

FÍSICA DE LA ESCALADA

Raúl Muñoz Triguero
- Guía de Alta Montaña -



A pesar de ser algo sencillo de entender desde el punto de vista intuitivo, los modelos matemáticos y físicos que se emplean para dar explicación a ciertos fenómenos de las caídas en la escalada resultan algo más complicados, sobre todo por las ecuaciones involucradas. Es conveniente que todos los escaladores de roca y de hielo conozcan el fundamento del deporte que practican, y en este, la escalada, más aún, ya que en muchos casos depende la seguridad de personas que estos conceptos se entiendan y se apliquen correctamente para minimizar riesgos y evitar accidentes. Algo que muchos escaladores y escaladoras conocen como el factor de caída, el aseguramiento dinámico o la fricción de la cuerda con el descensor son conceptos que tienen una base científica que hay que conocer, y a partir de este conocimiento utilizar los materiales y las técnicas adecuadas para no incurrir en errores que pudieran ocasionar un accidente.

Escalar es tan simple como subir trepando por una pared, ya sea de roca o hielo. Si no caes no pondrás a prueba el sistema de aseguramiento, ni los anclajes ni ningún elemento de la cadena de seguridad y si además, una vez has llegado arriba se puede bajar caminando, entonces no habrá hecho falta ningún elemento ni equipamiento de protección. Pero el riesgo tiene un componente de probabilidad del que no podemos escapar, es algo así como la ruleta rusa, donde una vez cada equis se producirá el accidente. Escalar con seguridad, aunque nunca con absoluta seguridad, significa reducir ese componente de probabilidad al mínimo posible, de modo que seamos conscientes en todo momento de cómo podemos gestionar ese riesgo y de cómo podemos quedar expuestos en todo momento a una caída que no suponga necesariamente un accidente fatal.

Empecemos por evaluar, como hemos hecho anteriormente en otro capítulo, cómo es la cadena de seguridad en un escalador solitario, desde que sale de la reunión hasta un punto intermedio antes de llegar a la siguiente. Los elementos que intervienen en detener una posible caída son:

1. la pareja de escalada que te asegura (si no escalas en solitario)
2. la estabilidad del hielo o la roca
3. los anclajes de la reunión inferior
4. los mosquetones en dichos anclajes
5. la cinta de reunión
6. la cuerda y el nudo de la reunión
7. los anclajes intermedios
8. las cintas express
9. el aparato de aseguramiento
10. el arnés de tu pareja de escalada
11. el arnés con el que escalas
12. el nudo de encordamiento principal
13. el casco

Es decir, que estos 12 elementos (13 con el casco) tienen que aguantar una caída, es decir, no superar su límite de resistencia, para que la persona que está cayendo, no caiga hasta el suelo. En el caso del casco, no es un

elemento que prevenga una caída pero sí se considera parte del equipo de protección individual que previene un accidente y que tiene la misión de absorber gran parte de la energía con la que impacta un objeto sobre la cabeza.

Todo escalador/a conoce que no es posible escalar con un cable de acero, o con un casco de metal, con el cual tampoco caeríamos al suelo o un objeto no nos rompería la cabeza al impactar con él. Evidentemente, no sólo se quiere no chocar contra el suelo, sino que toda la energía potencial que hemos adquirido al subir no la absorba nuestro cuerpo de golpe al impactar con la tensión de la cuerda o de ese hipotético cable. La cuestión, por tanto, es cómo vamos a repartir esa energía, o dicho de otro modo, sabiendo cual es el límite del cuerpo humano cómo queremos que además de que absorba poca energía, no se rompa la cadena de seguridad.

Pues bien, se establece que la fuerza de choque máxima que puede admitir una persona de 80Kg es de unos 12kN, y este es el límite que ponen los fabricantes a la hora de construir los materiales de seguridad, como por ejemplo la cuerda, con unos valores que rondan entre 4 y 9kN. A mayor valor requiere un uso más dinámico aunque se pueden utilizar en simple, y los valores más pequeños para las cuerdas dobles y gemelas.

Veamos entonces uno por uno, cómo actúan los elementos de la cadena de seguridad y cuales es la normativa de su fabricación:

- **pareja de escalada:** es la responsable de sujetar la cuerda a través del aparato de aseguramiento (o un nudo dinámico) cuando el que escala de primero se cae. A parte de poner a prueba los seguros intermedios también se pone a prueba a nuestra pareja de escalada. De cómo nos asegure dependerá en gran medida cuánto podrán resistir los seguros, es decir, el aparato con el que nos asegura y cómo regula la cuerda durante la caída.

- **estabilidad del hielo o la roca:** no existe una regla fija que nos indique si una fisura de roca en una laja se romperá por el efecto de un friend que quiere salir en una caída, o si el hielo circundante a un tornillo saltará. La colocación correcta de cada seguro es importante para que aguante el lugar donde está colocado, no obstante la resistencia se evalúa a simple vista y con la experiencia se intuye dónde la roca o el hielo es de mayor estabilidad. Siendo esta el menor de los problemas en la cadena de seguridad.

