

Control de calidad de pernos de anclaje en roca: especificación técnica para ensayos de extracción

Quality control of rock bolts: technical specification for pull-out tests

Fecha de entrega: 19 de agosto 2025

Fecha de aceptación: 26 de septiembre 2025

José Pablo Gacitúa¹, Frank Schanack² y Tamara González¹

¹ PONTINEL SpA, Valdivia, Chile, pontinelspa@gmail.com

² Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, frank.schanack@uach.cl

En Chile, para la estabilización de taludes, se han utilizado distintos tipos de mallas ancladas en roca mediante pernos de anclaje pasivos, los cuales han entregado resultados satisfactorios. El Manual de Carreteras establece el requisito de que estos pernos sean ensayados a tracción in situ. Sin embargo, la norma no establece los parámetros del ensayo, como tipo, procedimiento, número, carga, criterios de aceptación o consecuencia en función de los resultados. En la práctica, se encuentran muchas distintas maneras de exigir la realización de los ensayos en los términos de referencia de las obras. En base a la experiencia propia de los autores en la realización de estos procedimientos y una revisión bibliográfica y de referencias normativas se presenta una propuesta de criterios unificados para la realización de ensayos de tracción de pernos de anclaje pasivos en roca para la estabilización de taludes.

Palabras clave: protección de talud, pernos de roca, ensayos de tracción

In Chile, various types of meshes anchored to rock using passive rock bolts have been used for slope stabilization, yielding satisfactory results. The Chilean Highway Manual establishes the requirement that these bolts should be tested in situ under pull-out loads. However, the standard does not establish test parameters, such as type, procedure, number, load, acceptance criteria, or consequences based on the results. In practice, many different ways of testing are found in the work terms of reference. Based on the authors' experience in performing these procedures and a review of bibliographic and regulatory references, a proposal for unified criteria for performing pull-out tests on passive rock bolts for slope stabilization is presented.

Keywords: slope protection, rock bolts, pull-out testing

Introducción

En Chile, en el ámbito de la construcción de caminos, se realizan ensayos de arranque de pernos de roca, para verificar la calidad de la construcción, así como la validez de los parámetros de diseño utilizados. La realización de estos ensayos es de suma importancia, dada la incertidumbre inherente que se alcance la resistencia a tracción proyectada para pernos. Existen dos grandes fuentes de incertidumbre:

1. Las condiciones geotécnicas en general presentan una alta variabilidad y por ende los proyectos geotécnicos tienen un nivel de incertidumbre alto.
2. La instalación de pernos en roca es una de las obras

más difíciles y desafiantes, por temas de accesibilidad, exposición climática, seguridad de trabajo y de las propias condiciones geotécnicas. La Figura 1 muestra un ejemplo de las difíciles condiciones que pueden ser encontradas en una obra de instalación de pernos de anclaje.

No obstante, en la práctica de la realización de los ensayos de tracción de pernos de roca, se detecta que no se establece de forma clara el tipo y la cantidad de pruebas ni tampoco los criterios de aceptación relacionados con los resultados. En el presente trabajo se plantea este problema, se realiza un estudio bibliográfico y deriva una recomendación sencilla para la realización de estos ensayos.

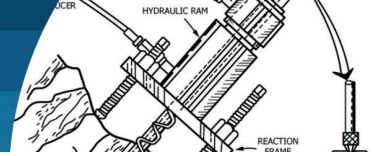


Figura 1: Dificultades en la instalación de pernos de anclaje (cortesía: www.inaces.com)

Planteamiento del problema

En la construcción de caminos se deben realizar frecuentemente taludes en corte, los cuales presentan problemas de inestabilidad asociados a erosiones y desprendimientos del frente expuesto. En muchos casos, se deben construir protecciones para lograr estabilizar el talud y proteger el camino. Existen diferentes tipos de protecciones de talud que deben ser elegidos en función del ángulo y material base del corte, su altura y accesibilidad, así como la constructibilidad y la rentabilidad económica en cada caso concreto.

Dentro de las soluciones que se han utilizado con resultados satisfactorios en Chile, se destacan la malla adherida, la malla colgada y la malla de alambre con hormigón proyectado (MC-V3, 3.602.305; MOP, 2023). La Figura 2 muestra estos tipos a modo de definición. Los tres tipos de protección tienen en común que deben anclarse en la roca del talud mediante pernos de anclaje pasivos.

