

UNA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO
DE MATERIALES EMPLEADOS EN ESPELEOLOGÍA

Aitana E. Tamayo Hernando

Curso de Instructores Deportivos en Espeleología y Descenso de Cañones
Ramales de la Victoria 2009

Abstract

El conocimiento de los materiales que se emplean en la espeleología es de vital importancia a la hora de predecir su comportamiento en condiciones normales de uso, así como para interpretar con criterio los resultados de los ensayos que se realizan.

En este trabajo se realiza, de manera muy somera, una primera aproximación a la ciencia de los materiales, introduciendo al lector simples conceptos de mecánica de materiales y procesos de corrosión. En primer lugar se analiza la información que se puede obtener de los ensayos de tracción y se hace un pequeño análisis de algunos detalles que se podrían optimizar en los estudios que se realizan actualmente. A continuación, se introducen algunos conceptos simples de corrosión de materiales, para pasar a la descripción de algunos resultados relevantes obtenidos en ensayos de laboratorio.

A pesar de la gran variedad de materiales que se emplean en la espeleología, en este trabajo se estudian principalmente los materiales metálicos, y en concreto, los mosquetones de aluminio. El estudio de placas, tornillos, anclajes químicos, etc, daría lugar a otro trabajo, así como otras familias de materiales como cuerdas, cordinos, cintas etc.

INDICE

1. Conceptos básicos.....	4
1.1. Clasificación de los materiales	4
1.2. Conceptos de mecánica de materiales.....	7
1.1. Diagramas Tensión – Deformación	11
1.2. Propiedades elásticas de los materiales	12
1.3. Resiliencia	14
2. Fuerzas aplicadas en los anclajes	15
3. Aleaciones de aluminio	18
4. Ensayos sobre materiales de aluminio	19
5. Corrosion.....	24
5.1. Algunas consideraciones electroquímicas	25
5.2. Tipos de corrosión	29
6. Fatiga.....	32

UNA APROXIMACIÓN AL ESTUDIO DE MATERIALES EMPLEADOS EN LA ESPELEOLOGÍA

1. Conceptos básicos

1.1. Clasificación de los materiales

Existen multitud de clasificaciones de los materiales. Atendiendo al origen de los materiales, se pueden clasificar en materiales naturales, como la seda o la calcita o sintéticos, como el Kevlar™ o el hormigón. Si nos fijamos en su composición química, podemos distinguir entre materiales metálicos y no metálicos; siendo, por ejemplo un material metálico el hierro y no metálico el yeso. En función de su procesado, distinguimos entre materias primas y material elaborado. Y así, sucesivamente. Sin embargo, desde el punto de vista de la ingeniería de materiales, distinguimos tres grandes familias de materiales: Cerámicos, Metálicos y Poliméricos. Esta clasificación tradicional se ha realizado atendiendo en parte a su origen químico y las características principales que los diferencian.¹

Metales: Su principal característica es la conductividad térmica y eléctrica, alta resistencia mecánica, rigidez y ductilidad. Son particularmente útiles en aplicaciones estructurales o sometidas a cargas estáticas o dinámicas. Se puede distinguir, de manera general, entre materiales metálicos féreos y no féreos. Las aleaciones son combinaciones de metales en las que se combinan las propiedades de los metales que la componen para proporcionar una serie de propiedades mejoradas.



Fig. 1 Envase de refresco fabricado en tres tipos de materiales

Cerámicos: Su característica principal es la baja conductividad eléctrica y térmica, siendo frecuentemente empleados como materiales aislantes. Soportan generalmente bien las cargas estáticas, aunque son frágiles y quebradizos.

Polímeros: A veces mal llamados plásticos. Son grandes estructuras poliméricas que, generalmente presentan baja conductividad eléctrica y térmica, baja resistencia mecánica y escasa estabilidad a altas temperaturas. En general se distinguen los polímeros termoplásticos, que poseen una buena ductilidad y conformabilidad, y los polímeros termoestables, formados por cadenas moleculares fuertemente enlazadas que los hacen más frágiles.

De esta manera, cada material tiene unas propiedades que lo caracterizan y diferencian de los demás y determinan su utilidad.

Las propiedades de los materiales son también muy variadas. Así, podemos distinguir entre propiedades:

- Sensoriales:
 - Color
 - Textura
 - Brillo
- Físico – químicas
 - Transparencia. Comportamiento frente a la luz. Se distinguen en traslúcidos, transparentes y opacos
 - Oxidación. Comportamiento cuando se somete a agentes químicos o atmosféricos
 - Conductividad eléctrica. Comportamiento frente a la electricidad
 - Conductividad térmica. Comportamiento frente al calor
- Mecánicas
 - Dureza. Un material es duro o blando respecto de otro material que pueda o no rayarlo
 - Tenacidad / Fragilidad. Un material es tenaz cuando aguanta los golpes sin romperse y es frágil cuando se rompe al ser sometido a impactos

- Elasticidad / Plasticidad. Un material es elástico cuando al aplicarle una fuerza se deforma y, al retirarla, recupera su forma original, y es plástico cuando al retirar la fuerza continua deformado
- Resistencia mecánica. Comportamiento frente a esfuerzos sin romperse
- Tecnológicas
 - Fusibilidad. Capacidad de pasar de solido a liquido con la temperatura
 - Ductilidad. Capacidad de transformarse en hilos cuando se estira
 - Maleabilidad. Capacidad de transformarse en laminas cuando se comprime

La elección de uno u otro material para una determinada aplicación dependerá de sus propiedades, pero también de su disponibilidad, coste y posibilidad de fabricación.

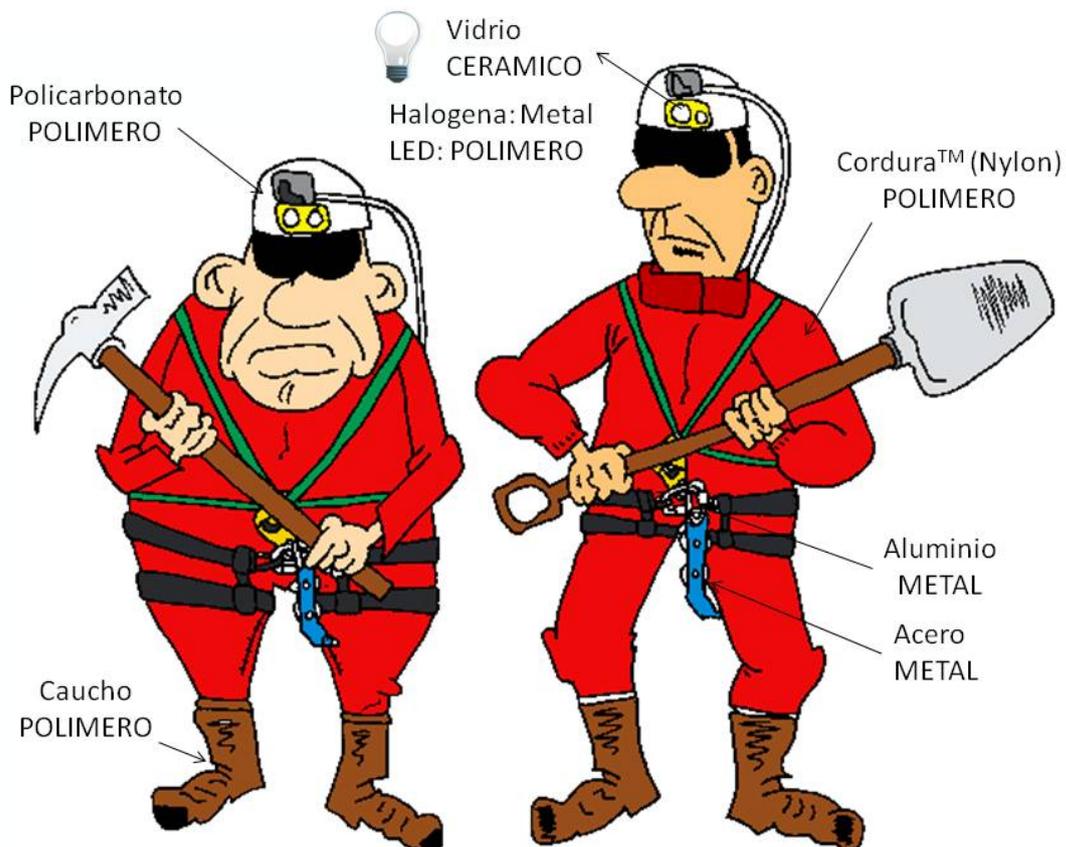


Fig. 2 Variedad de materiales empleados en espeleología

1.2. Conceptos de mecánica de materiales

Durante la vida en servicio de un material, este puede estar sujeto a diversas fuerzas o cargas. El comportamiento mecánico del material será su respuesta frente a la carga aplicada. Las formas principales de aplicación de carga son Tensión, Compresión y Cizalladura (ver **Fig. 3**).

- Fuerza de Tensión o de Tracción: Es una carga constituida por dos fuerzas de la misma dirección pero diferente sentido que tienden a aumentar la longitud del material
- Fuerza de Compresión: Es una carga constituida por dos fuerzas de la misma dirección pero diferente sentido que tienden a disminuir la longitud del material
- Fuerza de Cizallamiento: Es una carga constituida por dos fuerzas en dirección próxima o paralela y sentido contrario que tienden a producir el desplazamiento de un sector del cuerpo respecto de otro (es decir, un corte)

Para determinar la resistencia de un material, se somete a éste a fuerzas externas que van en progresivo aumento hasta llegar a la fuerza máxima en el cual el material se rompe. La resistencia de un material es independiente de su forma, puesto que es una característica *intrínseca* del mismo.

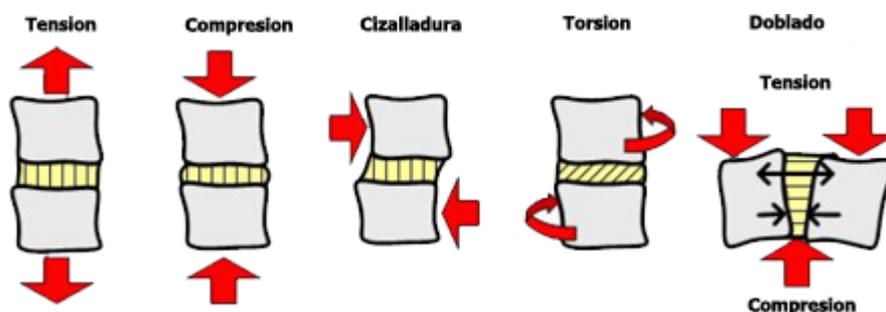


Fig. 3 Tipos de aplicación de carga y sus combinaciones

Para obtener valores comparativos, la resistencia del material se expresa en función de la superficie:

$$\frac{\text{Fuerza}}{\text{Superficie}} = \left[\frac{N}{m^2} \right] = [Pa]$$

N = Fuerza aplicada a 1 kg de masa imprimiéndole una aceleración de 1 m/s

MPa = 10^6 Pa

$$F = m a$$

$$F = [kg \ m \ s^{-2}]$$

Un espeleólogo de 70 kg, por tanto ejercerá una fuerza de 686,7 N, simplemente por su propio peso.

Aunque ya hemos mencionado algunas de las propiedades de los materiales, es necesario tener claros una serie de conceptos:

Rigidez: Es la capacidad del material de sufrir esfuerzos sin sufrir grandes desplazamientos. Se determina mediante el Módulo de Elasticidad o Módulo de Young (E) y se mide en MPa

Resistencia: Es la carga máxima que puede soportar un material sin romper. Se mide en unidades de tensión (MPa)

Ductilidad: Medida de la capacidad para deformar plásticamente sin fractura. Lo contrario de dúctil es frágil.

