



Sistema de Fortificación
y Contención

SAFEROCK 2.0[®]

Manual del Producto
Edición 2023

AZA[®]
Acero Sostenible[®]

Sistema de Fortificación y Contención **SAFEROCK 2.0®**

Manual del Producto

Autor

José Rojas Ubilla

Colaboradores

Guillermo Uribe Pérez
Manuel Riquelme Olivares

Edición

Jorge Manríquez Pimentel

No está permitida la reproducción total o parcial de este documento, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, fotocopia, registro u otros medios, sin la aprobación y por escrito de Aceros AZA S.A.

Diseño y Producción Gráfica

Casenave y Asociados

Dirección de Arte y Diseño Gráfico

Soledad Casenave

Fotografía

Archivo fotográfico Aceros AZA S.A.
Rodrigo Sánchez

Ilustraciones

Macarena Reyes Arzola

Derechos Reservados © por Aceros AZA S.A.
La Unión 3070, Renca. Santiago de Chile.
Copyright © MMXXIII, por Aceros AZA S.A.

Inscripción en Propiedad Intelectual N° XXXX

SAFEROCK®, ST®, MT®, PA® y L-Zero®
son marcas registradas de Aceros AZA S.A.

Los siguientes productos poseen Patentes en Trámite:

Tuerca SAFEROCK MT®:	N° 2020-02727
Planchuela SAFEROCK PA®:	N° 2021-01864
Vaina SAFEROCK L-Zero®:	En proceso

En todo el presente documento se utilizan los nombres "Aceros AZA" y "AZA" para referirse a la razón social en forma equivalentes, siendo ambas marcas registradas de Aceros AZA S. A.

Sistema de Fortificación
y Contención

SAFEROCK 2.0®

Manual del Producto
Edición 2023



PRESENTACIÓN

Aceros AZA S.A., se complace en presentar a la comunidad de profesionales, docentes y estudiantes de los sectores de la geotecnia, geomecánica, ingeniería de excavaciones, ingeniería civil estructural y construcción, la primera edición del Manual del Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®, mediante el uso de pernos de acero suministrados por AZA.

Los temas desarrollados en este Manual tienen su contenido orientado a los profesionales vinculados con el diseño, cálculo y ejecución de excavaciones y la estabilización de estratos rocosos en minas subterráneas y taludes de caminos. Aceros AZA presenta ahora la nueva generación 2.0 de pernos de fortificación SAFEROCK®, luego de desarrollar un sistema más seguro que integra el perno, la planchuela, una vaina y tuercas de alto desempeño y donde se recoge la experiencia de más de dos décadas de uso del perno tradicional y las actuales necesidades de refuerzo de la minería chilena.

Luego de un Prólogo que presenta los desafíos de la tunelería y su reforzamiento para hacer más productiva la faena minera, se introduce al primer Capítulo que entrega en tres secciones, información general para explicar el proceso de fabricación, el control de calidad y la Declaración Ambiental del perno producido por AZA, componente principal del sistema SAFEROCK®.

En el segundo Capítulo se detallan las características de cada uno de los componentes y que permiten que este sistema sea seguro y confiable. El tercer Capítulo describe la instalación del sistema, haciendo consideraciones para el diseño de la fortificación y finaliza con ejemplos de diseño.

El cuarto Capítulo se destina para describir el funcionamiento del sistema y mostrar sus ventajas para la fortificación y contención de macizos rocosos. Por último, en el cuerpo destinado al Anexo se muestran pruebas de colapso de planchuelas tradicionales y se comparan con las nuevas planchuelas SAFEROCK PA®.



Vista aérea
Planta Colina Aceros AZA S.A.

Esperamos muy sinceramente, que esta edición, sea un aporte valioso y necesario para todas las personas vinculadas con el refuerzo de rocas y para los docentes y estudiantes, que lo utilicen como texto guía o como un documento auxiliar de consulta.

Confiamos, además, en la favorable acogida que tendremos entre todos los profesionales de la ingeniería estructural, mecánica, minería, geomecánica, arquitectura y la construcción civil, quienes, en forma directa o indirecta, día a día, especifican o utilizan nuestros productos.

Desde ya, una vez más a todos ellos, un sincero reconocimiento por el respaldo y la confianza que han depositado en AZA y el agradecimiento anticipado ante cualquier aporte, observación o comentario que nos hagan llegar, que sirva para enriquecer estas páginas en futuras ediciones.



_ ÍNDICE

AZA

SA

PRÓLOGO	9	
----------------	----------	--

_CAPÍTULO 1 Información General		14
1.1	PROCESO DE FABRICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD	16
1.2	CONTROL DE CALIDAD DEL PERNO SAFEROCK®	19
1.3	DECLARACIÓN AMBIENTAL (DAP) Y CARBONO NEUTRALIDAD DEL PERNO SAFEROCK®	20

_CAPÍTULO 2 Características de los Componentes del Sistema SAFEROCK 2.0®		22
2.1	COMPONENTES DEL SISTEMA SAFEROCK 2.0®	24
2.2	PERNO SAFEROCK 2.0®	25
2.3	TUERCA SAFEROCK ST®	31
2.4	TUERCA MULTIPLICADORA DE TORQUE SAFEROCK MT®	33
2.5	COMPONENTES DE LA TUERCA SAFEROCK MT®	35
2.6	PLANCHUELA SAFEROCK PA®	41
2.7	VAINA SAFEROCK L-ZERO®	45

_CAPÍTULO 3 Instalación del Sistema SAFEROCK 2.0®		46
3.1	CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO E INSTALACIÓN CON EL SISTEMA SAFEROCK 2.0®	48
3.2	LONGITUD DEL PERNO SAFEROCK®	50
3.3	INSTALACIÓN DE LA VAINA SAFEROCK L-ZERO®	51
3.4	APRIETE DE LA TUERCA SAFEROCK MT®	52
3.5	CARGAS MÁXIMAS SOBRE LAS PLANCHUELAS SAFEROCK PA®	53
3.6	SELECCIÓN DE PRODUCTOS	55
3.7	EJEMPLOS DE CONFIGURACIONES DE FORTIFICACIÓN CON SISTEMA SAFEROCK 2.0® PARA DISTANCIAR PERFORACIONES	56

_CAPÍTULO 4 Funcionamiento del Sistema SAFEROCK 2.0®		68
4.1	CÓMO FUNCIONA EL SISTEMA SAFEROCK 2.0®	70
4.2	VENTAJAS DEL SISTEMA SAFEROCK 2.0®	

_ANEXOS		76
A.1	PRUEBAS DE COLAPSO DE LAS PLANCHUELAS	78
A.2	TABLAS DE CONVERSIÓN DE UNIDADES	82

**SISTEMAS CERTIFICADOS DE GESTIÓN DE CALIDAD, DE SEGURIDAD
Y SALUD EN EL TRABAJO, DE MEDIO AMBIENTE Y DE ENERGÍA**

CERTIFICACIÓN ISO 9001 : 2015

Sistema de Gestión de Calidad

CERTIFICACIÓN ISO 45001 : 2018

Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo

CERTIFICACIÓN ISO 50001 : 2018

Sistema de Gestión de Energía

CERTIFICACIÓN ISO 14001 : 2015

Sistema de Gestión Ambiental



PRÓLOGO

FUNDAMENTOS DE SISTEMA DE FORTIFICACIÓN Y CONTENCIÓN SAFEROCK® EN MINERÍA Y OBRAS CIVILES

Hoy en día la minería mundial posee grandes desafíos, tanto en el ámbito social, sustentabilidad ambiental, crecimiento económico y principalmente desafíos técnicos. Todos ellos relacionados entre sí, pues se trata de actividades de gran complejidad y en permanente evolución, que se actualiza principalmente con nuevos equipos, procesos, formas de explotación, métodos de supervisión y control y nuevos softwares.

La búsqueda de continuidad operacional que permita el crecimiento económico de la industria de la minería y obras civiles, va ligada a la seguridad de las personas y el patrimonio, además de la reducción de costos y el aumento de su productividad. Por eso, la posibilidad de nuevos desarrollos tecnológicos se encuentra presente en todas ellas, no obstante algunos insumos y productos, como los empleados en fortificación, debido a su aparente simpleza, parecieran no atraer la atención de las empresas ni de sus proveedores para innovar en ellos debido a que, por sí mismos, no corresponden a grandes ítems de costos.

Sin embargo, un mejor desempeño de estos productos puede generar grandes ahorros en los demás costos asociados, como pueden ser los costos totales de instalación de la fortificación.

Al analizar los costos de fortificación, se observa que el perno, tuerca y planchuela, alcanzan sólo un 10% del costo total de la instalación (Figura 1). De esta forma y sólo como ejemplo, si conseguimos ahorrar un 10% del costo de los productos de acero de la fortificación, obtendremos una baja de sólo un 1% en el costo total de instalación.

Es lógico concluir que, para obtener ahorros relevantes en este proceso, debemos centrarnos en variables de mayor impacto, como son la velocidad de instalación y más importante aún, en el número necesario de perforaciones por metro cuadrado requerido en la fortificación.

Distribución de los costos de fortificación

Perno de 22 mm - Planchuela de 200 x 200 x 4 mm - Tuerca normal

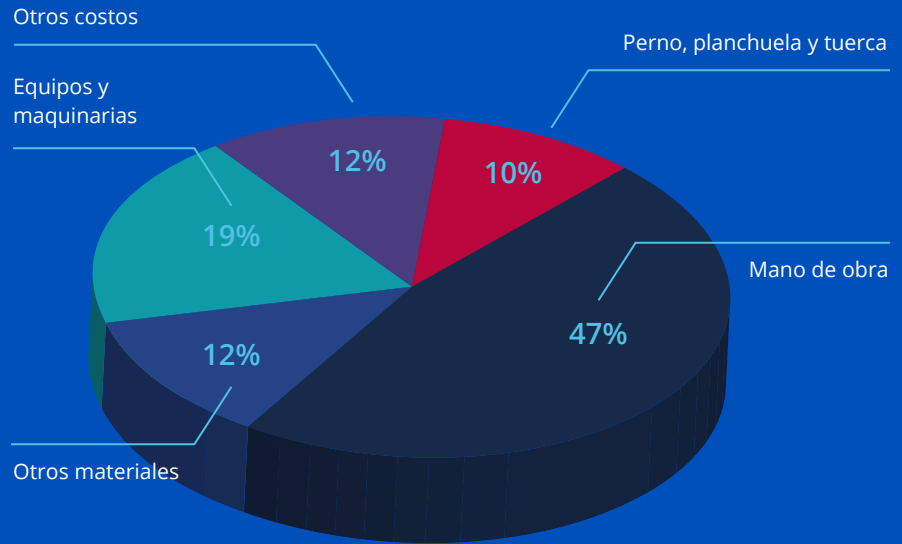


Figura 1

Distribución porcentual de un conjunto de presupuestos de instalación en faena de pernos de fortificación, representativa en un túnel minero de Chile (Fuente: construcción propia).

Por ejemplo, si fuéramos capaces de distanciar los pernos de fortificación de 1 m x 1 m a 1,15 m x 1,15 m, con igual desempeño y seguridad, entonces obtendríamos ahorros sobre el 20% del costo total de fortificación, muy superior al potencial ahorro por baja en los materiales de acero, que obteniéndolos un 10% más baratos, sólo nos permite ahorrar un 1% del costo total de fortificación.

Por otra parte, como en el ejemplo anterior, el acero corresponde a no más de un 10% del costo total de la partida y ahorrar en el consumo del acero no impacta en costo de la faena, sin embargo, este cambio podría mermar la productividad y el ahorro originalmente visualizado impactará negativamente en el costo total de la faena.

Así mismo, una innovación en el sistema de fortificación que baje los tiempos de instalación en un 10% y que permita aumentar la capacidad de extracción de la mina en tan sólo un 1%, el impacto económico superará con creces lo obtenido en los ejemplos anteriores, porque beneficia al rendimiento productivo total de la faena minera.



En el ámbito técnico, los desafíos que tiene la minería chilena van con el aumento de la explotación subterránea y la profundización de yacimientos existentes, lo que lleva a nuevos problemas a resolver. Si bien no es exclusiva de la minería, en la tunelería de rocas existen desafíos que dependen de las propiedades geotécnicas de la roca donde se emplazan dichos túneles.

Es frecuente el aumento de los esfuerzos y deformaciones en las rocas, obligando a soluciones de fortificación y contención más dúctiles, con mayor capacidad de absorber estas deformaciones y en casos extremos, contener la liberación violenta de energía. Por ello la Ingeniería Geomecánica selecciona pernos con propiedades mecánicas idóneas e introduce estos valores como datos para cada diseño de fortificación.

Los cálculos son realizados por ingenieros altamente especializados, empleando conocimientos, algoritmos y softwares de diseño avanzados, propios de esta disciplina de la ingeniería. Lo mismo hace la Ingeniería Civil en Obras Civiles para la fortificación de túneles viales y para la estabilización de laderas.

Durante años Aceros AZA ha suministrado pernos para fortificación a la minería y a la construcción de obras civiles, convirtiéndose en el principal proveedor del consumo nacional. En 2008 lanzó al mercado el perno SAFEROCK® con cualidades mejoradas de su resistencia y geometría de la tuerca. Posteriormente incorporó más diámetros y resistencias del perno, adoptando las propiedades mecánicas de la norma NCh204. También fabricó estos pernos bajo otras normas internacionales, destinados a mercados de Latinoamérica, como Brasil, Colombia y Perú.

Actualmente el perno SAFEROCK® es parte del sistema de fortificación, empleando otros complementos de acero que son provistos por terceros, como las tuercas, planchuelas, además de mallas de acero tejidas o electrosoldadas y resinas o morteros para anclar el perno al macizo rocoso.

Aceros AZA, ha identificado un conjunto de drivers de innovación que han permitido generar un valor nuevo para la Minería y Obras Civiles, analizando el conjunto de productos empleados en fortificación y estudiando su interacción sistémica, para finalmente rediseñarlos, buscando el óptimo global en la faena.

Los principales dolores manifestados por los clientes de AZA, tanto en minería como en obras civiles, permitieron identificar claramente los drivers de este desarrollo, que se resumen a continuación:

- Excesiva holgura entre los pernos de fortificación y sus respectivas tuercas. Ante la diversidad de pernos helicoidales que han surgido en el mercado, con diferencias en sus dimensiones y tolerancias, la industria optó por emplear tuercas de medidas más holgadas que sirvan a todos los proveedores de pernos existentes.
- Poca variedad en diámetros y grados de acero de los pernos.
- Desconocimiento de la energía que puede absorber el sistema completo de fortificación cuando se presentan eventos de cargas dinámicas.
- Desconocimiento del grado de ductilidad del sistema de fortificación y contención frente a las deformaciones del macizo rocoso.
- Planchuelas irregulares en su forma, con cantos vivos y baja rigidez de su apoyo plano.

Con estos conceptos y los drivers identificados, Aceros AZA, principal proveedor en Chile de pernos de fortificación, decidió reestudiar su producto SAFEROCK® y le dio un enfoque nuevo:

Considerar toda la operación de fortificación y todos sus productos de acero involucrados como objeto de estudio y desarrollo, para entregar ahora al mercado el [Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®](#).

Para que este sistema sea seguro y confiable, AZA desarrolló una nueva

generación de pernos y accesorios SAFEROCK®, los cuales han sido diseñados y testeados, eliminando la incertidumbre de utilizar componentes de distinto origen. El diseñador que considera que cada componente aporta a la resistencia del sistema, puede estar seguro de que estos componentes son 100% compatibles.

Así el Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0® elimina las holguras excesivas entre el hilo del perno y su tuerca, elevando los puntos de apoyo entre ambos. Se reducen los esfuerzos de corte, mejorando el desempeño del hilo de los pernos y el deslizamiento de la tuerca. De esta forma, el sistema contiene la roca y reduce el potencial desprendimiento y derrumbe.

Otro aporte importante a la contención de las deformaciones del macizo rocoso, así como las altas velocidades de deformación producidas por el estallido de rocas, el nuevo Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0® incorpora la vaina SAFEROCK L-Zero®. Con esto se logra un aumento del largo efectivo del perno para deformarse plásticamente, obteniéndose un aumento de 10 veces la capacidad de absorción de energía.

El nuevo diseño de planchuela SAFEROCK PA® presenta una mejora significativa respecto del sistema de fortificación tradicional al innovar en su formato con bordes atiesados, que no rompen la malla y evita que se de vuelta y colapse ante desprendimientos de rocas. Este cambio de diseño mejora el desempeño del Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®.

Finalmente, y frente a la necesidad de contar con un sistema de fortificación realmente activo, se diseñó la nueva tuerca SAFEROCK MT® que permite incorporar un pretensado al perno en el tramo envainado. Esta tuerca posibilita multiplicar el torque de apriete y así sostener y estabilizar la roca en forma efectiva en la pared o el techo del túnel.

Todo esto para satisfacer lo manifestado por los clientes y usuarios: Desempeño sistémico asegurado, para obtener en la faena la capacidad de diseño especificada por los ingenieros geomecánicos y de minas, basado en las propiedades mecánicas de los pernos de fortificación.



CAPÍTULO 1

Información General

1.1 PROCESO DE FABRICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

1.2 CONTROL DE CALIDAD DEL PERNO SAFEROCK®

**1.3 DECLARACIÓN AMBIENTAL (DAP)
Y CARBONO NEUTRALIDAD DEL PERNO SAFEROCK®**

1.1 PROCESO DE FABRICACIÓN Y CONTROL DE CALIDAD

1.1.1 Proceso de Fabricación del Acero AZA

En AZA, en su planta ubicada en Colina, el proceso de fabricación del acero se inicia con la selección, procesamiento y corte de trozos de acero en desuso, la chatarra, que es la materia prima básica. Otros elementos que también son empleados en la fabricación son las ferroaleaciones, oxígeno, cal y fundentes, entre otros.

En primer lugar, la materia prima se carga en cestas, en proporciones adecuadas para satisfacer las especificaciones del proceso de fabricación del acero, las que son trasladadas a la Acería para alimentar el horno de arco eléctrico. Toda la carga es fundida en el horno de 60 toneladas de capacidad, mediante la aplicación de un arco eléctrico que desarrolla una potencia de 65.000 kVA.

Una vez terminado el proceso de fusión, en donde toda la carga pasa del estado sólido al estado líquido, momento en el cual alcanza una temperatura de alrededor de 1.630 °C, el

acero es trasladado a un Horno de Cuchara, donde se realizará la etapa de afinado y se procederá a tomar muestras de acero para realizar el análisis de espectrometría, con el propósito de conocer su composición química. Durante toda la etapa de fusión, se inyectan al horno importantes cantidades de oxígeno para extraer y remover las impurezas y cumplir así con los estándares de calidad preestablecidos.

Luego de conocido el informe sobre la composición química, se realizan las correcciones necesarias mediante el proceso de afinado, lo que permite obtener la composición y purezas deseadas. De esta forma, los diferentes grados del acero AZA se obtienen, de un cuidadoso control de la composición y mediante la adición de ferroaleaciones, como el ferromanganeso y ferrosilicio, aprovechando la mayor afinidad química de estos elementos, para formar entre otros, óxidos y sulfuros que pasan en mayor cantidad a la escoria.

Cuando el acero líquido cumple con las especificaciones requeridas, tanto de composición química como de temperatura, éste es trasladado en la cuchara hasta el proceso de colada continua, donde se realizará el colado del acero.

Figura 1.1.1.1

Operación de Carga de Horno Eléctrico, Planta Colina, AZA.





¿Cómo se produce el acero para los pernos SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** del proceso de producción de acero en la Planta Colina de AZA.

Figura 1.1.2.1

Líneas de colada continua de acería, Planta Colina, AZA.

1.1.2 Colado del Acero

Obtenido el acero en su estado líquido, éste debe solidificarse en la forma conveniente para la utilización posterior en los trenes de laminación, lo cual se hace mediante un equipo de colada continua, en el que se aplica un proceso distinto del convencional, para transformar el acero líquido en un producto semiterminado, llamado palanquilla, que son barras macizas de 130 x 130 mm² de sección.

El acero líquido que se encuentra en la cuchara de colada, es transferido a una artesa o distribuidor, desde donde pasa a las vías de colada.

Después de dejar las lingoteras, tres metros debajo de éstas, el acero superficialmente sólido, es tomado por juegos de rodillos refrigerados con chorros de agua a alta presión, solidificándose completamente y ya convertido en palanquilla, cortado automáticamente mediante oxicorte, a la longitud deseada.

Posterior a esta operación, las palanquillas son inspeccionadas visualmente para detectar eventuales defectos superficiales o de forma. Después de aprobadas, las palanquillas son separadas por coladas, identificadas y almacenadas para la operación siguiente: la laminación en caliente.

1.1.3 Laminación en Caliente de los Pernos

La laminación en caliente es un proceso de transformación termomecánico, en donde se da la forma final a los productos siderúrgicos. En el caso de los pernos SAFEROCK®, el proceso es el siguiente: en la planta de laminación, las palanquillas son seleccionadas según el grado del acero del producto final y son cargadas a un horno de recalentamiento horizontal, donde alcanzan una temperatura uniforme de 1.200°C, lo que permitirá su deformación plástica durante el proceso de laminación en caliente.

En este proceso, la palanquilla es tratada mecánicamente, haciéndola pasar sucesivamente por trenes de laminación, las cuales van reduciendo su sección original y consecuentemente,

aumentando la longitud inicial. De esta forma, se lleva la sección transversal de la palanquilla cada vez más próxima a la forma y diámetro final del perno SAFEROCK®, con su geometría y dimensiones características y con la marca que identifica el origen o fabricante.

En su planta ubicada en la comuna de Renca, AZA posee un laminador de 100.000 toneladas anuales de capacidad, donde se laminan los pernos SAFEROCK® para luego ser conducidos hasta el final del tren de laminación, a una parrilla o lecho de enfriamiento donde terminan de enfriarse, procediendo al corte a la medida deseada y posteriormente ser empaquetados y almacenados. Al final del proceso de corte se extraen las muestras para su aprobación y emisión de los reportes de calidad de acuerdo con estándares vigentes.



¿Cómo se lamina en caliente el perno SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** del proceso de laminación en caliente del perno SAFEROCK® en la Planta Renca de AZA.

Figura 1.1.3.1

Sala de Control de Laminación,
Planta Renca, AZA.

1.2 CONTROL DE CALIDAD DEL PERNO SAFEROCK®

Todo el proceso de fabricación de los pernos SAFEROCK®, está certificado bajo las normas ISO 9001, ISO 14001, ISO 50001 e ISO 45001; de esta forma, a lo largo de todas las etapas de fabricación del producto existen monitoreos, mediciones y ensayos de los productos, cuidando los aspectos en las gestiones de la calidad, el medio ambiente, la salud y seguridad en el trabajo y la gestión de la energía.

Desde la selección de la chatarra y otros insumos, pasando por la fabricación del acero líquido, su composición química, hasta el control de las dimensiones finales obtenidas en la laminación en caliente, conforman un complejo sistema que permite asegurar la obtención de productos de calidad, de acuerdo con los actuales estándares.

La información de las características de calidad del acero en todas las partidas de pernos SAFEROCK®, da cumplimiento a los requisitos mecánicos de la norma chilena NCh204:2020, Oficial de 2021 que establece los procedimientos para verificar las

propiedades de los pernos por una tercera parte independiente.

Esta garantía definida por AZA establece la extracción, identificación y retiro de muestras por inspectores acreditados, normalmente de algún organismo de ensayo de materiales autorizado por el Estado. En el caso de AZA, el informe es entregado por el Instituto de Investigaciones y Ensayo de Materiales de la Universidad de Chile, IDIEM (Figura 1.2.1).

Las muestras son preparadas para ser sometidas a ensayos normalizados de tracción, midiéndose las propiedades mecánicas más relevantes, como la tensión de fluencia, la carga máxima y el alargamiento de rotura. Los resultados de los ensayos se presentan en formatos de informes de laboratorio, en los que se identifica el material ensayado y se declaran el cumplimiento con los requisitos mecánicos de la norma, constituyéndose en una garantía del producto para el usuario.

Periódicamente y como una medida adicional de control, se efectúan análisis estadísticos de las propiedades mecánicas sobre toda la producción de pernos y a cada una de las coladas producidas.



¿Cómo se realiza el ensayo de tracción del perno SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** con el ensayo de tracción del perno SAFEROCK® en el laboratorio de IDIEM en la Planta Colina de AZA.

Figura 1.1.4.1

Laboratorio de Ensayes Mecánicos de IDIEM, en AZA.

1.3 DECLARACIÓN AMBIENTAL (DAP) Y CARBONO NEUTRALIDAD DEL PERNO SAFEROCK®

Aceros AZA cuantifica su Huella de Carbono y todos sus impactos ambientales a través del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y comunica sus resultados de manera estandarizada a través de las Declaraciones Ambientales de sus Productos (DAP).

En la huella ambiental de los pernos SAFEROCK®, AZA considera todos los impactos ambientales que se producen durante su ciclo de vida, tales como calentamiento global, eutrofización, acidificación, daño a la capa de ozono y la creación de smog, entre otros. La huella de carbono es una parte de la huella ambiental total de los pernos SAFEROCK® suministrados.

La DAP que entrega AZA, es un documento público verificado por un organismo independiente, que comunica de manera transparente y comparable la huella ambiental del producto a lo largo de su ciclo de vida.

La DAP del acero sostenible de AZA están efectuadas de acuerdo con la norma ISO 14025 y se encuentran publicadas en el International EPD® System, programa certificador de Declaraciones Ambientales de Producto de mayor reconocimiento en el mundo.