Los pernos de anclaje tienen por objetivo sostener las mallas para que puedan retener el material del talud ante un eventual desprendimiento. Por otro lado, y en el caso de la malla adherida, los pernos de anclaje también actúan como un muro de anclaje pasivo (*soil nailing*), en el que se refuerza y fortalece el suelo mediante barras de acero colocadas a poca distancia. En tal caso, y de acuerdo a la sección 3.1003.408(2) del Manual de carreteras (MOP, 2023), se deben realizar ensayos de arranque de pernos antes de iniciar las obras, con el fin de verificar la resistencia de arranque utilizada en el diseño.

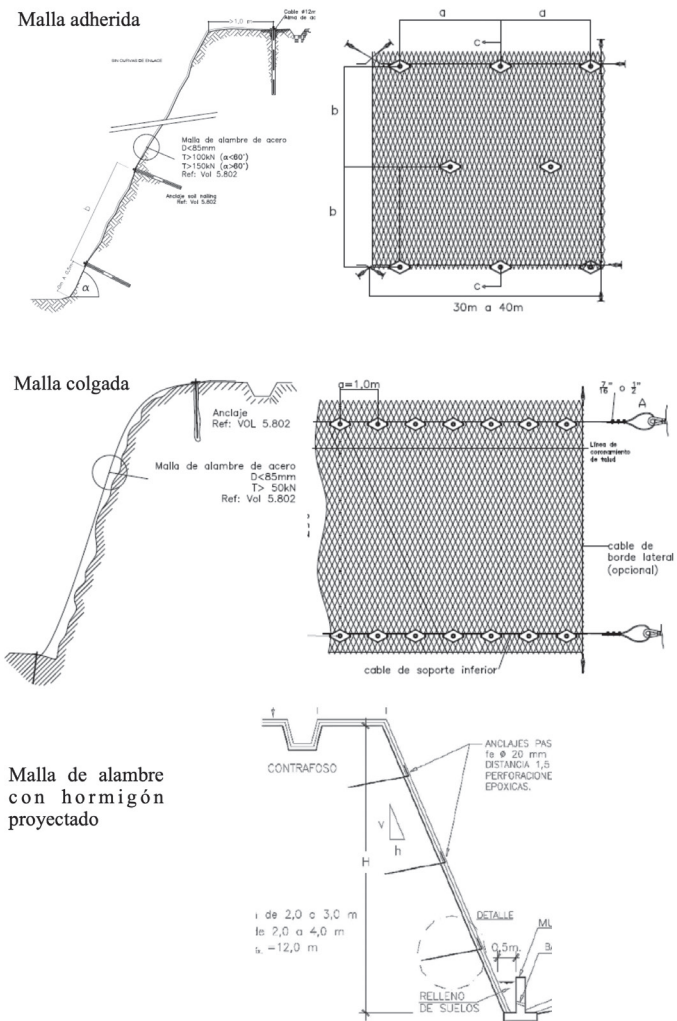


Figura 2: Definición de tres tipos de protección de talud que ocupan pernos de anclaje pasivos en roca (MC-V3, 3.602.305; MOP, 2023)

En la Tabla 1 se muestran los parámetros y resultados de algunos ensayos de tracción de pernos en roca que han sido ejecutados en los últimos años por la Universidad Austral de Chile. Se presentan los casos de forma anonimizada para cumplir los compromisos de confidencialidad.

Como se puede ver en la Tabla 1, no existe un criterio uniforme para la ejecución de los ensayos. Por ejemplo, el número de pernos ensayados está entre un 1.2% y 10% del total. Además, la carga de ensayo exigida por los Términos de Referencia (TDR) del contrato de construcción versus la resistencia geotécnica admisible varía desde un 50% (casos 5 y 6) hasta un 127% (caso 3). Sin embargo, en el caso 3, durante las obras se redujo la carga de prueba exigida, quedando sólo en un 77% de la resistencia geotécnica.



Tabla 1: Parámetros de ensayos de tracción de pernos en roca realizados por la Universidad Austral de Chile

	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
Diámetro perno, mm	22	22	32	25	32	32
Diámetro perforación, mm	50	50	52	50	50	50
Longitud perno, m	3.0	3.0	3.7	3.0	6.0	6.0
Resistencia geotécnica admisible, kN	154	154	155	150	300	300
Resistencia en fluencia perno, kN	160	160	338	206	338	338
Resistencia última perno, kN	239	239	507	309	507	507
Carga de ensayo según TDR, kN	120	120	196	125	150	150
Carga de ensayo real, kN	120	60	120	125	150	150
N° pernos total	340	510	420	60	100	125
N° pernos ensayados	4 (1.2%)	6 (1.2%)	7 (1.7%)	6 (10%)	4 (4%)	5 (4%)
N° pernos fallados	2 (50%)	0	2 (29%)	0	2 (50%)	0

A modo ilustrativo, la Figura 3 muestra un ensayo de tracción de perno en roca realizado con los equipos de la Universidad Austral de Chile.