En rutas invernales hay que tener especial cuidado con la estabilidad del hielo si este está orientado en cara sur, de modo que su exposición al sol hace la pared sobre la que apoya la cascada se caliente y con ello pierda cohesión con el hielo. Además, por la diferencia de temperatura con el tornillo el agujero en que ha sido colocado tenderá en muy poco tiempo (algunas decenas de minutos) a hacerse más grande. Y por último, la dilatación del hielo en las fisuras en que se hayan colocado pitones de roca, tan habituales en rutas clásicas, puede afectar sensiblemente a la estabilidad de una reunión.

- **anclajes:** pueden ser fijos, móviles o naturales

Los naturales, evidentemente no están homologados y su resistencia se evalúa a simple vista. Con la experiencia se conocen cuales son los más seguros. Pueden ser gendarmes de roca, troncos de árboles, puentes de roca o de hielo, columnas de hielo, etc....

Los móviles son aquellos que se pueden poner y quitar:

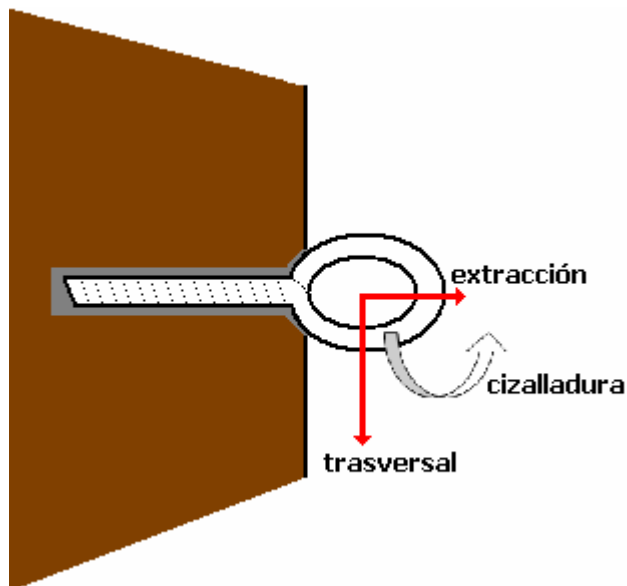
- pitones: están homologados y son de gran resistencia, si bien hay muchas ocasiones en que han sido colocados incorrectamente, o bien son tan antiguos que podrían partirse en una caída. De modo que hay rutas en las que siempre hay que llevar tres o cuatro para quitar uno antiguo para colocar uno nuevo.
- Figureros: su resistencia viene reseñada y viene a ser de entre 5kn y 12kn los más grandes. Esta resistencia se refiere a todo el conjunto de pieza y cable, de modo que hay que tener cuidado con esas piezas en las que colocamos nuestros cordinos y cintas.
- Friends: también viene reseñada en ellos su resistencia. Con el uso suelen gastarse las estrías que friccionan con la roca, de modo que hay que estar atentos en desecharlos cuando ya están algo viejos.
- tornillos de hielo: no es un elemento que tenga una resistencia fija y definida aunque sí está estudiada su resistencia cuando el emplazamiento es medianamente aceptable, que viene a ser de 20kN

Los fijos son lo que comúnmente llamamos "las chapas". Se instalan haciendo un orificio en la roca e insertando en ella una pieza metálica. Varía la resistencia de cada uno en función de lo que penetra en la roca y del sistema que utilice para evitar la extracción. Pueden ser del siguiente tipo:

- Buriles: los menos resistentes pero rápidos de colocar. Actualmente no se usan en equipamientos fijos sino que han sido relegados casi exclusivamente a la escalada artificial. Entran aproximadamente 1.5cm en la roca, a golpe de maza para doblar dos aletas metálicas que impiden su extracción. Por fuera se ve solamente una cabeza redondeada.
- Spits: Se distinguen por una cabeza de tornillo que sujeta la chapa a un casquillo roscado. El tornillo entra en el casquillo 1cm y el casquillo, que se usa también para hacer el orificio entra cerca de 2cm en la roca, en función de la métrica que se use (8 ó 10mm). Se siguen usando por su rápida colocación y por se de tipo expansivo.

- **Parabolts:** Actualmente son los que más se usan, aunque en equipamientos en los que generalmente se trabaja con taladro. Entran en la roca entre 5 y 10cm y tiene una o dos pletinas en su eje que actúan de expansivamente contra la extracción. Se distinguen por un espárrago que sale de la roca en el que se coloca la chapa y una tuerca.
- **Químicos:** Indudablemente lo que más aguantan, con un sellado químico de calidad. La mayor diferencia es que no requieren chapa ya que vienen doblados para mosquetonear directamente sobre ellos, lo cual permite incluso rapelar de uno sin necesidad de colocar un maillón.

En todos ellos se pueden llegar a dar tres fuerzas: transversal, de extracción y de cizalladura:



- **mosquetones:** A parte de la inmensidad de tipos que existen en el mercado, lo más básico de ellos es que constan de una parte rígida, aunque con cierta elasticidad y otra que es el gatillo que lo abre. Este gatillo puede ser también rígido o de alambre, o bien rígido con algún tipo de seguro que impida que se abra accidentalmente.

- **cordinos y cintas planas:** Lo más importante a saber es que son estáticos, sin estiramiento, de modo que no se deben usar para retener una caída, sino simplemente para colgar cargas. Por ejemplo, para hacer anillos de machard, cabos de anclaje, cintas de reunión, cintas express, etc...