Tenacidad: Medida de la capacidad para absorber energía. Se determina en J/m^3

Dureza: Resistencia a la indentación y/o abrasión. Es una medida relativa, existiendo varias escalas de comparación (Rockwell, Brinell, Vickers). Lo contrario de duro es blando.

Las propiedades de los materiales dependen, además de la temperatura a la cual los estemos usando. En general, nosotros nos movemos a temperatura ambiente, sin embargo, para

determinadas aplicaciones si que es necesario considerar otras temperaturas. Este es el caso de las bombillas de los frontales eléctricos, que son de vidrio en lugar de materiales plásticos transparentes. Las bombillas halógenas disipan parte de su energía en forma de calor, que la bombilla tiene que soportar sin romperse y manteniendo su forma y demás características. En el caso de los LED, ya si que es posible fabricar cápsulas poliméricas (o de plástico) ya que su eficiencia es mucho mayor al no disipar la energía producida en forma de calor.

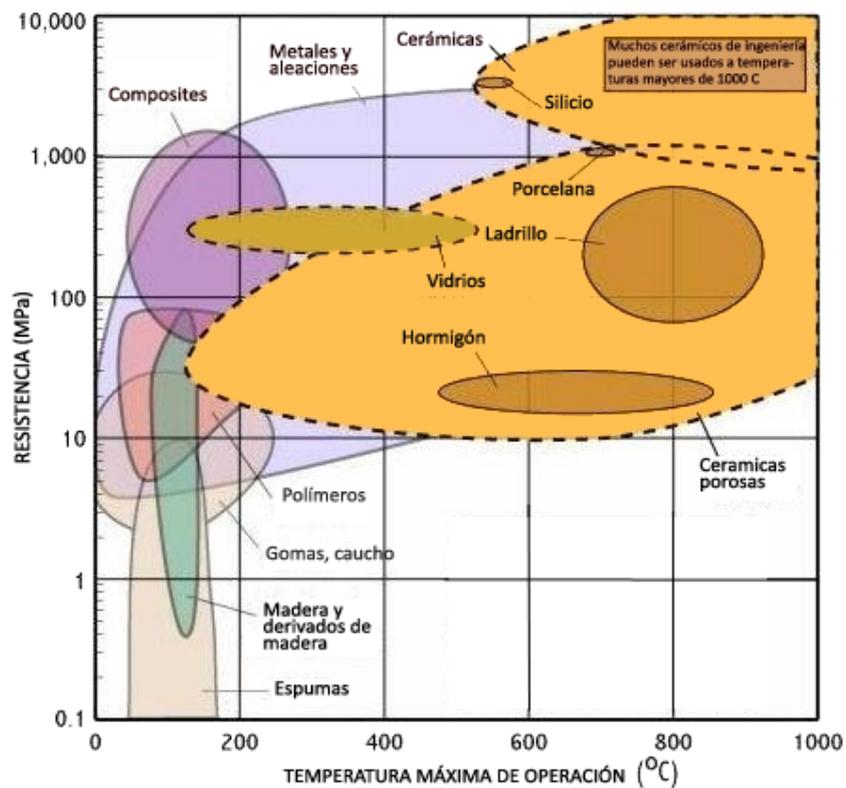


Fig. 4 Comparación entre la resistencia de diversos materiales en función de la temperatura de operación

Cuando se aplica una fuerza de tensión uniaxial (en la misma dirección y sentidos opuestos hacia los extremos del material), se produce una elongación en la dirección de la fuerza. Este desplazamiento se denomina deformación. La deformación se define como el cociente entre el cambio de longitud del material y su longitud original. Es, por tanto, una medida *adimensional*.

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}$$

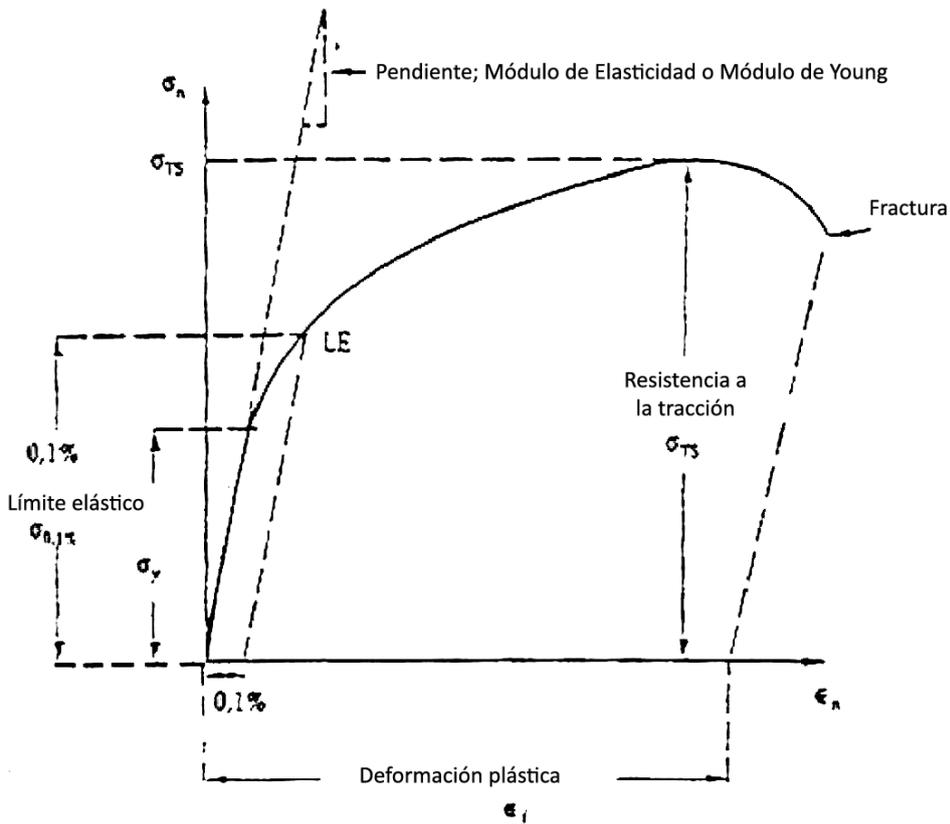
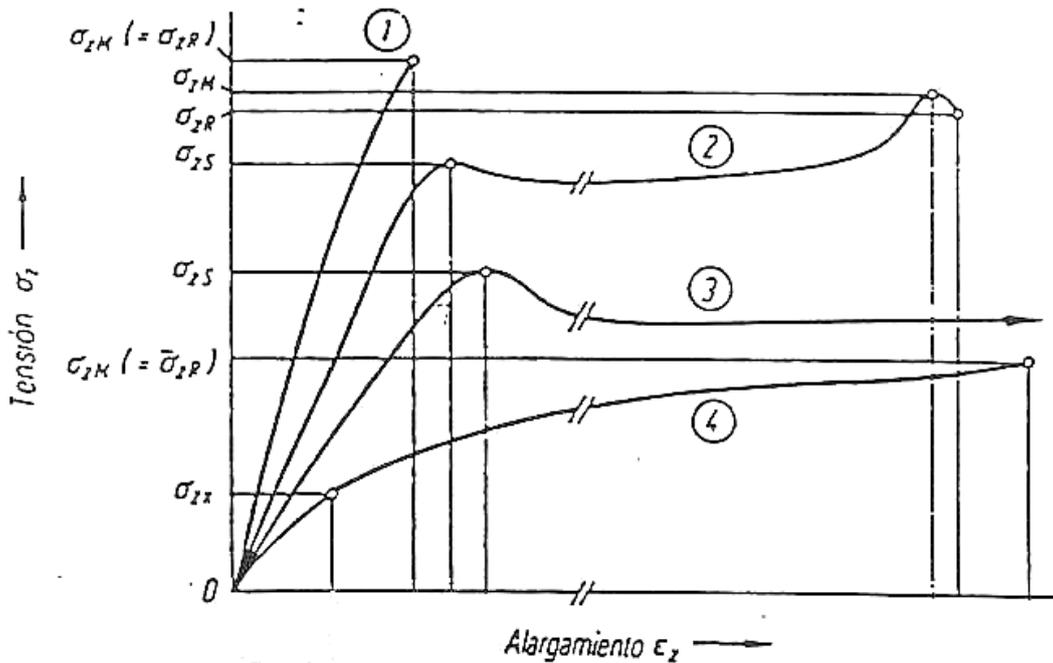


Fig. 5 Diagrama genérico de tensión deformación. En él se representan las principales características de los materiales que se pueden obtener a partir de estos diagramas



Diagramas tensión-alargamiento (tracción)
 1 plástico quebradizo, 3 plástico estirable,
 2 plástico deformable, 4 plástico plastificado.

Fig. 6 Diagrama Tensión – Deformación de materiales plásticos.

1.1. Diagramas Tensión – Deformación

La evaluación de varias propiedades mecánicas de los materiales se realiza mediante ensayos de tensión o tracción. En estos ensayos se aplica una tensión uniaxial a lo largo del eje de la muestra (o probeta) que se va incrementando gradualmente hasta que el material se rompe. En la muestra, antes de ser aplicada la tensión, se realizan dos marcas equidistantes del centro de la probeta y se determina la distancia entre ambas marcas (esto está normalizado, existe una serie de normas europeas e internacionales que determinan, tanto la distancia entre las marcas como la longitud de la probeta). A lo largo del ensayo se va midiendo la distancia entre ambas marcas, para determinar así la elongación del material. Se registran en continuo la tensión aplicada y la elongación. La representación de la tensión frente a la deformación se denomina Diagrama Tensión – Deformación y es característico para cada material.

En la *Fig. 5* se muestra un diagrama genérico de Tensión deformación. En él se representan algunas de las principales características mecánicas de los materiales.

Límite Elástico: Es la carga máxima que puede soportar un material antes de sufrir deformación plástica. La **deformación plástica** es el modo de deformación en el cual el material no regresa a su forma original después de retirar la carga. Cuando se aplican cargas que no superan el límite elástico, la deformación sufrida por el material se denomina **deformación elástica**.

A menudo podemos encontrar el término **fluencia**, que es el límite que define la transición de deformación elástica a deformación plástica.

Módulo de Elasticidad o de Young: Caracteriza el comportamiento de los materiales dentro del límite elástico. Se define como la relación que existe entre la tensión (σ) y la deformación elástica del

material (ε)¹. Para la determinación del Módulo de Young, la carga aplicada nunca debe superar el límite elástico. Se mide en MPa.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Resistencia a la tracción: Es la carga máxima resistida por la probeta dividida por su sección inicial.

En la *Fig. 6* se representan algunos diagramas tensión – deformación para materiales plásticos, pero que se pueden extender a cualquier otro tipo de materiales. Como se observa, la curva número 1 corresponde a un material frágil, que no soporta ningún tipo de deformación plástica. Es típico de los materiales cerámicos, por ejemplo. Son capaces de soportar grandes tensiones, pero, al llegar al límite elástico rompen sin deformación. Un ejemplo son los ladrillos. La curva número 2 corresponde a un plástico deformable. Es también una curva típica de ciertos metales. Cuando la carga supera el límite elástico, el material se comienza a deformar irreversiblemente (deformación plástica) hasta que llega un punto en que lo admite más carga y se rompe. Las gomas o cauchos son ejemplos de material número 3, en el cual tenemos un límite elástico por debajo del cual el material vuelve a su forma original al cesar la carga, pero que, si lo superamos, la deformación comienza a ser irrecuperable. La deformación que son capaces de soportar estos materiales es mucho mayor que en las anteriores familias. Finalmente, el material número 4 corresponde a un material plastificado, como la plastilina, el cual solo sufre deformación plástica; la más mínima carga va a producir en él una deformación irrecuperable.