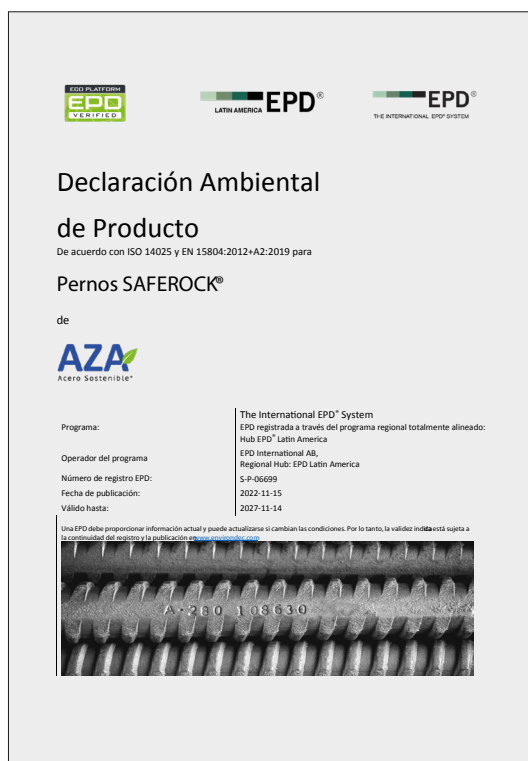


Figura 1.3.1

Declaración ambiental de los pernos SAFEROCK® de AZA.





Además de informar los impactos ambientales en la DAP, AZA presenta al perno SAFEROCK® como un ejemplo de economía circular, ya que emplea acero retirado de las faenas mineras, que luego es reciclado en la Planta Colina de AZA y vuelto a ser utilizado en la estabilización y fortificación de túneles de la minería.

Con una de las huellas de carbono más bajas de la industria siderúrgica mundial, Aceros AZA provee de Acero Verde al país como parte de su compromiso con el cuidado del medio ambiente a través de la reducción de sus emisiones y el aumento de su eficiencia energética.

Más detalles, en el Reporte de Sostenibilidad 2021 (<https://www.aza.cl/sostenibilidad/reportes-de-sostenibilidad/#reporte-2021>)

The background is a dark blue gradient with several overlapping, semi-transparent circular and spiral-like shapes in a lighter shade of blue. These shapes create a sense of depth and movement, resembling stylized orbits or paths. The text is centered horizontally and vertically within the composition.

_CAPÍTULO 2

Características de los Componentes del Sistema SAFEROCK 2.0®

2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

2.2 PERNO SAFEROCK 2.0®

2.3 TUERCA SAFEROCK ST®

2.4 TUERCA MULTIPLICADORA DE TORQUE SAFEROCK MT®

2.5 COMPONENTES DE LA TUERCA SAFEROCK MT®

2.6 PLANCHUELA SAFEROCK PA®

2.7 VAINA SAFEROCK L-ZERO®

2.1 COMPONENTES DEL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

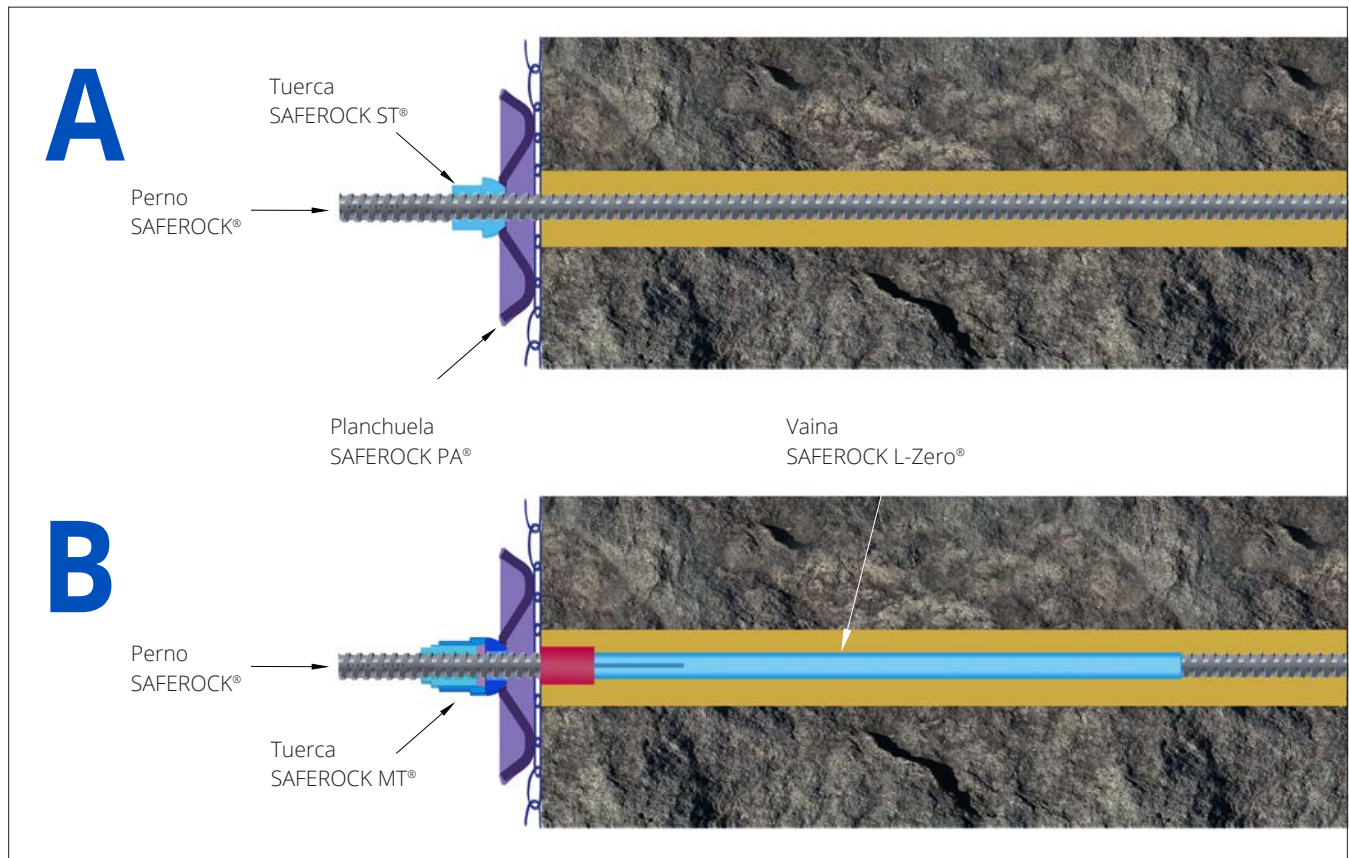
El Sistema SAFEROCK 2.0® lo componen cinco piezas originales, indicadas en la Figura 2.1.1 que se arman dependiendo del tipo de fortificación que se diseña:

- Perno SAFEROCK® de ajuste y ductilidad aumentada.
- Tuerca SAFEROCK ST®, de acero forjado con ajuste estrecho que mejoran el desempeño del par perno/tuerca y apta para aplicar en sistemas de fortificación pasiva, sin pretensado del perno.
- Tuerca SAFEROCK MT® Multiplicadora de Torque, que permite pretensar el perno SAFEROCK® y configurar un sistema de fortificación Activo-Dúctil.
- Planchuela SAFEROCK PA®, de mayor rigidez flexo torsional que las empleadas tradicionalmente en minería y obras civiles.
- Vaina SAFEROCK L-Zero® que permite aumentar el segmento del perno para absorber energía por deformación plástica permanente del acero.

Los materiales complementarios en un sistema de fortificación, como las mallas mineras de rombo, electrosoldada u otras, son también especificadas por los especialistas según las propiedades y desempeños requeridos para cada situación dentro en faena. El suministro de estos materiales cuenta con proveedores ajenos a Aceros AZA, los que definen su geometría, calidad de aceros, protección superficial y desempeño definido por ensayos específicos.

Figura 2.1.1

Componentes del Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®. El esquema A para fortificar macizos estables, sin pretensado del perno. El esquema B, para un sistema de fortificación Activo-Dúctil.



2.2 PERNO SAFEROCK 2.0®

Los pernos SAFEROCK® para fortificación y contención de roca son productos de acero laminado en caliente, con hilo helicoidal izquierdo y de gran paso. Se ofrecen en los diámetros nominales de 16, 19, 22, 25, 28 y 32 mm y en tres grados de acero.

Su diseño considera que cualquier corte transversal a lo largo de su eje axial, mantiene una sección de trabajo muy constante y con variaciones de la desviación estándar menores al 1%. En la práctica, el perno se comportará como una barra cilíndrica y frente a cargas de tracción, se deformará uniformemente hasta alcanzar su resistencia

máxima. La geometría de su hilo ha sido cuidadosamente diseñada para lograr este efecto.

El perno es muy resistente a la torsión cuando está dentro de la perforación de la roca y anclado en el hormigón o resina sólida, ya que su sección transversal posee un núcleo ligeramente ovalado cuyo hilo incompleto es laminado y dispuesto en las dos caras opuestas, perfectamente sincronizado.

2.2.1 Características geométricas del perno SAFEROCK®

Las características geométricas y dimensionales de los pernos SAFEROCK®, se detallan en la Tabla 2.2.1.1.

Tabla 2.2.1.1

Características geométricas, dimensionales y de masa por unidad de longitud del perno SAFEROCK®

Laminado en caliente		Hilo izquierdo			
Diámetro Nominal D_N	Diámetro Mayor H	Diámetro Menor Núcleo A	Diámetro Mayor Núcleo N	Paso del Hilo P	Masa Lineal
mm	mm	mm	mm	mm	kg/m
16	18,0	14,5	14,9	9,0	1,52
19	21,2	17,2	17,6	9,9	2,00
22	24,6	20,0	20,4	11,1	2,77
25	28,0	22,6	23,0	12,6	3,60
28	31,4	25,4	25,8	14,0	4,55
32	36,2	29,2	29,6	16,0	6,00

Notas

(1) El perno de 16 mm se produce sólo bajo pedidos mínimos de 28 toneladas.

(2) Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

2.2.2 Especificaciones del acero de los pernos SAFEROCK®

Los pernos SAFEROCK® cumplen con las propiedades mecánicas del acero de refuerzo establecido en la norma NCh204:2020, Oficial de 2021. Tres grados de acero se presentan: A280, A420 y A520. Estos grados basan su especificación respectivamente en los grados A440-280H, A630-420H y A700-520H de la norma citada. El grado A520 es producido bajo consulta previa.

Las propiedades mecánicas del perno SAFEROCK® se basan en ensayos de tracción cuasi estáticos, considerando probetas de largo normalizado de 200 mm, según la norma NCh200 Of.72. En las Tablas 2.2.2.1 a la 2.2.2.3, se muestran los mínimos de la Tensión de Fluencia (F_y), de Resistencia a la Tracción (F_u) y % de alargamiento a la ruptura, para los tres grados.

Se detallan las energías para una deformación mínima cuasi estática absorbida por deformación plástica permanente, considerando una longitud libre (L_0) de 1 m en el perno SAFEROCK®.

Tabla 2.2.2.1

Grado A280

Propiedades Mecánicas y Energías Absorbidas Mínimas de los pernos SAFEROCK®

Diámetro Nominal D_N mm	Tensión de Fluencia F_y MPa	Resistencia a la Tracción F_u MPa	Carga a la Resistencia a la Tracción tonf	Alargamiento Mínimo ($L_0=200$ mm) %	Energía para $L_0=1.000$ mm kJ
16	280	440	8,8	16,0	9,3
19			12,5		13,1
22			16,7		23,3
25			21,6		28,9
28			27,1		39,1
32			35,4		54,5

Notas

Las propiedades mecánicas (F_y , F_u y alargamiento) son las mínimas definidas en la norma NCh204:2020, Oficial de 2021 del grado A440-280H. La energía corresponde a la mínima absorbida en una barra de 1.000 mm en un ensayo de tracción cuasi estático.

Tabla 2.2.2.2

Grado A420

**Propiedades Mecánicas y Energías Absorbidas
Mínimas de los pernos SAFEROCK®**

Diámetro Nominal D_N mm	Tensión de Fluencia F_y MPa	Resistencia a la Tracción F_u MPa	Carga a la Resistencia a la Tracción tonf	Alargamiento Mínimo ($L_0=200$ mm) %	Energía para $L_0=1.000$ mm kJ
16	420	630	12,7	$\frac{7000}{F_u} - K \geq 8\%$	7,6
19			17,9		10,7
22			23,9		18,8
25			30,9		26,0
28			38,8		34,1
32			50,7		49,6

Notas

Las propiedades mecánicas (F_y , F_u y alargamiento) son las mínimas definidas en la norma NCh204:2020, Oficial de 2021 del grado A630-420H. K es un coeficiente que depende del diámetro nominal del perno, cuyo valor se indica a continuación:

D_n (mm) : 16 19 22 25 28 32
K : 0 0 1 2 3 4

La energía corresponde a la mínima absorbida en una barra de 1.000 mm en un ensayo de tracción cuasi estático.

Tabla 2.2.2.3

Grado A520

**Propiedades Mecánicas y Energías Absorbidas
Mínimas de los pernos SAFEROCK®**

Diámetro Nominal D_N mm	Tensión de Fluencia F_y MPa	Resistencia a la Tracción F_u MPa	Carga a la Resistencia a la Tracción tonf	Alargamiento Mínimo ($L_0=200$ mm) %	Energía para $L_0=1.000$ mm kJ
16	520	700	14,1	$\frac{7500}{F_u} - K \geq 8\%$	8,8
19			19,8		12,5
22			26,6		16,7
25			34,4		21,6
28			43,1		27,0
32			56,3		35,3

Notas

Las propiedades mecánicas (F_y , F_u y alargamiento) son las mínimas definidas en la norma NCh204:2020, Oficial de 2021 del grado A700-520H. K es un coeficiente que depende del diámetro nominal del perno, cuyo valor se indica a continuación:

D_n (mm) : 16 19 22 25 28 32
K : 0 0 1 2 3 4

La energía corresponde a la mínima absorbida en una barra de 1.000 mm en un ensayo de tracción cuasi estático.

2.2.3 Identificación y Rotulado

La identificación exclusiva que utiliza AZA, consiste en grabar bajo relieve en una de las caras del perno, la marca de origen “AZA SAFEROCK”, seguido del diámetro nominal en milímetros. En la cara opuesta del perno, se graba bajo relieve el grado del acero y el número de colada del acero, tal como se indica en la Tabla 2.2.3.1.

Otra identificación visible que AZA emplea, es indicar al instalador del perno el extremo que recibe la tuerca. Según el grado del acero, se emplea el color amarillo para el grado A280, blanco para el A420 y azul para el A520.

Los pernos SAFEROCK® se suministran en formato de barras

rectas en largos estándar de 12 m. Otros largos especiales se entregan sujetas a consulta previa. Pernos de longitudes menores a 6 m se suministran en paquetes con 100 barras.

¿Cómo se identifican los pernos SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** para conocer los beneficios que posee la identificación de los pernos SAFEROCK®.

Tabla 2.2.3.1

Identificación del perno SAFEROCK®

Grado del acero	Diámetro Nominal D_N , mm	Formas de Entrega	Identificación del Perno		
			Marca de Origen y Diámetro D_N	Grado del Acero y Número de Colada	Color del Extremo que Recibe Tuerca
A280	16, 19, 22, 25, 28 y 32	Barra recta 12 m			
A420	16, 19, 22, 25, 28 y 32	Barra recta 12 m			
A520	16, 19, 22, 25, 28 y 32	Barra recta 12 m			

Notas

- (1) Los grados del acero de los pernos SAFEROCK® cumplen con las propiedades mecánicas de la norma NCh204:2020, Oficial de 2021.
- (2) El grado A520 se ofrece con un pedido mínimo de 30 toneladas.
- (3) El número de colada es un código de fabricación del acero del perno, que permite contar con la trazabilidad total del producto.

Además de lo anterior, AZA identifica el contenido de todos los paquetes de los pernos SAFEROCK®, mediante una etiqueta plástica con todas las informaciones concernientes a la fabricación de las partidas del producto (Figura 2.2.3.1).

2.2.4 Informe de la calidad del perno SAFEROCK®

A requerimiento del ingeniero geomecánico responsable del proyecto de fortificación, del contratista instalador o del inspector técnico del mandante, AZA está en condiciones de entregar, sin costo adicional, el Informe de Calidad del Acero del perno SAFEROCK® emitido por IDIEM, lo que permite

autorizar el uso de las partidas de pernos en las obras de reforzamiento de rocas.

Se recomienda a quién recibe los pernos SAFEROCK® en la faena, que exija a sus proveedores las partidas identificadas de acero con sus respectivas etiquetas. De esta forma, ante cualquier duda posterior, se facilitará chequear la certificación entregada, con el material respectivo.

Como ejemplo, se presenta en la Figura 2.2.4.1 un facsímil del Informe de Ensayo emitido por IDIEM, el que detalla los controles necesarios a que son sometidos los pernos SAFEROCK® y los resultados obtenidos en dichos ensayos.



Figura 2.2.3.1

Etiqueta de identificación de los pernos SAFEROCK®.

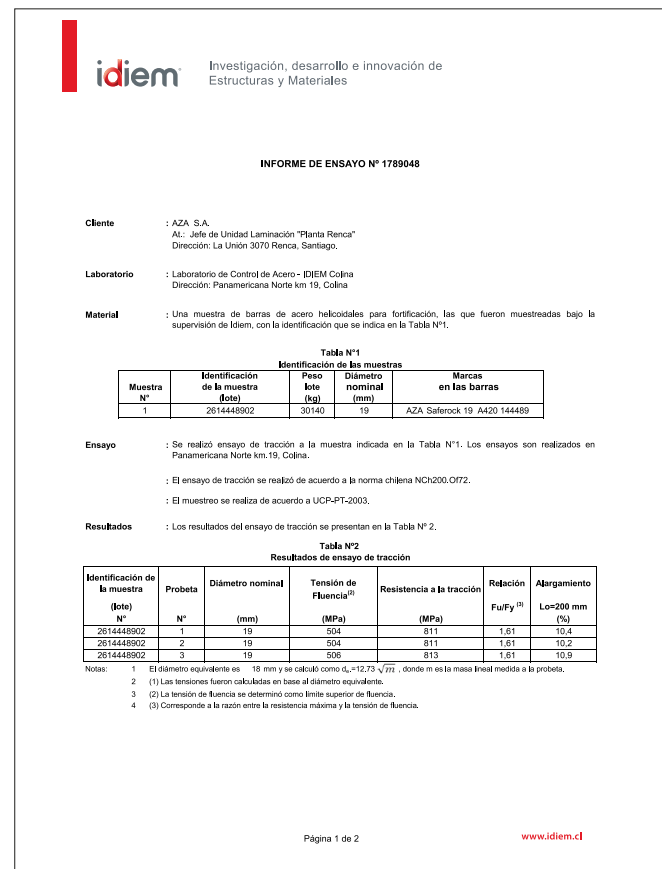


Figura 2.2.4.1

Ejemplar de Informe de Ensayo de IDIEM a una partida de pernos SAFEROCK®.

Para el instalador y el usuario es recomendable mantener la trazabilidad de los pernos SAFEROCK® hasta su instalación, para lo cual la documentación asociada a su despacho, desde la planta de producción hasta el usuario directo en la faena, se asocia con el Informe de Ensayo. Es relevante que las informaciones de las partidas, el lote o la fracción de éste, sean revisadas y se verifique su consistencia: certificados, etiquetas, marcas bajo relieve en los pernos, junto con la documentación administrativa como son guías de despacho y facturas.

Los Informes de Ensayos se encuentran a disposición de nuestros clientes, sean distribuidores y usuarios, quienes los podrán obtener accediendo al “Sistema de Consulta de Certificados de Calidad” disponible en el vínculo para clientes del sitio web certificacion.aza.cl, tal como se muestra en la Figura 2.2.4.2.

Para el caso de los usuarios, también estos documentos de calidad podrán ser solicitarlos directamente a su respectivo proveedor.

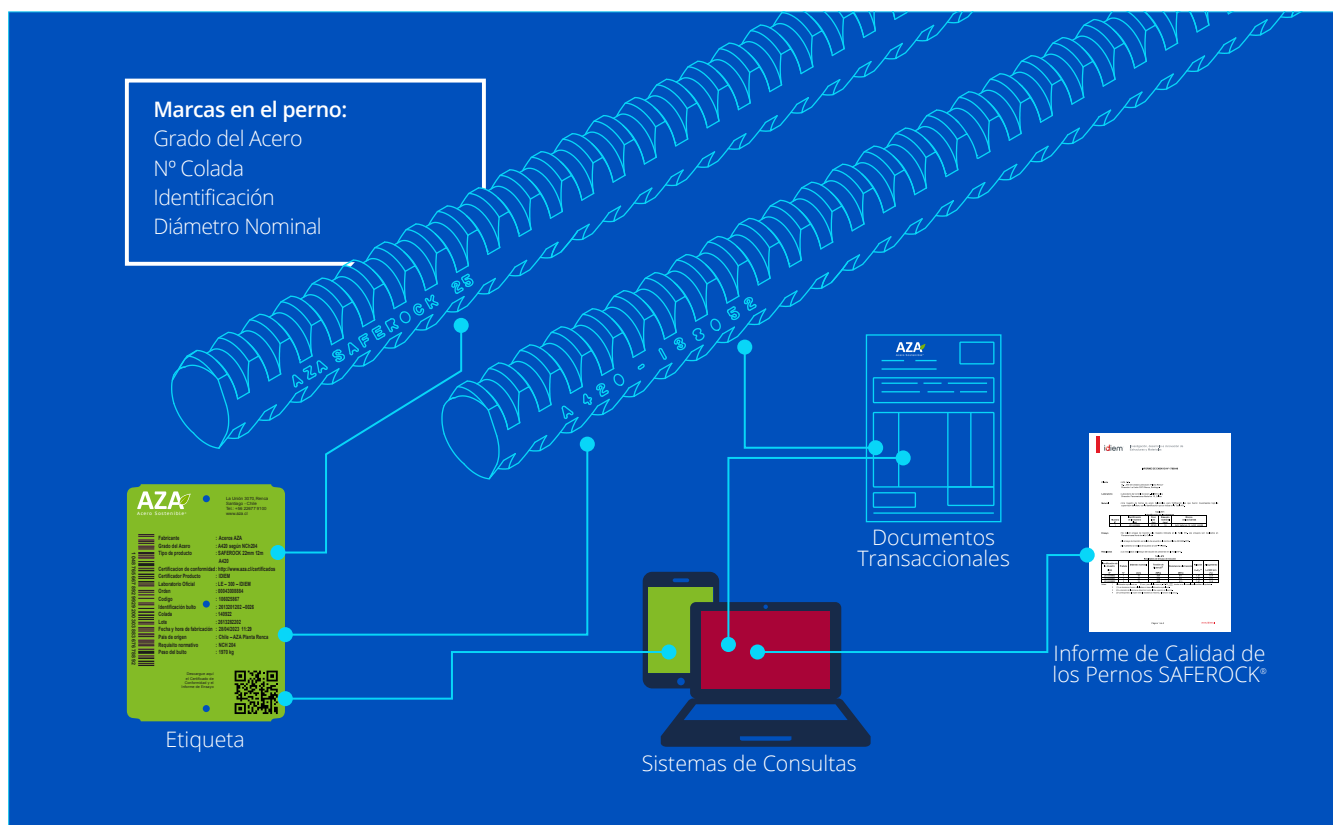
¿Cómo obtener el Informe de Calidad del perno SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** tutorial para obtener el Informe de Calidad del perno SAFEROCK®.

Figura 2.2.4.2

La trazabilidad del perno SAFEROCK® es asegurada mediante un Sistema de Consulta on line empleando para ello en forma biunívoca las marcas sobre el perno y con la documentación transaccional, las etiquetas y los informes de ensayos mecánicos de IDIEM.



2.3 TUERCA SAFEROCK ST®

La tuerca SAFEROCK ST® es un elemento de apriete del Sistema de Fortificación estático apto para aplicar en macizos rocosos pasivos, que no requieren un pretensado del perno. Esta tuerca ha sido rediseñada en su geometría y resistencia mecánica, para conseguir un desempeño superior a las tuercas tradicionales existentes en el mercado. Las nuevas tuercas SAFEROCK ST® consideran: Una longitud que asegura 4 vueltas completas de hilo del perno SAFEROCK®, garantizando la resistencia de sus hilos sometidos a cargas.

- Una nueva geometría de las cabezas para minimizar la variedad de diámetros de las perforaciones de las planchuelas.
- Se optimizaron las tolerancias de fabricación para ajustarse estrechamente a la serie de pernos SAFEROCK® actualizada.
- Incorpora el uso de un acero al carbono forjado de mayor tenacidad, lo que permite asegurar resistencias mecánicas superiores en los pernos SAFEROCK® grados A280, A420

y A520. De esta forma la nueva tuerca SAFEROCK ST®, no fallará antes que el perno SAFEROCK®, en ninguno de los grados mencionados.

La Tabla 2.3.1 detalla la geometría y las dimensiones de las tuercas SAFEROCK ST® de uso normal, sin pretensado del perno.

¿Qué características posee la tuerca SAFEROCK ST®?



Revise este **microvideo** que muestra detalles de la tuerca SAFEROCK ST®.