- **cinta express:** Parte imprescindible del equipo, consta de dos mosquetones normales unidos por una cinta cosida. La resistencia

- **arnés:** El punto más importante del arnés es de donde pende la cuerda cuando nos caemos: el anillo ventral o anillo de rápel. Sin olvidar tampoco el

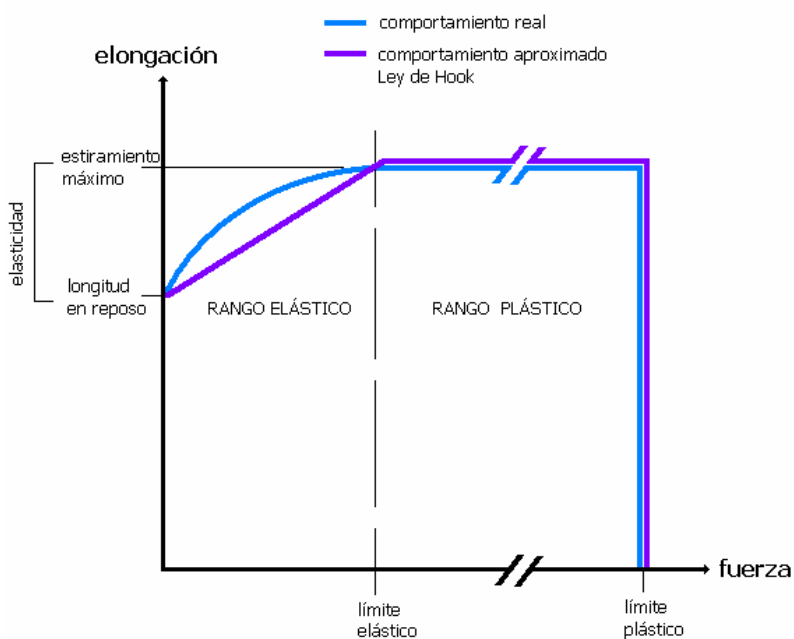
cierre. Hay arneses que incorporan cierre automático, con dos piezas metálicas de las que basta con colocarse correctamente el arnés y ajustarlo a la cintura. Pero si es de una sola placa, habrá que dar la famosa vuelta de seguridad, sin la cual el límite de los 12kN del anillo ventral poco podrá hacer para que no se abra el arnés.

- **casco:** aunque no entra dentro de la cadena de seguridad en una caída si lo hace si la caída se produce porque nos golpea un objeto en el casco o bien si impactamos durante esa caída con la cabeza en la pared. Es decir, que también es un elemento que absorberá parte de energía, provenga de donde provenga.

Pero el elemento que más esfuerzo, tiempo y dedicación de los fabricantes entre todos los de la cadena de seguridad es la cuerda.

- **la cuerda:** Lo primero que hay que tener en cuenta es que una cuerda de escalada es como un muelle o una goma que sufre una elongación cuando de un lado está fija y del otro estiramos. Como todo muelle, tiene un límite elástico y otro que se llama plástico.

El límite elástico es la fuerza a la que hay que someter a la cuerda para que no estire más. Si al comprar la cuerda vemos que su elasticidad es de un 10%, por ejemplo, entonces en 70m de cuerda, tan sólo se estirará hasta los 77m (sin tener en cuenta los nudos). Pero si no colgamos peso de la cuerda, por sí sola no se estira hasta los 77m aunque la propia cuerda en sí tenga peso. Este es un hecho que mucha gente experimenta al hacer rápel, por ejemplo. Y después de estirar esa distancia absorbiendo energía, pasa a ser un mero transmisor de la fuerza en toda su longitud.



Y el límite plástico es aquel en el que después de estirar hasta el límite, la cuerda empieza a deformarse hasta que se rompe. Además, el rango elástico es mucho más corto que el plástico y ambos van disminuyendo con cada caída, hasta el punto en que el límite plástico es menor que la fuerza de choque, momento en el que la cuerda se rompe. Mirando más interiormente la cuerda, se ve que no es uniforme y homogénea, sino que está compuesta por miles de filamentos en su interior, el alma. La elasticidad de la cuerda la confiere el trenzado de esos filamentos, no los filamentos en sí, que en realidad es muy baja, llegando a romperse varios de ellos tras una caída. Por este motivo, la

vida útil de una cuerda es limitada. Esta es la razón por la que los fabricantes garantizan solamente un cierto número de caídas, generalmente no más de 10. La fuerza de choque que indica el fabricante es aquella en la que la cuerda trabaja en rango elástico. Superar esta fuerza no implica que la cuerda se rompa sino que con estas caídas estamos haciendo trabajar a la cuerda en régimen plástico (aquí ya se están rompiendo fibras del alma) y con sucesivas caídas en las que la cuerda entra en este rango llega el punto en que una caída más que supere esa fuerza de choque, que además va disminuyendo con sucesivas caídas, la cuerda estará tan debilitada en un punto que romperá.

El comportamiento de los objetos en rango plástico es muy complicado de prever, de modo que sólo veremos el rango elástico. Como hemos dicho, la cuerda es como un muelle, y los muelles se estiran según la llamada ley de Hook, es decir, que el estiramiento de la cuerda es proporcional a la fuerza que se le aplique: $F = -kx$, donde k es la constante de proporcionalidad que depende de la naturaleza de la cuerda. Esta es una aproximación muy básica al comportamiento de la cuerda, pero que ayuda a comprender cómo funciona.