1.2. Propiedades elásticas de los materiales

Cuando se aplica una fuerza de tracción sobre un material, se produce un desplazamiento en la misma dirección en la dirección de la fuerza, y, como resultado de este alargamiento, se producirán

¹ A esta relación se le denomina **ley de elasticidad de Hooke** o **ley de Hooke**, que establece que el alargamiento ε de un material elástico es directamente proporcional a la tensión o fuerza aplicada

unas constricciones en el plano perpendicular a la dirección de la fuerza. El **Coefficiente de Poisson** se define como el cociente entre el desplazamiento (o alargamiento) en la dirección de la fuerza y la reducción del diámetro en las dos direcciones del plano perpendicular.

Así, si tomamos z como a dirección en la que aplicamos la fuerza, y x e y las direcciones del plano perpendicular, el coeficiente de Poisson lo expresariamos como sigue:

$$\gamma = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_z} = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_z}$$

Siendo siempre el coeficiente de Poisson una magnitud positiva y adimensional. Para sólidos isotrópicos (aquellos cuyo coeficiente de deformación es igual en todas las direcciones), el coeficiente de Poisson teórico es $\frac{1}{4}$.

El módulo de cizalladura (G) está relacionado con el módulo elástico o de Young (E) mediante el coeficiente de Poisson:

$$E = 2G (1 + \gamma)$$

En muchos metales, G tiene un valor de 0.4E, por tanto, si se conoce el módulo de Young calculado a través de un ensayo típico de tracción, G puede ser estimado con una buena aproximación.

La tensión de cizalladura se relaciona con el módulo de cizalladura a través de la tangente del ángulo de desplazamiento

$$\tau = G \tan \theta$$

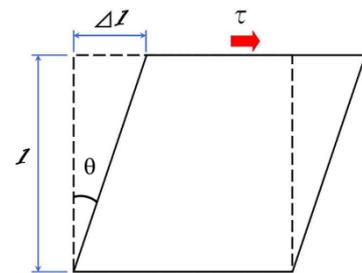


Fig. 7 Esquema de la deformación de cizalladura

1.3. Resiliencia

El último concepto de mecánica de materiales que introduciremos en este apartado es la resiliencia, que define la capacidad de los materiales para absorber energía cuando es deformado y devolver esa energía cuando se deja de aplicar la carga. Es el comportamiento típico de un muelle. Cuando se aplica una tensión sobre un muelle, éste se deforma en una cierta cantidad; al dejar de aplicar la carga, el muelle recupera su forma inicial porque ha devuelto esa energía que se le ha aplicado.

Este concepto es algo complicado y únicamente diremos que los materiales más resilientes son aquellos con un límite elástico muy alto y módulo de elasticidad muy bajo.

La resiliencia es de vital importancia en casos de caída y, sobre todo, en escalada, donde los anclajes y mosquetones están sometidos a continuos impactos energéticos. Estamos acostumbrados a fijarnos en la energía que absorbe la cuerda en caso de una caída, pero no nos fijamos en la energía transmitida al mosquetón. Las cuerdas dinámicas empleadas en escalada están diseñadas para estirarse cuando el escalador cae, recuperando ésta su longitud inicial tras la caída. Este comportamiento es parecido al de un muelle o resorte. De esta manera, como un resorte, la fuerza que ejerce el cuerpo sobre la cuerda en la caída es²:

$$F = mg \left[1 + \sqrt{1 + \frac{2kf}{mg}} \right]$$



Fig. 8 Fuerzas que intervienen en el caso de una caída de factor 2

En esta ecuación m es la masa del escalador, g es la fuerza de la gravedad ($9,81 \text{ ms}^{-2}$), k es el módulo elástico de la cuerda y f es el factor de caída. Para un escalador de 70 kg que utilice una cuerda estándar con módulo 30 KN y en el caso de un factor 2 de caída, la fuerza que se ejerce sobre la cuerda es aproximadamente 9.8 KN. Aproximadamente 1/3 de la energía de la caída se pierde por rozamiento entre la cuerda y el mosquetón y por la propia fricción de las fibras de la cuerda al estirarse, de manera que el asegurador sólo experimenta 2/3 de la fuerza de la caída. De esta manera, tenemos dos fuerzas que actúan sobre el mosquetón: una, la propia fuerza de la caída del escalador, y, dos, la fuerza que realiza el asegurador para retener la caída. Por equilibrio de fuerzas, la fuerza que soporta el mosquetón es F (caída) + $2/3 F$ (asegurador). Que, para el caso de un escalador de 70 kg, resulta que el mosquetón recibe una fuerza de 16,7 KN.

2. Fuerzas aplicadas en los anclajes

La calidad de un anclaje dependerá de las fuerzas aplicadas en todo el conjunto, siendo el factor determinante el elemento más débil. Es, por tanto, muy importante realizar siempre una correcta selección de materiales para lograr los óptimos resultados. Además, de su correcta colocación va a depender el resultado final. En la se muestran las principales cargas que sufre una anclaje durante su funcionamiento.³

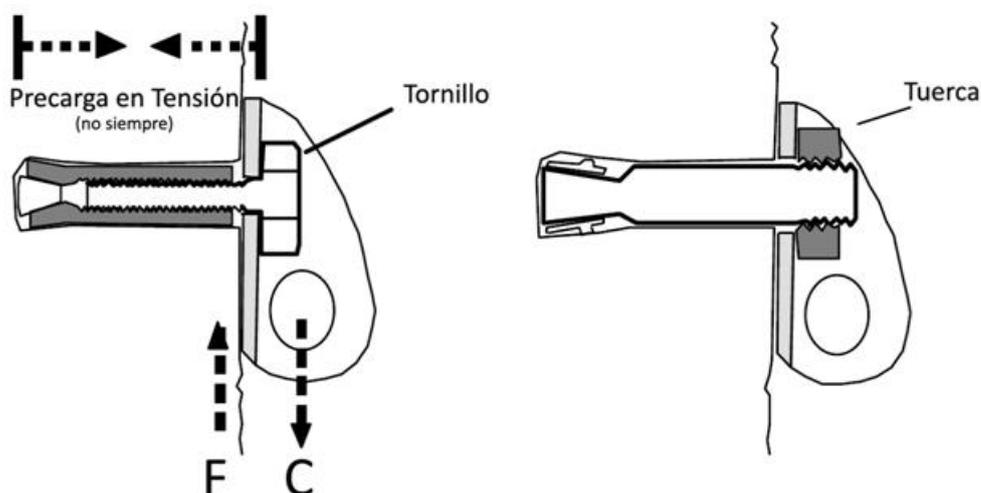


Fig. 9 Cargas que sufren los elementos del conjunto de anclaje. Una pequeña tensión de precarga axial puede crear una fuerza adicional de fricción (F) entre la roca y la placa en dirección opuesta a la tracción de la cuerda (C)

Cuando se instala un anclaje (no químico, por supuesto, esos son otra historia), la roca ejerce una fuerza de compresión que se extiende a lo largo de toda la superficie de contacto roca – anclaje. Esta fuerza compresiva proporciona una fricción que compensa la fuerza de extracción del anclaje (en este sentido, sería una fuerza de tracción, como se ha explicado anteriormente). Esta fuerza siempre existe, aunque no se ejerza ningún tipo de fuerza en sentido contrario. Si se aplica una tensión en el sentido de la tracción, la fuerza interfacial incrementa, pudiendo llegar a valores que rompan la roca sobre la que está instalado el anclaje.

Al colgar la cuerda o un individuo del anclaje, se ejerce sobre éste una tensión en el plano perpendicular, que se transmite al tornillo en forma de tensión de cizalladura. Cuando el conjunto del anclaje (placa y tornillo) resulta firmemente anclado a la pared, la tensión de cizalladura que se transmite al tornillo se reduce debido a la fuerza adicional de fricción entre la roca y la pared (*Fig. 9*), lo que hace que disminuya la fuerza resultante. Cuando el anclaje está suelto, sin embargo, se producen una serie de tensiones adicionales en el anclaje, tal y como se observa en la *Fig. 10*, y, la no existir la fuerza de fricción, toda la carga se transmite directamente al tornillo o rosca en su defecto.

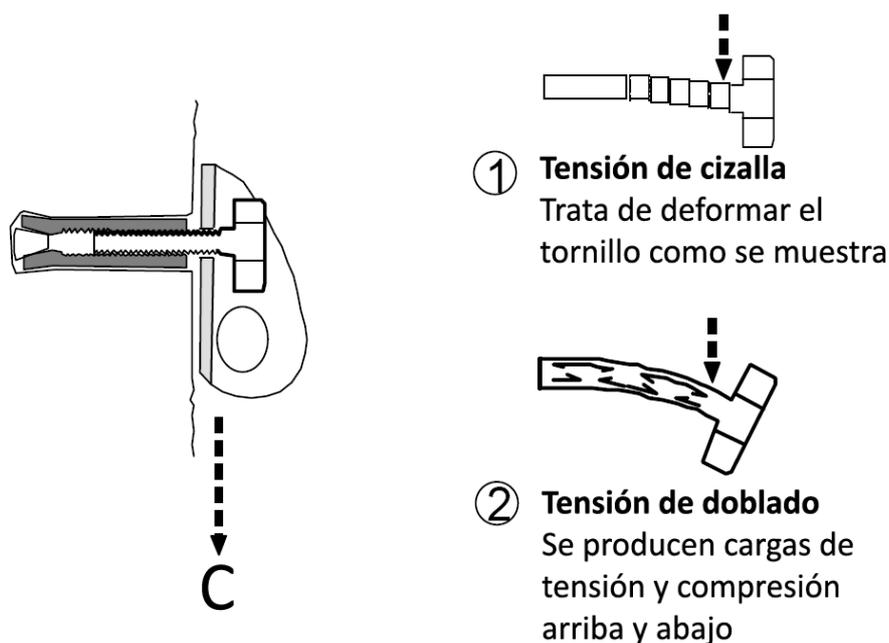


Fig. 10 Caso de un anclaje que no se apoya perfectamente en la roca (general). Tensiones de cizalla y de doblado que sufren los tornillos de los anclajes al ser aplicada la carga

No hay que confundir, sin embargo, la fuerza de cizalladura con la fuerza de torsión que aplicamos al fijar un anclaje. Si al apretar un anclaje aplicamos una pequeña precarga, originamos una nueva tensión de fricción entre la roca y el anclaje, que va a servir también para disipar las tensiones. Sin embargo, en caso de fallo de otro anclaje o en caso de caída, este equilibrio de cargas se rompería dando lugar a otras tensiones adicionales, lo que implicaría un mayor riesgo en la instalación.

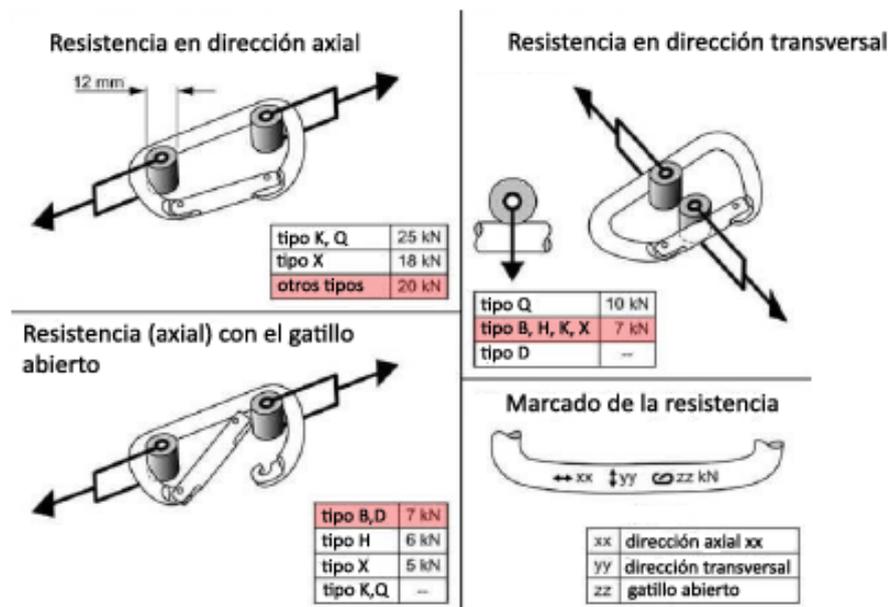


Fig. 11 Representación de los estándares de la UIAA para determinación de la resistencia de los mosquetones

La UIAA dictamina una serie de normas que deben cumplir los materiales para garantizar así su seguridad. Generalmente, las normas UIAA son adaptaciones de normas aceptadas por los Organismos Internacionales, pero adaptadas específicamente al material de montaña. De esta manera, la norma UIAA que describe el modo de ensayo para la determinación de la resistencia a la tracción de los mosquetones (UIAA – 121) es una adaptación de la norma europea EN – 12275 (ver Fig. 11).⁴

En el Anexo I se hará una exposición más extensa de la normalización, certificación, homologación y etiquetado, que, en ocasiones, puede dar lugar a confusiones.