Tabla 2.3.1

Características geométricas y de masa por unidad de las tuercas SAFEROCK ST®

Hilo izquierdo

Diámetro Nominal Perno SAFEROCK® D_N	Llave Hexágono W	Diámetro Mayor del Hilo SAFEROCK® H	Diámetro Menor del Hilo SAFEROCK® N	Diámetro Esfera Cabeza D_e	Largo Cabeza L_e	Largo Total L	Masa Unidad
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg/un
16	25	18,7	15,6	34	13,4	36	0,11
19	31	21,9	18,3	44	18,4	40	0,21
22	38	25,3	21,1	50	20,2	45	0,27
25	38	28,7	23,7	50	18,9	51	0,33
28	44	32,1	26,5	60	23,9	58	0,55
32	50	36,9	30,3	60	21,9	65	0,67

Notas

Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

Aceros AZA establece un control de calidad de las tuercas a sus proveedores autorizados. Puede verificar la validez del código de identificación del producto, a través del equipo de Asistencia Técnica de AZA.

2.4 TUERCA MULTIPLICADORA DE TORQUE SAFEROCK MT®

La tuerca Multiplicadora de Torque SAFEROCK MT®, es un dispositivo que sustituye las tuercas estándares, permitiéndole al diseñador contar con un sistema de fortificación realmente activo. Sus dimensiones, tolerancias y características mecánicas se ajustan exclusivamente para los pernos SAFEROCK® de diámetros de 22, 25, 28 y 32 mm.

La tuerca SAFEROCK MT® se muestra armada en la Figura 2.4.1 con sus componentes, que fueron desarrollados por Aceros AZA (Patente en trámite N° 2020-2727). El dispositivo permite multiplicar el efecto torque, al ser aplicado por la llave de apriete del instalador. Como resultado se deja pretensado el perno SAFEROCK® con una carga axial que puede llegar ser 2 a 3 veces la carga obtenida con una tuerca SAFEROCK ST® de hilo grueso.

La Tabla 2.4.1 muestra el peso de la tuerca SAFEROCK MT®, como conjunto el integrado de sus componentes de acero (tuerca tapón, tuerca hexágono y cabeza).

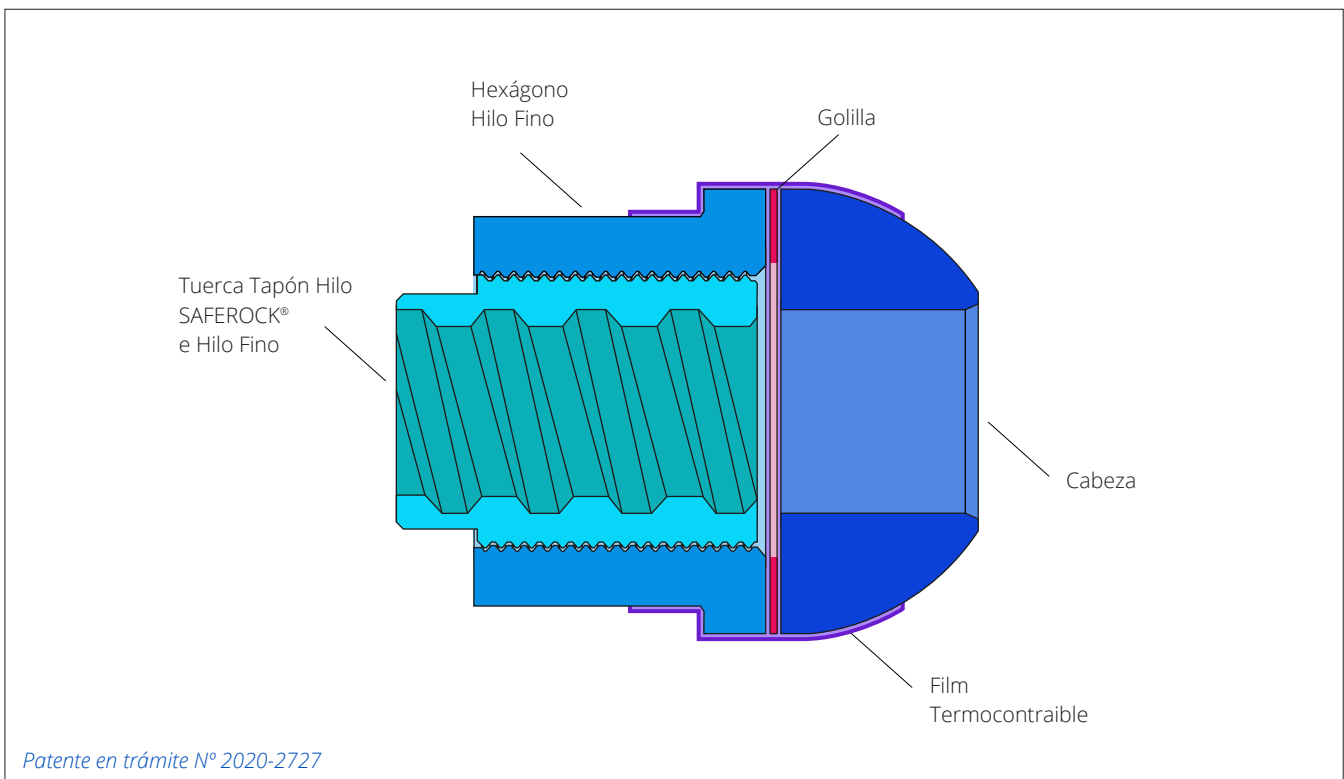
Tabla 2.4.1

Peso unitario de la tuerca SAFEROCK MT® según el diámetro del perno SAFEROCK®

Diámetro Perno SAFEROCK® D_N mm	Masa Nominal Tuerca SAFEROCK MT® kg
22	0,43
25	0,70
28	1,08
32	1,27

Figura 2.4.1

Tuerca Multiplicadora de Torque SAFEROCK MT® para pernos SAFEROCK®. Tanto el hilo SAFEROCK® e hilo fino, son izquierdos y aptos para los pernos de 22, 25, 28 y 32 mm.



Patente en trámite N° 2020-2727

El perno SAFEROCK® al estar fijado con el mortero fraguado en la roca, el instalador necesitará la mitad o menos de la fuerza necesaria para producir el mismo apriete en una tuerca estándar y podrá dejarlo con una gran carga axial que impedirá que se suelte.

La Figura 2.4.2 presenta una configuración de un *Sistema de Fortificación Activo-Dúctil*. Consiste en una perforación rellena con mortero o resina en la cual se deja el primer tramo del perno SAFEROCK®, envuelto en la vaina SAFEROCK L-Zero® para evitar que los hilos se anclen en este relleno.

El resto del perno SAFEROCK® hacia el interior, inmerso en mortero o resina, deberá tener las dimensiones y propiedades necesarias para sostener toda la carga de diseño de la fortificación.

Si se cumple lo anterior, se podrá emplear la tuerca multiplicadora de torque SAFEROCK MT® en el perno SAFEROCK®.

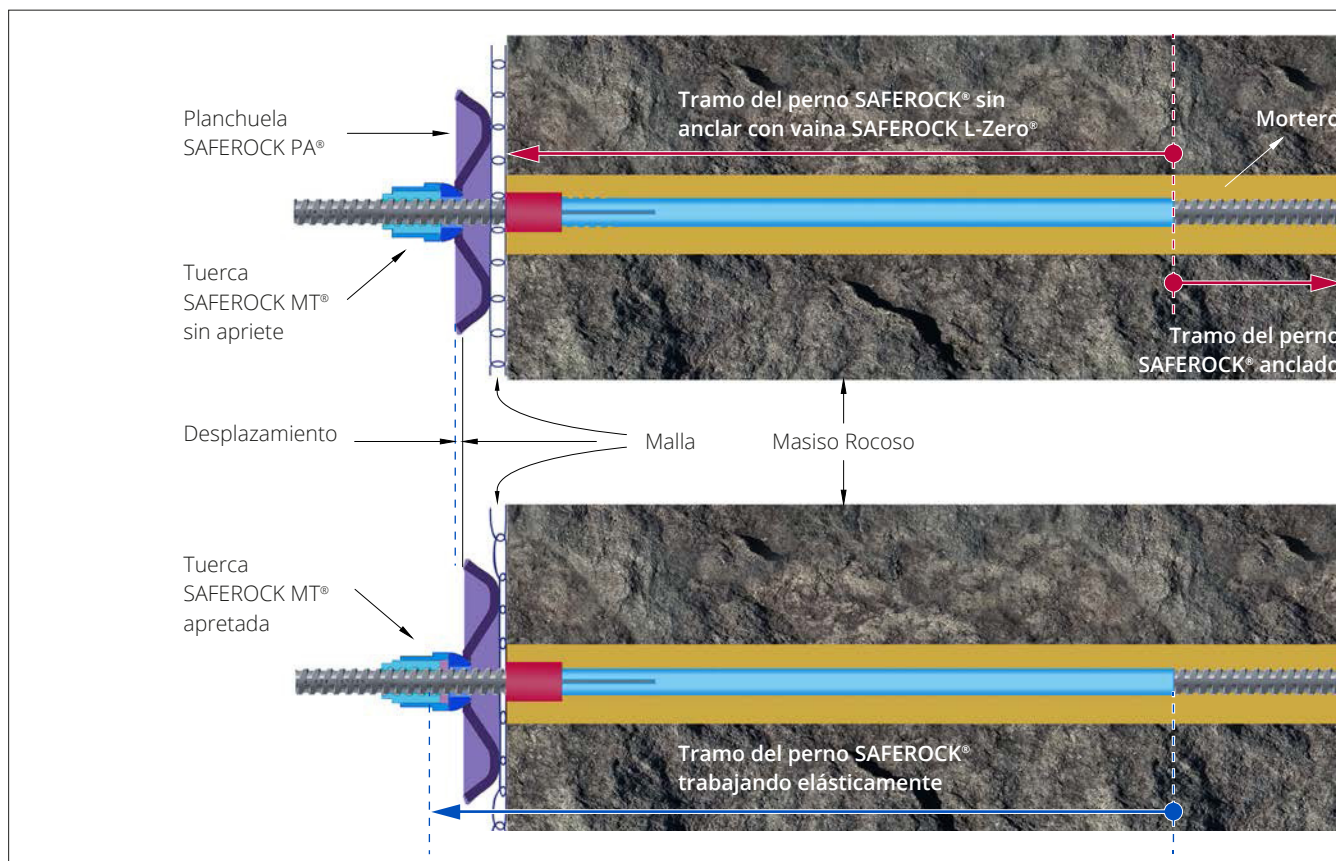
¿Cómo es la tuerca SAFEROCK MT®?



Revise en este **microvideo** las características de la tuerca SAFEROCK MT® y sus componentes.

Figura 2.4.2

Configuración de un Sistema de Fortificación Activo-Dúctil con la tuerca SAFEROCK MT®, muy ajustada a la superficie del túnel que se está reforzando.



Su efecto multiplicador permite estirar ese tramo libre del perno SAFEROCK® envuelto en la vaina SAFEROCK L-Zero®, hasta alcanzar una fracción de su límite elástico.

Este sistema de fortificación puede ser considerado dúctil, ya que podrá absorber grandes deformaciones del macizo rocoso sin que se provoquen derrumbes y sin que fallen los pernos SAFEROCK®, la tuerca SAFEROCK MT® o la planchuela SAFEROCK PA®.

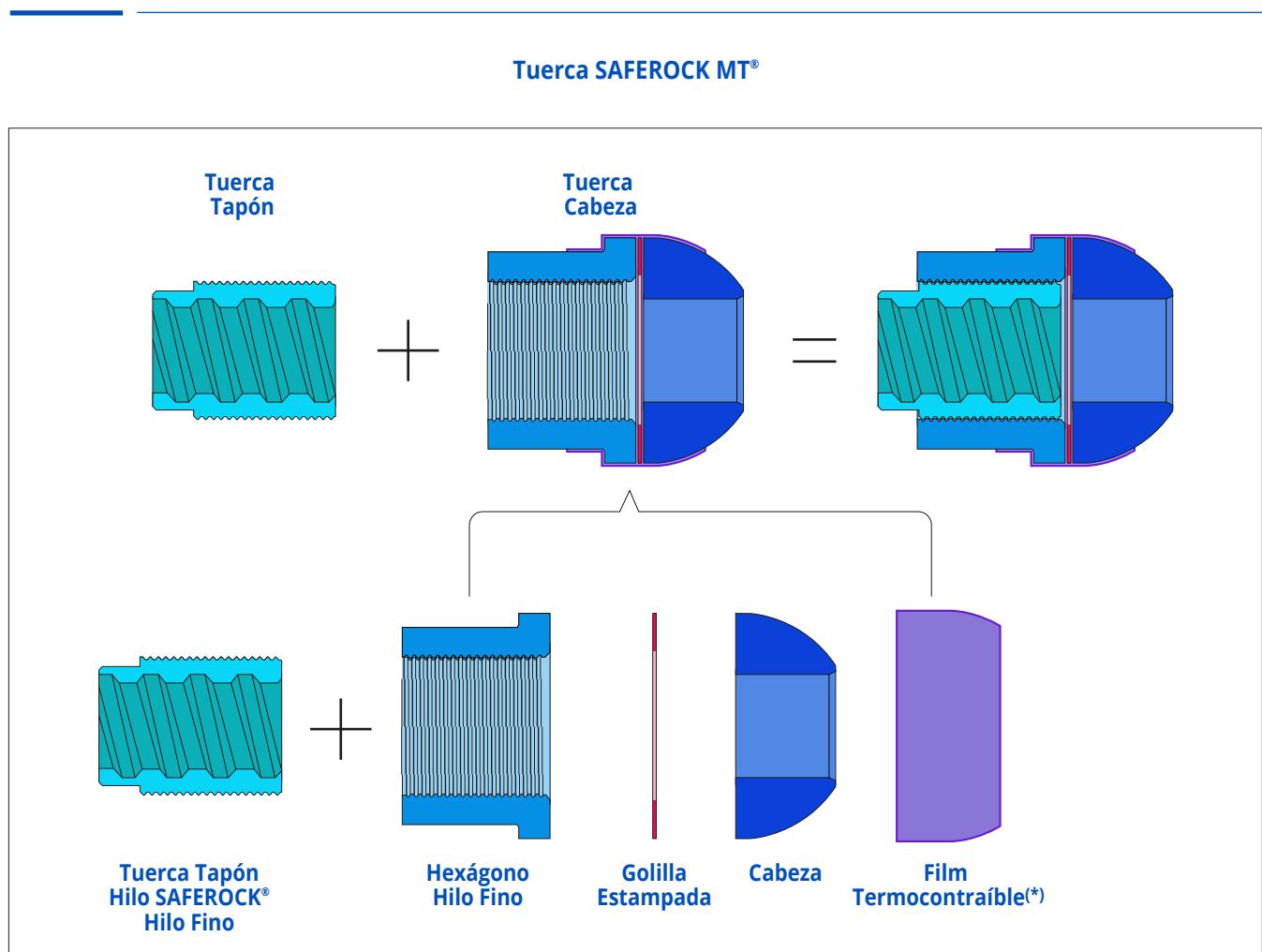
En la Sección 3.3 se muestran las relaciones del torque aplicado y las cargas axiales obtenidas con el pretensado del perno SAFEROCK®.

2.5 COMPONENTES DE LA TUERCA SAFEROCK MT®

En la Figura 2.5.1 pueden apreciarse los dos componentes principales de una tuerca SAFEROCK MT®: la tuerca Tapón de una sola pieza y la tuerca Cabeza, formada por una tuerca hexágono hilo fino, una golilla de poliamida, una golilla en forma de cabeza de tuerca de fortificación y un filme termocontraíble que envuelve todo el conjunto en el packing.

Figura 2.5.1

Conjunto de piezas y elementos que forman una tuerca SAFEROCK MT®.



(*) Este film termocontraíble se presenta en el packing de la tuerca SAFEROCK MT®.

2.5.1 Tuerca Tapón Hilo SAFEROCK® e Hilo Fino

En la Tabla 2.5.1.1 puede apreciarse que la tuerca Tapón corresponde a una bocina de acero que no cuenta con una cabeza hexagonal y a cambio, cuenta con dos caras planas para afirmar o apretar con una llave de punta o ajustable.

Tiene además en el interior, un hilo grueso para el perno SAFEROCK® y un hilo fino exterior, de un paso mucho menor. Para la instalación y el apriete de la tuerca Tapón, la Sección 3.4 de este Manual trata con mayor detalle la secuencia recomendada de esta operación.

Gracias a que la Golilla está lubricada, la tuerca Hexágono la aprieta contra la Cabeza, la que sin girar transmite el apriete contra la planchuela. Se logra de esta forma, pretensar el perno SAFEROCK® dentro de la vaina.

El factor M que multiplica el efecto del torque aplicado en la tuerca SAFEROCK MT®, se explica de la razón entre el paso del hilo del SAFEROCK® y el paso del hilo fino de ella, corregida por un factor f asociado a la fuerza de roce dinámica entre estos hilos y el roce dinámico del Hexágono

contra la golilla de poliamida:

$$M = f \cdot \left(\frac{\text{Paso Hilo SAFEROCK}^{\circ}}{\text{Paso Hilo Fino exterior}} \right)$$

y tendrá un valor entre 2 y 3, según cada diámetro nominal de la tuerca SAFEROCK MT®.

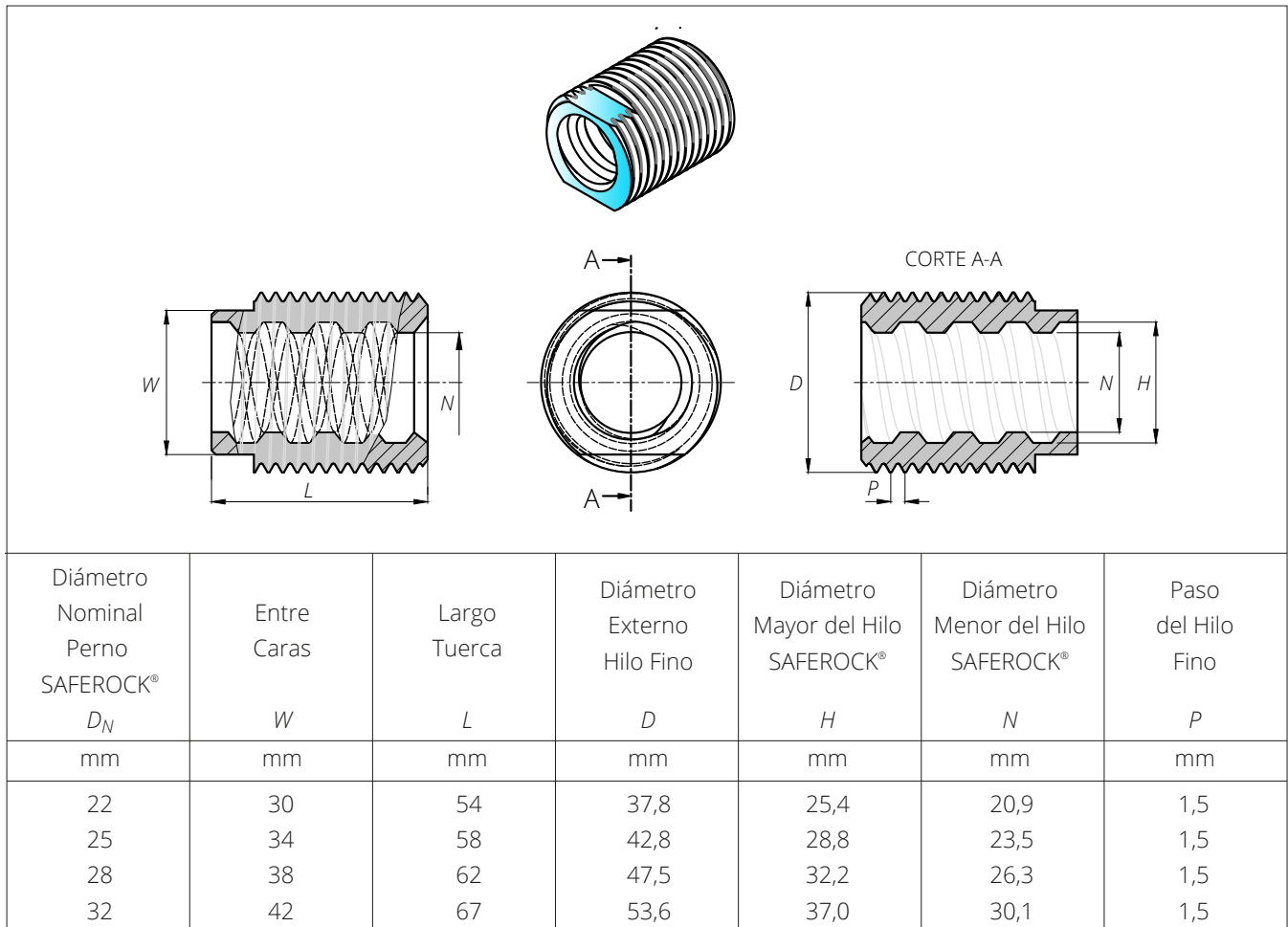
Este factor multiplicador M , a igualdad de torque aplicado, multiplicará la carga axial que se introduce en este Sistema de Fortificación, respecto al uso de las tuercas estándares, deja esta fuerza almacenada tanto en el “resorte”, formado por el cono comprimido de la planchuela SAFEROCK PA®, como en el tramo libre del perno SAFEROCK® levemente estirado en el rango elástico del acero.

En resumen, la tuerca SAFEROCK MT®, al momento de hacer el apriete que generará el pretensado, sólo hará girar el hexágono con hilo fino, mientras las demás piezas deberán estar quietas, sin necesidad de afirmarlas. En el Anexo A.2 se muestra el fundamento de la tuerca SAFEROCK MT®.

En la Tabla 2.5.1.1 se detalla la geometría y dimensiones principales de la tuerca Tapón.

Tabla 2.5.1.1

Características geométricas y dimensionales de la tuerca Tapón, con hilo SAFEROCK® interior e hilo fino exterior para tuerca multiplicadora de torque SAFEROCK MT®



Notas

Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

Aceros AZA establece un control de calidad de las tuercas a sus proveedores autorizados. Puede verificar la validez del código de identificación del producto, a través del equipo de Asistencia Técnica de AZA.

2.5.2 Tuerca Cabeza para tuerca SAFEROCK MT®

En la Figura 2.5.1 puede apreciarse la Tuerca Cabeza formada por 4 componentes:

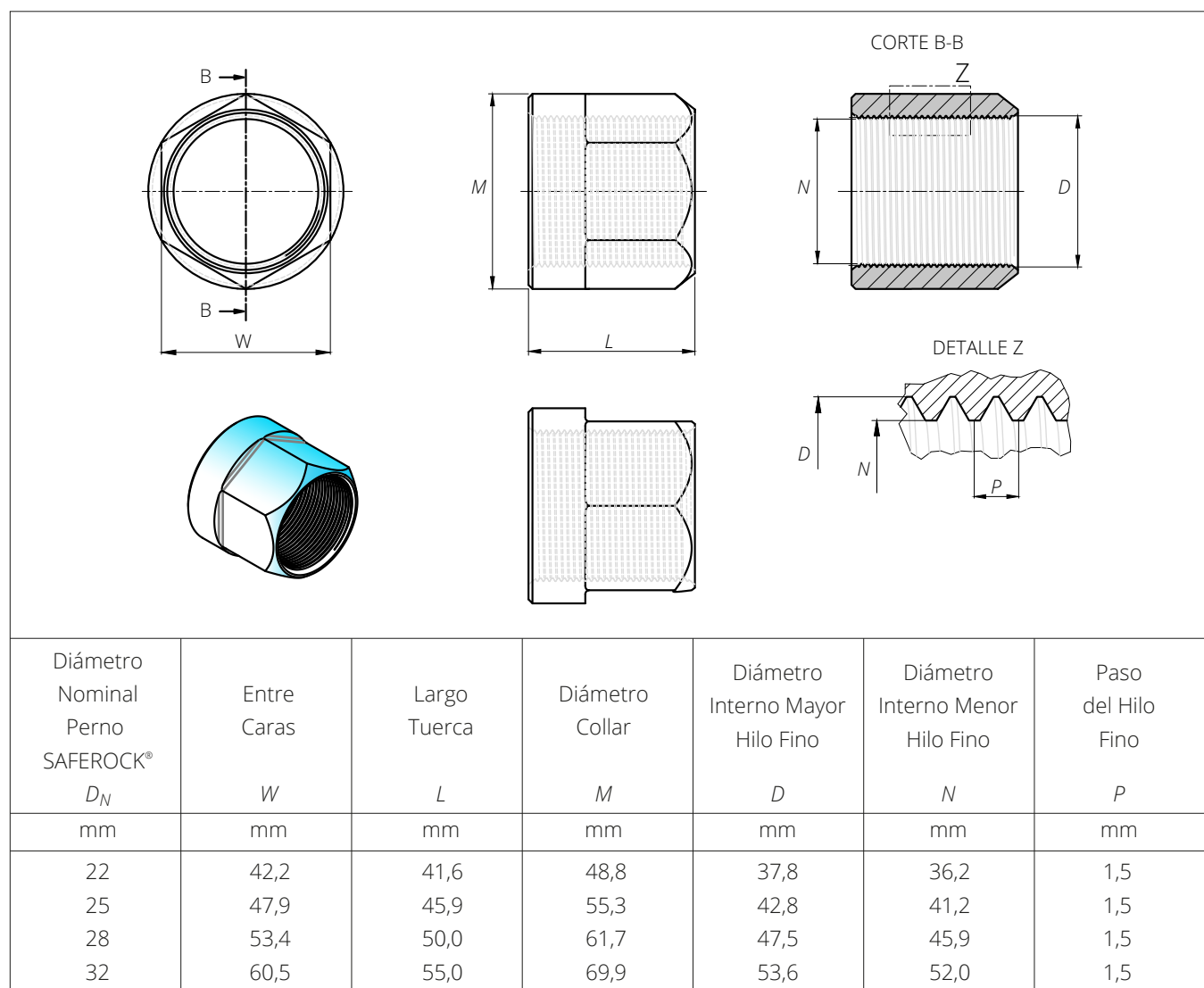
- Una tuerca Hexágono, que tiene un hilo interior de paso mucho menor que el hilo SAFEROCK®.
- Una Golilla entre la tuerca Hexágono y la Cabeza.
- Una Cabeza en forma de una semiesfera truncada con un agujero cilíndrico por donde pasa el perno SAFEROCK®. La Cabeza se apoya y presiona los bordes del agujero del cono central de la planchuela SAFEROCK PA®.
- Todo este conjunto se une con un filme termo contraíble que junta a todas las piezas para formar una unidad manipulable llamada Tuerca Cabeza, que permite ensamblarla con la tuerca Tapón.