La constante de proporcionalidad k , puede depender de muchos factores, de modo que suele utilizarse el llamado Módulo de Young K , que sólo depende de la naturaleza del material con que está hecha la cuerda:

$$k = KS/l$$

Con, S la sección de la cuerda y l la longitud que se somete al estiramiento. Con estos ingredientes se puede calcular la expresión de la fuerza de choque:

$$F = mg + mg \sqrt{1 + \frac{2KSf}{mg}}$$

Donde todas las incógnitas con conocidas excepto f , el factor de caída.

Factor de caída

Es lo que indica cómo de fuerte es la caída en el momento del impacto. Se define como la relación entre longitud de la caída antes de que la cuerda comience a estirarse y la longitud de cuerda dinámica que trabaja para el estiramiento. De manera simple se puede dar un factor de caída teórico como:

$$f_{\text{teórico}} = (\text{longitud de la caída}) / (\text{longitud de cuerda desplegada})$$

Y el factor de caída real que viene a modificar el teórico cuando hay rozamiento de la cuerda con los seguros intermedios o también con los seguros intermedios y con la roca. Esta modificación al factor de caída teórico se debe a que toda la longitud de cuerda desplegada no trabaja dinámicamente si existen rozamientos. Cualquier escalador/a con ciertos años de práctica ha experimentado alguna vez cómo al cuerda no corre bien a lo largo de nuestra ascensión y nos obliga a tirar con más fuerza de ella hacia arriba. Esto es

debido a la mala colocación de los seguros haciendo que la cuerda haga mucho zig-zag y roce excesivamente con ellos o además también con la roca. Toda esa parte de cuerda que no se mueve libremente tampoco se estira libremente en una caída haciendo que trabaje en cierto sentido estáticamente y aumentando así el factor de caída.

Por tanto las correcciones al factor de caída se establecen del siguiente modo.

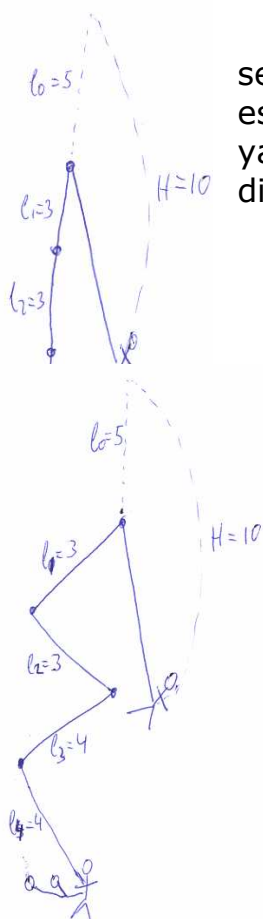
$$f_{\text{real}} = H / (L_0 + 0.63L_1 + 0.49L_2 + 0.37L_3 + 0.29L_4 + 0.22L_5)$$

Si además hay rozamiento con la roca:

$$f_{\text{real}} = H / (L_0 + 0.52L_1 + 0.33L_2 + 0.19L_3 + 0.11L_4 + 0.06L_5)$$

Hay que reseñar en estas dos últimas fórmulas que en el caso en que el escalador solamente ha puesto un seguro antes de caerse el único sumando que contribuye en el denominador es L_0 , de modo que resultan iguales los tres modos de calcular el factor de caída, pese a que puede que haya rozamiento entre la cuerda y la roca antes del primer seguro. Salvo esta excepción, las tres fórmulas serían iguales. Si, por el contrario, habiendo colocado seguros intermedios pero sin considerar reseñable el rozamiento de la cuerda con ellos ni con la roca, es decir, colocados linealmente se tomará también la fórmula teórica en lugar de la que da lugar si existen rozamientos.

Se ve además que el factor de caída real siempre es mayor que el teórico, aunque no es el temido factor 2 el máximo valor que se puede llegar a dar como muchos escaladores/as piensan. Veamos algunos ejemplos de caídas posibles:



Cuando se organiza correctamente la cuerda a medida que se asciende a lo largo de la vía, al llegar a un punto donde el escalador cae, el factor de caída es el mínimo al que se expone, ya que toda la longitud de cuerda desplegada se utiliza dinámicamente para detener la caída.

En el caso del dibujo es:

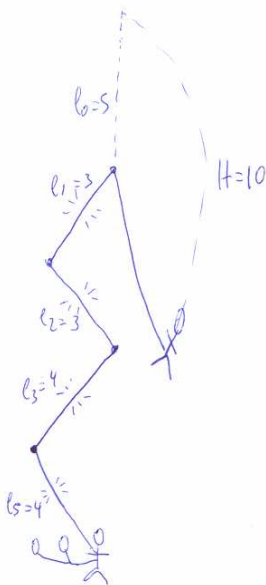
$$f_{\text{teórico}} = H / (L_0 + L_1 + L_2 + L_3 + L_4) = 0,53$$

Si, por el contrario, no organizamos correctamente la cuerda colocando cintas express de la longitud adecuada para que la cuerda suba sin rozamientos en zig-zag, el factor de caída aumenta considerablemente ya que los rozamientos

hacen que la cuerda no trabaje dinámicamente en toda la longitud desplegada.