3. Aleaciones de aluminio

Las aleaciones de aluminio son mezclas sólidas homogéneas de aluminio y otros elementos, generalmente cobre (Cu), zinc (Zn), manganeso (Mn), magnesio (Mg) o silicio. El objeto de las aleaciones es mejorar la dureza y resistencia del aluminio, que, sin alear, es un metal muy blando y poco resistente.

Las aleaciones de aluminio forjado se clasifican en dos grandes familias, según los tratamientos que haya sufrido el material. Las aleaciones de aluminio no tratables térmicamente no pueden ser endurecidas por precipitación y sólo pueden ser trabajadas en frío para aumentar su resistencia. Por el contrario, las aleaciones de aluminio para forja tratables térmicamente pueden ser endurecidas por precipitación con tratamientos térmicos. Se identifican por un sistema de cuatro dígitos, que identifican los elementos que contiene (además del aluminio), y, después un código, de 1 a 4 dígitos que identifican el tratamiento que se ha dado al material. Según la Aluminium Association (AA), el primer dígito indica el tipo de aleación, de acuerdo con el elemento principal, el segundo, las aleaciones específicas y los dos últimos, la pureza del aluminio. La designación del tratamiento térmico se indica con las letras O (recocido), F (tal cual como ha sido fabricado), H (trabajado en frío) o T (templado).

A todos nos resulta familiar la aleación 7075-T6, puesto que es la más comúnmente empleada en los elementos de instalación en cavidades. Para los curiosos, su composición química es:

Si	0.4 %
Fe	0.5 %
Cu	1.2 – 2 %
Mn	0.3 %
Mg	1.2 – 2.9 %
Cr	0.18 – 0.28 %
Zn	5.1 – 6.1 %
Ti	0.2 %
Otros	0.15 %
Aluminio	El resto

Sus características principales son una resistencia a la tracción de 510 – 538 MPa y un módulo de fluencia de aproximadamente 434 – 476 MPa. La elongación típica es del 5 – 8 %. Pese a sus buenas propiedades mecánicas y aceptable resistencia a la fatiga, la resistencia a la corrosión es más bien moderada, e incluso más baja que otras aleaciones. Sin embargo, su facilidad para el mecanizado la hace una opción excelente para múltiples aplicaciones, como por ejemplo, elementos estructurales de las alas de los aviones y en el fuselaje.

Esta aleación se comercializa a veces bajo el nombre Zircal™, que es una marca registrada de Pechiney - Alcan (ahora miembro de Rio Tinto, LTD)

Tabla 1 Efecto de los principales elementos aleantes en el aluminio

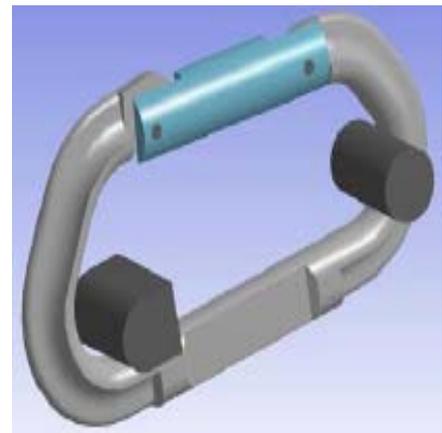
Elemento	Símbolo	Efecto
Cromo	Cr	Aumenta la resistencia mecánica cuando se combina con otros elementos como el Cu, Mn o Mg
Cobre	Cu	Aumenta las propiedades mecánicas pero reduce la resistencia a la corrosión
Hierro	Fe	Aumenta la resistencia mecánica
Magnesio	Mg	Alta resistencia tras el conformado en frío
Manganeso	Mn	Aumenta las propiedades mecánicas
Silicio	Si	Aumenta la resistencia mecánica cuando se combina con el Mg
Titanio	Ti	Aumenta la resistencia mecánica
Zinc	Zn	Aumenta la resistencia a la corrosión

4. Ensayos sobre materiales de aluminio

Hoy en día, existen multitud de ensayos sobre materiales y técnicas empleados en la espeleología.⁵ Se ensayan cuerdas, mosquetones, cabos de anclaje, elementos mecánicos. Los ensayos más típicos son los de tracción. Cada día proliferan más los laboratorios “caseros” en los que se determina la fuerza que hay que ejercer (generalmente con combinaciones de polipastos e incluso equipos industriales como Tráctel[®]). Estos experimentos, si bien son una excelente opción para un mayor conocimiento de los materiales de los cuales nos suspendemos a veces, o empleamos en otras técnicas más complejas como el espeleosocorro, muestran, en ocasiones, algunas carencias que me gustaría analizar brevemente:

Los ensayos de tracción se realizan en máquinas de tracción que no son más que un par de mordazas que sujetan la pieza a estudiar, un dinamómetro acoplado a las mordazas y un dispositivo cualquiera que permita medir la elongación del material durante el ensayo. La norma EN -12275 define que las mordazas son un par de barras de 12mm de diámetro para que el mosquetón quede libre, tal y como se esquematiza en la *Fig. 12*.⁶

Una de las limitaciones es que, en ocasiones, no es posible controlar de manera precisa la velocidad a la que aplicamos la carga. La norma establece unos límites de velocidad máximos y mínimos con el fin de optimizar el balance energético durante el ensayo.



Cuando aplicamos una carga sobre un material se produce una cierta cantidad de energía que el cuerpo tiene que absorber.

Fig. 12 Diseño de agarres para el ensayo de tracción en mosquetones

Cuando el material absorbe esta energía, puede hacer varias cosas, siendo las más comunes: desplazarse (convierte la energía en energía cinética) o calentarse. El aluminio, como sabemos, tiene una excelente conductividad térmica, por lo que enseguida disipa esa parte de la energía en forma de calor. Sin embargo, es necesario vencer todas las fuerzas de rozamiento entre los átomos del material para que se produzca el desplazamiento.

Si se aplica demasiado rápido la carga, el material no es capaz de disipar la energía en forma de calor y por tanto, el desplazamiento que se produce es mucho mayor. Sin embargo, si se aplica demasiado lenta la carga, se da tiempo a que los átomos se reordenen, que se adquiera una estructura más resistente, y, así, es capaz de soportar cargas mucho mayores sin sufrir rotura.⁷

Como hemos dicho en anteriores apartados, en los ensayos de tracción se ha de registrar no solo la carga sino también el desplazamiento. Ésta es otra de las limitaciones que le veo a los ensayos “caseros”. Generalmente, en casa, no tenemos ningún dispositivo que nos permita medir el alargamiento del material durante el ensayo... y eso, es un problema. Los estudios más elaborados sí que determinan el alargamiento “a posteriori” del material, una vez que ha roto, juntando las dos partes en las que se ha roto la pieza, y comparando con las dimensiones originales. Esto, por supuesto, es una pequeña mejora, pero no deja de estar exenta de errores que aumentan la imprecisión de la medida. Una solución, también casera, pero que nos reduciría los errores, sería el efectuar dos marcas en el mosquetón y, bien, mediante video o cámara fotográfica, tomar imágenes a intervalos de tiempo determinados a lo largo de todo el ensayo, que muestren tanto la carga como la muestra y, una vez que haya terminado el ensayo, analizar cada fotografía y determinar la distancia entre las marcas. Con este método se puede determinar, además, la reducción de la sección de la probeta en cada punto. Quizá este procedimiento es más preciso para estudiar las propiedades mecánicas de cuerdas y cordinos.

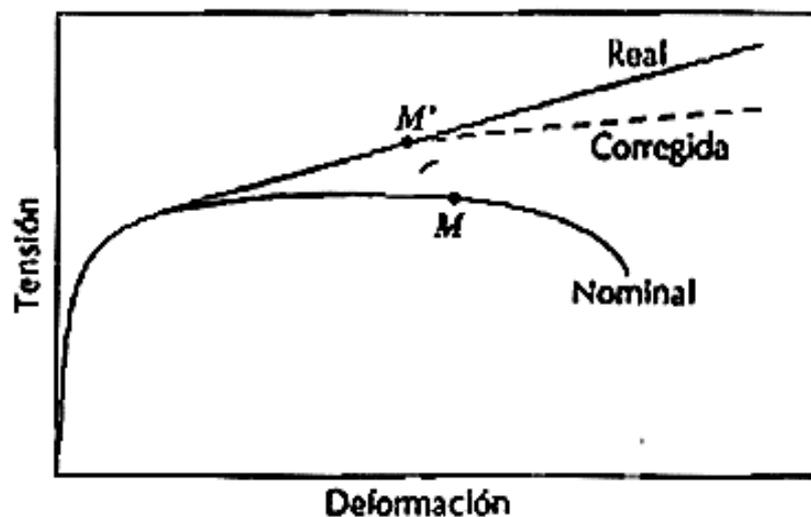


Fig. 13 Comparación de las curvas tensión – deformación real, corregida y la que se emplea en ingeniería, tensión – deformación nominal

Al no monitorizar todos los parámetros, no es posible dibujar la curva tensión – deformación nominal (que es la que se emplea realmente en aplicaciones en ingeniería y sobre la cual se calculan los parámetros de los materiales). De esta manera, podemos cometer importantes errores en la determinación, especialmente en los casos en los que se produce una considerable constricción (o reducción del área). En la *Fig. 13* se puede observar el aumento en la resistencia máxima al leer en la curva real en lugar de la curva nominal.

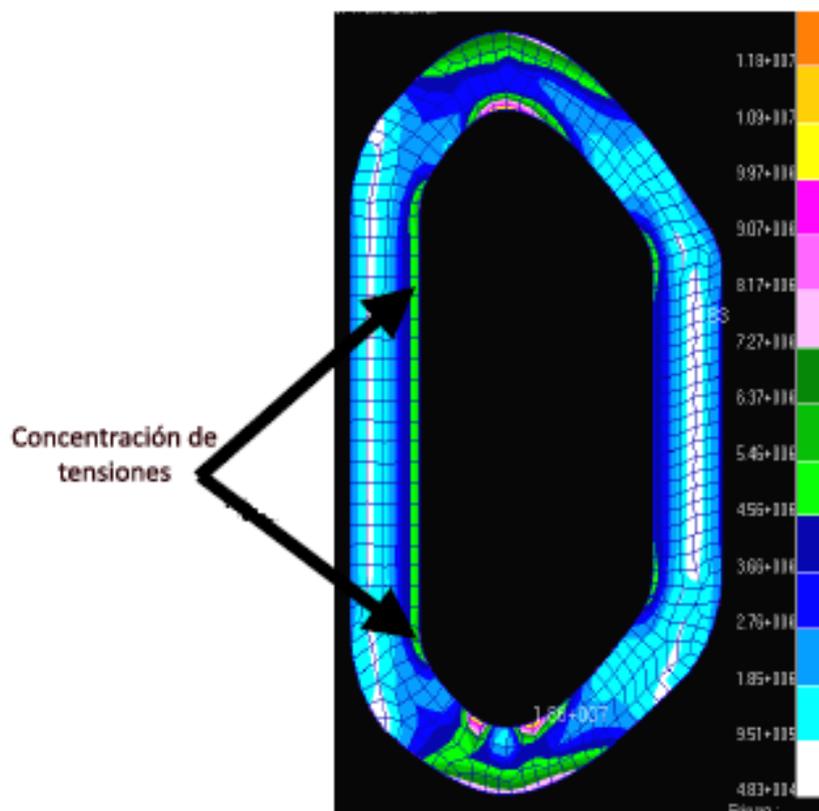


Fig. 14 Análisis por elementos finitos de la concentración de tensiones durante el ensayo de tracción de los mosquetones de aluminio

Otra de las cuestiones que yo encuentro que se podría optimizar es que, en la mayoría de los ensayos, se está determinando únicamente la resistencia a la rotura, que, si recordamos del apartado anterior, no siempre coincide con la resistencia máxima del material (ver *Fig. 5*). Aunque la norma establece que en el mercado de los mosquetones se designe la carga mínima que los mosquetones

soportan sin presentar fractura, a la hora de comparar con otros materiales o con otros diseños, podría ser conveniente la inclusión de la determinación de la resistencia máxima en los ensayos.