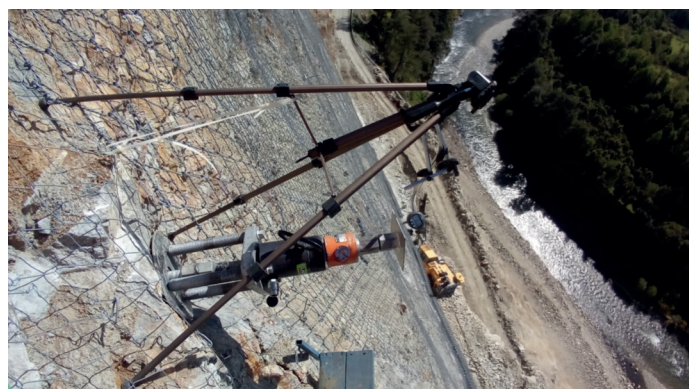


Figura 3. Ejemplo de un ensayo realizado con los equipos de la Universidad Austral de Chile

En cuanto a los resultados de los ensayos, se ven principalmente dos tendencias. En primer lugar, están los sistemas que no tiene ningún perno de anclaje fallado (0%) y, en segundo lugar, están los que sí tienen pernos que fallan, donde un alto porcentaje (29% al 50%) no cumple. Lo

anterior indica que hay situaciones donde el sistema logra desarrollar la resistencia geotécnica teórica y, entonces todos los anclajes cumplen, y hay otras situaciones donde no se consigue esta resistencia y muchos pernos fallan. En este análisis, la mitad de los casos está en una y la otra mitad en la otra categoría.

Frente a estas discrepancias se plantean los siguientes problemas:

- Unificar los criterios y metodología para los ensayos de tracción de pernos
- Establecer las consecuencias que deben derivarse de los resultados obtenidos

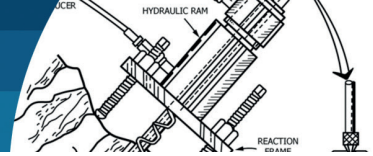
A continuación, se estudian las referencias normativas y bibliográficas existentes al respecto, para derivar una propuesta de respuesta a estos problemas.

Estudio bibliográfico

La sección 3.1003.408(2) del Manual de carreteras (MOP, 2023) indica que se deben realizar ensayos de arranque de pernos antes de iniciar las obras y da como referencia la FHWA (1998). En el capítulo 3.2 de este Manual de carreteras se establece que es imperativo realizar ensayos de tracción in situ durante la construcción para verificar la resistencia contra el arranque usado para el diseño. Dice también que normalmente no se ensayan todos los pernos, como puede ser el caso en los anclajes geotécnicos activos. En cuanto a la forma en que deben realizarse los ensayos, este manual hace referencia al FHWA (1994). En este último manual se encuentran unas recomendaciones detalladas sobre las condiciones de aplicabilidad de los ensayos. A continuación, se expone un resumen de los puntos más importantes:

Objetivos de los ensayos:

- Se pretende evaluar la resistencia geotécnica del anclaje y no la resistencia del acero del perno (ISRM, 1981).
- Los pernos ensayados deben corresponder a condiciones reales de instalación: operaciones de perforación, inyección e instalación del contratista en específico, condiciones de suelo/roca en específico.
- Ante cualquier cambio de estas condiciones el ensayo pierde su validez y debe repetirse.



Tipos de ensayos

- Existen tres tipos de ensayos: ensayo de carga última y de verificación (destructivos) y ensayos de comprobación (no destructivo).

Cantidad de ensayo

- Ensayos destructivos: 1 o 2 ensayos al inicio de la obra, 1 o más ensayos cada vez que cambie el tipo de suelo o el procedimiento de instalación significativamente, (se realiza en pernos solamente hecho para el ensayo, que no forman parte de la obra definitiva).
- Cantidad de ensayos no destructivos: 5% de la cantidad total de pernos

Carga máxima del ensayo

- En ensayos de carga última, la carga debe ser la que produce la extracción del perno, pero puede ser establecida menor que eso, por el proyectista.
- Los ensayos de verificación se realizan con la carga característica de la resistencia geotécnica (sin factores de seguridad).
- Los ensayos de comprobación (no destructivos) se realizan a un nivel de 125% a 150% de la resistencia geotécnica de diseño (con factores de seguridad).
- En ningún caso, la carga de ensayo debe superar el 80% de la resistencia última ni el 90% de la resistencia en fluencia del acero del perno.
- Cada ensayo se realiza con incrementos de carga, midiendo carga y desplazamiento de la cabeza del perno.