En este caso el factor de caída es:

$$f_{\text{real}} = H / (L_0 + 0.63L_1 + 0.49L_2 + 0.37L_3 + 0.29L_4) = 0,91$$

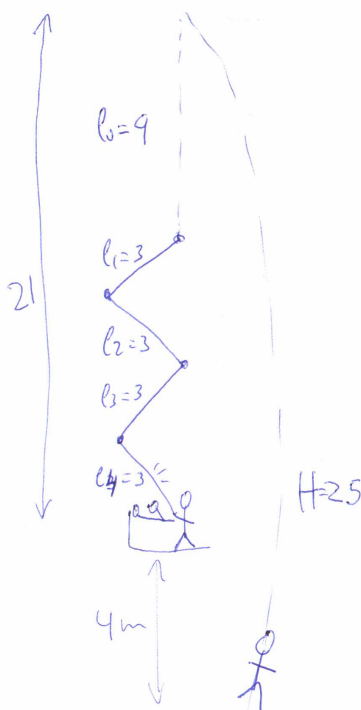


Si además existen rozamientos con la roca, algo que pocas veces se puede evitar, el dinamismo que trabaja para retener una caída se ve muy limitado, y por tanto, el factor de caída aumenta más aún.

En el mismo caso que antes tendríamos:

$$f_{\text{real}} = H / (L_0 + 0.52L_1 + 0.33L_2 + 0.19L_3 + 0.11L_4) = 1,14$$

Es decir, que de una caída de factor 0.53 calculada de manera simple con el factor de caída teórico pasamos a un factor 1.14 por no haber colocado correctamente la cuerda y tener además rozamientos con la cuerda. Otro de los mitos muy extendidos en la escalada es que los factores de caída superiores al valor 2 no existen. Veamos un sencillo ejemplo en el que vemos que esto no es cierto.



Supongamos ahora que un escalador (es independiente que vaya o no con compañero/a) coloca una cuerda simple en zig-zag con rozamiento en mosquetones y roca con tres seguros equidistantes a 3m, pero después de colocar el tercero no ve más emplazamientos fiables y continúa escalando 9m más, aunque como la cuerda roza tanto no puede proseguir y se pone a tirar de la cuerda, recogiendo 7m, para que no le tire tanto. Si justo en ese momento se cae, la caída será de 15m de cuerda hasta el último seguro más los 10m escalados desde el último seguro. El factor de caída será:

$$f = 25 / (10 + 0.52 * 2 + 0.33 * 2 + 0.19 * 2) = 2,06$$

Estos valores los encontramos solamente en estos casos en que caemos más del doble de la distancia escalada hasta el último seguro y además por debajo de la reunión. Por tanto, hay que tener siempre presente no exponerse a estas caídas en que se puede sobrepasar la reunión en una caída, o incluso el suelo y colocar siempre la cuerda lo más recta posible para evitar los rozamientos y la necesidad de tener que tirar de la cuerda sin progresar nosotros con ella.

Es sencillo calcular ahora la fuerza de choque que le imprimiremos al último seguro, a la reunión y al cuerpo del escalador si conocemos cual es el módulo de Young de la cuerda que estemos utilizando.

El módulo de Young

Este valor nos indica cuanto puede absorber una cuerda, es decir, cómo de dinámica es. Se sabe muy bien cómo se utiliza una cuerda simple, doble o gemela, pero del cálculo del módulo de Young veremos además qué aparato será más recomendable utilizar con esa cuerda para no sobrepasar los límites de carga de los elementos de la cadena de seguridad.

De la ecuación de la fuerza de choque despejando el módulo de Young se obtiene:

$$K = \frac{mg}{2fS} \left[\left(\frac{F}{mg} - 1 \right)^2 - 1 \right]$$

De aquí se puede hacer una tabla con los valores del módulo de Young de varias cuerdas donde veamos en su etiqueta la fuerza de choque máxima, que suelen darla para la primera caída de factor 1.77 con un escalador/a según los siguientes usos:

- Cuerda simple: $F < 12\text{kN}$ con factor 1.77 para un escalador de 80kg
- Cuerda doble: $F < 8\text{kN}$ con factor 1.77 para un escalador de 55kg con un cabo
- Cuerda gemela: $F < 12\text{kN}$ con factor 1.77 para un escalador de 80kg con dos cabos (tener en cuenta que con dos cabos se suman las superficies de ambas, lo que da un valor teórico del radio que es menor que el doble)

Hay que sustituir $S = \pi(D/2)^2$, donde D es el diámetro de un cabo de la cuerda.

| Uso | Fchoque (N) máxima garantizada | Diámetro (mm) | K para f=1,77 |
|---------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|
| cuerda simple (80Kg, un cabo) | 7400 | 10,5 | 3,59E+08 |
| cuerda doble (55Kg, un cabo) | 5300 | 9,0 | 3,68E+08 |
| cuerda gemela (80Kg, dos cabos) | 7400 | 10,9 | 3,34E+08 |

Para el caso del escalador solitario la cuerda que se utiliza es simple, de modo que podemos tomar el valor $K= 3,59E+08 \text{ N/m}^2$.

Es interesante ver ahora cómo varia la fuerza de choque, una vez conocidos todos los datos de la cuerda, en los diferentes casos reales que se puedan dar al escalar con una cuerda simple de 10,5mm y $K= 3,59E+08\text{N/m}^2$, un escalador de 80Kg.

Recordemos que el límite deseable para la fuerza de choque es de 12kN. Pero en el último seguro que nos ha de sujetar la caída los valores de fuerza de choque de la tabla anterior se ven incrementados sustancialmente por lo que se llama efecto polea.

