



TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DE SISTEMAS DE ESCALADA LIBRE

Analiza los distintos tipos de sistemas para detener las caídas producidas en la escalada denominada libre o alpina. Sobre todo se hará hincapié en los denominados Friend, que son los dispositivos más modernos que existen hoy en día en el mercado

Introducción:

En este proyecto, se pretende conocer los distintos tipos de sistemas para detener las caídas producidas en la escalada denominada libre o alpina. Sobre todo, se hará hincapié en los denominados Friend, que son los dispositivos más modernos que existen hoy en día en el mercado.

Índice:

Introducción.....	0
Conocimientos básicos de la escalada:	1
El material.....	2
Topología del peligro.....	5
Tipos de escalada	12
• Escalada clásica.....	13
• La escalada de competición.....	14
• Escalada en Hielo.....	15
• Escalada deportiva	16
• Escalada Artificial	17
• Solo integral	18
• Boulder.....	20
• Psicoblock	21
Materiales empleados en la escalada libre.....	22
• Fisureros:.....	22
• Fisureros excéntricos:.....	23
• Tricam o pata de cabra.	23
• Fisureros mecánicos por cuñas:.....	24
• Friends:.....	25
○ Wild country:	25
○ Camalot de Blac diamont:.....	26
○ Totemcam:	27
Levas de friends	28
• CAMALOT 2	I
• HB	II
• Wild Country.....	III
• Conclusiones:	30
Equilibrio del friend.....	31
• Analizando una leva	35
• Centrado del friend.....	36
• Casos posibles:	
○ Fisuras paralelas.....	37
○ Fisuras abiertas	38
○ Fisuras cerradas.....	39
○ Fisuras paralelas con totemcam	40
○ Fisuras abiertas con totemcam	41
• Conclusiones	43
Cálculos coeficientes de fricción	
• Estático.....	46
○ Seco.....	49
○ Con humedad	54
• Dinámico	55
Sistema alternativo al friend.....	59
• Problemática del friend	60
• Conjunto de muela	61
• Vista del sistema	62
• Funcionamiento.....	63
• Pruebas	67
Conclusión.....	75
Agradecimientos	77
Índice de figuras	78
Bibliografía	79

Conocimientos básicos de la escalada:

La escalada, es una actividad, que consiste en realizar ascensos sobre paredes de fuerte pendiente, valiéndose de la fuerza física y mental propia.

En origen, aparece como una actividad derivada del montañismo. Entonces se consideraba sólo como un medio de entrenamiento para los recorridos de montaña. Fue en el siglo XIX cuando la actividad nació en Alemania del Este (Dresde) y en Inglaterra (el distrito de los Lagos).

A lo largo de un siglo, el material evolucionó al ritmo de las actuaciones de los escaladores y a la inversa. Las vías de dificultades crecientes aparecieron con los tiempos: 1913, nivel 5 ; 1917, nivel 6 ; 1970, nivel 7 ; 1983, nivel 8 ; 1991, nivel 9... La existencia de rocódromos a partir de los años 1960 dio un auténtico empuje a la evolución de la disciplina.

La escalada, está a menudo considerada como un deporte de riesgo, aunque conviene distinguir diferentes prácticas. Habitualmente, se practica con un equipo que permite evolucionar con toda seguridad.

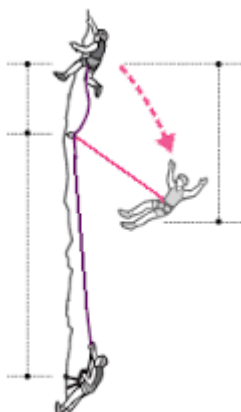


Fig. 1

El modo de proceder en casi todas las modalidades de escalada es el siguiente: Los dos escaladores van unidos siempre por una cuerda. El escalador, arriba en la imagen, lleva un extremo de ella y va colocando los anclajes de manera que en caso de caída, el último colocado sea el que detenga la caída. El asegurador en cambio, irá dando cuerda a medida que este vaya subiendo. Para ello, se utilizan unos sistemas que aumentan el rozamiento de la cuerda, bien automáticamente en caso de caída o bien de manera manual. Al final, será el peso del asegurador quien sostenga al escalador, y la cuerda será la que se encargue de absorber la energía que se genere en esta.

