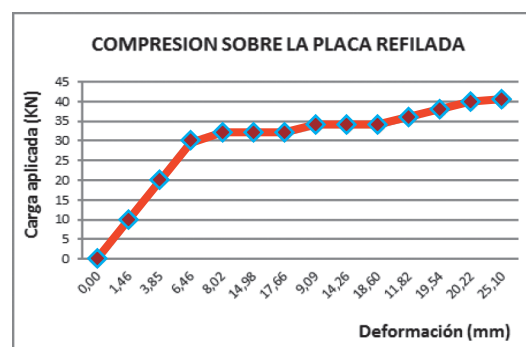


Figura N° 13. Deformación de la placa refilada a la carga de compresión

#### 4.2.2. Análisis de la deformación global de las placas refiladas por la compresión

Como demuestran las Figuras N° 12 (a) y (b), la deformación de las placas refiladas Hydrabolt debido a la compresión se manifiesta en la protuberancia y las zonas adyacentes a ésta; los análisis correspondientes conducen a que esta placa se deforma por este ensayo un total de 451,59 %, por lo que la placa queda convertida en un casquete esférico.





Figura N° 1. Prensa hidráulica Zwick / Roell 600. A la derecha, el Ing. Ronald Peralta, operador de la prensa.



Figura N° 2. Montajes para los ensayos de compresión.

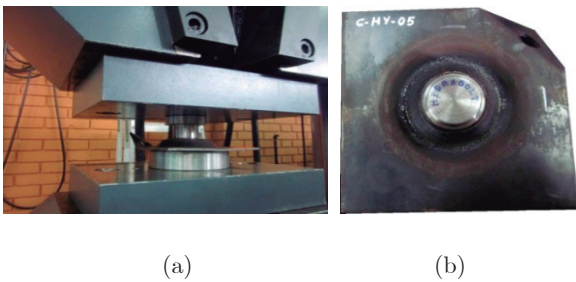


Figura N° 3. Prueba de compresión a la placa esquinada. (a) Proceso de compresión. b) Estado final de la placa.

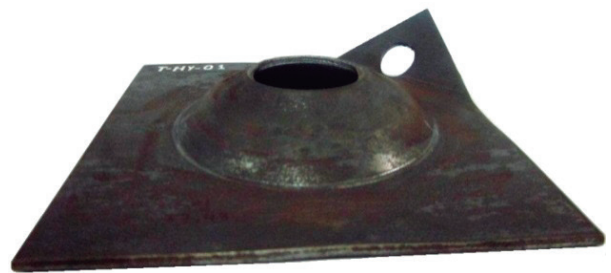


Figura N° 5. Deformación de las placas esquinadas a la tracción central.

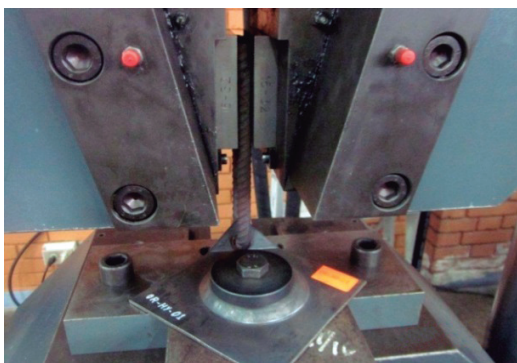


Figura N° 7. Ensayo de tracción en la oreja de las placas esquinadas.



Figura N° 8. Placa esquinada después del ensayo de tracción en la oreja.



Figura N° 10. Placa refilada Hydrabolt.



Figura N° 11. Ensayo de compresión sobre la placa refilada.

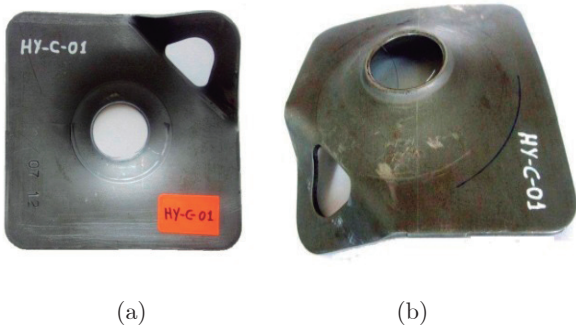


Figura N° 12. Estado final de las placas después de las pruebas de compresión. (a) Posición de compresión. (b) Posición inversa al ensayo.