Efecto polea



Cuando el escalador golpea a través de la cuerda en el último seguro con una fuerza de choque F_e aparece otra igual que se opone a ella a través de la cuerda, sumándose a otra fuerza F_a que se ejerce desde la reunión conectada al otro extremo de la cuerda. Todas estas fuerzas se suman en el último seguro, veremos qué valores puede llegar a alcanzar esta fuerza de choque total en

función de los distintos aparatos y sistemas de aseguramiento y en qué valores puede llegar a saltar el seguro.

Como ya se ha comentado el efecto que proporciona el sistema de aseguramiento que se utilice, el sistema de freno, puede ser más dinámico, es decir, que deja correr más cuerda durante la caída o más estático. Evidentemente uno más dinámico hace que haya más cuerda para absorber la energía de caída, de modo que la fuerza de choque total es menor. Podemos resumir el efecto polea en el último seguro como la siguiente suma de fuerzas:

$$\vec{F}_{\text{total}} = \vec{F}_e + \vec{F}_e + \vec{F}_a$$

Donde se puede calcular la magnitud de esta fuerza total mediante el teorema del coseno, conociendo el ángulo que forman los dos vectores principales que se suman. Si promediamos los valores que puede tomar el coseno en un rango de caídas que pueda ir desde 90° hasta 0° , se obtiene $2/\pi$

$$F_{total} = \sqrt{F_e^2 + (F_e + F_a)^2 - 2 \cos \alpha}$$

$$F_{total} = \sqrt{F_e^2 + (F_e + F_a)^2 - 8/\pi^2}$$

Esta fuerza siempre perjudica siempre al último seguro, la habilidad del escalador estará, por tanto, en intentar encontrar un equilibrio entre frenar la caída y proteger ese seguro para que no salte. Si evaluamos los distintos factores de caída a los que está sometido un seguro y la fuerza de choque total vemos que hay casos en los que esos valores rondan valores muy peligrosos, como puede verse en la siguiente tabla:

| | | | | | | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| factor de caída | f1 | f2 | f3 | f4 | f5 | f6 | f7 | f8 | f9 |
| | 0,25 | 0,50 | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| fuerza de choque (en kN) | F1 | F2 | F3 | F4 | F5 | F6 | F7 | F8 | F9 |
| | 4,4 | 5,8 | 6,9 | 7,8 | 8,6 | 9,4 | 10,1 | 10,7 | 11,3 |

| Efecto polea: fuerza de choque total según el aparato de aseguramiento (en kN) | | | | | | | | | |
|--|--------------|------|------|---------------|------|------|-------------------|------|------|
| nudo dinámico 3 kN | 8,5 | 10,5 | 12,0 | 13,3 | 14,4 | 15,5 | 16,4 | 17,3 | 18,2 |
| cesta o reverso 5 kN | 10,3 | 12,2 | 13,7 | 15,0 | 16,1 | 17,1 | 18,1 | 19,0 | 19,8 |
| grigri o soloist 9 Kn | 14,0 | 15,8 | 17,3 | 18,5 | 19,6 | 20,6 | 21,5 | 22,4 | 23,2 |
| Evaluación del riesgo | Caídas leves | | | Caídas graves | | | Caídas muy graves | | |

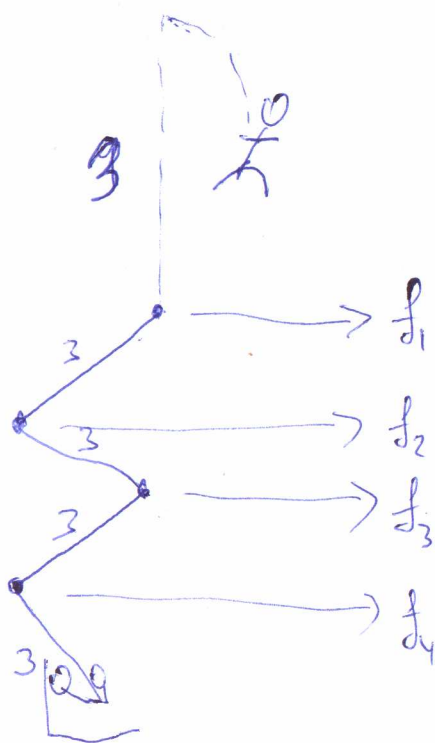
La tabla ha sido configurada para caídas de un escalador de 80kg con cuerda simple de 10.5 mm de diámetro y fuerza de choque límite de 7,4kN (lo que da un módulo de Young de 3.59E+08 N/m²). Esta fuerza de choque límite solamente indica hasta donde funciona la cuerda en régimen elástico, no implica que con más fuerza de choque la cuerda se rompa, aunque sí es cierto que se debilita y que después de cierto número de caídas en las que se supera dicho límite es posible que sí se rompa.

Recordemos que un parabolts, un mosquetón, la cinta express y la mayoría de los elementos de la cadena de seguridad tienen un límite de carga cercano a los 21kN y un fisurero o un friend puede aguantar tan sólo entre 7 y 10kN, lo cual resulta del todo insuficiente para la mayoría de las caídas, de modo que si no salta por su mal emplazamiento en la roca puede llegar a romperse el cable e ir descosiendo la vía durante la caída. Los valores marcados en rojo son los cercanos al límite de rotura de la mayoría de estos elementos, es por este motivo que en vías deportivas equipadas con químicos o parabolts donde los factores de caída nunca suelen superar el valor 1 se puede escalar con cuerda simple y asegurar con un sistema estático como el gri-gri y en vías alpinas donde los seguros son más precarios (pitones, buriles, fisureros, friends o tornillos de hielo) es necesario un aseguramiento dinámico con doble cuerda.