Aunque no es, por supuesto, necesario monitorizar todos los parámetros de los materiales en cada ensayo, si que es bueno para hacerse una mejor idea de su comportamiento... más que si rompe o no rompe a una determinada carga.

Los ensayos realizados en laboratorio muestran que la rotura del aluminio en los ensayos de tracción es de tipo dúctil, tal y como es de prever en base a los valores típicos de módulo de elasticidad. Comparando con el acero, cuyo módulo de elasticidad es mucho mayor, la superficie de fractura debe ser completamente distinta.

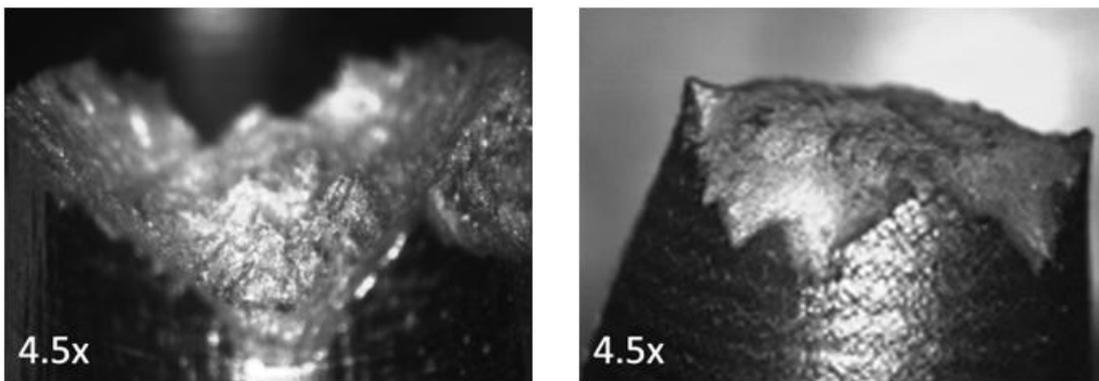


Fig. 15 Imágenes de microscopio de la fractura tras ensayo de tracción de mosquetones en aleación de aluminio 7075 (izquierda) y en acero (derecha)

En la Fig. 15 se muestra las imágenes de microscopio óptico de la superficie de fractura de mosquetones de aluminio (izquierda) y acero (derecha) tras ensayo de tracción mecánica. En ellos se muestra claramente que, en el caso del aluminio, la fractura es de tipo dúctil. La superficie irregular del aluminio indica que el aluminio se ha ido estirando hasta que los enlaces ya no han podido soportar la carga, mientras que, en el caso del acero, la superficie de fractura en el plano perpendicular a la carga indica que ha habido un nódulo de concentración de tensiones que se ha extendido en el plano perpendicular a la aplicación de la carga originando así la fractura frágil del material.

En un microscopio electrónico, donde podemos alcanzar mucha más resolución, el comportamiento dúctil del aluminio es mucho más evidente. Las siguientes imágenes han sido tomadas en un microscopio electrónico de barrido de la marca Zeiss operando a 12 KeV.

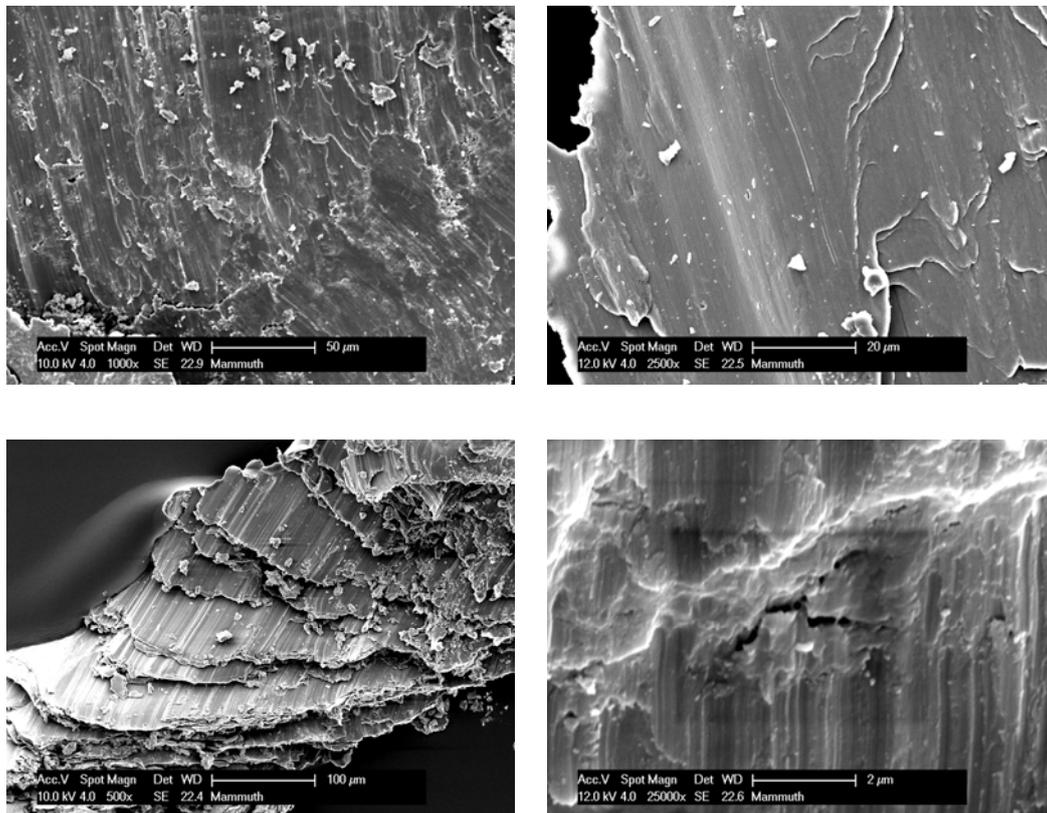


Fig. 16 Imágenes de microscopía óptica de barrido de un mosquetón de aluminio a) Corte transversal b) superficie del mosquetón c) tras aplicar un esfuerzo d) grietas perpendiculares al plano de aplicación del esfuerzo

5. Corrosion

La corrosión es un apasionante fenómeno que se produce como consecuencia de un ataque electroquímico al material por los componentes del entorno y cuyo resultado final es el deterioro del material. Se produce por la tendencia de todos los elementos de buscar su forma más estable o con menor energía interna. Es una tendencia química natural que presentan todos los elementos en la que intervienen factores tales como el propio material, el medio que lo rodea y la presencia de agua.

La corrosión siempre comprende dos reacciones que van ligadas y son inseparables. La más conocida de ellas es la oxidación, pero que siempre va acompañada de procesos de reducción.

Aunque estamos acostumbrados a asociar la corrosión en materiales como el hierro o el cobre cuando se exponen a atmósferas húmedas, la corrosión es un fenómeno que afecta a todo tipo de materiales y en multitud de ambientes. Es un proceso involuntario que conlleva en el último extremo, la degradación del material que la sufre.

5.1. Algunas consideraciones electroquímicas

El fenómeno de corrosión es ciertamente complejo por la cantidad de variables que intervienen. Aunque es, en el fondo, tan sencillo como que el metal más activo tiende a perder sus electrones y el agente oxidante tiende a coger los electrones que no quería el metal, son necesarios una serie de conceptos electroquímicos para ayudarnos a entender esta transferencia de electrones y la formación de las nuevas especies oxidadas.

Puesto que estamos hablando de una transferencia de electrones, podemos asemejar el proceso de corrosión a una pila, donde tenemos un ánodo (-), un cátodo (+) y se produce el flujo o la transferencia de electrones desde el ánodo hasta el cátodo.

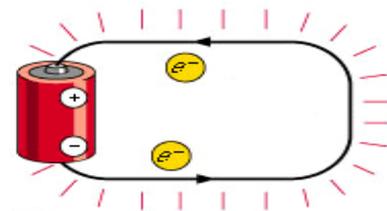
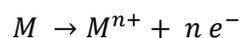


Fig. 17 En una pila, la transferencia de electrones se produce desde el ánodo hasta el cátodo

Cuando un metal M sufre corrosión, la reacción que ocurre es:



En esta expresión M es el metal, M^{n+} es el ion del metal y e^{-} representa al electron. El balance total de carga tiene que ser el mismo a ambos lados de la flecha, así, la carga de los iones se tiene que compensar con el número de electrones libres.

La reacción, tal y como la hemos expresado, se denomina **Oxidación** y tiene lugar en el **Ánodo** (aquí se “producen” los electrones)

Pero, como hemos comentado anteriormente, la oxidación siempre viene acompañada de otra reacción denominada **reducción**, y que va a ocurrir en el **cátodo**. Al contrario que en las reacciones de oxidación, el elemento que se reduce, gana electrones en lugar de perderlos.

Las reacciones que se ven involucradas pueden resultar algo farragosas para aquellos no familiarizados con la química, por tanto, las obviaremos en este punto. No obstante, si que hay que tener muy claro y muy en cuenta varios detalles:

- La corrosión implica una transferencia de electrones desde el ánodo hasta el cátodo
- La formación de iones en el ánodo significa que el ánodo se disuelve
- El elemento que pierde electrones se oxida (aumenta su número de oxidación, pasa de M^0 a M^{n+}), mientras que el elemento que acepta electrones se reduce (reduce su número de oxidación, pasa de M^{n+} a M^0 , por ejemplo)



Fig. 18 Representación esquemática del proceso de corrosión del hierro

En la *Fig. 18* se muestra un esquema de un proceso de corrosión. En este caso se trata de hierro que, al estar en contacto con la humedad, forma el conocido hidróxido de hierro, que es el producto rojizo que vemos en el hierro oxidado. Observamos aquí que el agente oxidante es el oxígeno disuelto en el agua.

Además, como en toda reacción en la que hay una transferencia de electrones, entre el ánodo y el cátodo se crea una diferencia de potencial. Cuanto mayor sea la diferencia de potencial entre ambos electrodos, más favorecida va a estar la reacción. Así, muchos habréis oído hablar de la serie fem estándar, que no es más que un listado en el que se recoge la diferencia de potencial entre la reacción de reducción del metal y un ánodo de referencia (generalmente hidrógeno). Así, los elementos que están más arriba en la tabla, tienen más tendencia a estar en su estado reducido y por tanto actuarán como cátodos, mientras que los elementos de la parte más baja de la tabla, tienen más tendencia a estar en estado oxidado y actuaran, pues, como ánodos.