Cabe mencionar, que la cuerda empleada, denominada dinámica, gracias al trenzado específico y a la elasticidad que posee, absorbería gran parte de la energía generada en la caída. Ya que, una detención brusca del escalador, podría ocasionarle daños internos o hacer que el material se rompiera, debido a la energía que se genera en ésta es enorme.

El material imprescindible en estos sistemas son: los arneses, que unirán el cuerpo tanto al extremo de la cuerda como al sistema de aseguramiento. El sistema de aseguramiento, que facilitará el bloqueo de la cuerda en caso de caída y también controlará el rozamiento cuando el escalador baje. Y los anclajes, que dependerán del tipo de escalada que hagamos.

EL MATERIAL

Para cualquiera de los elementos del material, deberíamos exigir que tengan la homologación CE o UIAA, y por tanto etiquetados como tales.

Una inspección visual se impone una vez hecha cualquier compra de material, para detectar posibles-aunque poco probables-defectos de fabricación. Con el tiempo tendremos que vigilar el envejecimiento, teniendo en cuenta las indicaciones de caducidad, siempre relativas, que proponen los fabricantes.

LA CUERDA

Es el elemento básico de la cadena de seguridad. En escalada deportiva utilizamos cuerdas dinámicas simples, fabricadas en poliamida. Están compuestas por un alma de hilos trenzados, y una funda exterior que la protege. Son cuerdas marcadas con un 1 en las etiquetas de los extremos. Su diámetro es variable desde 9 a 11 mm según el fabricante y el modelo. De cara a la seguridad, un diámetro menor no significa una cuerda menos segura, a condición de utilizar un aparato de freno automático adecuado. Por el contrario, normalmente un diámetro menor conlleva una elasticidad mayor de la cuerda, lo que favorece la seguridad. Las cuerdas más finas, son sin embargo menos durables.

La fuerza de choque de una cuerda es el parámetro que nos da una idea más fiel de su elasticidad. Las cuerdas con una fuerza de choque más baja se comportan más elásticamente, y por tanto ofrecen caídas más suaves. Desde el punto de vista de la seguridad deberíamos preferir cuerdas con valores bajos. Las mejores cuerdas simples del mercado en este sentido arrojan valores alrededor de 7,5kn de fuerza de choque máxima para el ensayo normalizado.

La longitud de las cuerdas dinámicas simples que podemos encontrar en el mercado varía entre 50 y 80 m. Considerando que uno de los accidentes más frecuentes es que salga la cuerda del aparato durante el descuelgue cuando agotamos su longitud, deberíamos preferir comprar longitudes mayores, 70m se ha vuelto un estándar imprescindible para escalar en muchas zonas.

EL ARNÉS

El arnés es el elemento que conecta la cuerda con nuestro cuerpo, repartiendo la energía en caso de caída. En la elección del arnés deberíamos primar la comodidad, y el buen ajuste al cuerpo. De cara a la seguridad es importante elegir la talla adecuada, y que en ningún caso nos venga sobrante. Todos los arneses homologados son igualmente seguros desde el punto de vista de la resistencia.



Fig. 2

CINTAS EXPRESS

Las cintas express, forman parte también de la cadena de seguridad, pues tienen la misión de conectar la cuerda a los anclajes de la pared. En las cintas express diferenciamos claramente dos partes, la cinta en sí y los mosquetones. En cuanto a la cinta, deberíamos utilizar siempre cintas cosidas



Fig. 3



Fig. 4

Usaremos cintas medianas y largas, siempre con algún sistema antigiro en el mosquetón inferior

EL APARATO ASEGURADOR

Forma igualmente parte de la cadena, pues conecta la cuerda con el arnés del asegurador. Su función es detener la caída, y además controlar el paso de la cuerda a voluntad del asegurador. Básicamente hay dos tipos de aparatos, los llamados manuales y automáticos.