A tenor de estos resultados, se ve que aunque la cuerda sea dinámica tiene ciertas limitaciones para absorber toda la energía necesaria. Además,

como todo el mundo sabe, la vida útil de una cuerda no es eterna, de modo que la cuidaremos mejor cuanto menor esfuerzo le hagamos realizar. Esto no quiere decir que caerse sea fatal, aunque sería lo ideal no caerse nunca, sino que el sistema de aseguramiento ayuda a absorber más energía y por tanto a que la cuerda y a través de ella nuestro cuerpo absorba menos.

Para el caso de un escalador solitario provisto de un soloist (incluso con el sistema de gasas al arnés), que como ya se ha visto es el aparato que retiene la cuerda para que no siga corriendo cuando el escalador cae, esta manera de parar la cuerda es tan efectiva que llega a ser excesivamente estática, es decir, que la fuerza de choque transmitida al último seguro que debe retener también la caída es tan grande que puede llegar a superar la resistencia de ese último anclaje (roca, anclaje fijo, móvil o natural y cinta express). No olvidemos que los 10 elementos de la cadena de seguridad retiene una caída si están en consenso, si no lo están, la cadena se rompe y el escalador caerá hasta abajo. De la tabla anterior vemos que con caídas superiores a un factor de 1.6 la fuerza de choque total al estar asegurados con un soloist llega a los 21kN.



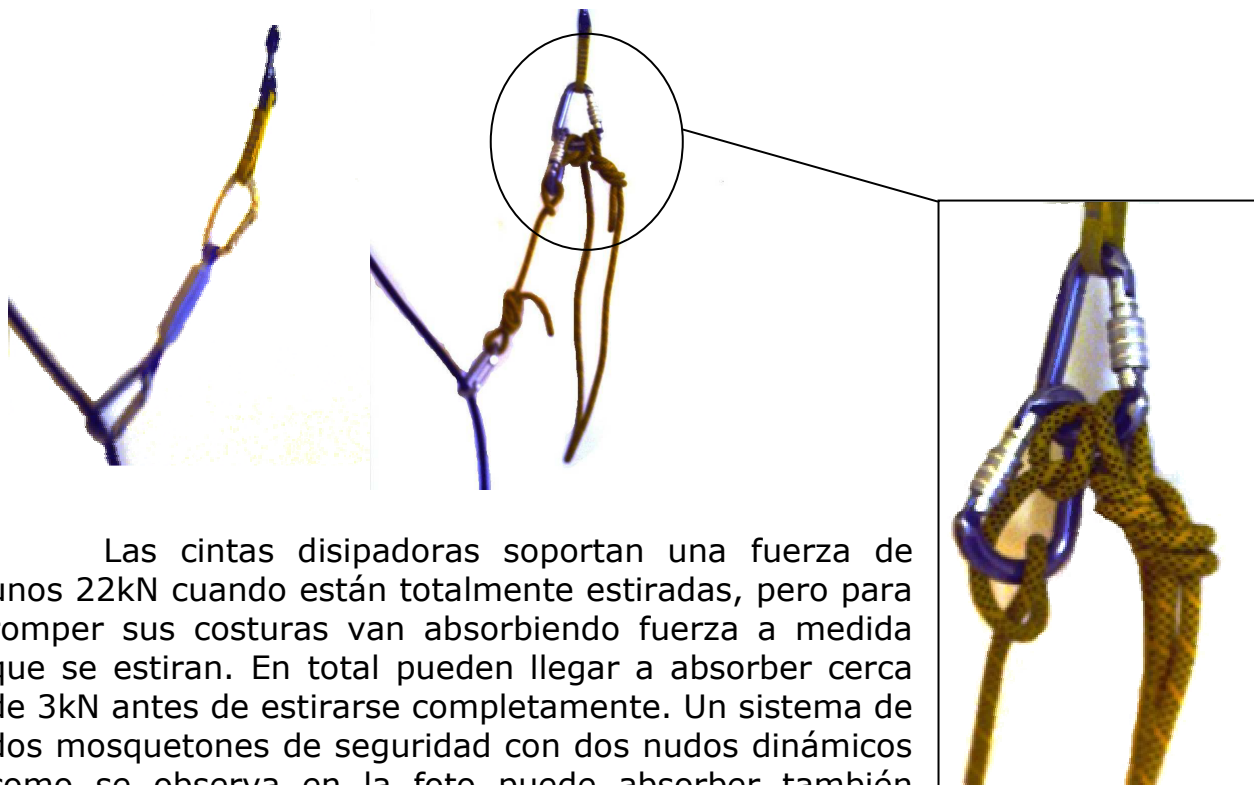
Estudiemos ahora qué sucede cuando después de la caída el escalador/a solitario va descolgando los seguros que fue colocando, haciendo que la cuerda rozase con todos los seguros y con la roca. Como en los ejemplos anteriores supongamos que ha ido ascendiendo en solitario y asegurado con un soloist, colocando seguros cada tres metros. Después de haber colocado cuatro, sube tres metros más y se cae. Los diferentes factores de caída y la fuerza de choque asociada a cada uno son los siguientes:

| Caída sobre el seguro | Factor de caída | Fuerza de choque total |
|-----------------------|-----------------|------------------------|
| 1º | 0.93 | 18.2 kN |
| 2º | 0.66 | 16.8 kN |
| 3º | 0.52 | 15.9 kN |
| 4º | 0.40 | 15.2 kN |
| reunión | 0.40 | 5.3 kN |