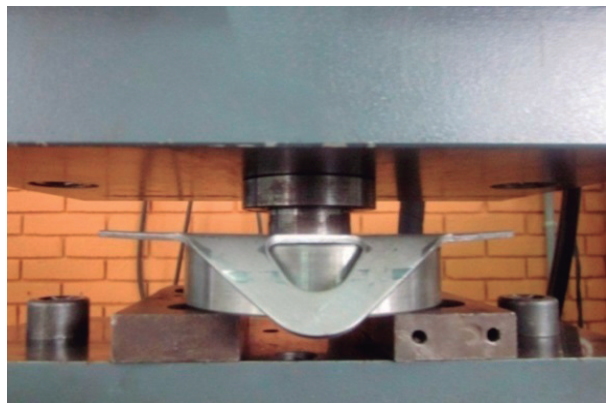


Figura N° 14. Ensayo de tracción sobre la placa refilada.

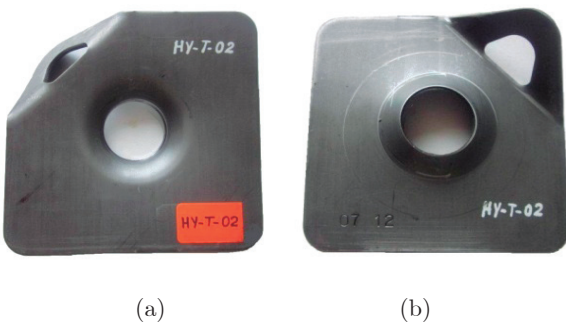


Figura N° 15. Placas refiladas después de la prueba de tracción. (a) Posición del ensayo. (b) Posición invertida.

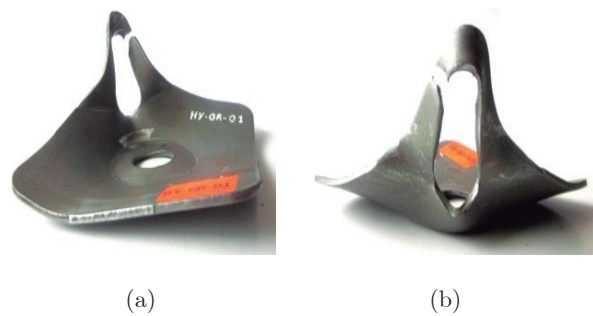


Figura N° 17. Estado de las placas después de los ensayos de tracción en la oreja. (a) Visto en posición de ensayo. (b) Visto de perfil.

**4.3. ENSAYOS DE TRACCIÓN CENTRAL**

Las muestras para este ensayo se codificaron como ilustran las Figuras N° 15 (a) y (b), en la que la denominación HY-T-02 indica: HY = Hydrabolt, T = tracción y 02 = número de muestra. La Figura N° 14 muestra la posición de la placa en la prensa para este tipo de ensayos. La velocidad de los ensayos fue de 2,5 mm/min y la temperatura promedio de 22,04 °C. Cada uno de los 5 ensayos demandó un tiempo neto de 1,82 minutos en promedio y concluían al penetrarse el pin bajo una carga máxima.

**4.3.1. Resultados de los ensayos**

Al igual que para la compresión, la deformación de las placas debido a este tipo de ensayo se manifiesta en la protuberancia cónica, la que al finalizar la prueba queda aumentada en tamaño, como se aprecia en las Figuras N° 15 (a) y (b). Este efecto deforma a la placa hasta convertirla en un casquete esférico, pero más moderado que para la compresión. El límite elástico se alcanza bajo una carga de 24,26 KN en promedio. La carga máxima promedio alcanzado es de 36,34 KN, con la correspondiente deformación del domo 7,032 mm. Bajo esta carga máxima, el pin se penetra en el agujero de la placa. La deformación del domo bajo la carga compresiva es uniforme, como destaca la Figura N° 16.

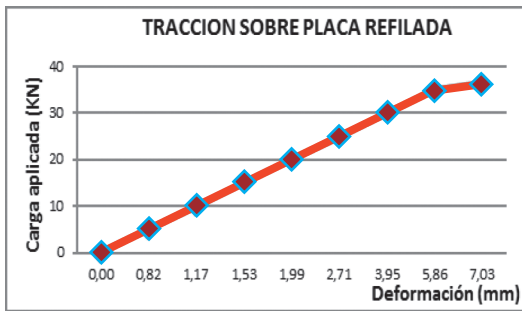


Figura N° 16. Deformación de la placa refilada Hydrabolt por tracción central.

**4.3.2. Análisis de la deformación global de las placas refiladas por la tracción**

Las Figuras N° 15 (a) y (b) muestran la deformación de las placas refiladas producida por la tracción. Como puede observarse, la deformación se manifiesta en la protuberancia y las zonas adyacentes a esta, que en conjunto representan una deformación global de 398,61 %. La placa queda convertida en un casquete esférico.