2.5.2.1 Tuerca Hexágono Hilo Fino

El diseño geométrico de la tuerca Hexágono con hilo fino, así como sus dimensiones geométricas que forma parte de la Tuerca Cabeza, se detallan en Tabla 2.5.2.1.

Tabla 2.5.2.1

Características geométricas y dimensionales de la tuerca Hexágono, con hilo fino para la Cabeza de la tuerca SAFEROCK MT®



Notas

Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

Aceros AZA establece un control de calidad de las tuercas a sus proveedores autorizados. Puede verificar la validez del código de identificación del producto, a través del equipo de Asistencia Técnica de AZA.

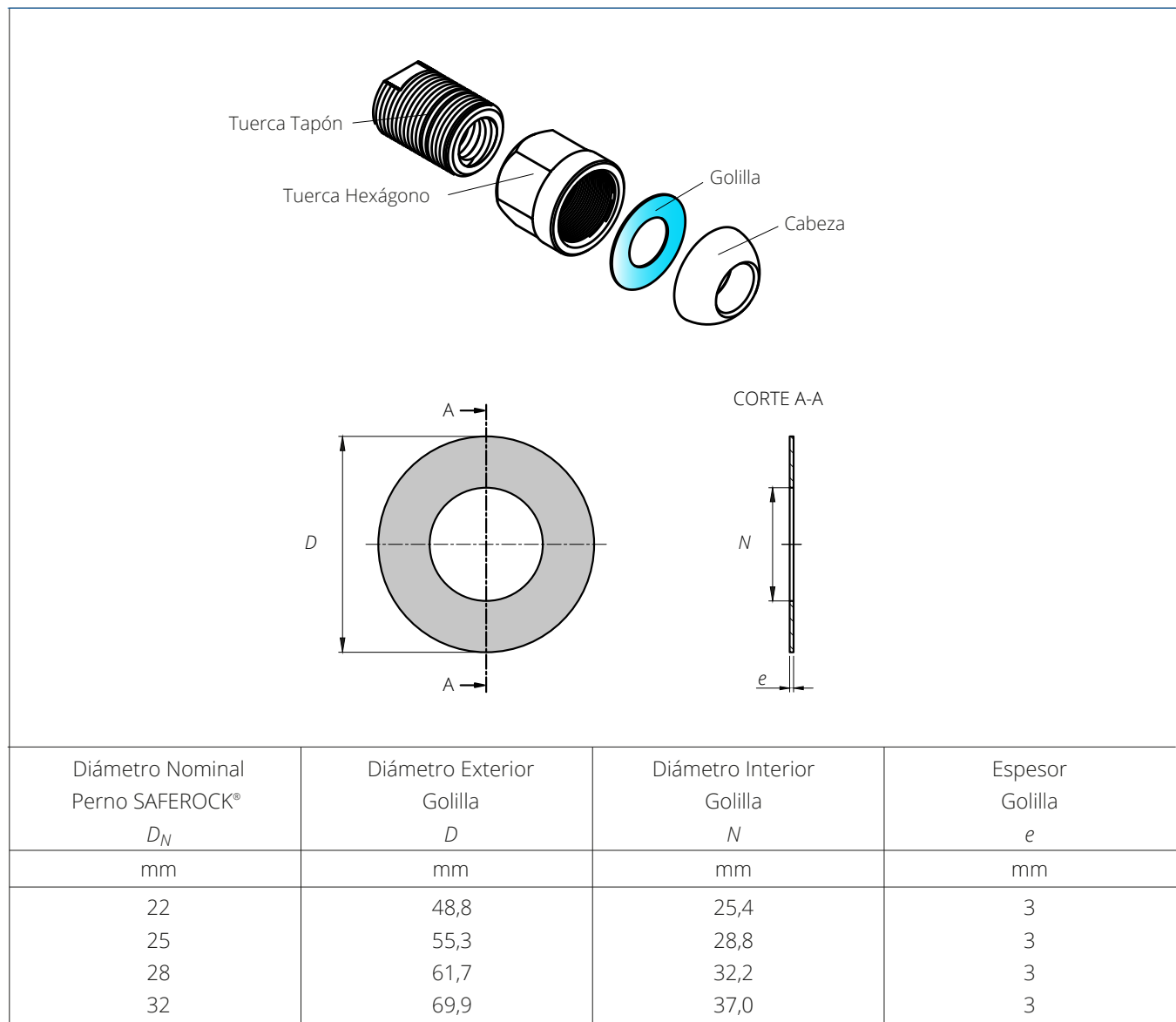
2.5.2.2 Golilla para la Tuerca SAFEROCK MT®

El diseño geométrico y sus dimensiones de la golilla según el perno SAFEROCK® a aplicar, se muestra en la Tabla 2.5.2.2.

La golilla es un elemento esencial para el desempeño de la Tuerca SAFEROCK MT®. Su instalación permite minimizar el coeficiente de roce y la componente normal de la fuerza axial, que en conjunto producen la fuerza de roce.

Tabla 2.5.2.2

Características geométricas y dimensionales de la golilla que trabaja entre la tuerca Hexágono y la Cabeza



Notas

Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

Aceros AZA establece un control de calidad de las golillas a sus proveedores autorizados.

2.5.2.3 Cabeza

Corresponde a una golilla gruesa de acero con forma de semi esfera truncada que se apoya en la parte superior del cono de la planchuela SAFEROCK PA®.

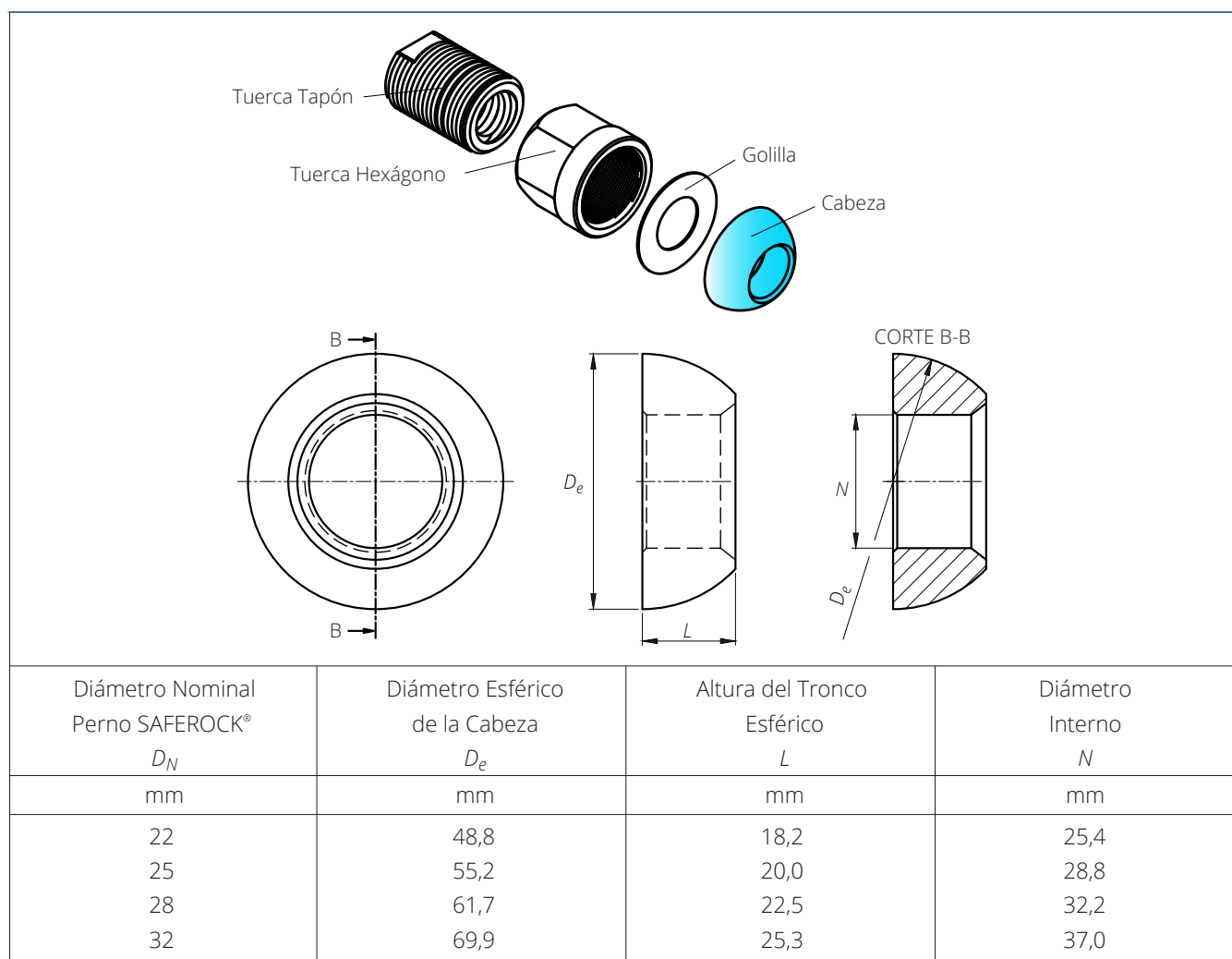
La cabeza es presionada por la tuerca Hexágono contra el

borde superior de este cono, siendo ese contacto de muy alto roce, por lo que permanece fija, sin girar con el torque de apriete aplicado.

En Tabla 2.5.2.3 presenta las dimensiones geométricas de esta cabeza, así como las dimensiones que permiten el paso libre del Perno SAFEROCK®.

Tabla 2.5.2.3

Características geométricas y dimensionales de la Cabeza de tuerca SAFEROCKMT®



Notas

Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

Aceros AZA establece un control de calidad de las cabezas a sus proveedores autorizados. Puede verificar la validez del código de identificación del producto, a través del equipo de Asistencia Técnica de AZA.

2.6 PLANCHUELA SAFEROCK PA®

Una de las ventajas del Sistema de Fortificación y Sostenimiento SAFEROCK 2.0® es que aprovecha al máximo la resistencia de todos sus componentes, su ductilidad y la rigidez que puedan presentar en el evento de un potencial derrumbe o desestabilización del cuerpo rocoso que se fortifica.

Para resolver las debilidades de las planchuelas tradicionales, AZA presenta la planchuela SAFEROCK PA®, de perímetro atiesado en los cuatro lados y sus esquinas (ver Figura 2.6.1).

Su diseño permite una gran rigidez flexional y torsional, además de mejorar la interacción planchuela - malla, evitando que los alambres de la malla se corten.

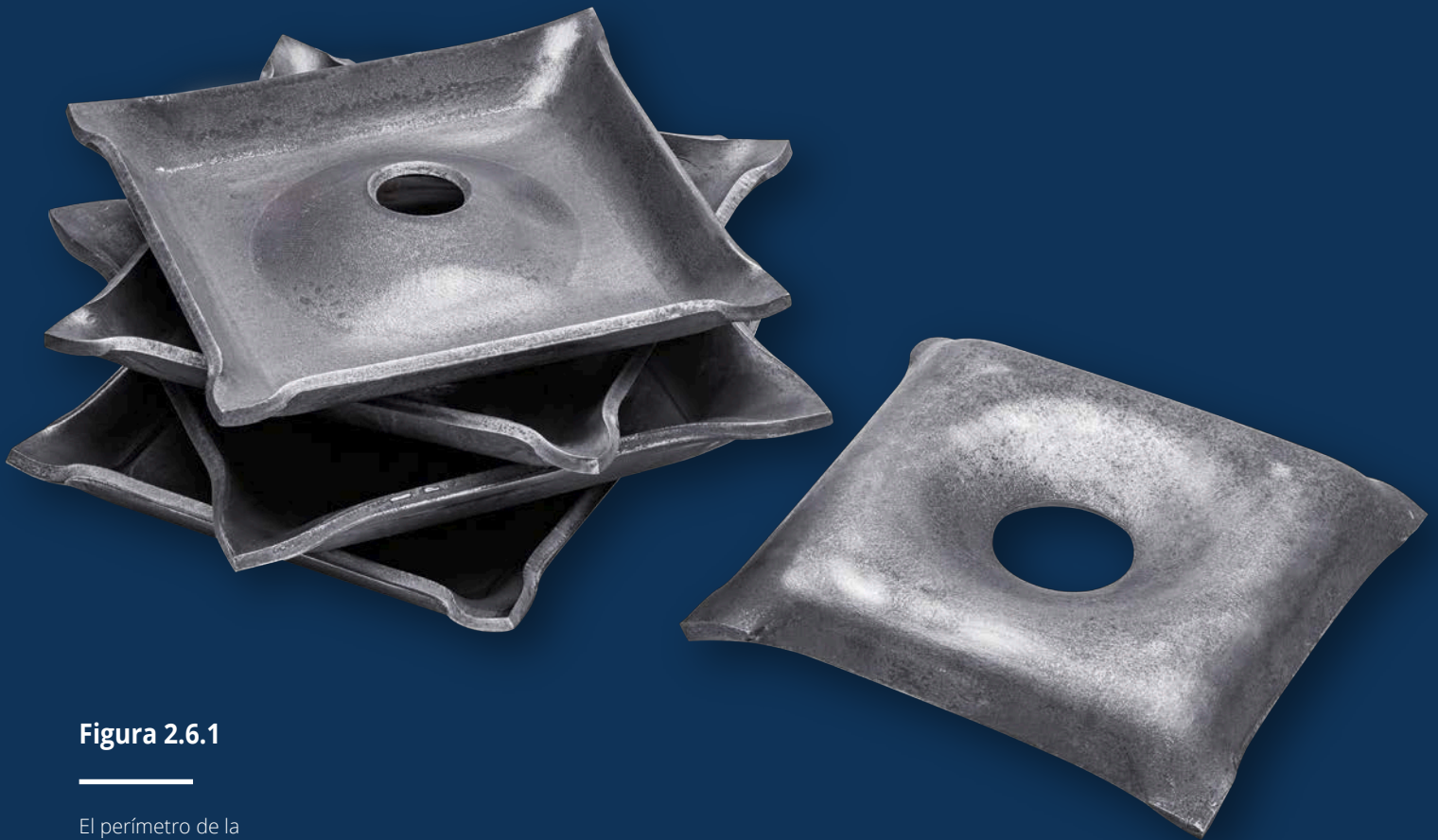


Figura 2.6.1

El perímetro de la planchuela PA® es atiesado con un área de apoyo sin bordes cortantes.

A la izquierda, el lado frontal de la planchuela y a la derecha, el lado que se apoya al macizo rocoso, sosteniendo la malla minera.

Si, producto de un gran desplazamiento del cuerpo rocoso eventualmente se llegara a punzonar la planchuela hasta el punto de aplastarse el cono central, aun así, la planchuela cumplirá con la función de sostener la malla y seguir unida al perno y la tuerca. Debido a que permanece estable el atiesado del perímetro, la planchuela SAFEROCK PA® no tiene posibilidad de doblarse como un cono invertido, ni punzonar la roca en la zona de perforación. Este comportamiento se validó en los ensayos de conjunto, como en los ensayos individuales de las planchuelas.

La Figura 2.6.2 presenta la forma geométrica de la planchuela

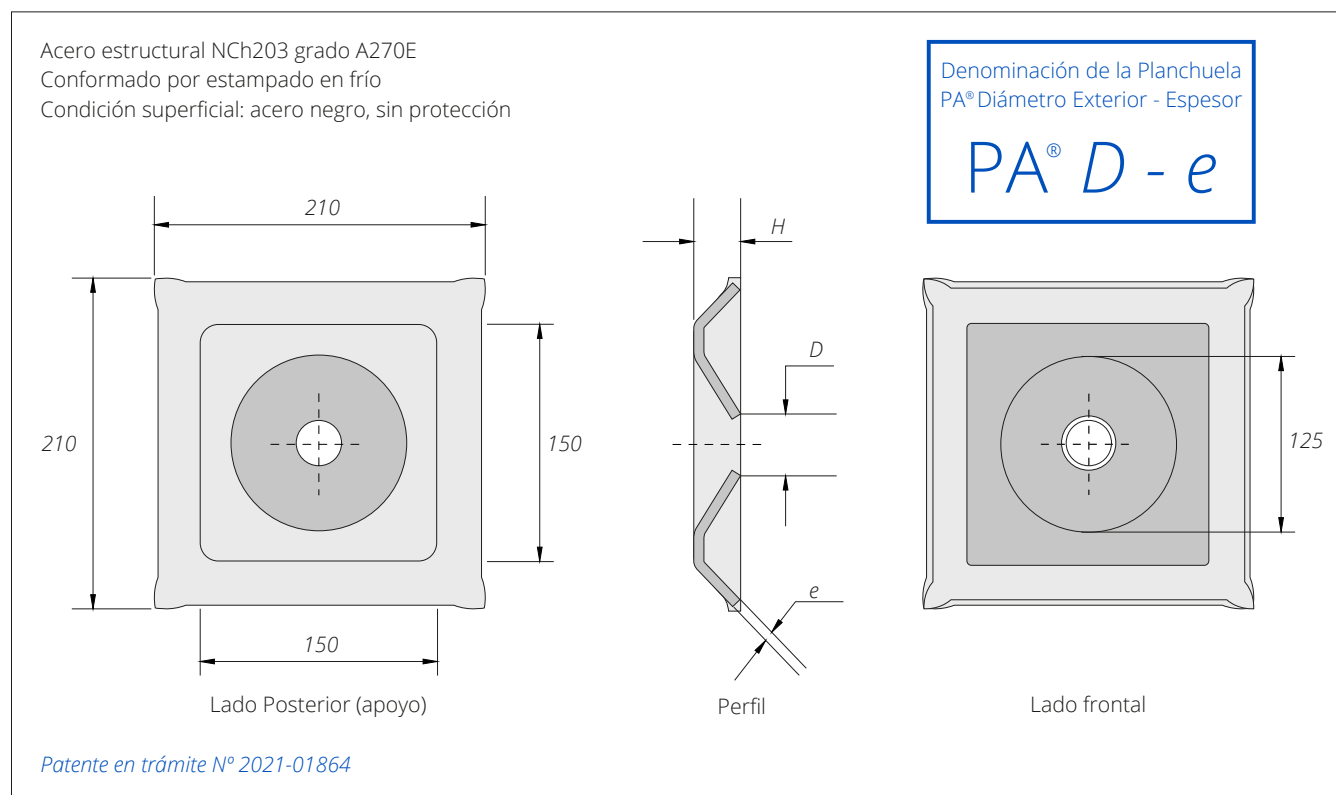
SAFEROCK PA®, de 210 x 210 mm² y con un diámetro de cono de 125 mm.

Figura 2.6.2

Características geométricas generales de la planchuela SAFEROCK PA®, con perímetro atiesado, área de apoyo y cono central perforado (en mm).

Figura 2.6.2

Características geométricas generales de la planchuela SAFEROCK PA®, con perímetro atiesado y cono central perforado.



Notas

Las dimensiones H, D y e se indican en las Tablas 2.6.1 y 2.6.2.

Las tolerancias de fabricación son definidas unilateralmente por Aceros AZA y pueden ser modificadas sin previo aviso, pero sin disminuir las características de desempeño.

Aceros AZA establece un control de calidad de las planchuelas a sus proveedores autorizados. Puede verificar la validez del código de identificación del producto, a través del equipo de Asistencia Técnica de AZA.

La denominación utilizada para las planchuelas en el sistema SAFEROCK®, es indicar la marca de origen “PA®” seguidas del diámetro exterior de la perforación y el espesor de la planchuela.

Para un sistema de fortificación pasivo sin pretensado, en la Tabla 2.6.1 se entregan las especificaciones del conjunto básico de pernos SAFEROCK®, tuercas SAFEROCK ST® y planchuelas SAFEROCK PA®. Este sistema no considera el pretensado del perno SAFEROCK® por lo que no requiere el

uso de la vaina SAFEROCK L-Zero®.

El conjunto básico para un Sistema de Fortificación Activo-Dúctil, en la Tabla 2.6.2 se detallan las especificaciones del perno SAFEROCK®, la tuerca multiplicadora de torque SAFEROCK MT® y la planchuela SAFEROCK PA®. Este sistema requiere el pretensado del perno SAFEROCK®, por lo que requiere el uso de la vaina SAFEROCK L-Zero®. En la Sección 3.5 de este Manual se analizan las cargas máximas que resisten las planchuelas al doblado de sus esquinas.

Tabla 2.6.1

Planchuelas PA® para pernos SAFEROCK® y uso de Tuercas SAFEROCK ST®
(Sistema de Fortificación Pasivo, sin pretensado y sin vaina SAFEROCK L-Zero®)

Diámetro Nominal Perno SAFEROCK® D_N	Diámetro Tuerca Estándar	Denominación Planchuela PA® D-e	Dimensiones de la Planchuela			Masa Unitaria Nominal Planchuela	Carga Máxima Cono(*)
			Diámetro Exterior Perforación D	Espesor e	Altura del Cono H		
mm	mm		mm	mm	mm	kg	tonf
16	16	PA® 30-5	30	5	33	1,7	---
19	19	PA® 34-6	34	6	33	2,1	20,1
22	22	PA® 42-6	42	6	33	2,1	20,3
25	25	PA® 42-6	42	6	33	2,1	20,3
28	28	PA® 51-8	51	8	32	2,8	29,3
32	32	PA® 51-8	51	8	32	2,8	29,3

(*) Nota importante

En las aplicaciones de fortificación pasiva (sin empleo de vainas SAFEROCK L-Zero®), la resistencia del sistema no estará controlada por la carga máxima del cono de la planchuela, ya que éstas estarán sometidas a cargas en su periferia, producto de la carga que transmiten las mallas que embolsan material desprendido entre los 4 pernos de fortificación. **Por tanto, la resistencia del cono no limita la resistencia del sistema completo de fortificación.**

Tabla 2.6.2

Planchuelas PA® para pernos SAFEROCK® y uso de Tuercas SAFEROCK MT®
(Sistema de Fortificación Activo-Dúctil y con vaina SAFEROCK L-Zero®)

Diámetro Nominal Perno SAFEROCK® D_N	Diámetro Tuerca MT®	Denominación Planchuela	Dimensiones Planchuelas			Masa Unitaria Nominal Planchuela	Carga Máxima Cono(**)	Carga Máxima 4 Esquinas
			Diámetro Exterior Perforación	Espesor	Altura del Cono			
			D	e	H			
mm	mm		mm	mm	mm	kg	tonf	tonf
22	22	PA® 42-8	42	8	32	2,8	28,9	23,6
25	25	PA® 51-8	51	8	32	2,8	29,3	23,0
28	28	PA® 51-10	51	10	32	3,5	38,3	38,5
32	32	PA® 65-10	65	10	31	3,5	38,3	38,5

(**) Nota importante

En las aplicaciones de fortificación Activo-Dúctil (con empleo de vainas SAFEROCK L-Zero® y tuerca SAFEROCK MT®), la resistencia del sistema no estará controlado por la carga máxima del cono de la planchuela, ya que las planchuelas estarán sometidas a cargas en su periferia, producto de la carga que transmiten las mallas que embolsan material desprendido entre los 4 pernos de fortificación, además de la carga de pretensado que aporta la tuerca SAFEROCK MT®. **Por tanto, la resistencia del cono no limita la resistencia del sistema completo de fortificación.**

2.7 VAINA SAFEROCK L-Zero®

La Tabla 2.7.1 muestra en detalle la vaina SAFEROCK L-Zero®, formada por las partes que la componen: un Fijador y un tubo cilíndrico, ambos de material plástico.

El Fijador cumple la función de evitar el movimiento del tubo

a lo largo del perno. Corresponde a una bocina plástica con un hilo interior que calza con el hilo exterior del extremo del tubo cilíndrico.

Se puede instalar manualmente en forma muy rápida en extremo del perno SAFEROCK® que va hacia la planchuela, ya sea en taller o al momento de instalar la fortificación.