Criterios de aceptación de los ensayos:

- Se acepta un ensayo como satisfactorio, cuando no falla antes o a la carga máxima del ensayo.
- Cuando un perno no cumple con el criterio de aceptación, se deben estudiar las razones con el contratista (¿algún problema con el procedimiento de instalación?) y el proyectista (¿algún problema con los procedimientos de diseño?) para decidir cómo seguir con la obra.
- Cada fila de pernos debería terminar de comprobarse mediante ensayos, antes de pasar a la siguiente fila.

En general, se establece que los ensayos deben ser realizados una vez que el mortero de inyección haya fraguado. Al respecto, Kılıc *et al.* (2002) concluyen que se debe esperar al menos 7 días. El método de ensayo no estaba establecido en el tiempo de redacción de la FHWA (1994). Este vacío fue llenado por la norma ASTM D4435 (2022), y que actualmente se encuentra en proceso de reincorporación, sin cambios. Según la versión anterior (ASTM D4435, 2013), el ensayo in situ se ejecuta con una máquina de ensayo que consiste principalmente en una estructura de soporte para la reacción, un cilindro hidráulico hueco para aplicar la carga, una celda de carga para medir la fuerza aplicada y un transductor de desplazamiento para medir el movimiento del perno. En la Figura 4 se muestra el esquema típico propuesto por esta normativa. En el mercado, se encuentra a una variedad de distintas máquinas de ensayo, que generalmente operan según el mismo esquema y cumplen la normativa ASTM D4435 (2022).

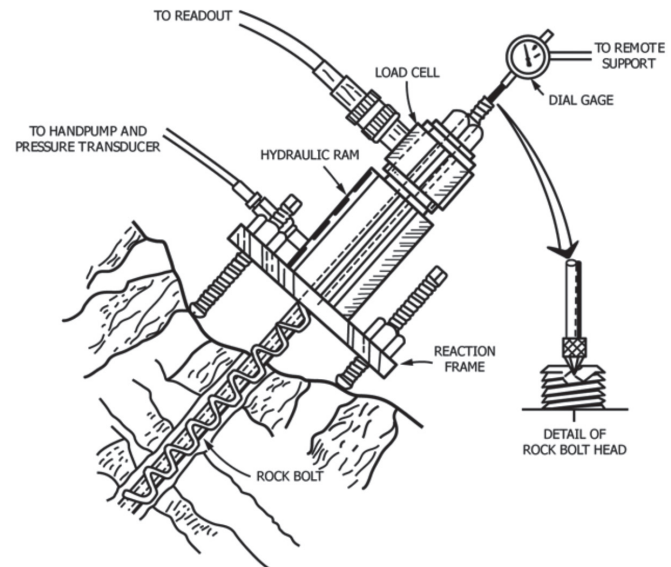
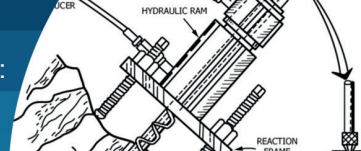


Figura 4: Esquema típico del ensayo de tracción de pernos de roce según ASTM D4435 (2022)

Aparte de normar el ensayo en sí, la norma ASTM D4435 (2022) también entrega recomendaciones sobre la aplicabilidad de los ensayos, que se describen a continuación.

Igual que los Manuales de la FHWA (1994, 1998), la norma ASTM D4435 (2022) recomienda hacer ensayos separados por cada combinación de condiciones (suelo/roca – sistema de anclaje – procedimiento de instalación).



En el caso de que los ensayos se realicen para determinar la carga de diseño del sistema de anclaje, la norma estima que una cantidad de 10 a 12 ensayos de tracción es necesaria para satisfacer los requerimientos estadísticos. Además, esta norma establece un segundo criterio de aceptación, definiendo que un desplazamiento total del perno mayor o igual a 12.7 mm es equivalente a una falla del perno.

Como se ha mencionado anteriormente, la carga de los ensayos no destructivos está definida entre 125% y 150% de la resistencia geotécnica de diseño (FHWA, 1994). Respaldos para este rango se puede encontrar en FHWA (1999) y PTI (2004), donde se establece una carga del 133% para pernos instalados de forma permanente y 150% cuando el suelo tiene un potencial para fluencia (ceder bajo carga constante). Dado que en el presente caso se consideran pernos de anclaje pasivos, no existe una carga constante sobre el perno.