**5.4. Ensayos de tracción en la oreja de la placa**

Para estas pruebas de tracción se utilizó el mismo gancho que para las placas esquinadas, cuyo ensamblaje ilustran las Figuras N° 17 (a) y (b). En esta ocasión, las muestras se codificaron como ilustran las fotos antes indicadas, donde HY-OR-02 significa: HY = Hydrabolt, OR = oreja y 02 = número de muestra. La velocidad de los ensayos fue de 15 mm/min y la temperatura promedio de 21,20

°C. Se realizaron 5 ensayos de este tipo y cada ensayo demandó un tiempo neto de 5,35 minutos en promedio. Cada prueba finalizó con la ruptura de la oreja bajo una carga máxima.

**4.4.1. Resultados de los ensayos**

Las Figuras N° 17 (a) y (b) muestran el estado en que quedaron las placas por este tipo de ensayo. La carga máxima de ruptura en promedio fue de 33,903 KN, luego de deformarse 26,73 mm. La Figura N° 18 muestra que el comportamiento de la oreja de estas placas a la tracción es uniforme.

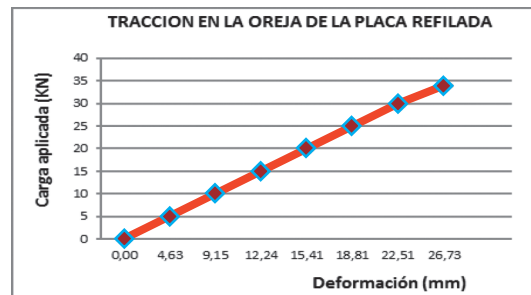


Figura N° 18. Deformación de la oreja de la placa refilada por tracción.

**4.4.2. Análisis de la deformación global de las placas refiladas por la tracción en su oreja**

Las Figuras N° 17 (a) y (b) muestran la deformación de las placas refiladas Hydrabolt, producida al aplicar tracción en su oreja. Como puede apreciarse, la deformación se manifiesta en todas partes de la placa, que en suma alcanza a deformarse 824,58 %. La placa queda convertida en un casquete esférico deformado hacia su oreja.

**V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

**5.1. Ensayos de compresión central**

Los resultados de las pruebas de compresión para los distintos tipos de placas tratadas en los capítulos precedentes se sintetizan en la Figura N° 19, de la que se concluye que las que sufren menor deformación son las placas esquinadas, que se deforman 14,01 mm para una carga máxima de 41,56 KN. La placa refilada es la que más se deforma, tanto así que para una carga máxima de 40,56 KN se deforma 25,10 mm.

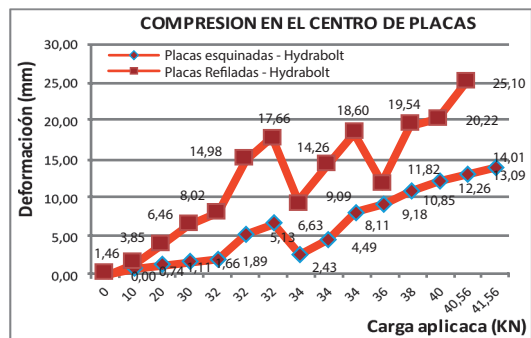


Figura N° 19. Deformación de las placas al aplicar carga compresiva.

Ambas placas muestran deformación uniforme hasta 30 KN de carga.

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 los cables, puesto que los pernos inflables como Swellex, Hydrabolt y Expanbolt, trabajan por fricción de la pared exterior de los pernos con las paredes de los taladros donde se instalan, inflándolos con un fluido a presión. Por consiguiente, en los pernos inflables, las placas soportan mínima carga o sujetan la malla en terrenos que requieren de este elemento de sostenimiento.

**5.2. Ensayos de tracción central**

Los resultados de las pruebas de tracción central para ambas placas se presentan en la Figura N° 20, donde se observa que la placa que sufre menor deformación es la esquinada. Es así que, por ejemplo, para una carga de 35 KN, las esquinas se deforman 1,21 mm, mientras que las refiladas 5,86 mm.

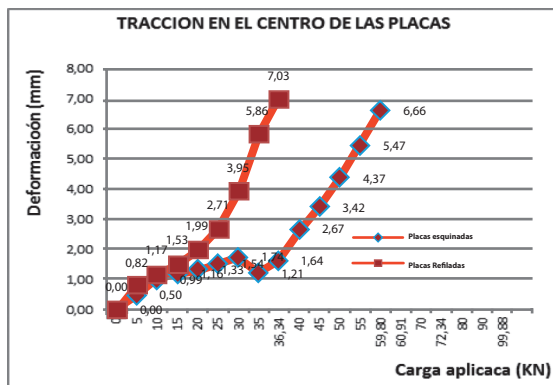


Figura N° 20. Deformación de las placas por la carga de tracción.

**5.3. Ensayos de tracción en la oreja de las placas**

Los resultados de este ensayo se sintetizan en la Figura N° 21. La ruptura de la oreja de las placas esquinadas bajo una carga de 30,98 KN, mientras que las de las refiladas a 33,90 KN, habiendo alcanzado las respectivas deformaciones de 43,9 mm y 26,73 mm.