Tabla 2.7.1

Características geométricas y dimensionales de componentes de la vaina SAFEROCK L-Zero®

Diámetro Nominal Perno SAFEROCK® D_N	Diámetro Nominal Vaina L-Zero® D	Espesor de la Vaina L-Zero® e	Vaina SAFEROCK L-Zero®			
			Diámetro Fijador DF	Longitud Efectivo Fijador LF	Longitud Corte Longitudinal LC	Longitud Vaina SAFEROCK L-Zero® LT
mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
22	32	1,6	35,8	50	100	1.000
25	32	1,6	35,8	50	100	1.000
28	40	1,8	40,0	50	100	1.000
32	40	1,8	43,4	50	100	1.000



_CAPÍTULO 3

Instalación del Sistema SAFEROCK 2.0®

3.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO
E INSTALACIÓN CON EL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

3.2 LONGITUD DEL PERNO SAFEROCK®

3.3 INSTALACIÓN DE LA VAINA SAFEROCK L-ZERO®

3.4 APRIETE DE LA TUERCA SAFEROCK MT®

3.5 CARGAS MÁXIMAS SOBRE LAS PLANCHUELAS
SAFEROCK PA®

3.6 SELECCIÓN DE PRODUCTOS

3.7 EJEMPLOS DE CONFIGURACIONES DE
FORTIFICACIÓN CON SISTEMA SAFEROCK 2.0®
PARA DISTANCIAR PERFORACIONES

3.1 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO E INSTALACIÓN CON EL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

-
- a** Todas las aplicaciones del Sistema SAFEROCK 2.0® en taller o en faena, sean su manejo, manipulación, transporte, almacenamiento e instalación, deberán hacerse con las técnicas y prácticas habituales de la industria minera y de las obras civiles. En las aplicaciones normales de este sistema, no presentará mayores diferencias con lo empleado habitualmente, exceptuando las condiciones del apriete de la tuerca SAFEROCK MT® en un Sistema de fortificación Activo-Dúctil.
-
- b** El diseñador de la fortificación deberá tomar en cuenta el largo de anclaje necesario (perno embebido en resina o mortero en el fondo de la perforación o en su totalidad), de forma tal que cuente con la resistencia suficiente para el anclaje requerido por diseño.
-
- c** Para el diseño de fortificación con el Sistema SAFEROCK 2.0®, es que, al elegir un perno con sus propiedades mecánicas, este define la resistencia de todo el conjunto. Es decir, si se sobrepasaran las cargas de diseño, sólo deberá cortarse el perno al alcanzar el alargamiento máximo.
-
- d** Cada diámetro nominal ha sido ensayado con su respectivo tipo de perno, planchuela y tuerca. Fueron definidos bajo el concepto de un óptimo en dimensiones, espesor, grados de acero, entre otros. En todos los ensayos, ni la tuerca SAFEROCK ST®, ni la tuerca SAFEROCK MT®, ni los hilos del perno SAFEROCK®, ni la planchuela SAFEROCK PA® fallaron antes que se alcanzara la resistencia máxima del perno SAFEROCK®.
-
- e** Se considerarán las propiedades mecánicas de los pernos SAFEROCK® según su grado. En la Tabla 2.2.2.1 se detallan las características para el grado A280. En las Tablas 2.2.2.2 y 2.2.2.3 se muestran las características de los grados A420 y A520 respectivamente.
-
- f** Se recomienda exigir al proveedor de los pernos y sus elementos complementarios, que las partidas estén identificadas con sus respectivas etiquetas, identificación marcada en el producto, la documentación e informes de calidad. De esta forma, ante cualquier duda posterior, se facilitará chequear la trazabilidad del material instalado. En las Secciones 2.2.3 y 2.2.4 se amplían los alcances de estas recomendaciones.
-
- g** Según sea la carga potencial para contener, con su debido factor de seguridad, se fortificará un área tributaria definida por el ingeniero geomecánico. Existe un perno con un diámetro nominal y grado de acero a seleccionar y para este, existe un único modelo de planchuela y tuerca (según se emplee SAFEROCK ST® o SAFEROCK MT®).
-
- h** Si se selecciona una configuración de fortificación pasiva, se pueden utilizar los pernos SAFEROCK®, las planchuelas SAFEROCK PA® según la demanda de desempeño y las tuercas SAFEROCK ST®. En la Tabla 2.3.1 se indican las características de las tuercas SAFEROCK ST® para sus pernos respectivos. En la Tabla 2.6.1 se muestran las configuraciones de planchuelas SAFEROCK PA® aptas para este tipo de fortificación.
-
- i** En caso de instalar una Fortificación Pasiva empleando la tuerca SAFEROCK ST® con la planchuela SAFEROCK PA® y distanciando el patrón de perforación, debe cuidarse que la planchuela esté apegada a la roca, comprimiendo la malla. El grado de aplastamiento de la malla por la planchuela dependerá de la carga axial que se consiga con el torque especificado por el geomecánico (a mayor diámetro del perno, menor será este apriete, con un mismo torque). En este caso sólo interesa dejar la planchuela apretada por la tuerca de forma tal, que no se suelte con las vibraciones naturales de toda faena minera o de obras civiles.

-
- j** En caso de diseñar un Sistema de Fortificación Activo-Dúctil, se usarán pernos SAFEROCK®, planchuelas SAFEROCK PA®, tuercas SAFEROCK MT® y la vaina SAFEROCK L-Zero®, según sea la demanda de desempeño esperada. En la Tabla 2.6.2 se indican las configuraciones de pernos SAFEROCK®, planchuelas SAFEROCK PA® y las tuercas SAFEROCK MT® apropiadas para este tipo de fortificación.
-
- k** Las dimensiones y características de los componentes de las tuercas SAFEROCK MT® se detallan en el Capítulo 2, en las Tablas 2.5.1.1, 2.5.2.1, 2.5.2.2 y 2.5.2.3.
-
- l** El diseñador de la fortificación deberá definir la longitud de la vaina SAFEROCK L-Zero® para cada aplicación en particular. El tramo envainado y el tramo de anclaje son calculados y definidos por el ingeniero geomecánico. Con todos estos considerandos, se establece la longitud total del perno SAFEROCK®. En la Tabla 2.7.1 se detallan las dimensiones de la vaina y sus accesorios. En la Sección 3.2 se presentan los criterios para determinar la longitud del perno SAFEROCK® y su vaina.
-
- m** En la tuerca SAFEROCK MT® cuando la tuerca Hexagonal es atornillada para pretensar con el hilo fino, ésta se desatornillará de la tuerca Tapón como máximo 20 mm. Con esto debiera haberse apretado suficientemente la malla minera y conseguido el pretensado definido por el geomecánico. Para evitar un mayor desatornillado al girar la tuerca Hexagonal, se deberá pre apretar la malla minera con su planchuela girando la tuerca Tapón sobre el hilo grueso del perno SAFEROCK®, hasta acercar lo más posible la malla a la roca. Posteriormente se debe realizar el pretensado con la tuerca Hexagonal.
-
- n** La malla al ser comprimida en el proceso de apriete inicial con la tuerca Tapón, pasa desde unos 20 mm iniciales, a menos de 5 mm. Aún con este grado de apriete, no se habrá conseguido un pretensado del perno de fortificación. Una vez pretensado el perno, la malla queda totalmente apegada a la roca y a la planchuela. Este último apriete debe realizarse con las vueltas necesarias para alcanzar la carga axial definida por el especificador.
-
- o** En los casos de especificación e instalación de la tuerca SAFEROCK MT® (para una fortificación Activo-Dúctil), en la Tabla 3.4.1 de la Sección 3.4 se presentan los valores máximos de torque aplicado a la tuerca. También se indica la fuerza axial del pretensado que dicho torque genera. La fuerza conseguida por el pretensado permanece activa en el tramo envainado del perno SAFEROCK®.
-
- p** Si se diseña una fortificación en la que se tiene por objetivo conseguir ahorros de costos y disminución de tiempos de instalación, puede considerarse aumentar las distancias entre las perforaciones. En la Sección 3.7.1, se analiza un ejemplo presentado en la Tabla 3.7.1.2. En este caso, se muestra un diseño que pasa de un área de 1,0 m x 1,0 m, a otra de 1,15 m x 1,15 m.
-
- q** De igual forma, si en las consideraciones señaladas en el Punto (p) anterior y la fortificación mostrada presenta dudas de la integridad de la roca dentro del área tributaria mayor, la Tabla 3.7.2.2 de la Sección 3.7.2, analiza este caso particular. En la Tabla 3.5.1 se entregan las resistencias de doblado de las esquinas de las planchuelas SAFEROCK PA®. Esto permite chequear la capacidad de contención del conjunto en las 4 esquinas de la planchuela, para un diámetro de perno dado. La verificación debe hacerse para determinar cuánto resisten las planchuelas SAFEROCK PA®, al desprenderse un bloque que sólo se apoya entre las esquinas de estas planchuelas.

3.2 LONGITUD DEL PERNO SAFEROCK®

La longitud de trabajo del perno SAFEROCK® depende del desempeño esperado por el ingeniero diseñador para mantener la estabilidad del túnel frente a los eventos probables que sufre la faena minera o la obra vial. Como resultado, el conjunto de componentes del sistema de fortificación quedará establecido en función de la geometría y propiedades de cada uno de sus elementos.

Establecido el conjunto para una aplicación dada, se tendrá el diámetro nominal y grado de acero del perno SAFEROCK®, el tipo de tuerca (SAFEROCK ST® o SAFEROCK MT®), el tipo de planchuela PA®, el tipo de malla y la longitud de la vaina L-Zero® en el caso de un sistema de fortificación Activo-Dúctil. La longitud del perno que irá inmerso en la resina o el mortero será el tramo que soportará el peso o la carga dinámica de un eventual desprendimiento que ocurra en esa parte del túnel o excavación.

La inclusión de la vaina SAFEROCK L-Zero®, no modifica la operación normal de relleno de la perforación, ya que la

vaina es la encargada de aislar el perno del mortero o la resina, es decir, **el llenado de la perforación se hace a largo completo si así lo determina el proyecto.**

Como se indica en la Figura 3.2.1, la longitud total (L_T) del perno SAFEROCK® será:

$$L_T = L_S + L_{TT} + H_C + e_M + L_V + L_A$$

Donde:

L_S = Longitud sobresaliente del perno

L_{TT} = Longitud de la tuerca tensada

H_C = Altura del cono de la planchuela

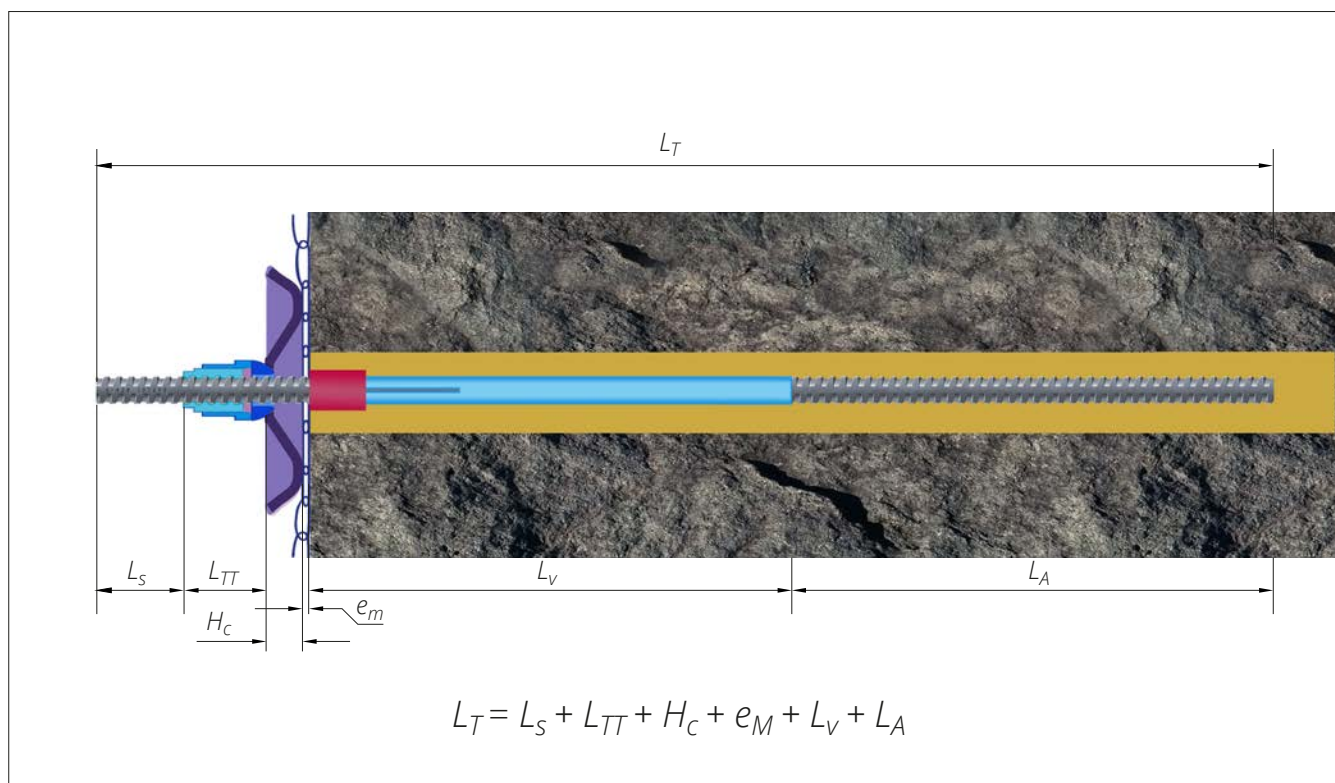
e_M = Espesor de la malla comprimida

L_V = Longitud del tramo envainado

L_A = Longitud del tramo de anclaje del perno SAFEROCK®

Figura 3.2.1

Definición de la longitud total del perno SAFEROCK®.



3.3 INSTALACIÓN DE LA VAINA SAFEROCK L-Zero®

La vaina SAFEROCK L-Zero® de la Figura 3.3.1 fue desarrollada para instalarla en la faena o en taller de forma muy rápida, colocándola manualmente en el perno SAFEROCK® hasta su posición definitiva y con el largo de diseño.

Cuando está posicionada, se mueve el Fijador hacia el exterior cubriendo la zona que presenta el hilo.

Con este simple mecanismo, la vaina SAFEROCK L-Zero® no se moverá ni girará en su posición, aunque el perno con ella se introduzca en la masa del mortero o bien de la resina.

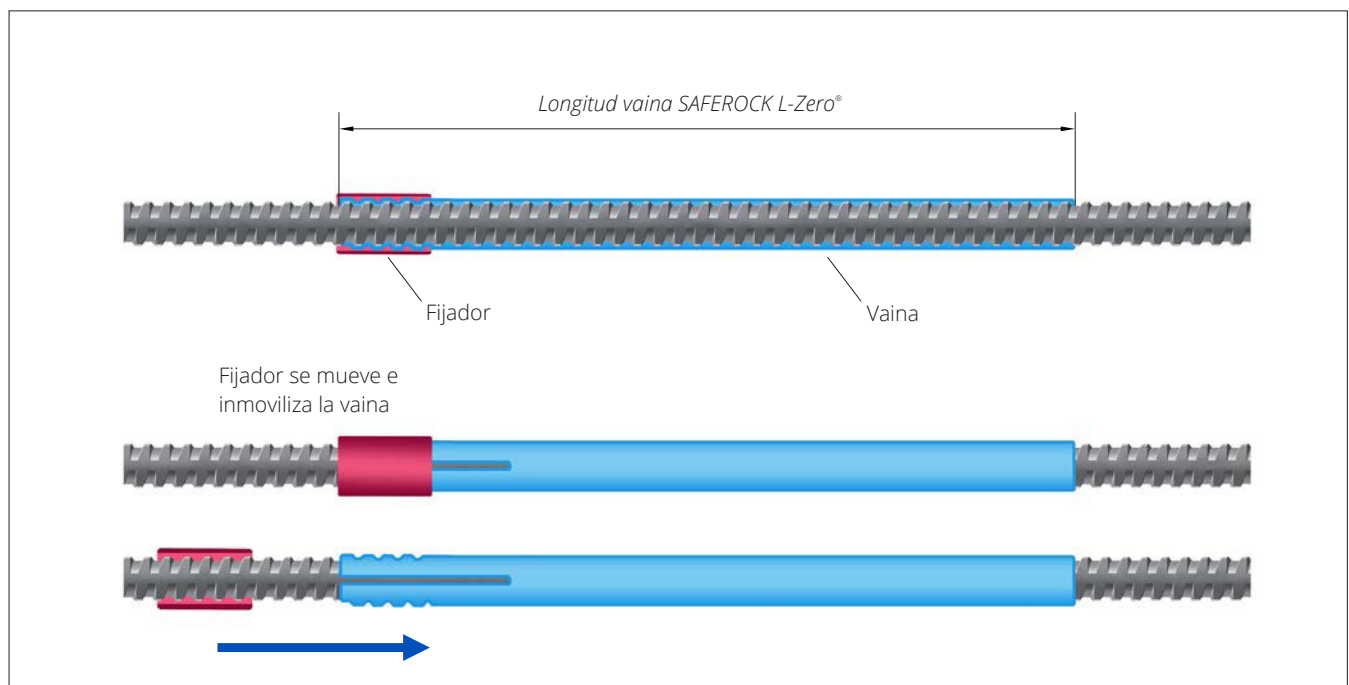
¿Cómo se instala la vaina SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** que muestra detalles de cómo se instala la vaina SAFEROCK L-Zero®.

Figura 3.3.1

Forma de fijar la vaina SAFEROCK L-Zero® en el perno SAFEROCK®.



3.4 APRIETE DE LA TUERCA SAFEROCK MT®

Para conseguir óptimos resultados en la instalación de un sistema de fortificación Activo-Dúctil, el instalador debe contar con las siguientes herramientas: 1 llave de punta o francesa para la tuerca Tapón y 1 llave de tubo con torquímetro apropiada a las dimensiones de la Tuerca Cabeza.

Se recomienda seguir los siguientes pasos e indicaciones para la instalación y apriete de la tuerca SAFEROCK MT®:

¿Cómo se instala un perno SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** que muestra la instalación del perno SAFEROCK® y su tuerca SAFEROCK MT®.

- a** Una vez instalado y consolidado el perno SAFEROCK® con su vaina SAFEROCK L-Zero® ajustada y en su sitio, con un mortero o resina que ya haya solidificado, se coloca la malla minera y sobre ésta, la planchuela SAFEROCK PA®.
- b** En seguida se coloca tuerca SAFEROCK MT® en el perno SAFEROCK®. **Se gira en forma manual** la tuerca Tapón, en sentido contrario a las manecillas del reloj, hasta dejar la malla apegada entre la planchuela y la roca.
- c** Si la pared de roca es muy irregular y no es posible apoyar completamente la planchuela contra ésta, entonces el pretensado de ese punto no será efectivo. Por tanto, se recomienda considerar que la malla debe seguir la superficie de la excavación para apoyar completamente la planchuela contra la malla y la roca.
- d Pre Apriete de la tuerca Tapón:** con una llave de punta o francesa se procede a girar la tuerca Tapón desde las caras planas paralelas, aplicando un torque vigoroso consiguiendo presionar y aplastar parcialmente la malla minera contra la roca. Esto se logra con 1 vuelta en las tuercas SAFEROCK MT® de 22 y 25 mm y con $\frac{3}{4}$ de vuelta para las de 28 y 32 mm, sin necesidad de afirmar el hexágono con una llave o manualmente.
- e** Evitar hasta este paso, que se gire la tuerca Tapón respecto a la tuerca Hexágono de la tuerca Cabeza.
- f** Después se coloca la llave de tubo con la medida correspondiente, en el hexágono de la Tuerca Cabeza, se comienza a apretar hasta que la malla quede totalmente acomodada contra la roca y el torquímetro alcance su valor máximo entre 30 y 35 kgf x m, según se muestra en la Tabla 3.4.1.
- g Multiplicador de torque:** En este apriete final que produce el pretensado del perno SAFEROCK®, es cuando se aplica un torque vigoroso a la tuerca Hexagonal con hilo fino de la tuerca SAFEROCK MT®. La tuerca Tapón, la Cabeza y la Golilla permanecerán en su lugar, sin necesidad de sostenerla con una llave u otro medio. La tuerca Tapón, al no girar ella misma respecto al perno SAFEROCK®, sirve como si fuera un **perno de hilo fino fijo** sobre el cual gira la tuerca Hexágono de hilo fino.
- h** Dependiendo de las vueltas conseguidas en el pre apriete y una vez que la malla se deforma y queda totalmente apoyada contra la roca, el apriete final para conseguir el torque recomendado (de la Tabla 3.4.1), se conseguirá en general con 1 a 3 vueltas de la tuerca Hexágono. Sin embargo, se recomienda realizar la medición de torque para conseguir el pretensado deseado en el segmento de perno SAFEROCK® que tiene la vaina SAFEROCK L-Zero®.

Tabla 3.4.1

Relación del torque aplicado y la carga axial obtenida en el perno SAFEROCK® pretensado

Diámetro Nominal Perno SAFEROCK® D_n	Planchuela SAFEROCK PA®	Malla MFI 3500 AB75 E4.0	Torque Máximo	Carga Axial Efectiva
mm			kgf x m	tonf
22	PA® 42-8	Si	30	5,2
25	PA® 51-8	Si	30	6,1
28	PA® 51-8	Si	35	5,4
32	PA® 65-10	Si	35	5,5

3.5 CARGAS MÁXIMAS SOBRE LAS PLANCHUELAS SAFEROCK PA®

La planchuela empleada en **Fortificación Pasiva** sin empleo de la vaina SAFEROCK® tiene principalmente la función de golilla para sostener la malla minera impidiendo que la tuerca pase por los espacios del tejido de alambre. De esta forma puede embolsar y sostener eficazmente las rocas de un derrumbe parcial entre los pernos de fortificación.

También funciona como una golilla para repartir la presión de la roca sobre la planchuela en el caso que se pierda la unidad perno/mortero o mortero/pared de la roca dentro del agujero a la salida de la perforación. Si esto ocurriera, el perno aún se encuentra anclado al fondo de la perforación y sosteniendo la planchuela.

Sea el caso de la **Fortificación Pasiva** o la **Fortificación Activa-Dúctil**, si llegase a colapsar el domo de la planchuela SAFEROCK PA® producto de la carga que aplica el derrumbe sobre ésta, gracias al perímetro atiesado de la planchuela SAFEROCK PA®, sigue funcionando sin incrustarse en la malla logrando eficazmente mantener el sostenimiento. En este caso el diseño atiesado se justifica principalmente por la necesidad de evitar que los alambres se corten por cizalla,

como sucede en las planchuelas planas al apoyarse en el canto vivo de su perímetro, al producirse un derrumbe parcial entre los pernos y planchuelas.

También este atiesado perimetral contribuye a mantener la superficie de apoyo contra los alambres de la malla minera, las que por efecto de la carga viva del pretensado, la planchuela SAFEROCK PA® queda firmemente comprimida con la superficie de la roca. Y si aparecen planos de fallas que separen internamente el manto rocoso, la presencia del tramo del perno con su vaina SAFEROCK L-Zero® minimizará el desarrollo de un gran desprendimiento de rocas en caso de que ocurra un derrumbe.

La ductilidad del perno SAFEROCK® aparece en el tramo envainado con la vaina SAFEROCK L-Zero®, permitiéndole contener un macizo rocoso que ha desarrollado una gran deformación. De esta forma el perno SAFEROCK® puede elongarse libremente y dependiendo del grado de acero seleccionado en el diseño, para un tramo L_0 de 100 cm, la deformación que puede desarrollar es de 10 a 20 cm aproximadamente.

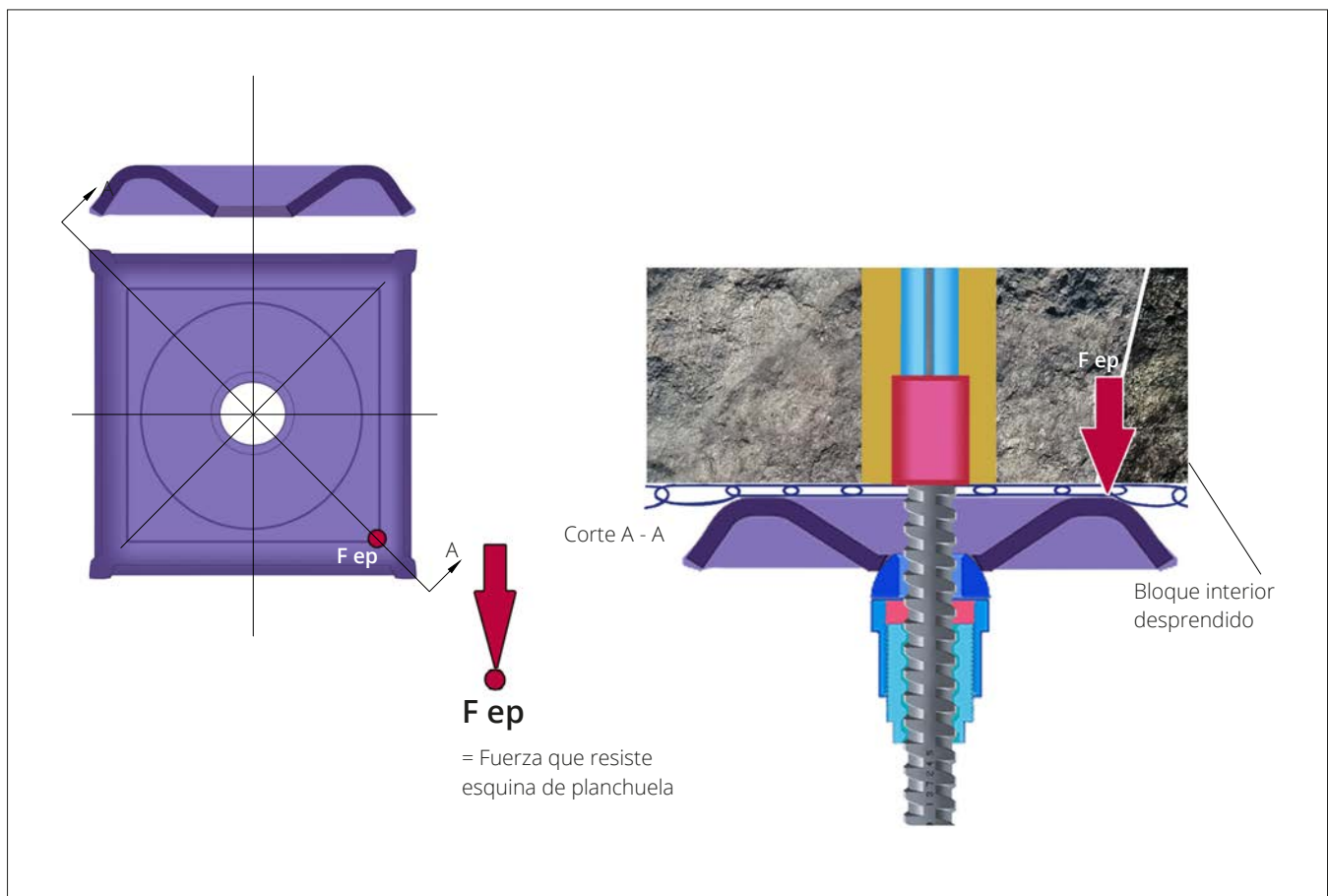
La Planchuela SAFEROCK PA® además de las funciones mencionadas anteriormente, presenta otra importante característica de permitir distanciar entre sí los pernos de

fortificación. La Tabla 3.5.1 presenta la resistencia al doblado de las 4 esquinas de la planchuela SAFEROCK PA®, puntos que rodean el área entre ellas y que si los pernos están pretensados, serán capaces de resistir el peso de las rocas dentro de esa área menor, tal como si existiera un perno virtual en esos puntos.