Aunque la tabla de la *Fig. 19* es muy útil en electroquímica, lo cierto es que tiene una aplicabilidad muy limitada en condiciones reales. Por ello, se emplea mucho más la serie galvánica, presentada en la *Fig. 20*. En esta tabla se recoge la reactividad relativa de varios metales y aleaciones en agua de mar. Los materiales situados en la parte más arriba de la tabla son menos reactivos y tienden a actuar como cátodos, mientras que los que están en la parte más baja de la tabla tienden a disolverse y, por tanto, actuar como ánodos.

	Reacciones del electrodo	Potencial de electrodo estándar V° (V)
↑ Inactividad creciente (catódicos)	$\text{Au}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Au}$	+1,420
	$\text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4e^- \longrightarrow 2\text{H}_2\text{O}$	+1,229
	$\text{Pt}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pt}$	+1,2
	$\text{Ag}^+ + e^- \longrightarrow \text{Ag}$	+0,800
	$\text{Fe}^{3+} + e^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	+0,771
	$\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4e^- \longrightarrow 4(\text{OH}^-)$	+0,401
	$\text{Cu}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cu}$	+0,340
	$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$	0
	$\text{Pb}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Pb}$	-0,126
	$\text{Sn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Sn}$	-0,136
↓ Actividad creciente (anódicos)	$\text{Ni}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Ni}$	-0,250
	$\text{Co}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Co}$	-0,277
	$\text{Cd}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Cd}$	-0,403
	$\text{Fe}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Fe}$	-0,440
	$\text{Cr}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Cr}$	-0,744
	$\text{Zn}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Zn}$	-0,763
	$\text{Al}^{3+} + 3e^- \longrightarrow \text{Al}$	-1,662
	$\text{Mg}^{2+} + 2e^- \longrightarrow \text{Mg}$	-2,363
	$\text{Na}^+ + e^- \longrightarrow \text{Na}$	-2,714
	$\text{K}^+ + e^- \longrightarrow \text{K}$	-2,294

Fig. 19 Serie fem estándar

↑ Inactividad creciente (catódicos)	Platino
	Oro
	Grafito
	Titanio
	Plata
	Acero inoxidable 316 (pasivo)
	Acero inoxidable 304 (pasivo)
	Inconel (80Ni-13Cr-7Fe) (pasivo)
	Níquel (pasivo)
	Monel (70Ni-30Cu)
↓ Actividad creciente (anódicos)	Aleaciones cobre-níquel
	Bronce (Cu-Sn)
	Cobre
	Latón (Cu-Zn)
	Inconel (activo)
	Níquel (activo)
	Estaño
	Plomo
	Acero inoxidable 316 (activo)
	Acero inoxidable 304 (activo)
Fundición	
Hierro y acero	
Aleaciones de aluminio	
Cadmio	

Fig. 20 Serie galvánica

5.2. Tipos de corrosión

Existen muchos tipos de mecanismo de corrosión. Según la forma en que ésta se manifiesta, podemos distinguir, entre otras:

- Corrosión galvánica:

Se establece entre dos metales distintos en contacto y en presencia de un electrolito (un electrolito no es más que cualquier solución que permita el transporte de iones). El material que se encuentre más abajo en la serie galvánica será el que actúe como ánodo, que es el que se oxida, y el que se encuentre más arriba actuará como cátodo.

En cualquier instalación (o siempre que queramos hacer cualquier montaje en el que intervengan dos o mas metales... por ejemplo, inventos que hagamos para hacer estudios en las cavidades, o en vivacs) procuraremos emplear siempre el mismo tipo de materiales, para evitar la aparición de corrosión galvánica, sin embargo, si no nos queda más remedio, trataremos de escoger materiales próximos en la serie galvánica y, si es posible, aislarlos eléctricamente entre si (poniendo un material plástico por medio o lo que se pueda).

No obstante, es muy importante tener en cuenta una cosa: La serie galvánica es relativa y está tomada empleando como referencia agua de mar salada. Las condiciones de la cavidad son completamente diferentes y, por tanto, hay que tener mucha precaución a la hora de tomar los datos bibliográficos.

El hecho de que los sistemas de anclajes en los que intervienen diferentes materiales se oxiden, es algo más que una cuestión puramente galvánica... no podemos ni siquiera asegurar que esa sea la verdadera causa. Si esta fuera la verdadera causa de la corrosión, los pasadores de acero de los

gatillos de los mosquetones también se corroerían por la misma regla. Pero, o no lo hacen, o, hasta ahora, no se ha reportado un caso especial de corrosión de pasador del gatillo del mosquetón.

En esta misma línea, en el mercado se pueden encontrar una serie de mosquetones ligeros fabricados en aluminio y acero inoxidable. Está claro que estos mosquetones no son para uso en instalación, pero, si guardáramos nuestro equipo de escalada junto a nuestro equipo de espeleo húmedo, estos mosquetones se corroerían enseguida... pero tampoco lo hacen.



Fig. 21 Mosquetón sin seguro fabricado en aluminio con gatillo de acero inoxidable (Black Diamond)

- Corrosión por aireación diferencial:

Este tipo de corrosión se produce cuando existe diferente concentración de iones o gases disueltos en dos zonas diferentes del material. Esto ocurre, por ejemplo, cuando han quedado atrapados depósitos de suciedad y humedad en la instalación. Se forma así lo que se denomina una **pila de concentración**. La zona con menos contenido en oxígeno va a actuar como ánodo y sufrir el proceso de corrosión.



Fig. 22 Tornillo oxidado

En un caso como el que se presenta en la *Fig. 22*, los depósitos de óxido de hierro se localizan, como se mencionaba anteriormente, en el cátodo o en la zona más aireada. El problema en este caso no se encontraría en la zona que vemos oxidada, sino dentro de la roca, donde se ha producido la disolución del material. En estos casos, puede darse incluso, que el tornillo se salga por reducción de su área interna.

- Corrosión por picadura

Este tipo de corrosión es característica de los aceros inoxidable. Es un tipo de ataque muy localizado en forma de pequeños hoyos que penetran perpendicularmente a la superficie en el material, ocasionando graves daños en el mismo. Es uno de los tipos de corrosión más peligrosos, puesto que es prácticamente imperceptible, no avisa, hasta que el material se rompe.

El mecanismo es muy parecido al de aireación diferencial, pero en este caso, el origen es alguna imperfección en la superficie (grieta o cambio en la composición química, por ejemplo debido a sustancias depositadas o ataque de alguna sustancia). A partir de ahí, se crea una pequeña pila que va avanzando hacia adentro disolviendo poco a poco el material.

- Corrosión por erosión

Se origina por la combinación de ataque químico con la presencia de un fluido en movimiento. Son especialmente susceptibles a este tipo de corrosión aquellos que se pasivan formando una superficie oxidada protectora y los metales blandos (Cobre o Latón). La acción abrasiva del fluido en movimiento puede romper esta película protectora y dejar la superficie metálica al descubierto.

- Corrosión bajo tensión

La acción combinada de un entorno agresivo con la aplicación de un esfuerzo de tracción puede originar el fenómeno de corrosión bajo tensión. Determinados materiales potencialmente inertes en un determinado ambiente pueden sufrir corrosión bajo tensión debido a la aparición de pequeñas grietas originadas por el propio esfuerzo. La rotura de estos materiales es característica de materiales frágiles, aunque la naturaleza del material donde se produzca sea intrínsecamente dúctil, por lo tanto, este tipo de corrosión se podría determinar en el análisis del material que ha fallado.

Existen estudios, sin embargo, que apuntan a que los esfuerzos de tracción que sufren los anclajes en las cavidades no son suficientemente considerables para producir la corrosión bajo tensión, sin embargo, la corrosión intergranular en mosquetones de aluminio, apuntan a que no son necesarios grandes esfuerzos para producir este tipo de corrosión; tensiones residuales en la instalación o la presencia de productos de corrosión disueltos pueden originar pequeñas tensiones que aumentan este tipo de corrosión.⁸

- Corrosión microbiológica

Causada por algunos organismos o bacterias bioreductoras que son capaces de causar la corrosión en la superficie de materiales metálicos sumergidos. Algunas bacterias emplean el hidrógeno disuelto en el agua para llevar a cabo sus procesos metabólicos, originando una diferencia de potencial en la conversión de H^+ a H_2 (reducción).

6. Fatiga

La fatiga es una forma de rotura que ocurre en estructuras que son sometidas a cargas dinámicas y fluctuantes. La fatiga no es un tipo de tensión ni un fenómeno que modifique la resistencia del material. La fatiga es un tipo de rotura, que se denomina así porque aparece generalmente después de un periodo de tensiones o deformaciones cíclicas. La fractura ocurre generalmente al aplicar una carga sensiblemente menor que la resistencia a la tracción del material.

El tipo de fractura que prestan los materiales con rotura por fatiga es de tipo frágil, independientemente de que el material sea más o menos dúctil. No hay deformación plástica del material asociada a la fatiga. Los fallos por fatiga comienzan con una grieta tan pequeñas que no es perceptible a simple vista. Esta grieta se desarrollará normalmente en un punto de concentración de tensiones, tal como un cambio brusco en la sección transversal, imperfecciones en el interior o exterior del material, un orificio, etc. Una vez que se forma la grieta, el efecto de concentración de

tensiones se hace mayor y éste se extiende más rápidamente Normalmente, la superficie de fractura es perpendicular a la dirección de aplicación de la carga aplicada.

La resistencia a la fatiga se determina mediante ensayos de fatiga en el laboratorio. Se empieza sometiendo al material a ensayar a una tensión cíclica relativamente grande, normalmente alrededor de 2/3 de la resistencia a la tracción. Se registra el número de ciclos de carga – descarga que ha soportado la probeta hasta romperse y se repite el experimento (en otras probetas nuevas) con tensiones cada vez más pequeñas. Al final, se representan los resultados obtenidos de tensión (S) y número de ciclos (N). Como es lógico, a medida que disminuye la tensión aplicada, aumenta el número de ciclos.

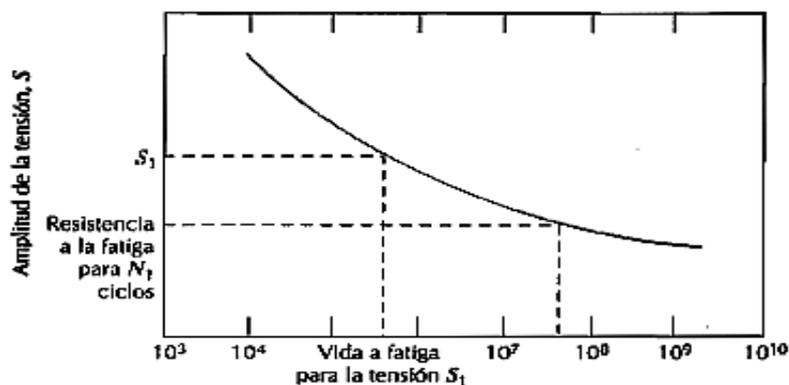


Fig. 23 Curvas S – N de resistencia a la fatiga

Aproximadamente el 90% de las roturas de materiales estructurales se producen por causas asociadas a la fatiga. En muchas ocasiones, la fatiga viene también acompañada por procesos de corrosión.

Al igual que en los ensayos de tracción, los ensayos de fatiga se realizan también con el gatillo del mosquetón abierto o cerrado, que nos sirven, a modo comparativo ya que, generalmente, un mosquetón trabaja cerrado. Lo anormal sería que un mosquetón trabajara abierto durante un periodo de vida tal que pudiera fallar por un proceso de fatiga.