Recomendaciones y comentarios finales

Especificación técnica para realización de ensayo de tracción de pernos en roca para la estabilización de taludes

Basado en la experiencia de los ensayos de tracción realizados por la Universidad Austral de Chile, resultados del análisis bibliográfico y de las referencias normativas descritas en el presente trabajo, se pudo elaborar la siguiente propuesta para criterios unificados para la realización de ensayos de tracción de pernos en roca. Esta especificación técnica aplica para pernos de anclaje pasivos para la estabilización de taludes y bajo la condición típica de Chile, de que el proyecto se realiza de forma independiente y previa a la ejecución de la obra:

Especificación técnica: Ensayos de tracción en pernos de anclaje pasivos

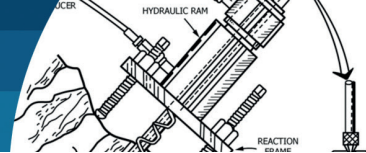
Se deben realizar ensayos de tracción en pernos de anclaje, cumpliendo los procedimientos establecidos en la normativa ASTM D4435 (2022). Se ejecutarán dos tipos de ensayos: los ensayos de verificación y los ensayos de comprobación. El objetivo de los ensayos es la revisión de los parámetros de diseño y de los procedimientos de instalación. En el caso de que los ensayos arrojen resultados no aceptables, se debe revisar el diseño en conjunto con

el proyectista y los procedimientos de instalación con el contratista.

Los ensayos de verificación se deben realizar previos a la instalación general de los pernos de anclaje en pernos especialmente instalados para este fin. Para cada condición geotécnica y/o de instalación que se diferencie significativamente de otras condiciones de la misma obra se deben ensayar 2 pernos. Como máximo se aplicará la carga correspondiente al valor característico (sin factores de seguridad) de la resistencia geotécnica. En ningún caso, la carga aplicada debe superar el 80% de la resistencia última ni el 90% de la resistencia en fluencia del acero del perno. Se considera que el perno falla, cuando el desplazamiento de la cabeza del perno supera los 12.7 mm. La máxima carga alcanzada antes del fallo será considerada como la resistencia medida del perno. Los resultados de los ensayos de verificación también se considerarán aceptables si no se produce la falla del perno.

Los ensayos de comprobación se realizarán en los pernos que forman parte de la obra definitiva. Estos ensayos se ejecutarán en el 5% del total de los pernos, distribuido de forma equitativa en las distintas condiciones geotécnicas y/o de instalación. Los pernos a ensayar serán seleccionados por la empresa que realiza los ensayos para asegurar la factibilidad técnica del ensayo. La carga a aplicar corresponde al 133% de la resistencia geotécnica de diseño (incluidos los factores de seguridad). En ningún caso, la carga aplicada debe superar el 80% de la resistencia última ni el 90% de la resistencia en fluencia del acero del perno. Se considera que el perno falla, cuando el desplazamiento de la cabeza del perno supera los 12.7 mm. La máxima carga alcanzada antes del fallo será considerada como la resistencia medida del perno. Los resultados de los ensayos de comprobación se considerarán aceptables si no se produce la falla del perno. Cada fila de pernos deberá terminar de comprobarse mediante ensayos, antes de pasar a la siguiente fila. Los pernos fallados deben ser reemplazados y ensayados nuevamente.

Condiciones generales: Antes de la ejecución de los ensayos, se debe haber cumplido el plazo mínimo para el fragüe del mortero de inyección (al menos 7 días u otro plazo especificado por el fabricante). Los ensayos deben ser realizados por una empresa externa competente y con experiencia acreditada.



Referencias

- ASTM D4435 (2013, 2022). Standard test method for rock bolt anchor pull test. ASTM International, West Conshohocken, PA, USA
- FHWA (1994). Soil Nailing Field Inspectors Manual. FHWA-SA-93-068, USA
- FHWA (1998). Manual for design and construction monitoring of soil nail wall. FHWA-SA-96-069R, USA
- FHWA (1999). Geotechnical Engineering Circular No. 4, FHWA-IF-99-015, USA
- ISRM (1981). Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring. International Association of Rocks Mechanics, ISRM suggested methods, E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, UK
- Kılıc, A., Yasar, E. and Celik, A.G. (2002). Effect of grout properties on the pull-out load capacity of fully grouted rock bolt. *Tunnelling and Underground Space Technology* 17(4), 355-362
- MOP (2022). Instrucciones y Criterios de Diseño. Manual de Carreteras, Volumen 3. Ministerio de Obras Públicas, Dirección de Vialidad, Santiago, Chile
- PTI (2004). Recommendations for prestressed rock and soil anchors. Post-Tensioning Institute. Farmington Hills, MI, USA