En la Sección 3.7.2 de este Manual se desarrolla un ejemplo de fortificación Activa-Dúctil que empleando la Planchuela SAFEROCK PA® y separando la distancia entre los pernos, se consiguen ahorros de costos y disminución de tiempos de instalación.

Tabla 3.5.1

Resistencia al doblado en las esquinas de las planchuelas para efectos de pretensar un perno SAFEROCK® con una tuerca SAFEROCK MT®



Diámetro Nominal Perno SAFEROCK® D_N mm	Planchuela SAFEROCK PA®	Carga Máxima en una Esquina F_{ep} tonf	Carga Máxima entre 4 Esquinas colindantes tonf	Carga Máxima Cono tonf
22	PA® 42-8	5,9	23,6	28,9
25	PA® 51-8	5,7	23,0	29,3
28	PA® 51-10	9,6	38,5	38,3
32	PA® 65-10	9,6	38,5	38,3

3.6 SELECCIÓN DE PRODUCTOS

Dependiendo el tipo de fortificación que el diseñador defina, son los tipos de productos más apropiados de aplicar. Como se muestra en la Tabla 3.6.1, la fortificación Activo-Dúctil tiene aplicación en la minería y las obras viales con el reforzamiento

de las excavaciones. Si se trata de una fortificación típicamente pasiva, ya sea para la contención de excavaciones mineras o de laderas en la minería y obras viales, los productos del Sistema SAFEROCK 2.0® ofrecen versatilidad para resultados más seguros, con tuercas SAFEROCK ST® y planchuelas SAFEROCK PA® de mejor desempeño.

Tabla 3.6.1

Aplicación de los productos componentes del Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®

Tipo de Fortificación		Grados del Perno SAFEROCK®			Tipo de Tuerca		Planchuela PA®	Vaina L-Zero®
		A280	A420	A520	ST®	MT®		
Activo-Dúctil	Fortificación de Excavaciones	●	● ○	● ○		● ○	● ○	● ○
	Contención de Excavaciones	●	●	●	●		●	
Pasiva	Contención de Laderas	●	● ○	● ○	● ○		● ○	

● = Uso en minería ○ = Uso en obras viales

Para facilitar la tarea de ubicar las propiedades y características de los productos, según los tipos de fortificación que se diseñan, la Tabla 3.6.2 complementa la Tabla 3.6.1, referenciando las Tablas respectivas a consultar en el presente Manual.

Por ejemplo, en una operación minera para contener excavaciones, puede aplicarse una fortificación pasiva. Si el diseñador establece el uso de pernos SAFEROCK® grado A420 en un diámetro de 28 mm, todas sus características quedan definidas en las Tablas 2.2.1.1, 2.2.2.2 y 2.2.3.1. Las características de la tuerca, en este caso la tuerca SAFEROCK ST®, se encuentra en la Tabla 2.3.1 de este Manual. Finalmente, la planchuela a emplear se ubica en la Tabla 2.6.1.

Para este caso particular, las características serán:

- Identificación bajorrelieve en el perno: AZA SAFEROCK 28 (lado 1 del perno); A-420 y Número de Colada (lado 2 del perno) (ver Tabla 2.2.3.1)
- Masa lineal: 4,55 kg/m (ver Tabla 2.2.1.1)

- Tensión de fluencia mínima del acero: 420 MPa (ver Tabla 2.2.2.2)
- Resistencia a la tracción mínima del acero: 630 MPa (ver Tabla 2.2.2.2)
- Carga mínima a la resistencia a la tracción: 38,8 tonf (ver Tabla 2.2.2.2)
- Energía absorbida mínima a la resistencia a la tracción: 23,8 kJ en 1.000 mm de perno (ver Tabla 2.2.2.2)
- Longitud de la tuerca SAFEROCK ST®: 58 mm (ver Tabla 2.3.1)
- Masa de la tuerca SAFEROCK ST®: 0,55 kg/unidad (ver Tabla 2.3.1)
- Denominación de la planchuela (para tuerca SAFEROCK ST®): PA® 51-8 (ver Tabla 2.6.1)
- Masa de la planchuela: 2,8 kg/unidad (ver Tabla 2.6.1)
- Carga máxima de resistencia del cono de la planchuela: 29,3 tonf (ver Tabla 2.6.1)

Tabla 3.6.2

**Ubicación de las Tablas con las Características y Propiedades para el Diseño
con el Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®**

Características y Propiedades para el Diseño	Grados del Perno SAFEROCK®			Tipo de Tuerca		Planchuela PA®	Vaina L-Zero®
	A280	A420	A520	ST®	MT®		
Identificación del perno	2.2.3.1	2.2.3.1	2.2.3.1				
Diámetro nominal	2.2.1.1	2.2.1.1	2.2.1.1				
Longitud del perno	2.2.3.1	2.2.3.1	2.2.3.1				
Peso del perno (masa lineal)	2.2.1.1	2.2.1.1	2.2.1.1				
Tensión de fluencia, MPa	2.2.2.1	2.2.2.2	2.2.2.3				
Resistencia a la tracción, MPa	2.2.2.1	2.2.2.2	2.2.2.3				
Alargamiento en 200 mm, %	2.2.2.1	2.2.2.2	2.2.2.3				
Energía absorbida en 1 m de perno	2.2.2.1	2.2.2.2	2.2.2.3				
Grado del acero	2.2.2.1	2.2.2.2	2.2.2.3				
Geometría de la tuerca				2.3.1	2.5.1.1a 2.5.2.3		
Peso de la tuerca				2.3.1	2.4.1		
Geometría de la planchuela						2.6.1 y 2.6.2	
Peso de la planchuela						2.6.1 y 2.6.2	
Dimensiones de la vaina							2.7.1

3.7 EJEMPLOS DE CONFIGURACIONES DE FORTIFICACIÓN CON SISTEMA SAFEROCK 2.0® PARA DISTANCIAR PERFORACIONES

El diseño de una fortificación específica para una excavación minera o vial es complejo y considera un número grande de variables. La solución consiste en definir: (i) un patrón geométrico de ubicación y distancia de las perforaciones; (ii) diámetro y profundidad de éstas; (iii) diámetros de los pernos y grado del acero; (iv) las tuercas correspondientes a estos pernos; (v) tipo de anclaje a la roca (mortero, resina o anclaje mecánico); (vi) tipo de planchuela y (vii) tipo de malla minera.

Los presupuestos de instalación se definen por tanto como la suma de los costos unitarios por perno de fortificación instalado, determinado por el diseño geomecánico.

Por cada metro de avance de la excavación, se genera una nueva superficie de roca a fortificar en función del perímetro de las paredes y bóveda que emerge. Por tanto, la suma del costo de todos los pernos instalados deberá ser referida al avance de la excavación, es decir debe ser dividido por los metros cuadrados de superficie fortificados.

De esta forma la Unidad de Control de Costo de la faena, obtendrá valores comparables para medir el costo y la eficiencia de esta operación en relación con operaciones anteriores similares y en relación con otras faenas y a la industria.

Por otra parte, los ingenieros de minas y geomecánicos, siempre combinarán la mejor y más confiable fortificación con el mínimo costo posible y por lo tanto, una de las variables más importante, será diseñar el patrón de perforación con la separación de pernos máxima posible considerando que, aun

así, esta cumpla con el nivel de confiabilidad que exigen los altos estándares de seguridad de la minería y las obras viales.

Hasta hoy no se contaban con muchas alternativas de diseño, ya que sólo se disponían de tres medidas de pernos de fortificación (19, 22 y 25 mm) y en dos grados en stock (A280 y A420). El nuevo Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®, ofrece al mercado pernos en seis diámetros (16, 19, 22, 25, 28 y 32 mm) y tres grados de acero (A280, A420 y A520).

Además, el nuevo sistema provee de más información para el diseñador. Por ejemplo, se dispone de datos sobre la energía absorbida en condiciones cuasi estáticas por deformación plástica permanente para toda la familia de pernos SAFEROCK®. Esta energía se absorbe cuando un tramo de 1 m de perno envainado se deforma, lo que permite a este sistema de fortificación la condición de dúctil.

Se debe destacar que el grado A280 es el más dúctil, pero con menos resistencia, por tanto, un diseño con exigencia de mayor ductilidad tendrá que emplear este grado y elegir un diámetro nominal mayor para entregar la resistencia requerida.

Se complementa este desarrollo con una nueva tuerca SAFEROCK ST®, apropiada para diseñar fortificaciones pasivas y otra tuerca Multiplicadora de Torque SAFEROCK MT® con la

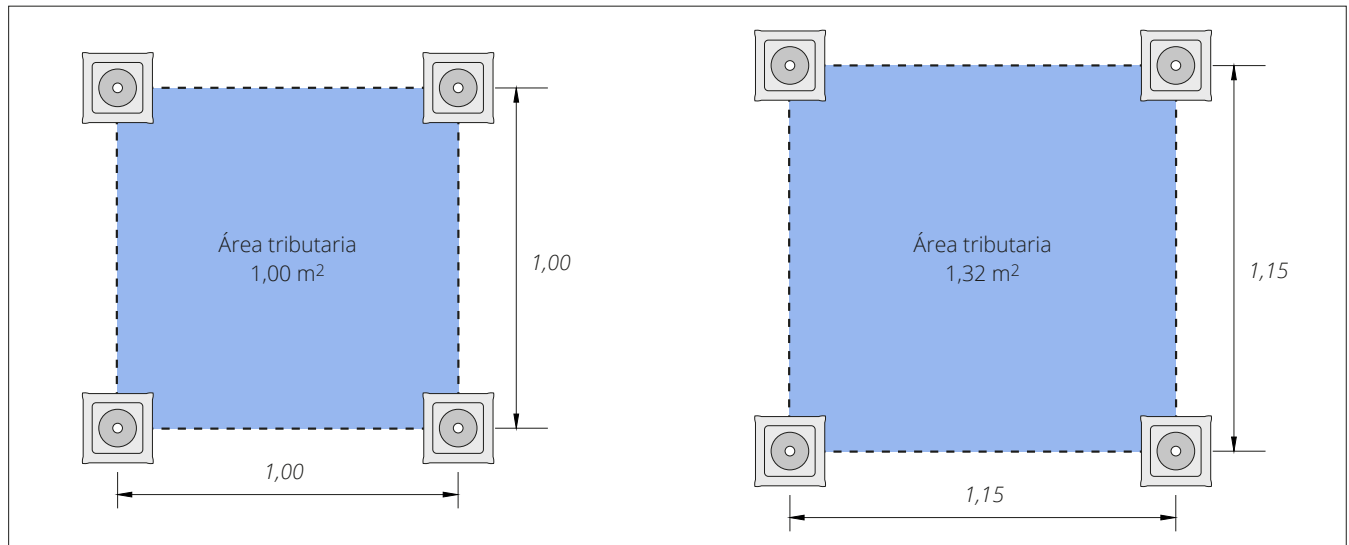
vaina SAFEROCK L-Zero®, que permite diseñar una fortificación pretensada (Activo-Dúctil), a la que se ha integrado el diseño de una planchuela atiesada, que protege la malla minera de cortes de sus alambres al embolsar un derrumbe.

Estas nuevas propiedades mejorarán el desempeño y la calidad de la protección que entrega este sistema, ya que ponen a disposición del mercado más y mejores productos para un mejor diseño de la fortificación de las excavaciones.

Serán los ingenieros geomecánicos, los ingenieros de minas y los técnicos instaladores los encargados de diseñar e instalar una fortificación óptima, tanto en seguridad como en costo, aprovechando este conjunto de nuevas de propiedades y alternativas que el sistema de fortificación SAFEROCK 2.0® pone a disposición del mercado.

Para graficar cómo aprovechar este nuevo conjunto de propiedades y productos de SAFEROCK 2.0®, se muestran tres ejemplos simplificados.

Se plantea aumentar la distancia entre los pernos SAFEROCK® de grado A420, desde 1,0 m x 1,0 m a 1,15 m x 1,15 m, consiguiendo con esto cubrir ahora 1,32 m² con las cuatro perforaciones, es decir, cada perno tendrá un área tributaria ahora de 1,32 m², como se muestra en la Figura 3.7.1.



El efecto de aumentar esta distancia entre pernos es obtener ahorros de al menos un 20% del costo total de fortificación, ya que este costo es proporcional al N° de pernos instalados por m².

Si el costo unitario inicial de un perno instalado en un m² se mantiene con el mismo valor con la mayor separación, entonces ahora esta unidad se dividirá por la nueva área tributaria, es decir $1/(1,32\text{m}^2) = 0,76/\text{m}^2$. En este caso, el ahorro será de **24% en el costo total** de fortificación.

Figura 3.7.1

Aumento del área tributaria al distanciar los pernos SAFEROCK®, con planchuelas SAFEROCK PA® y tuercas SAFEROCK®, pasando de 1,0 m a 1,15 m y cubriendo un área de 1,32 m².

3.7.1 Caso 1: Distanciamiento de los pernos en fortificación pasiva

Para analizar este caso, se considerará la familia de 6 pernos SAFEROCK® grado A420, sus características geométricas, de masa y resistencia, además de los productos complementarios como son las planchuelas y tuercas. Debido que se trata de una fortificación pasiva, se emplean tuercas SAFEROCK ST®. La Tabla 3.7.1.1 reúne las características de la masa lineal y la carga máxima soportada de los pernos obtenidas de las Tablas de propiedades de este Manual para pernos SAFEROCK® grado A420.

Como se muestra en la Figura 3.7.1, este caso empleará una distancia entre pernos mayor a la presupuestada inicialmente, aumentando de 1,0 m a 1,15 m y asumiendo que no comprometerá la estabilidad de la roca contenida entre los 4 pernos de esta nueva área tributaria.

En la Tabla 3.7.1.2 se tabulan el consumo de pernos por área

Tabla 3.7.1.1

Características de elementos del sistema de fortificación pasiva con pernos SAFEROCK® grado A420

Diámetro Nominal Perno SAFEROCK®	Masa Lineal Perno, kg/m (Tabla 2.2.2.1)	Carga Máxima Soportada por Perno, tonf (Tabla 2.2.2.2)
16	1,52	12,7
19	2,00	17,9
22	2,77	23,9
25	3,60	30,9
28	4,55	38,8
32	6,00	50,7

tributada y las cargas soportadas por área tributada, para la condición inicial de 1 m de separación y otra para la condición de 1,15 m.

Tabla 3.7.1.2

Consumo de pernos de fortificación y la carga soportada para dos áreas tributadas, empleando pernos SAFEROCK® grado A420 y una longitud de pernos de 1 m.

Diámetro Nominal del Perno SAFEROCK® mm	Consumo Pernos, kg/m ² (*)		Carga Soportada por el Perno, tonf/m ²	
	En Área Tributaria de 1,00 m ²	En Área Tributaria de 1,32 m ²	En Área Tributaria de 1,00 m ²	En Área Tributaria de 1,32 m ²
16	1,52	1,15	12,7	9,6
19	2,00	1,52	17,9	13,6
22	2,77	2,10	23,9	18,1
25	3,60	2,73	30,9	23,4
28	4,55	3,45	38,8	29,4
32	6,00	4,55	50,7	38,4

(*) El consumo se determina como: 1 m longitud del perno x masa lineal del perno) / área tributaria. Para efecto de las comparaciones, se elige una barra de 1 m, debido a que el análisis es válido para cualquier largo de barra y sólo basta multiplicar los consumos por el largo real de la barra diseñada. Esto se debe a que no es común fortificar con sólo 1 m de barra.

Las celdas del mismo color muestran el cambio en el consumo de pernos o el cambio en la carga soportada, al variar desde un diámetro dado al siguiente mayor.

Por ejemplo, si para la separación inicial de 1,0 m se consideró emplear pernos grado A420 de 16 mm que poseen una resistencia máxima de 12,7 tonf por m² (Tabla 3.7.1.1), entonces el consumo de pernos es de 1,52 kg en 1 m² de área tributaria (Tabla 3.7.1.2).

Igualmente, si se emplean pernos de 19 mm, para la

separación de 1,0 m entre ellos, entonces la resistencia máxima es de 17,9 tonf por m² y el consumo de pernos es de 2,00 kg en 1 m² de área tributaria.

Si se distancian los pernos de 16 mm a un área tributaria de 1,32 m² (1,15x1,15) y ahora se emplea un perno SAFEROCK® de 19 mm, entonces se puede concluir lo siguiente:

- 1** La fortificación con pernos de 16 mm que resisten 12,7 tonf/m², con el perno de 19 mm aumenta la resistencia a 13,6 tonf/m² (en la Tabla 3.7.1.2 celdas marcadas en amarillo): Cumple.
- 2** La fortificación con pernos de 16 mm implica un consumo de 1,52 kg/m² y con pernos de 19 mm, el valor se mantiene en 1,52 kg/m² (en la Tabla 3.7.1.2 celdas marcadas en amarillo): Cumple.
- 3** Este cambio en la especificación genera un ahorro en toda la labor de fortificación, de un 24% en pernos y perforaciones, prácticamente independiente de la longitud de los pernos instalados.
- 4** De igual forma, si el diseño inicial contempla pernos de 19 mm para 1 m x 1 m y se distancia a 1,15 m x 1,15 m, cambiando a pernos de 22 mm, el consumo de pernos pasa de 2,00 kg/m² a un valor levemente mayor de 2,10 kg/m². La resistencia por m² pasa de 17,9 tonf y sube levemente a 18,1 tonf. Cumple en ambos casos y se obtiene un ahorro de un 24% en toda la labor de fortificación.
- 5** En todos los casos de la Tabla 3.7.1.2 el consumo de pernos por m² se reduce y siendo las resistencias de los pernos por m² muy similares, puede señalarse que se podrá subir el diámetro de la barra, para distanciar las perforaciones de 1,0 m a 1,15 m, logrando ahorros de aproximadamente un 24% en los costos totales de fortificación.

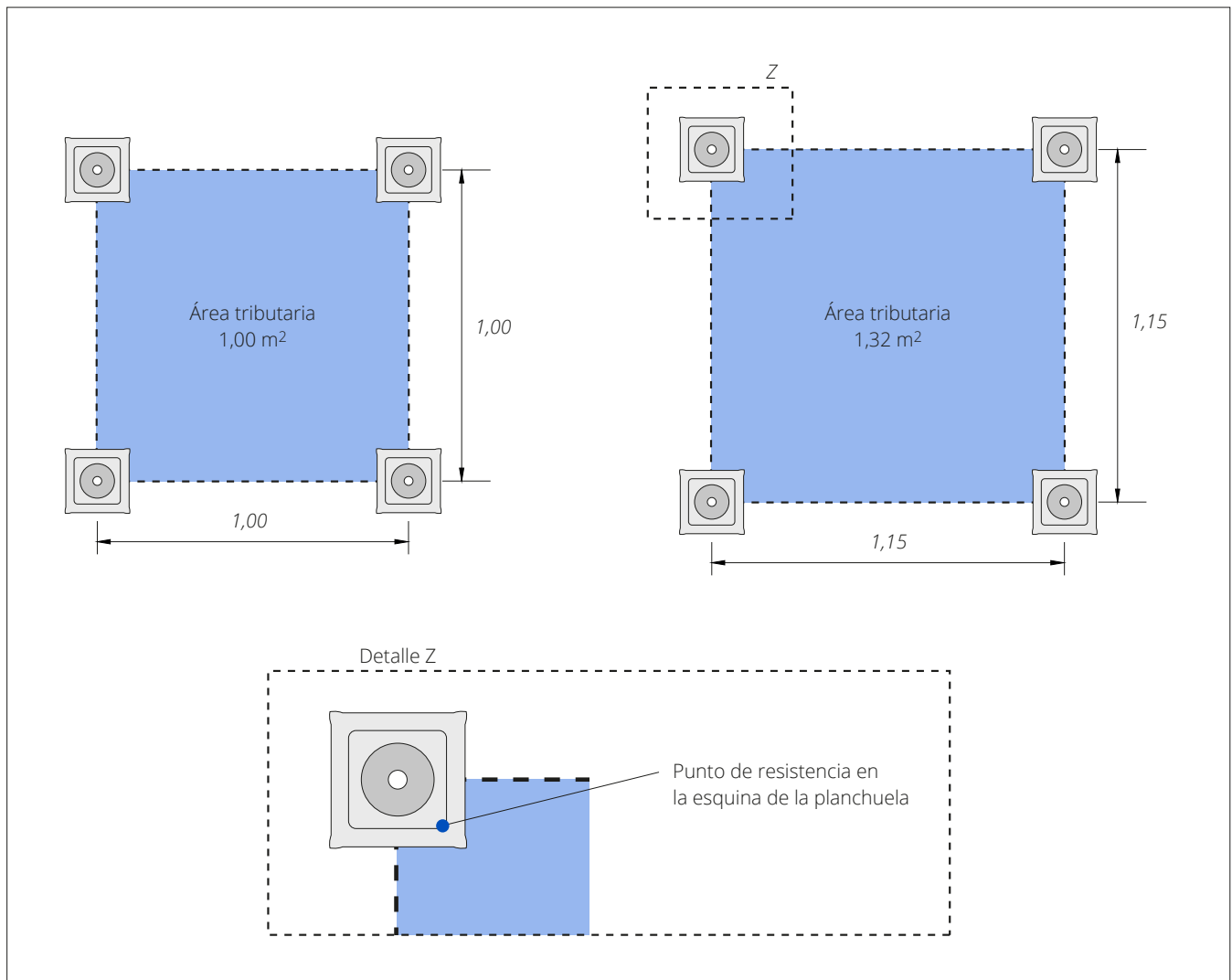
**3.7.2 Caso 2:
Distanciamiento de los pernos
en fortificación Activo-Dúctil**

A diferencia del Caso 1 tratado anteriormente, se contempla la posibilidad que, al aumentar la distancia de 1,0 m a 1,15 m entre los pernos de fortificación, la roca dentro de esta área pueda sufrir un desprendimiento o derrumbe. Para asegurar que esto no ocurra, se debe contar con una planchuela que en su esquina tenga la rigidez y resistencia para contener el potencial desprendimiento. Esta condición se asimila como si tuviera un perno virtual en ese punto. En este caso, las cuatro esquinas de la planchuela, separadas entre sí a 1,0 m x 1,0 m contienen una carga similar a la

fortificación inicial diseñada con esa separación entre perforaciones (ver Figura 3.7.2.1).

Figura 3.7.2.1

Aumento del área tributaria al distanciar los pernos SAFEROCK®, con planchuela SAFEROCK PA®, tuerca SAFEROCK MT® y vaina SAFEROCK L-Zero®, pasando de 1,0 m a 1,15 m y cubriendo un área de 1,32 m², pero manteniendo las exigencias de sostenimiento de un área tributaria de 1,0 m².



Este caso se analiza considerando la familia de 4 pernos SAFEROCK® grado A420, sus características geométricas, de masa y resistencia, además de las planchuelas SAFEROCK PA®. Debido que se trata de una fortificación Activo-Dúctil, se emplean tuercas SAFEROCK MT®. La Tabla 3.7.2.1 reúne las características obtenidas de las Tablas de propiedades

de este Manual para los pernos SAFEROCK® grado A420.

En la Tabla 3.7.2.2 se tabulan el peso de los pernos por área tributada y las cargas soportadas por área tributada para la condición inicial de 1 m de separación y otra para la condición de 1,15 m.

Tabla 3.7.2.1

Características de elementos del sistema de fortificación Activo-Dúctil con pernos SAFEROCK® grado A420

Diámetro del Perno Perno SAFEROCK® mm	Masa Lineal Perno, kg/m (Tabla 2.2.2.1)	Carga Máxima Soportada por Perno, tonf (Tabla 2.2.2.2)	Planchuelas SAFEROCK PA® para tuercas SAFEROCK MT®		
			Denominación (Tabla 2.6.2)	Carga Máxima sobre el cono de Planchuela, tonf (Tabla 2.6.2)	Carga Máxima en 4 Esquinas de Planchuela, tonf (Tabla 2.6.2)
22	2,77	23,9	PA® 42-10	28,9	23,6
25	3,60	30,9	PA® 51-8	29,3	23,0
28	4,55	38,8	PA® 51-10	38,3	38,5
32	6,00	50,7	PA® 65-10	38,3	38,5

Tabla 3.7.2.2

Consumo de los elementos de fortificación y la carga soportada para dos áreas tributadas, empleando pernos SAFEROCK® grado A420 en una fortificación Activo-Dúctil.