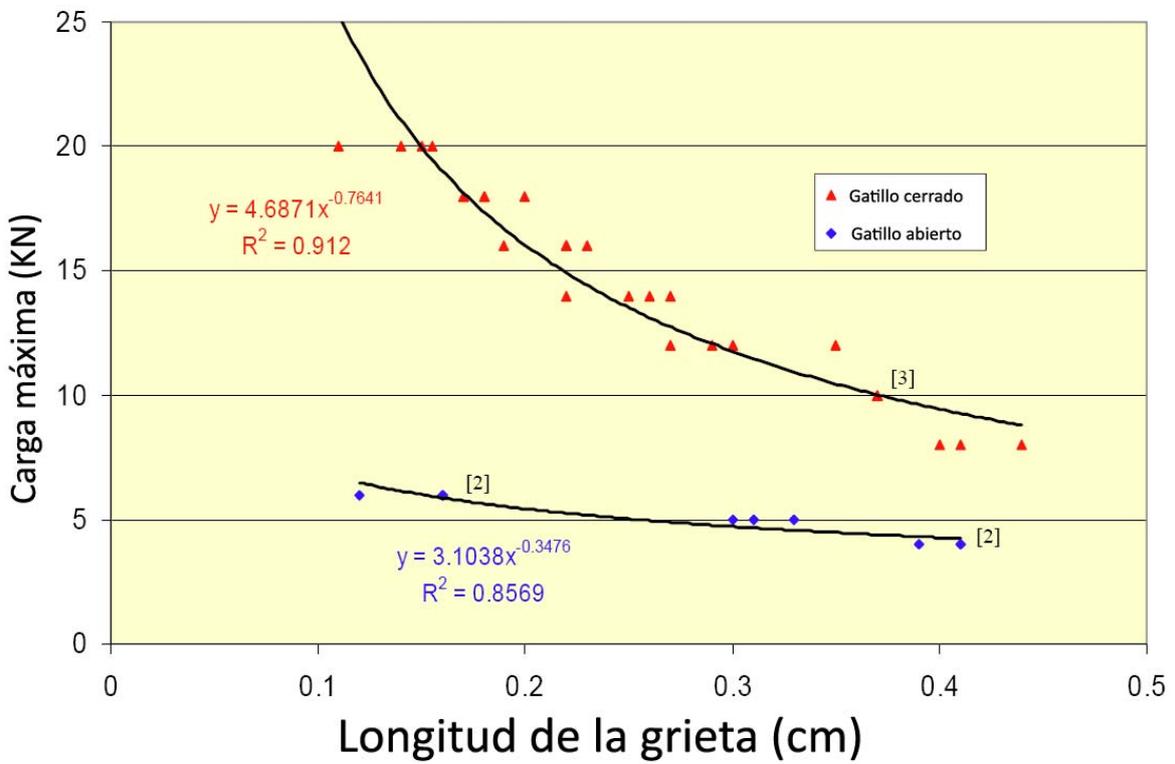
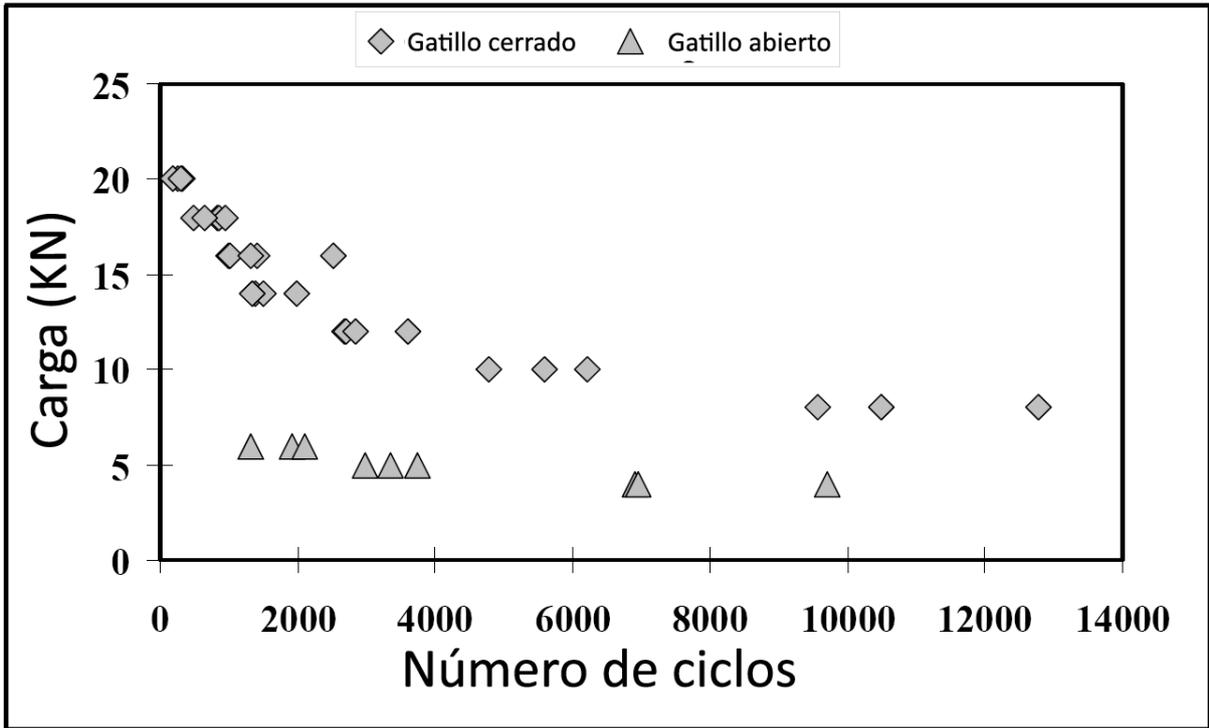


Fig. 24 Longitud de la grieta en función de la carga

En los ensayos con cargas cíclicas no se observan fracturas en la superficie del material. Sin embargo, al estudiar la superficie de fractura, si que se observan grietas interiores que crecen al aumentar los ciclos de fatiga. Así, tal y como se muestra en la *Fig. 24* para grandes cargas aplicadas, una pequeña grieta hace romper el material. Sin embargo, para cargas menores, el material es capaz de aguantar sin romperse mientras la grieta se extiende a una superficie mayor.⁹

Sin embargo, como las cosas nunca vienen solas, muchas veces lo que ocurre es fallos por combinación de varios factores. Al estar los anclajes sometidos tanto a la atmósfera como a diferentes procesos de carga, es frecuente encontrar procesos de corrosión que no sería esperable encontrar en ese tipo de materiales, pero que, debido a las cargas, se ven acentuados.

Un ejemplo de este caso lo observamos a continuación. En la *Fig. 26* se muestra la superficie de fractura de un material de aluminio sometido a fatiga. Se observan los huecos asociados a los puntos de iniciación de las fracturas.¹⁰ En la siguiente figura, se presenta el mismo material pero que ha sufrido un proceso de picadura. En las imágenes se observa un fenómeno de corrosión intergranular asociado a la corrosión por picadura siendo la superficie de fractura considerablemente diferente al caso anterior.¹¹

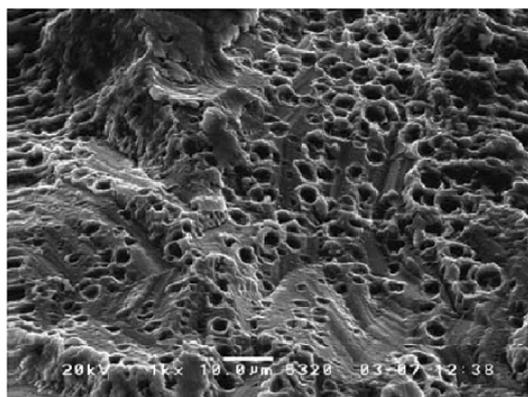


Fig. 26 Imagen de microscopía electrónica de barrido de un material de aluminio sometido a fatiga

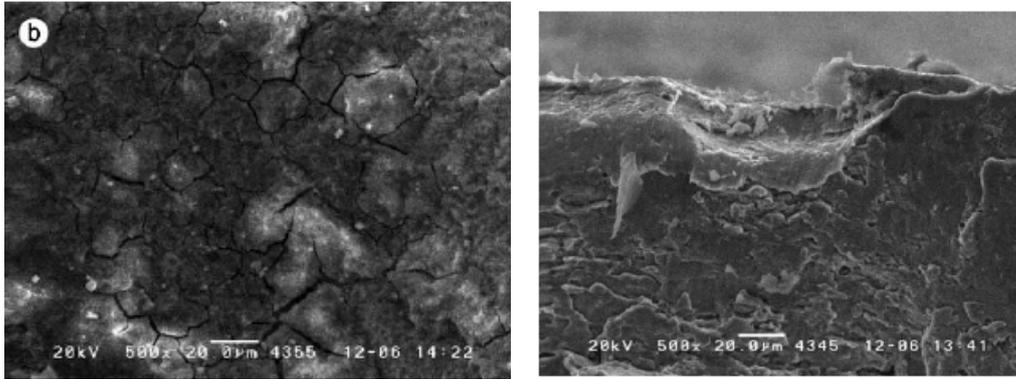


Fig. 27 Imágenes de microscopía electrónica de barrido de un material de aluminio con corrosión por picadura que ha sido sometido a un ensayo de fatiga. Izquierda: Corrosión intergranular. Derecha: Iniciación de una grieta asociada a fatiga

Conclusiones

Se han observado ciertas incorrecciones a la hora de interpretar algunos de los resultados de los ensayos, sobre todo en los ensayos de tracción. Posiblemente la dificultad a veces de acceder a los medios adecuados para llevar a cabo los ensayos en las condiciones idóneas, dan lugar a este tipo de faltas. Se ha observado también que, los estudios publicados muchas veces carecen de un fundamento técnico que los apoyen y avalen y se limitan únicamente a proporcionar los resultados. Con este tipo de trabajos que proporcionan un acercamiento más o menos sencillo a los conceptos y fundamentos más básicos de la ciencia de materiales, se pretende dotar al espeleólogo de a pie un mayor conocimiento de los materiales que maneja y, a aquellos que pretenden ir mas allá y realizar estudios con más contenido científico o ingenieril, proporcionarle unas bases de apoyo para el buen hacer de sus ensayos.

BIBLIOGRAFÍA

¹ W.D. Callister, „Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales“, Ed. Reverté.

² M. Pavier, Sports Eng. 1 (1998) 79 - 91

³ J.H. Ganter, W.K. Storage, „Artificial rigging anchors for the present and future“

⁴ UIAA – 121. Connectors. (EN – 12275:1999)

⁵ A. Martí „Ensayos Mecánicos en Espeleosocorro“. Texto extraído íntegramente de “*Dossier d’Etudes et de Recherches du Spéléo Secours Français*”, Fédération Française de Speleologie

⁶ UNE – EN I12275:1999. Equipo de Alpinismo y Escalada. Mosquetones. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo

⁷ M. Okal. „Karabiner Testing“. Technology Laboratory Advanced Composites. Massachusetts.

⁸ The Engineering of Sport : Proceedings of an International Conference, Sheffield, Uk 2-4 July 1996: Proceedings of an International Conference, Sheffield, UK, 2-4 July 1996. A A Balkema Publishers (Juni 1996)

⁹ K. Blair, D. Custer, J. Graham, M. Okal, “Analysis of Fatigue Failure in D-shape karabiners” Massachusetts Institute of Technology and Sports Innovation.

¹⁰ Q.Y. Wang, N. Kawagoishi, Q. Chen, Int. J. Fatigue 28 (2006) 1572 -1578

¹¹ Q.Y. Wang, N. Kawagoishi, Q. Chen, Scripta Materialia 49 (2003) 711 - 716

NORMALIZACIÓN, CERTIFICACIÓN, HOMOLOGACIÓN Y ETIQUETADO

Especialmente con el aumento de la normativa en materia de seguridad de equipos de protección individual (EPIs), cada vez hay más gente que oye, habla o ha oído hablar de los términos Normalización, Certificación, Homologación y Etiquetas o Labels. Al ser términos que se han introducido casi de golpe y a la vez en las vidas de mucha gente, en ocasiones se produce cierta confusión en el empleo de los mismos. Se ha observado que, además, los temas de etiquetado y su obligatoriedad no quedan a veces demasiado claros.