En la Tabla N° 1, se resumen 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.

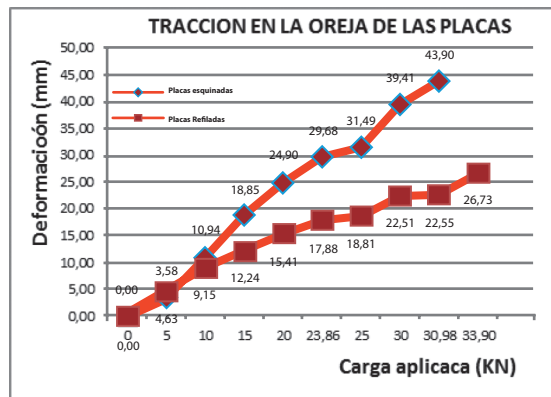


Figura N° 21. Deformación de las orejas de las placas al aplicar cargas de tracción.

**VI. CONCLUSIONES**

1. Las placas que sufren mayor deformación a la compresión, tracción central y en la oreja son las placas refiladas.
2. Para las pruebas de compresión, las fuerzas máximas que soportan ambas placas son: esquinadas 41,56 KN y refiladas 40,56 KN. Bajo esas cargas, los respectivos pines destructores se penetraron en



el agujero central de las placas. Se demostró que la placa que ofrece mayor resistencia es la placa esquinada.

**Tabla N° 1.** Resumen de las características, cargas y deformaciones de las placas estudiadas

Parámetros comparativos	Placas		
	Esquinada	Refilada	
Dimensiones (mm)	146,5x148,6x3,7	150x150x3,5	
Peso (g)	624	571	
Protuberancia	Domo	Tronco cónico	
Diámetro del agujero (mm)	35,1	35,17	
Oreja	Sí	Sí	
Diámetro del pin destructor (mm)	40,0	40,0	
Ensayo de compresión	Límite elástico (KN)	32,64	
	Deformación en LE (mm)	2,02	
	Carga máxima, CM (KN)	41,56	40,56
	Deformación en CM (mm)	14,01	25,10
	Deformación Vs Carga	Irregular	Irregular
	Deformación Global (%)	28,91	451,59
	Forma final de la placa	Domo deformado	Domo hundido y casquete esférico
Ensayo de tracción central	Límite elástico, LE (KN)	36,90	24,26
	Deformación en LE (mm)	2,28	2,646
	Carga máxima, CM (KN)	59,80	36,34
	Deformación en CM (mm)	6,66	7,032
	Deformación Vs Carga	Ligeramente irregular	Regular
	Deformación Global (%)	28,40	398,61
	Forma final de la placa	Domo deformado	Domo crecido y casquete esférico
Ensayo de tracción en la oreja	Carga máxima, CM (KN)	30,98	33,903
	Deformación en CM (mm)	43,90	26,729
	Deformación Vs Carga	Uniforme	Uniforme
	Deformación Global (%)	143,90	824,58
	Forma final de la placa	Oreja rota y curvado por ese lado	Oreja rota, completamente deformada

3. Durante las pruebas de tracción en el centro, ambas placas demostraron mejor uniformidad en su deformación que en compresión. Los pines destructores comenzaron a penetrarse en el agujero central, en caso de las placas esquinadas, a 59,80 KN y, refiladas, a 36,34 KN.
4. Para las pruebas de tracción en las orejas, las placas mostraron una deformación uniforme, alcanzando la ruptura bajo las siguientes cargas máximas: refiladas a 33,90 KN y esquinadas a 30,98 KN.
5. No es necesario que las placas para los pernos Hydrabolt sean muy robustas o sobredimensionadas, considerando que dichos pernos trabajan radialmente a su eje. Es decir, la robustez de las placas es más importante en pernos que actúan por tensión, como las barras y cables, donde las cargas actúan directamente sobre estas (Smith, 2006).
6. La mayor resistencia de las placas esquinadas es debido a la forma de su protuberancia tipo domo.

## VII. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a Volcan Cía. Minera S.A.A. Unidad Mina Chungar y a la Cía. New Concept Mining, por haber facilitado las placas para realizar el 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.

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. New Concept Mining. Hydrabolt. [En línea] URL<www.ncm.co.za> Consulta, 20 de oct. de 2010.
2. Ros Esteban, Antonio (2005). Bulones SWELLEX. Tipos de Anclajes (pp. 230-254).
3. Smith, William F, y Hashemi, Javad (2006). Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales (4ta ed.). Editorial McGraw-Hill Interamericana, España.
4. JM JENNMAR. Placas y Control de Superficiest. [En línea] URL<www.ncm.co.za> Consulta, 20 de oct. de 2012.