Diámetro Nominal del Perno SAFEROCK® mm	Consumo Pernos, kg/m ² (*)		Carga Soportada por el Perno, tonf/m ²	
	En Área Tributaria de 1,00 m ²	En Área Tributaria de 1,32 m ²	En Área Tributaria de 1,00 m ²	En Área Tributaria de 1,32 m ²
22	2,77	2,10	23,9	18,1
25	3,60	2,73	30,9	23,4
28	4,55	3,45	38,8	29,4
32	6,00	4,55	50,7	38,4

(*) El consumo se determina como: 1 m longitud del perno x masa lineal del perno) / área tributaria. Para efecto de las comparaciones, se elige una barra de 1 m, debido a que el análisis es válido para cualquier largo de barra y sólo basta multiplicar los consumos por el largo real de la barra diseñada. Esto se debe a que no es común fortificar con sólo 1 m de barra.

Las celdas del mismo color muestran el cambio en el consumo de pernos o el cambio en la carga soportada, al variar desde un diámetro dado al siguiente mayor.

En este segundo ejemplo, si para la separación inicial de 1,0 m, se consideró emplear un perno de 22 mm con una resistencia máxima de 23,9 tonf, el consumo de pernos equivale a 2,77 kg en 1,0 m² de área tributaria.

Al distanciar los pernos para un área tributaria de 1,32 m² (1,15 x 1,15) y se emplea un perno de 25 mm, con una resistencia máxima de 23,4 tonf y un peso de pernos de 2,73 kg/m², entonces se desprenden las siguientes conclusiones:

- 1** La fortificación con el perno de 22 mm resiste 23,9 tonf/m² y con el perno de 25 mm resiste 23,4 tonf/m², prácticamente la misma: Cumple.
- 2** La fortificación con el perno de 22 mm consume 2,77 kg/m² de pernos y con el perno de 25 mm el valor baja levemente a 2,73 kg/m²: Cumple.
- 3** La carga máxima en las 4 esquinas de la planchuela SAFEROCK PA® 51-8 para el perno de 25 mm es de 23,0 tonf (ver Tabla 3.7.2.1), la misma que la resistencia del perno (23,4 tonf/m²): Cumple.
- 4** La resistencia del cono de la planchuela SAFEROCK PA® 51-8 para el perno de 25 mm es de 29,3 tonf: Cumple.
- 5** Este cambio en la especificación genera un ahorro en toda la labor de fortificación, de un 24% en pernos, tuercas, planchuelas y perforaciones, independiente de la longitud de los pernos instalados.
- 6** Lo mismo ocurre si pasamos de pernos de 25 mm a 28 mm y de 28 mm a 32 mm. En todos estos casos el consumo de barras por m² y la resistencia de las barras por m² son muy parecidas y por tanto en todos los casos de la Tabla 3.7.2.2 se podrá subir el diámetro de la barra, para distanciar las perforaciones de 1,0 m a 1,15 m, logrando un ahorro de aproximadamente un 24% en los costos totales de perforación.

Un ejemplo similar al Caso 2 puede tratarse considerando un cuerpo rocoso en el que no se permite distanciar los pernos de fortificación, por no tener seguridad que la superficie mayor mantenga su integridad. En este caso, también existe la conveniencia de aumentar el diámetro del perno SAFEROCK® grado A420 en una medida, casi sin aumentar el consumo específico por m², al distanciar las perforaciones de 1,0 a 1,15 m cubriendo un 32% más de superficie, con las mismas perforaciones y materiales.

Para mantener la fortificación cada 1,0 m, ahora es necesario que los 4 extremos del cuadrado de la planchuela también, por sí solos, sean capaces de fortificar esa área y por tanto, debe

aplicarse un PRETENSADO del perno. Esta solución también permite ahorros sobre el 20% del costo total de la fortificación, así como una reducción similar en el tiempo de instalación.

Aun cuando la roca presente estratificaciones y planos de fallas, se pueden separar los pernos de 28 mm a 1,15 m empleando una fortificación Activo-Dúctil con tuercas SAFEROCK MT®, planchuelas SAFEROCK PA® y el uso de vainas SAFEROCK L-Zero®, dejando un pretensado inicial de 5 tonf con un torque de 35 kgf x m (ver Tabla 3.4.1). De esta forma, dicha carga no permitirá que las rocas se separen en las fallas del tramo de la vaina, previniendo con esto la deformación de la roca e impidiendo el inicio del derrumbe.

3.7.3 Caso 3: Distanciamiento de los pernos en fortificación Activo-Dúctil

Este caso contempla la posibilidad de aumentar de 1,0 m a 1,25 m entre los pernos de fortificación, pero la roca dentro de esta área podría sufrir con este aumento un desprendimiento o derrumbe y sólo se puede considerar estable un área de 1,15 m x 1,15 m.

En este ejemplo, las cuatro esquinas de la planchuela, separadas entre sí a 1,15 m x 1,15 m contienen una carga similar a la fortificación inicial diseñada con esa distancia entre perforaciones. Originalmente se consideró un tipo de fortificación pasiva, con pernos SAFEROCK® de 19 mm grado A420 separados a 1,0 m, empleando las tuercas SAFEROCK ST® y planchuelas PA® 34-6 (ver Figura 3.7.3.1).

Según se lee de la Tabla 2.2.2.2, este perno resiste una carga máxima de 17,9 tonf y con una separación inicial de 1,0 m entre pernos, el consumo de pernos alcanza a 2,00 kg en 1,0 m² de área tributaria (ver Tabla 3.7.1.2 del Caso 1).

Para distanciar los pernos a un área tributaria de 1,56 m² (1,25 x 1,25), se pasa a una fortificación Activo-Dúctil y se propone utilizar un perno SAFEROCK® de 25 mm de diámetro, grado A420. La Tabla 3.7.3.1 tabula el consumo de pernos y la carga soportada por los pernos a diferentes áreas tributarias. Para el perno SAFEROCK® de 25 mm presenta una resistencia máxima de 19,4 tonf/m² al ser espaciado a 1,25 entre sí y el peso de los pernos es de 2,31 kg/m².

Figura 3.7.3.1

Aumento del área tributaria pasando de una fortificación pasiva a una Activo-Dúctil, empleando pernos SAFEROCK®, con tuercas SAFEROCK MT®, planchuelas SAFEROCK PA® y vaina SAFEROCK L-Zero®. Se distancian los pernos desde 1,0 m, a 1,25 m y cubriendo un área de 1,56 m², pero manteniendo las exigencias de sostenimiento de un área tributaria de 1,15 x 1,15 m² (para aprovechar la máxima distancia de acercamiento de las esquinas de la planchuela SAFEROCK PA® que permite su geometría y que produce el equivalente a un perno virtual)

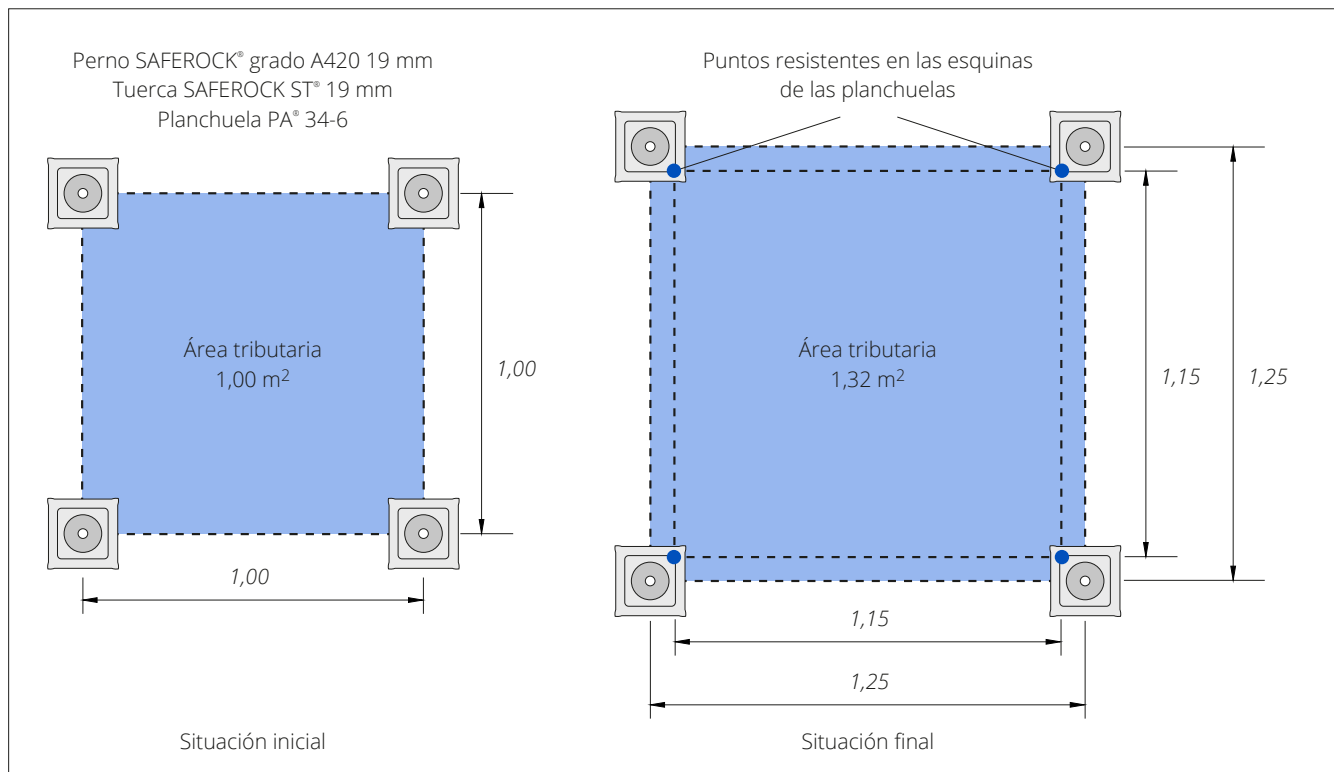


Tabla 3.7.3.1

Consumo de los elementos de fortificación y la carga soportada para tres áreas tributadas, empleando pernos SAFEROCK® grado A420 en una fortificación Activo-Dúctil.

Diámetro Nominal del Perno SAFEROCK®	Consumo Pernos, kg/m ² (*)			Carga Soportada por el Perno, tonf/m ²		
	En Área Tributaria de 1,00 m ² (1x1)	En Área Tributaria de 1,32 m ² (1,15x1,15)	En Área Tributaria de 1,56 m ² (1,25x1,25)	En Área Tributaria de 1,00 m ² (1x1)	En Área Tributaria de 1,32 m ² (1,15x1,15)	En Área Tributaria de 1,56 m ² (1,25x1,25)
mm						
19	2,00	1,52	1,28	17,9	13,6	11,5
22	2,77	2,10	1,78	23,9	18,1	15,3
25	3,60	2,73	2,31	30,9	23,4	19,8
28	4,55	3,45	2,92	38,8	29,4	24,9
32	6,00	4,55	3,85	50,7	38,4	32,5

(*) El consumo se determina como: 1 m longitud del perno x masa lineal del perno) / área tributaria. Para efecto de las comparaciones, se elige una barra de 1 m, debido a que el análisis es válido para cualquier largo de barra y sólo basta multiplicar los consumos por el largo real de la barra diseñada. Esto se debe a que no es común fortificar con sólo 1 m de barra.

Las celdas del mismo color muestran el cambio en el consumo de pernos o el cambio en la carga soportada, al variar desde un diámetro dado al siguiente mayor.

En este caso, se puede concluir lo siguiente:

- 1** La fortificación pasiva con pernos SAFEROCK® de 19 mm distanciados a 1 m resisten una carga de 17,9 tonf/m² y al pasar a una fortificación Activo-Dúctil con pernos SAFEROCK® de 25 mm, la carga resistente sube a 19,8 tonf/m²: Cumple.
- 2** El consumo de pernos de 19 mm es de 2,00 kg/m² (ver Tabla 3.7.3.1) y con pernos de 25 mm, es 2,31 kg/m², un 15,5% más.
- 3** La resistencia del cono de la planchuela PA® 51-8 es de 29,3 tonf, valor muy parecido a la resistencia del perno (30,9 tonf): Cumple.
- 4** Los esfuerzos en las 4 esquinas de estas planchuelas, considerando que ahora tiene un área tributaria de 1,15 m x 1,15 m corresponde a 23,4 tonf y la planchuela PA® 51-8 resiste en las 4 esquinas 23,0 tonf. Los valores son muy parecidos y si estuvieran cerca de cumplir, se puede emplear esta solución o eventualmente iterar bajando la distancia entre ejes de 1,25 m a 1,24 m.
- 5** Este cambio en la especificación genera un ahorro en toda la labor de fortificación, de un 36% en pernos y perforaciones.

Bajo un razonamiento similar, si el diseño inicial contempla una fortificación pasiva con pernos SAFEROCK® de 22 mm para 1,0 m x 1,0 m y se distancian a 1,25 m x 1,25 m, sustituyendo el perno por uno de 28 mm con fortificación Activo-Dúctil, el consumo de pernos pasa de 2,77 kg/m² a 2,92 kg/m² (ver Tabla 3.7.3.1 celdas en color violeta oscuro), un 5,4% más.

Respecto la resistencia por m², pasa de 23,9 y sube a 24,9 tonf. Por otra parte, al emplear el perno de 28 mm, la suma de las cargas resistentes en las 4 esquinas de la planchuela PA® 51-10 es de 38,5 tonf y la resistencia del cono es de 38,3 tonf, son prácticamente iguales a la carga de resistencia del perno (38,8 tonf): Cumple.

De igual forma, si el diseño inicial considera una fortificación pasiva, con pernos de 25 mm para 1,0 m x 1,0 m y se aumenta

la separación a 1,25 m x 1,25 m bajo criterios de fortificación Activo-Dúctil, empleando pernos de 32 mm, el consumo de pernos pasa de 3,60 kg/m² a 3,85 kg/m² (ver Tabla 3.7.3.1 celdas color celeste), un 6,9% más. La resistencia por m² pasa de 30,9 tonf a 32,5 tonf: Cumple.

Por otra parte, la suma de la resistencia de las 4 esquinas de la planchuela PA 65-10 es de 38,5 tonf y la resistencia del cono es de 38,3 tonf y la demanda de carga entre las 4 esquinas es de 49,7 tonf: No Cumple a pesar de estar muy cerca y por tanto se debe bajar la distancia de 1,25 m x 1,25 m a un valor más bajo, por ejemplo, de 1,24 m x 1,24 m y verificar. También se podría emplear una planchuela SAFEROCK PA® de acero de mayor resistencia a la especificada en este Manual, la que debe ser solicitada a pedido.

Nota Importante



En todos estos casos, para lograr que las esquinas de las planchuelas SAFEROCK PA® se transformen en un equivalente a un perno virtual de una resistencia similar al perno SAFEROCK® de la medida anterior que se reemplaza, se debe obligatoriamente dejar un pretensado en la planchuela según se indica en Tabla 3.4.1.

Para esto, se deben además emplear planchuelas de mayor espesor en los diámetros de 22, 25, 28 y 32, que las empleadas con las tuercas estándar a igual diámetro de perno. Esto permite asegurar que las 4 esquinas en conjunto de cada planchuela puedan resistir una carga similar a la del perno pretensado.

Los pretensados iniciales de cada una de estas planchuelas son de valores menores a lo que resisten las 4 esquinas de cada una de ellas, pero es fundamental para asegurar que no exista holgura y por tanto un posible movimiento de la masa de rocas antes que la esquina de la planchuela deba comenzar a oponer resistencia.

Esta precarga hará que las 4 esquinas de las planchuelas estén en todo momento en contacto con la pared o bóveda de la excavación y que comiencen a oponerse al desplazamiento del cuerpo rocoso desde el instante inicial en que pueda ocurrir este fenómeno.



The image features a dark blue background with several 3D geometric forms. On the left, a vertical stack of overlapping, slightly offset circular rings creates a spiral-like effect. Below this, a large, smooth, rounded shape, possibly a sphere or a large bowl, is partially visible. The lighting is soft, highlighting the edges and surfaces of the objects, giving them a sense of depth and volume.

_ C A P Í T U L O 4

Funcionamiento del Sistema SAFEROCK 2.0®

4.1 CÓMO FUNCIONA EL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

4.2 VENTAJAS DEL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

4.1 CÓMO FUNCIONA EL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

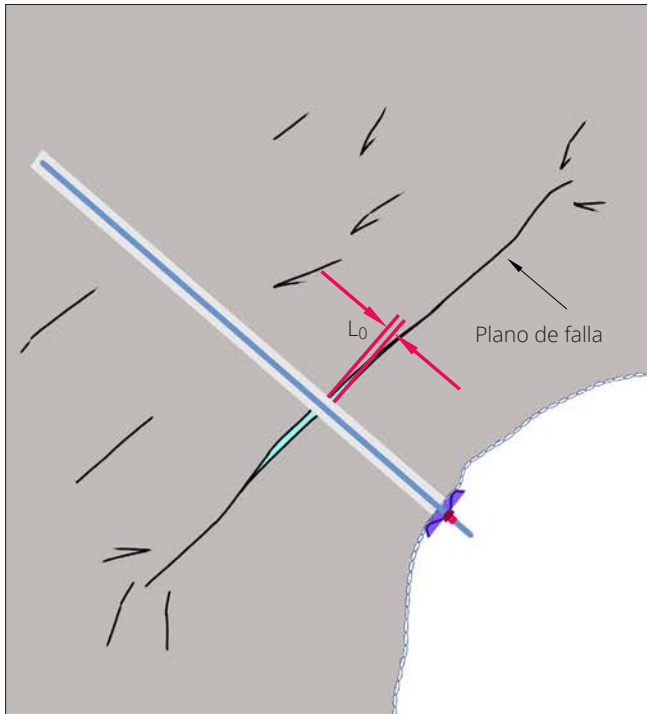
En la Figura 4.1.1 se muestran las dos configuraciones que trata el Sistema SAFEROCK 2.0®. En la configuración de fortificación pasiva de la izquierda, el perno SAFEROCK® emplea la tuerca SAFEROCK ST® y la planchuela SAFEROCK PA®. En este caso el perno va sin vaina SAFEROCK L-Zero® y el tramo del perno que será sometido a tracción y eventualmente corte, estará dentro del seno de la roca, en un plano de falla de ésta. En ese plano se separa la masa desprendida, del tramo interior del perno inmerso y sostenida por el macizo rocoso.

Figura 4.1.1

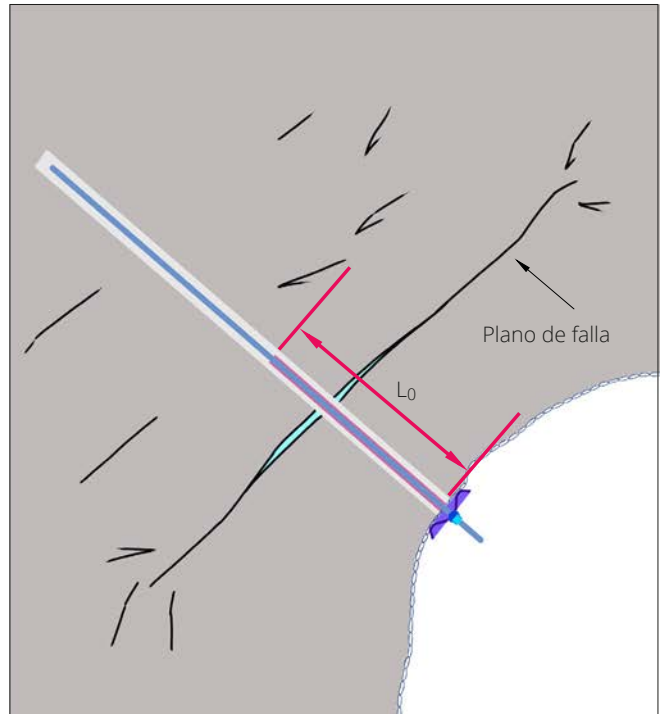
A la izquierda, el tramo de unos pocos centímetros del perno de fortificación que atraviesa la zona donde se abre el plano de falla del cuerpo rocoso, se romperá al alcanzar sólo unos milímetros.

A la derecha, con la vaina puesta de 1 m de L_0 , el perno tendrá para deformarse libremente al menos unos 20 cm, en un perno de grado A280.

Sistema de fortificación pasiva



Sistema de fortificación Activo-Dúctil

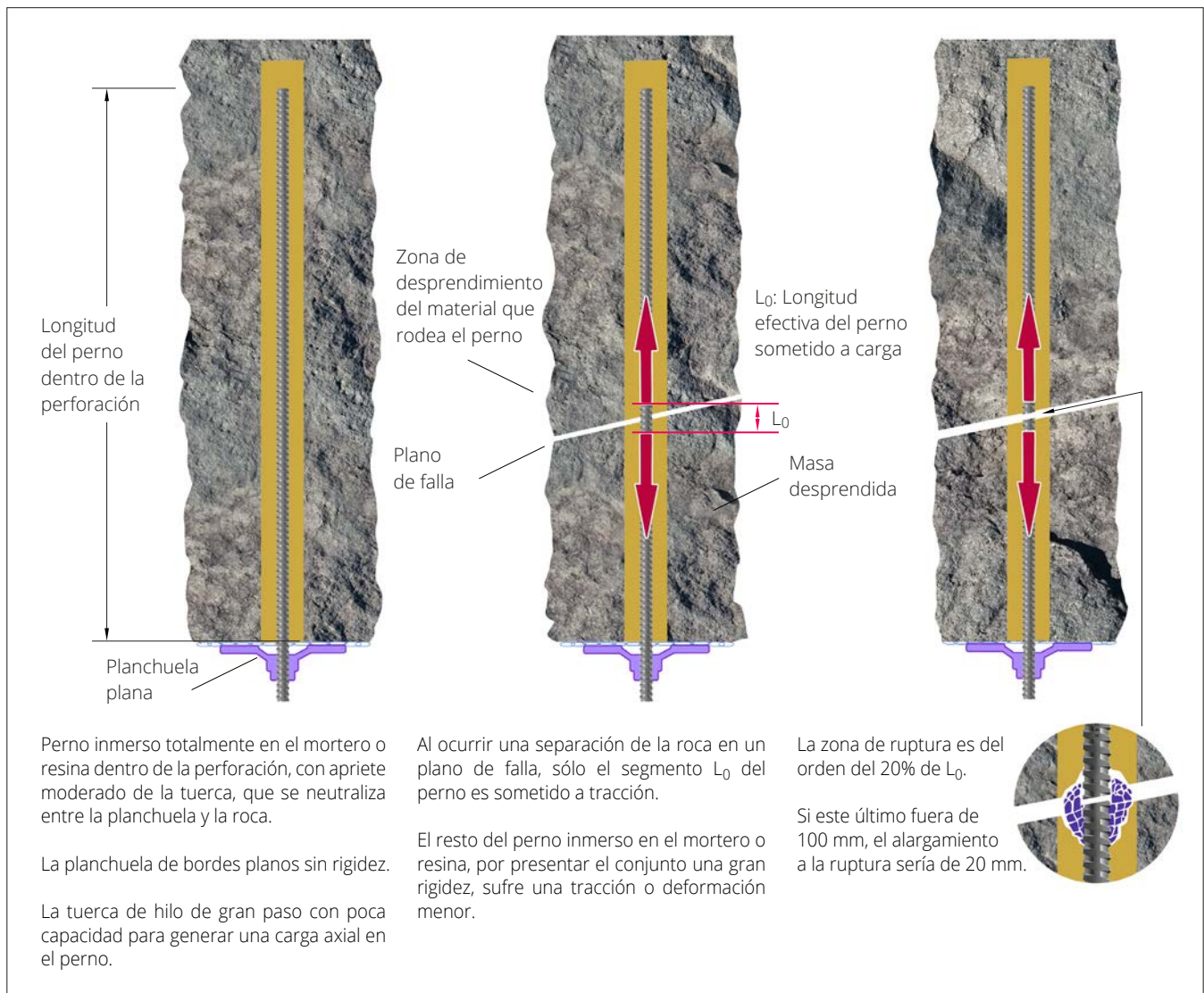


En torno al espacio dejado por la separación de la roca, de unos pocos centímetros, el perno se desprenderá del mortero o resina y actuará como un tramo “ L_0 ” libre sometido a tracción. Así, este tramo pequeño de perno podrá romperse al alcanzar su resistencia máxima, pero con una escasa deformación de unos pocos milímetros.

La configuración habitual de un sistema de fortificación pasiva y esquematizada en la Figura 4.1.2, permite apreciar que el perno está totalmente sumergido y solidario con el mortero o resina en todo su largo y sólo sobresale de la roca un tramo pequeño del perno, de centímetros para colocar la malla, con su planchuela y tuerca SAFEROCK ST®.

Figura 4.1.2

Esquema habitual del refuerzo de roca con un perno SAFEROCK® totalmente inmerso en el mortero o resina y con una planchuela plana normal. Se muestra lo pequeño y localizado que puede ser el segmento del perno que se deforma hasta la ruptura.



En este caso, dejar un pretensado del perno no produce ninguna carga útil que se traslade hacia el interior del macizo, ya que esa fuerza se anula contra la roca en que se apoya la planchuela. Por esta razón, actualmente no se requiere de una tuerca que permita aumentar el tensado, más de los que permite el hilo grueso de las tuercas de los pernos.

Si aparece un plano de falla que desprenda una masa de roca en el interior de este macizo, sólo aparecerá una fuerza que elongará la barra en el largo liberado en torno al plano de falla, por desgrane del mortero o resina en la vecindad de este plano, que puede ser sólo de unos pocos centímetros.

El resto inmerso en el relleno rígido del mortero o la resina, unido totalmente con la roca de soporte, prácticamente no se deformará. Lo mismo ocurrirá con la masa de roca desprendida, que formará un conjunto compacto.