En este Anexo, se pretende clarificar en la medida de lo posible estos términos, identificar los organismos que los dirigen y controlan y las implicaciones que tiene el marcado de cada uno de los productos.

Igual que en el trabajo al que acompaña este Anexo he tratado de simplificar el lenguaje y emplear pocos tecnicismos, en este apartado se encontrarán determinados conceptos que no se pueden describir de otra manera. En la medida de lo posible se tratará de dar ejemplos para tratar de clarificar un poco más el significado de cada cosa.

A.1. Conceptos y Definiciones

A.1.1. Normalización

Normalización: Es una actividad encaminada a establecer las características técnicas que deberá reunir un producto o un servicio.

En concreto, esta actividad consiste en la elaboración, difusión y aplicación de las normas.

Las **Normas** son documentos técnicos que poseen las siguientes características:

- Contienen especificaciones técnicas de aplicación voluntaria
- Son elaboradas por consenso de las partes interesadas
- Están basados en los resultados de la experiencia y el desarrollo tecnológico
- Son aprobadas por un organismo nacional, regional o internacional reconocido.

Se pueden normalizar los materiales, pero también las máquinas, los métodos de ensayo, temas de calidad de aguas, estadísticos, sistemas de gestión y aseguramiento de la calidad, del medio ambiente o de prevención de riesgos en el trabajo. Hay normas para casi todo. Pero, repetimos, son de aplicación voluntaria.

En general, podemos encontrar tres tipos de normas: las que se refieren a las especificaciones técnicas que deben cumplir los productos, procesos o servicios; las normas que se refieren a la metodología para la comprobación de las especificaciones técnicas; y las normas acerca de metodología y definiciones

Las normas ofrecen un lenguaje común de comunicación entre las empresas, la administración, los usuarios y consumidores.

A.1.1.1. Clases de Normas

- Nacionales: En España tenemos las normas UNE, que son aprobadas por AENOR. Una no quiere decir nada más que Una Norma Española. AENOR es la Asociación Española de NORMALIZACIÓN, y es el organismo reconocido oficialmente para desarrollar actividades de normalización en España

Cada país tiene su propio organismo de normalización y las normas se llaman de distinto modo. Así, mientras que una norma en España se llama UNE, la misma norma en Francia se llama FN, o en Alemania GN. Independientemente de las siglas que lleve al principio, el número de la norma es el mismo para todos los países en los que sea de aplicación.

- Regionales: Las normas regionales están elaboradas en el marco de un organismo de normalización regional el cual agrupa a un número de Organismos Nacionales de Normalización, tales como el CEN o el CENELEC.

El CEN es el Comité Europeo de Normalización, que, al igual que AENOR regula las normas españolas, éste es el organismo reconocido para la elaboración de normas de carácter europeo. Estas normas se denominan EN, de “European Norm”

Cuando una norma Europea (EN) se aprueba en España por AENOR (UNE), la norma se llama UNE-EN

- Internacionales: De características similares a las anteriores, pero su aplicación es mundial
Los organismos de normalización regionales y nacionales se agrupan en los organismos internacionales, tales como la International Standard Organization, que regula las normas ISO, o el IEC (Comisión Electrotécnica Internacional)

Una Norma ISO, que ha sido adoptada por el CEN y que además ha sido adoptada por AENOR se denomina UNE-EN ISO

Las Normas se nombran con unas siglas que designan el comité que las ha aprobado seguido de un número. En una norma EN, por ejemplo, el número es el mismo para todos los países que la adopten. Es decir, que el número de una norma UNE-EN, será el mismo que el de la misma norma FR-EN. Además, se indica el año en el que se ha aprobado esa norma con el fin de no confundir ediciones obsoletas.

Las normas referentes a los equipos de montaña que tiene recogidas la UIAA describen los requisitos de seguridad y métodos de ensayo para estos equipos. Muchas de las normas EN son una adaptación de las normas UIAA ya existentes.

Norma EN	Norma UIAA Equiv.	Tema
EN 564:1997	UIAA 102	Cuerda auxiliar
EN 566:1997	UIAA 103	Cinta
EN 566:1997	UIAA 104	Anillas de cinta
EN 567:1997	UIAA 126	Bloqueadores
EN 568:1997	UIAA 151	Anclajes para hielo
EN 569:1997	UIAA 122	Pitones
EN 892:2005	UIAA 102	Cuerdas dinámicas
EN 893:2000	UIAA 153	Crampones
EN 958:1997	UIAA 128	Sistemas de disipación de energía utilizados en vía ferrata
EN 959:1997	UIAA 123	Anclajes para roca
EN 12270:1999	UIAA 124	Cuñas
EN 12275:1999	UIAA 121	Mosquetones
EN 12276:1999	UIAA 127	Poleas
EN 13089:2000	UIAA 152	Herramientas para el hielo (Pioletts)
EN 12492/A1:2003	UIAA 106	Cascos
EN 1891:1999	UIAA 107	Cuerdas trenzadas con funda semiestáticas
EN 1891:2000		Cuerdas trenzadas con funda semiestáticas
ERRATUM		
	UIAA 154	Anclas de nieve

A.1.1.2. Organismos de Normalización

Los **organismos de normalización** son, generalmente, asociaciones privadas independientes sin ánimo de lucro y son aquellos que están reconocidos para elaborar las normas técnicas.

CEN	Comité Europeo de Normalización
CENELEC	Comité Europeo para la Estandarización Electrotécnica
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones
AENOR	Asociación Española de Normalización
IEC	Comité Electrotécnico Internacional
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones
ISO	Organización Internacional de Normalización

No hay que confundir norma con organismo. Las ISO, EN y UNE son Normas, y las siglas ISO, CEN, AENOR, corresponden a organismos. No es correcto decir, por ejemplo “Una Norma Aenor”

A.1.2. Homologación

Homologación: Es cuando se somete a un producto al dictamen de un organismo calificado para aprobar o no su consistencia con leyes o reglamentaciones normativas de obligado cumplimiento.

Cuando se somete a un producto al dictamen de una norma que no es de obligado cumplimiento, no se homologa el producto. Solo hablamos de homologación cuando nuestro producto es comparado a lo que dice la norma obligatoria.

En resumen, que sólo si nos conceden la homologación estamos dentro de los alcances de las leyes.

La mayoría de los aparatos empleados en espeleología se encuentran dentro de los EPIS o equipos de protección individual. Éstos están regulados por normas DE OBLIGADO CUMPLIMIENTO. Y esto, en mi opinión, creo que es lo que está dando lugar a mayores confusiones.

Cuando un fabricante fabrica un producto bajo los parámetros que especifica una norma, puede poner en su producto la norma que cumple. La propia norma especifica que es lo que tiene que poner y como. Marcando el producto, el fabricante dice que cumple con lo que dispone AENOR. Para proceder a la homologación, el fabricante tiene que ir al ministerio correspondiente (Trabajo en el caso de los Equipos de Protección Personal) y suministrar la información que se le solicita. Si todo es correcto y el aparato cumple, no solo la normativa, sino todas las leyes y reglamentaciones aplicables para ese producto, entonces concede la homologación PARA EL USO Y LAS CONDICIONES QUE SE HA ESPECIFICADO.

No podemos confundir que un objeto tenga un marcado con que este homologado porque los organismos que lo contrastan son distintos. Y recordar además que, el hecho de que un producto no este homologado, no quiere decir que no haya sido fabricado sujeto a una normativa.

A.1.3. Certificación

Certificación: Es la acción llevada a cabo por una entidad reconocida como independiente de las partes interesadas mediante la que se manifiesta que se dispone de la confianza adecuada de que un

producto, proceso o servicio debidamente identificado es conforme con una norma u otro documento normativo identificado. Se pueden certificar tanto productos, como sistemas de gestión, procesos de fabricación o servicios.

Mediante la certificación se ASEGURA al usuario (o al cliente, en Calidad) que el producto que va a recibir cumple con las especificaciones.

Aquí ya interviene una tercera parte que comprueba que todo es cierto, correcto y se ajusta a los requisitos y certifica el producto.

A.1.3.1. Organismos de Certificación

En España existen 16 organismos acreditados por la Entidad Nacional de Acreditación, siendo el más conocido AENOR. Por el nombre, lo mismo nos resulta difícil identificar muchas de las empresas certificadoras con licencia en España, pero seguro que algunos de sus sellos si que los reconocemos.



Fig. 1 Sellos de algunas empresas de certificación

Estos organismos conceden los certificados al comprobar por ellos mismos que los productos, procesos, servicios o sistemas cumplen con lo que está especificado para ellos. Conceden entonces lo que se denomina comúnmente el “Sello de Calidad”

Estos sellos de calidad son voluntarios para muchas actividades, la empresa elige que empresa quiere que le certifique, bien sea porque sea más conocida en su sector, por su proyección nacional o internacional o por las razones de prestigio que considere más oportunas.

A.1.3.2. Tipos de certificación. Mercado CE

La certificación puede ser voluntaria u obligatoria:

- Certificación voluntaria:
 - Certificación de productos: Verificar que sus propiedades y características están de acuerdo con las normas y especificaciones técnicas que le son de aplicación
 - Certificación de sistemas: Se refiere a la estructura organizativa de la empresa. Aquí estaría la certificación ISO 9000, ISO 14000, etc...
- Certificación obligatoria: Mercado CE

Indica que el producto cumple con las disposiciones de las directivas comunitarias de Nuevo Enfoque que le son de aplicación

El Mercado CE en España lo concede AENOR.

La Administración establece unos planes anuales de inspección para evitar que aquellos productos que afecten a la seguridad y/o salud de las personas, bienes o medio ambiente, estén en circulación.

El no poseer el mercado CE cuando es necesario implica serias multas y sanciones.

Ojo! Aunque sea un mercado europeo, CE no quiere decir Comunidad Europea. El mercado CE quiere decir "Conforme Exigencias".

A.2. Etiquetado

Existen varios tipos de etiquetado. Estamos más que acostumbrados a ver el marcado de nuestros equipos de progresión. Ya hemos hablado que, al ser obligatoria la certificación para nuestros

equipos, siempre llevan el marcado CE. No obstante, no hay que confundir las implicaciones del marcado CE.

El marcado CE es, sin duda una marca de calidad... pero entre comillas. Significa que cumple con los requisitos especificados y no dice nada de lo bueno o malo que es el producto. Quizá en los aparatos de progresión no veamos tan claras las diferencias como en otro tipo de productos que también requieren el marcado CE.

Para la comercialización de los juguetes es obligatorio que estos tengan el marcado CE. Desde los coches teledirigidos, a las peonzas o tirachinas, hayan sido comprados o no en las tiendas tipo "todo a cien" necesitan el marcado CE igual que cualquier otro.

Pasando del marcaje CE, los equipos de progresión también deben llevar el marcado de la norma que cumple. Esto es una exigencia de la norma. La norma, como hemos dicho, es voluntaria, pero, como las directivas obligatorias de homologación de equipos exigen que se cumpla la norma, pues entonces tenemos que poner lo que dice la norma. Que un equipo no esté homologado no quiere decir que sea menos bueno... simplemente que, por las razones que sea, no se han llevado a cabo los procesos de homologación de dicho producto.

Para terminar, hay otras etiquetas que también nos sonaran. Como la etiqueta ISO 9000, ISO 14000 y similares. Estas etiquetas no son etiquetas de producto, sino de sistemas. Son etiquetas que conceden los organismos de certificación a las empresas cuando comprueban que las empresas hacen las cosas tal y como dicen que las hacen. Si lo que hacen coincide con lo que dice la norma ISO 9000, se les concede el sello ISO 9000, etc... Estas etiquetas nunca irán sobre el producto. Las podremos encontrar en la publicidad, documentos oficiales, etc, pero nunca sobre el producto.