El factor de caída hasta el tercer seguro está calculado con la fórmula real, mientras que cuando golpea sobre el cuarto seguro ya no hay rozamientos en zig-zag, aunque puede que si los haya sobre la roca, y se ha calculado con la fórmula teórica al igual que la caída sobre la reunión. Aunque se ve que al romper los seguros la caída es sucesivamente más grande, en lo que atañe al choque con el seguro es siempre de 6m aproximadamente. Es lógico que caídas con una fuerza de choque total sobre el último seguro de más de 15kN rompa el seguro si era un friend, un pitón o un buril viejo. El límite de rotura de muchos friends está entre 7 y 15 kN, de modo que lo más probable es que el 4º seguro aguante la caída o en su defecto la reunión, sobre la que el anillo de cinta aguantará cerca de 20kN y cada seguro recibirá a partes

iguales un máximo de 2.7kN cada uno. La fuerza de choque sobre la reunión no se calcula con el efecto polea, ya que no hay más seguros que hagan polea, sino que la fuerza de choque es la que le imprime directamente el escalador al caer sobre ella.

Existen maneras de reducir un efecto polea excesivo en el último seguro, son sistemas dinámicos, que aún a costa de hacer que el que cae, caiga más distancia, evitamos con ellos que la fuerza de choque total haga saltar el seguro. Cuando trasladamos esto al problema de escalar en solitario, donde estamos asegurados por un aparato estático como es el soloist (o silent-partner o gazas al arnés) vemos que la solución para reducir el efecto polea no está en nuestro aparato sino en la reunión y en el último seguro. Es cierto que ese último seguro nunca se sabe cual va a ser, aunque se puede intuir cual es el paso más duro o dónde hay más probabilidades de caída. Y es en estos puntos donde hay que reforzar el seguro e instalar en él un sistema dinámico como una cinta disipadora o un sistema dinámico de fortuna que haga aumentar la longitud de la caída pero que no haga subir excesivamente la fuerza de choque total en ese seguro.



Las cintas disipadoras soportan una fuerza de unos 22kN cuando están totalmente estiradas, pero para romper sus costuras van absorbiendo fuerza a medida que se estiran. En total pueden llegar a absorber cerca de 3kN antes de estirarse completamente. Un sistema de dos mosquetones de seguridad con dos nudos dinámicos como se observa en la foto puede absorber también cerca de 3kN y un absorbedor tipo vía ferrata colocado en la reunión puede absorber hasta 5kN. En el ejemplo anterior, si se hubieran colocado cintas disipadoras en cada uno de los seguros y también en la reunión la fuerza de choque en cada seguro hubieran sido:

| reunión | 0.40 | 5.3 kN – 5 kN = 0.3 kN |
|-----------------------|-----------------|--------------------------|
| Caída sobre el seguro | Factor de caída | Fuerza de choque total |
| 1º | 0.93 | 18.2 kN – 3 kN = 15.2 kN |
| 2º | 0.66 | 16.8 kN – 3 kN = 13.8 kN |
| 3º | 0.52 | 15.9 kN – 3 kN = 12.9 kN |
| 4º | 0.40 | 15.2 kN – 3 kN = 12.2 kN |

Donde lo más probable es que si el 2º seguro estaba correctamente colocado hubiera soportado 13.8kN de choque. Y en el peor de los casos la reunión sólo habría tenido que soportar 0.3kN en total o 0.17kN cada seguro.

Por tanto, ya tenemos todos los ingredientes para conocer el límite de los materiales que utilizamos y la manera más segura de utilizarlos. Aún con todo, recuerda que la mejor manera de no quedar expuesto a que algún elemento de la cadena de seguridad falle y con ello tengas un grave accidente es NO CAERSE.

ATENCIÓN:

La escalada en roca, hielo y en general el alpinismo, ya se realice con compañero/a o en solitario, son actividades potencialmente peligrosas. Se debe entender y aceptar los riesgos que conllevan tales actividades antes de tomar parte en ellas. El practicante es responsable de sus propios actos y decisiones independientemente de su experiencia, habilidad, conocimientos técnicos o cualquier otra condición, que no le exoneran de tal responsabilidad.

Antes de practicar en terreno real las instrucciones contenidas en este manual de escalada en solitario, el autor recomienda a los escaladores que lo usen complementen su lectura con cursos de especialización impartidos por profesionales cualificados. Para ello remitimos a todas aquellas personas interesadas a la asociación española de guías de montaña o cualquiera de las compañías de guías que impartan dichos programas de formación.

No respetar alguna de estas advertencias puede acarrear accidentes graves o incluso mortales.

NO SE CAIGAN, POR FAVOR...
Y SIGAN DISFRUTANDO DE LA ESCALDA

Raúl Muñoz Triguero
- guía de alta montaña -