Como ejemplo, si el tramo que se estira de un perno SAFEROCK® del grado A420 fuera de 10 cm ($L_0=10$ cm), entonces, con sólo estirarse un poco más de 2 cm, llegar a su resistencia máxima (el 20% de 10 cm) y el perno se romperá.

Por esta razón, este sistema sin vaina y con el perno totalmente

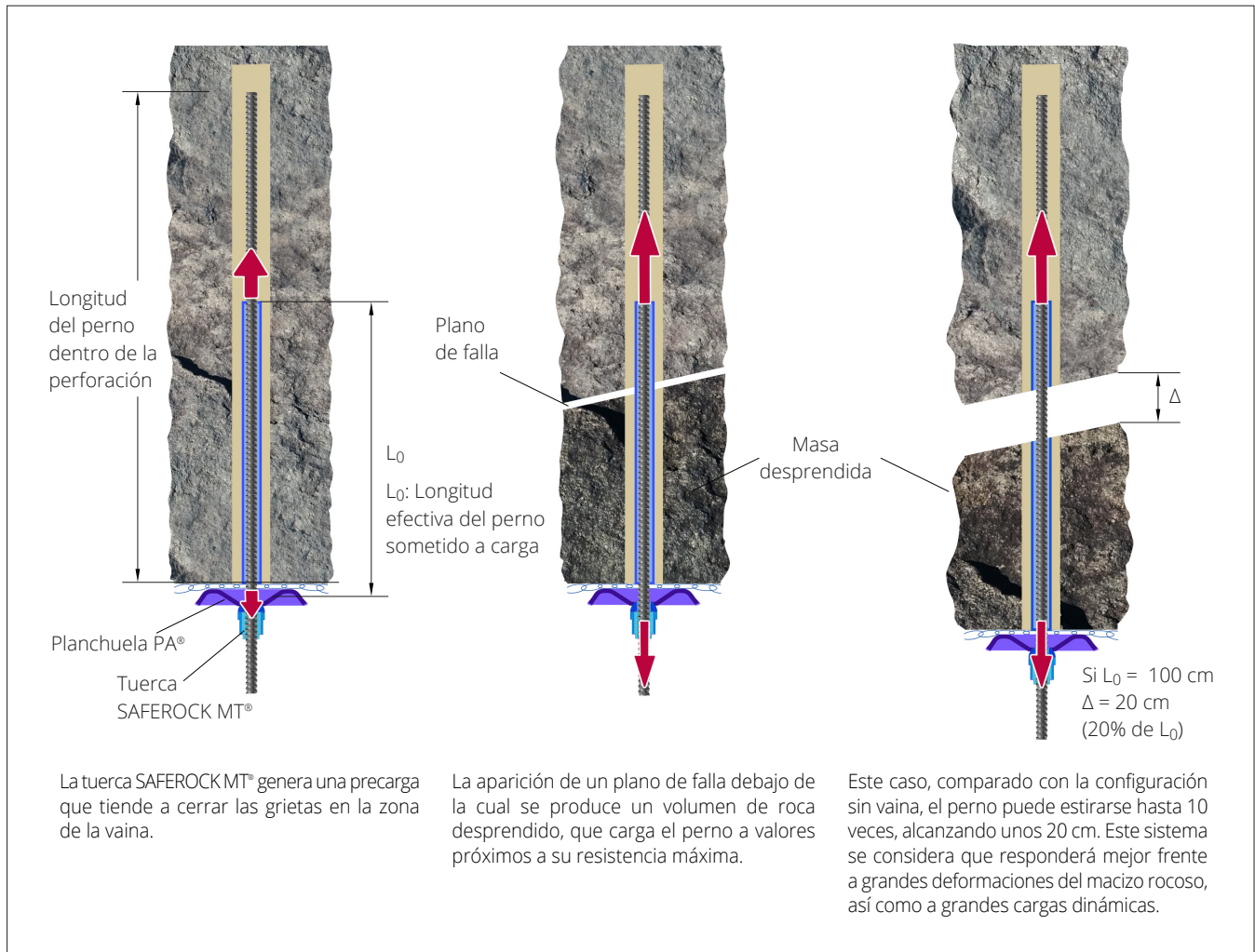
sumergido en un sólido rígido corresponde a una fortificación pasiva, no dúctil.

Por otra parte, si contamos con el Sistema de Fortificación Activo-Dúctil (ver Figura 4.1.3), con una vaina útil y práctica de instalar, una barra similar a la anterior en acero A420, una planchuela rígida y una tuerca que permita un importante apriete inicial en la instalación, entonces si podemos contar con un tramo libre L_0 de, por ejemplo 100 cm. En este caso se podrá estirar 20 cm (10 veces el sistema normal sin vaina) que si se puede definir entonces con toda propiedad como dúctil.

¿Cuánto se deforma un perno SAFEROCK®?



Revise este **microvideo** del ensayo de tracción en un perno SAFEROCK® de 1 metro.



El pre apriete importante que permiten las tuercas SAFEROCK MT® de todo el volumen de rocas del último tramo donde se encuentra la vaina SAFEROCK L-Zero® permite prevenir la aparición de planos de fallas, al mantener una carga viva que confina a todo ese volumen contra la roca de soporte del anclaje.

Por otra parte, la planchuela SAFEROCK PA®, con la mayor rigidez en su perímetro que las planchuelas tradicionales, permite soportar un mayor volumen de roca desprendida, ya que sus bordes podrán por sí mismo presentar una carga activa contra la pared de la roca. Esto permite aumentar el área tributaria del anclaje y por consecuencia, los pernos podrán colocarse a una mayor distancia, con lo que se consigue disminuir el número de perforaciones por metro cuadrado de la faena. Como resultado, se consigue un ahorro

muy relevante del costo de fortificación y de los tiempos empleados para esta labor.

Figura 4.1.3

Esquema de un perno SAFEROCK® inmerso parcialmente en el mortero o resina, con una vaina SAFEROCK L-Zero® y una planchuela SAFEROCK PA®. Se muestra L_0 grande y extenso que puede ser el segmento del perno que se deforma hasta la ruptura, generando una gran deformación plástica próxima a la ruptura.

4.2 VENTAJAS DEL SISTEMA SAFEROCK 2.0®

Comparando con las propiedades de los elementos individuales de fortificación y sostenimiento existentes hoy en día, los nuevos productos que forman parte de lo entregado en este Manual presentan una mayor resistencia, una mayor ductilidad, un mejor ajuste y sobre todo, un mejor desempeño como conjunto.

El Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0® permite maximizar el desempeño del conjunto de componentes, más que maximizar las propiedades de algún componente individual, eliminando los puntos débiles de cada uno de ellos, en su función específica dentro del Sistema de Fortificación.

Mejora además los tiempos de instalación de cada perno individual y a la vez, permite disminuir el número total de pernos y perforaciones por avance comparado con el modelo convencional. Todo esto contribuye a minimizar los tiempos de instalación de la fortificación en faena y por tanto, se mejora la productividad de avance de los túneles.

Se pueden diseñar ahora configuraciones efectivas y dúctiles para una fortificación activa, ya sean pre o postensadas, mediante el conjunto de pernos SAFEROCK®, tuercas SAFEROCK MT®, planchuelas SAFEROCK PA® y vainas SAFEROCK L-Zero®.

La mayor rigidez de las planchuelas SAFEROCK PA®, que se consigue con el atiesado de su perímetro, permite además un contacto suave entre su superficie de apoyo y los alambres, evitándose totalmente que estos últimos toquen

los cantos vivos de la planchuela. De esta forma se entrega una protección efectiva a la integridad a la malla minera preservando en todo momento su capacidad de embolsar y contener derrumbes parciales entre los pernos de fortificación.

Las tuercas comunes pueden apretar como máximo con giro de un cuarto de vuelta, ya que tanto el perno como la planchuela, son demasiado rígidos frente a la carga axial conseguida con una llave con un hilo de paso tan grande, como el de los pernos SAFEROCK®. De esta forma, ni la planchuela ni el perno presentarán la más mínima deformación elástica con ese apriete y por tanto, bastará la más mínima vibración de cuerpo rocoso para que este tipo de tuerca eventualmente se suelte.

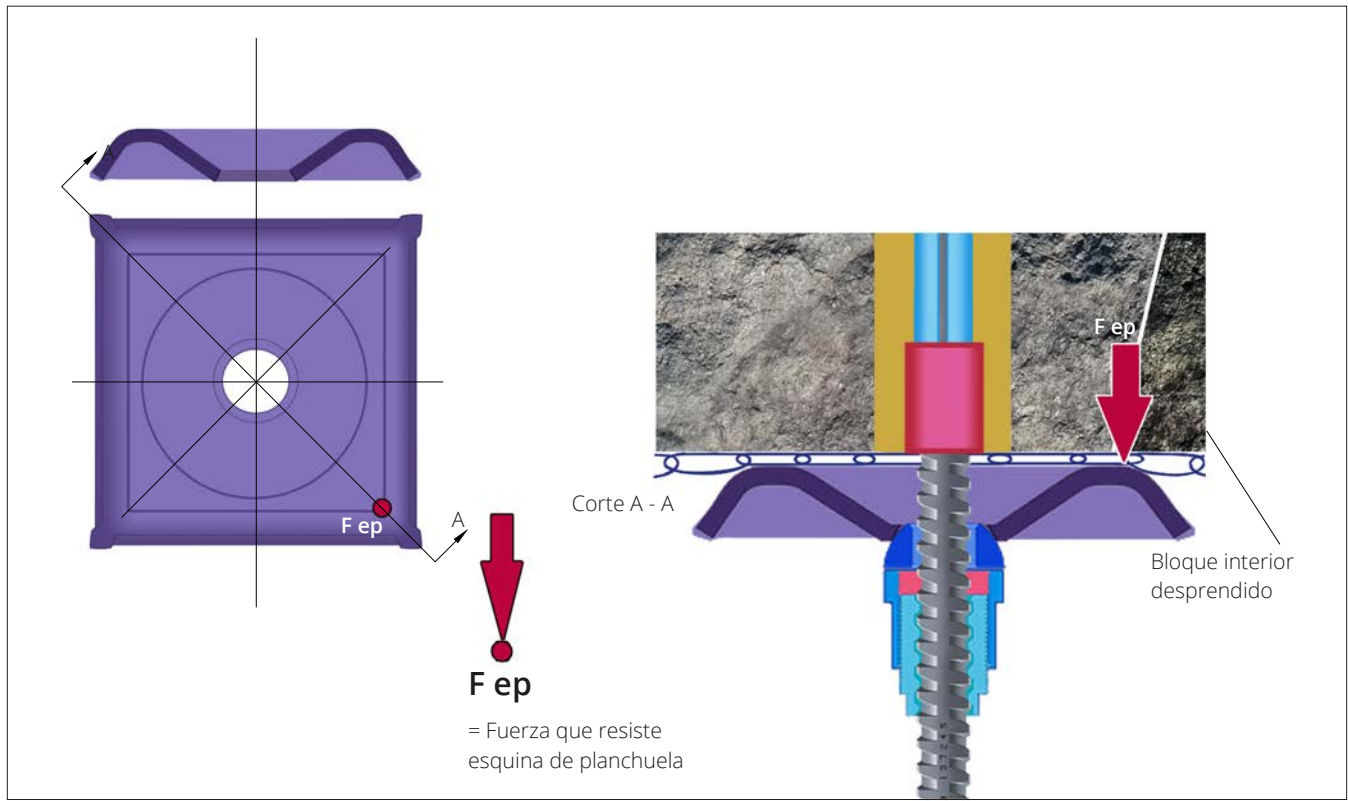
Con la tuerca SAFEROCK MT® y su efecto multiplicador de torque, se pueden obtener al menos 5 vueltas completas de tuerca, duplicando o triplicando el apriete del perno. Esto permite comprimir el cono de la planchuela y la malla en más de 3 mm, dejando una importante energía almacenada en la deformación elástica de éstos. De esta forma la tuerca SAFEROCK MT® se mantendrá firmemente apretada en su lugar, no dejando la posibilidad de perder el pre o post tensado aplicado.

Las nuevas propiedades del Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0® permiten separar las perforaciones, disminuyendo con esto su número por metro de avance del túnel.

Esto se consigue para una demanda de soporte y fortificación del sector específico del túnel, mediante dos nuevas alternativas:

1º Mayor variedad de diámetros y grados de acero de la serie SAFEROCK®, con pernos de 16, 19, 22, 25, 28 y 32 mm, que permite lograr el mismo soporte por m² con menos barras (y por tanto, perforaciones) por m².

2º Mayor resistencia y rigidez con pretensado, entrega la posibilidad de distanciar las perforaciones por el empleo de planchuelas SAFEROCK PA®, que debido a su nuevo diseño, sostienen también la pared o bóveda con las esquinas de estas planchuelas.



La Figura 4.2.1 muestra el caso particular de la planchuela SAFEROCK PA® 65-10. Por diseño y su espesor de 10 mm, considerando su atiesado perimetral, el vértice del plano cuadrado exterior de la planchuela puede soportar una carga de 9,6 tonf doblándose sólo 5 mm. Por lo tanto, este punto sostiene la roca como si existiera un perno virtual con esa resistencia.

Las planchuelas planas empleadas actualmente, no tienen rigidez en ese punto y por lo tanto no pueden sostener un derrumbe con esa parte de su superficie.

Aunque en algunos casos se podrían consumir un poco más de pernos en kg/m², igual resultará en un ahorro cercano al 24% del costo total de instalación de la fortificación, en el caso de aumentar la distancia entre pernos de 1,0 m a 1,15 m, ya que el costo directo de los componentes de acero de la fortificación aumentará de 4% y no más de 5,5% debido a las mayores dimensiones de las barras, tuercas y planchuelas.

Este desarrollo constituye un aporte a la industria minera, ya

Figura 4.2.1

Ejemplo de rigidez y resistencia del perímetro de la planchuela SAFEROCK PA® 65-10, que permite a cada vértice sostener por sí mismo una carga de 9,6 tonf como si fuera un perno virtual.

que además baja el tiempo de instalación de los pernos, tuercas y mallas en porcentajes también cercanos al 24%. Esto se debe al reducir el número de perforaciones para una misma superficie a fortificar, según avanza la excavación.

Las posibilidades que entrega el nuevo Sistema de Fortificación y Contención SAFEROCK 2.0®, será de gran ayuda para la industria minera y de obras civiles, al permitirle bajar los costos de instalación y aumentar la productividad en cifras de alto impacto, como las indicadas.



_ A N E X O S

A.1 PRUEBAS DE COLAPSO DE LAS PLANCHUELAS

A.2 TABLAS DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

A.1. PRUEBAS DE COLAPSO DE LAS PLANCHUELAS

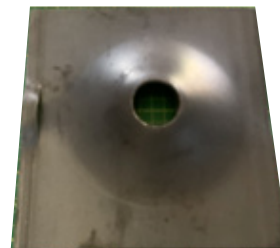
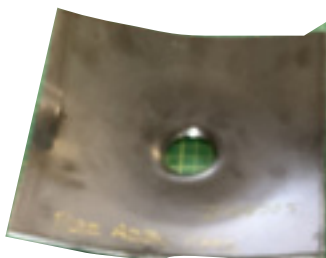
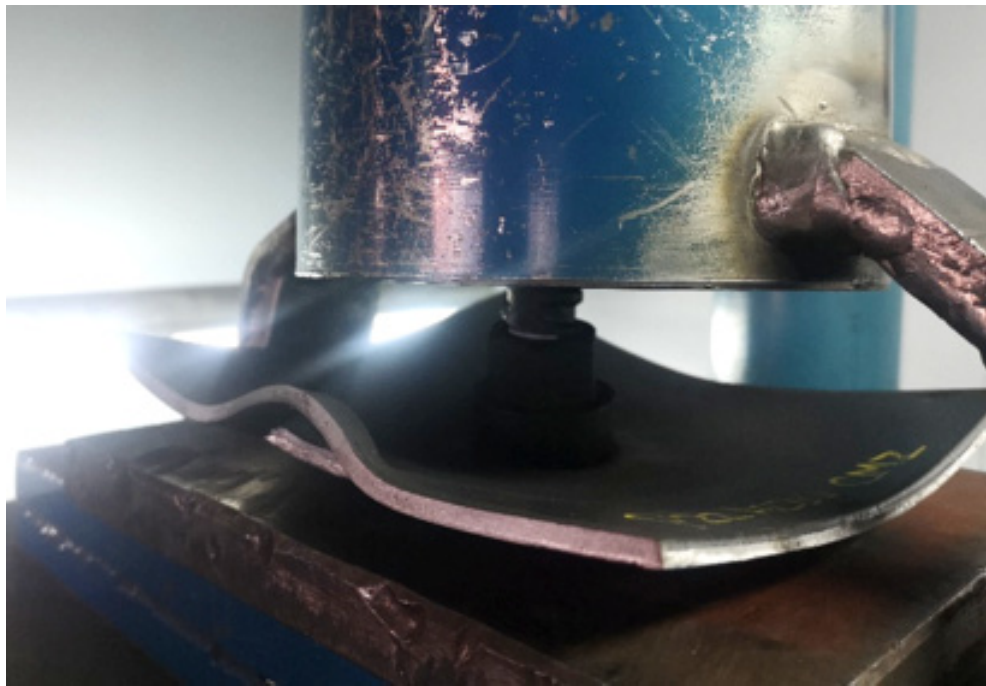
De las debilidades que presentan los sistemas de fortificación tradicionales, se encuentra en las planchuelas utilizadas. Su cono central y una superficie plana, al trabajar aplastado contra la tuerca por la roca que sostiene, el cono es punzonado de vuelta y la plancha se invierte, perdiendo su rigidez. Así, a veces la planchuela se dobla como un cono y eventualmente se introduce en la roca, soltando además la malla de contención.

En la Figura A.1.1 se aprecia este fenómeno en un ensayo

mecánico, donde la planchuela pierde su integridad y eventualmente se da vuelta, mucho antes de que el perno esté cerca de romperse por tracción.

Figura A.1.1

Colapso de la planchuela tradicional en un ensayo mecánico de un perno con su tuerca. La planchuela termina aplastada en su cono central y dándose vuelta en todo su perímetro.



Otra debilidad que presenta la planchuela plana tradicional es que su perímetro cuadrado se origina por un corte, generalmente por cizalla, de una plancha más grande, por lo que presenta bordes de cantos vivos. Estos bordes se apoyan sobre los alambres de las mallas, en el momento en que estas embolsan una masa apreciable de desprendimiento de rocas entre pernos. El alambre de la malla es traccionado y simultáneamente sometido a un esfuerzo de corte que lo rompe, provocando un desprendimiento de rocas y eventualmente, puede iniciar un derrumbe mayor.

A diferencia de las planchuelas planas tradicionales, el nuevo diseño que presenta la planchuela SAFEROCK PA® en todos

los casos testeados, se observa su perímetro más estable sin modificar su geometría que gracias al borde curvo y aunque colapse e incluso se invierta al aplicar la carga máxima, permite evitar el corte de la malla por cizalle. La Figura A.1.2 muestra una planchuela PA® ensayada hasta el colapso del cono.

Figura A.1.2

Planchuela SAFEROCK PA® ensayada hasta el colapso del cono central y cuyo perímetro atiesado permanece estable post carga.



Las Figuras A.1.3 y A.1.4 muestran ensayos de laboratorio realizados sobre el conjunto perno SAFEROCK® - tuerca MT® - planchuela PA® donde el perno SAFEROCK® trabaja a la ruptura, manteniendo resistentes el trabajo de la tuerca MT® y la planchuela PA®.

Figura A.1.3

Ensayos de conjuntos de pernos SAFEROCK® 25 mm grado A280, tuerca MT® y planchuela PA® de 8 mm de espesor, sometidos a tracción. Se observa la ruptura del perno sin el

colapso del cono de la planchuela (Fuente: Informe de Ensayo N° 1571820 del 15 diciembre de 2021, realizado en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de DICTUC).



Figura A.1.4

Ensayos de conjuntos de pernos SAFEROCK® 28 mm grado A420, tuerca MT® y con planchuelas PA® de 10 mm de espesor, sometidos a tracción. Se observa la ruptura del perno y la deformación

del cono de la planchuela que mantiene su perímetro (Fuente: Informe de Ensayo N° 1571820 del 15 diciembre de 2021, realizado en el Laboratorio de Ingeniería Mecánica de DICTUC).



A.2 TABLAS DE CONVERSIÓN DE UNIDADES

Tabla A.2.1

Factores de Conversión de Unidades

Cantidad	Multiplicar		por	Para obtener	
Longitud Espesor	centímetro	cm	0,3937	pulgada	in
	decímetro	dm	0,3281	pié	ft
	kilómetro	km	0,6215	milla terrestre	mill t
	metro	m	1,0936	yarda	yd
	micra	μ	0,001	milímetro	mm
	milímetro	mm	10^{-3}	metro	m
	milla náutica	mill n	1,852	kilómetro	km
	pié	ft	12,0	pulgada	in
	pulgada	in	2,540	centímetro	cm
	milésima de pulgada	mils	$2,54 \times 10^{-2}$	milímetro	mm
yarda	yd	36,0	pulgada	in	
Area	centímetro cuadrado	cm ²	0,1550	pulgada cuadrada	in ²
	hectárea	há	10^4	metro cuadrado	m ²
	metro cuadrado	m ²	10,76	pié cuadrado	ft ²
	milímetro cuadrado	mm ²	10^{-2}	centímetro cuadrado	cm ²
	pié cuadrado	ft ²	$9,29 \times 10^{-2}$	metro cuadrado	m ²
	pulgada cuadrada	in ²	6,452	centímetro cuadrado	cm ²
	yarda cuadrada	yd ²	9,0	pié cuadrado	ft ²
Volumen	centímetro cúbico	cm ³	$6,102 \times 10^{-2}$	pulgada cúbica	in ³
	galón Británico	gl (b)	4,546	litro	lt
	litro	lt	0,2642	galón US	gl (a)
	metro cúbico	m ³	35,31	pié cúbico	ft ³
	milímetro cúbico	mm ³	10^{-3}	centímetros cúbicos	cm ³
	pié cúbico	ft ³	0,02832	metro cúbico	m ³
	pulgada cúbica	in ³	16,39	centímetros cúbicos	cm ³
Masa	miligramo	mg	10^{-3}	gramo	g
	gramo	g	$35,27 \times 10^{-3}$	onza (avoidupois)	oz-av
	kilogramo	kg	2,205	libra (avoidupois)	lb-av
	tonelada métrica	t	10^3	kilogramos	kg
	tonelada corta	tc	2×10^3	libra (avoidupois)	lb-av
	onza (avoidupois)	oz-av	28,35	gramo	g
	libra (avoidupois)	lb-av	0,4536	kilogramo	kg
Masa/unidad de longitud	kilogramo/metro	kg/m	0,6720	libra/pié	lb/ft
	kilogramo/metro	kg/m	$5,6 \times 10^{-2}$	libra/pulgada	lb/in
	libra/pié	lb/ft	1,488	kilogramo/metro	kg/m
	libra/pulgada	lb/in	17,86	kilogramo/metro	kg/m

Tabla A.2.1 (conclusión)

Factores de Conversión de Unidades

Cantidad	Multiplicar		por	Para obtener	
Masa/unidad de volumen Densidad	gramo/centímetro cúbico	g/cm ³	36,13 x 10 ⁻³	libra/pulgada cúbica	lb/in ³
	kilogramo/metro cúbico	kg/m ³	62,43 x 10 ⁻³	libra/pié cúbico	lb/ft ³
	libra/pulgada cúbica	lb/in ³	27,68	gramo/centímetro cúbico	g/cm ³
	libra/pié cúbico	lb/ft ³	16,02	kilogramo/metro cúbico	kg/m ³
Fuerza	kilogramo-fuerza	kgf	9,807	Newton	N
	kilogramo-fuerza	kgf	2,205	libra-fuerza	lbf
	Newton	N	0,1020	kilogramo-fuerza	kgf
	libra-fuerza	lbf	0,4536	kilogramo-fuerza	kgf
Fuerza/unidad de Area Presión Tensión	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm ²	98,07 x 10 ⁻³	mega pascal	MPa
	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm ²	14,22	libra-fuerza/pulgada cuadrada	psi
	mega pascal	MPa	10,20	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm ²
	libra-fuerza/pulgada cuadrada	psi	7,03 x 10 ⁻²	kilogramo-fuerza/cm cuadrado	kgf/cm ²
Energía	Joule	J	0,738	pié x libra-fuerza	ft x lbf
	Joule	J	0,948 x 10 ⁻³	British Therman Unit	BTU
	Joule	J	0,239	caloría	cal
	Joule	J	0,278 x 10 ⁻⁶	kilowatt hora	kWh
	pié x libra-fuerza	ft x lbf	1,356	Joule	J
	British Therman Unit	BTU	1,055 x 10 ³	Joule	J
	caloría	cal	4,187	Joule	J
	kilowatt hora	kWh	3,6 x 10 ⁶	Joule	J
Momento Flector Torque	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m	9,807	Newton x metro	N x m
	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m	7,233	libra-fuerza x pié	lbf x ft
	Newton x metro	N x m	0,1020	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m
	libra-fuerza x pié	lbf x ft	0,1383	kilogramo-fuerza x metro	kgf x m
Ángulo	grado	°	17,45 x 10 ⁻³	radián	Rad
	radián	rad	57,30	grado	°
Temperatura	grado Fahrenheit	°F	(°F-32)/1,8	grado Celsius	°C
	grado Celsius	°C	1,8x°C+32	grado Fahrenheit	°F



ACEROS AZA S.A.

La Unión 3070, Renca, Santiago - Chile

Código Postal 8640194

Teléfono: +56 2 2677 9100

asistencia.tecnica@aza.cl

www.aza.cl