Los aparatos manuales son mucho más ligeros y polivalentes, ya que podemos también asegurar con bloqueo al segundo de cuerda o rapelar con ellos, y son aparatos muy indicados para escalar en pared. No obstante, no bloquean automáticamente, sino que sólo la intervención directa del asegurador garantiza el bloqueo en caso de caída. Este tipo de aparatos requieren de mucha práctica y experiencia, ya que un despiste, puede dar lugar un accidente.

Los aparatos automáticos bloquean rápidamente la cuerda en caso de caída, independientemente de que el asegurador esté despistado o no en ese momento, lo cual nos da un plus de seguridad indiscutible. Además, son aparatos ideales para asegurar en top rope y para descolgar al compañero, gracias precisamente a su capacidad automática de bloqueo bajo tensión. Deben usarse con los diámetros de cuerda que el fabricante indica, y prestar especialmente atención cuando la cuerda es nueva, pues ésta tiende a correr por el aparato mucho más rápido. Es cierto que ha habido muchos accidentes por caídas no detenidas con este tipo de aparatos, pero siempre ha habido un mal uso de los mismos, es decir el asegurador ha mantenido la mano apretada en la leva, o bien se estaba usando una cuerda de diámetro inferior al que el aparato podía retener o incluso se ha colocado erróneamente la cuerda. Para evitar este accidente típico, es fácil tomar el buen hábito de mantener siempre la mano inferior en la cuerda y fuera del aparato. Cabe resaltar sin embargo que existe en el mercado un aparato automático de Edelrid, que está estudiado para minimizar este riesgo, ya que la leva se sitúa constantemente dentro de una caja rígida, impidiendo que la presionemos por error, cuando no toca.



De izquierda a derecha: aparato asegurador manual sobre mosquetón de rosca normal; y dos aparatos automáticos

TIPOLOGIA DEL PELIGRO

Podemos establecer dos grandes familias de peligros en escalada: peligros objetivos y peligros subjetivos. Todos los peligros pertenecen a alguno de estos dos grupos, aunque cabe decir que el límite entre los dos no siempre es preciso, tal y como veremos en algunos ejemplos.

Peligros objetivos son aquellos que no dependen directamente del escalador, por tanto no podemos estar seguros de evitar, pero sí hemos de intentar prevenir.

Peligros subjetivos son aquellos que dependen directamente del escalador, por tanto podemos estar seguros de controlarlos con nuestra actitud, si hacemos las cosas correctamente.

PELIGROS OBJETIVOS

Las situaciones peligrosas que no dependen directamente del escalador son quizás las menos frecuentes, corresponden entre un 10 % y un 20% del total de ellas. En general, este tipo de situaciones son más frecuentes en la escalada tradicional y todavía más en alpinismo, pero de ninguna manera se reducen a cero en escalada deportiva. Recordemos que la política que hemos de seguir para el control de estos peligros es la prevención. Pero hemos de ser conscientes de que esta prevención, por bien hecha que esté, nunca conseguirá la seguridad total.

A continuación pasamos a detallar cuales son estas situaciones, sus posibles consecuencias, y cuál sería su prevención correspondiente.

LA CAIDA DE PIEDRAS Y ROTURA DE PRESAS

Esta situación puede ser causada por meteoros, por animales o por personas. En el caso de las personas podríamos considerarlo como un peligro subjetivo, dependiendo de la situación. **El viento** puede desencadenar pequeñas caídas de piedras, que si ocurren en una pendiente dominando la pared, pueden arrastrar piedras de mayor tamaño que golpean con fuerza el pie de vía. Un día ventoso después de días de lluvia puede ser especialmente problemático.

La morfología del terreno que domina la pared, puede propiciar sin duda la caída de piedras. Los sectores deportivos que tienen canales por encima son más problemáticos.

El paso de animales puede ser también desencadenante de una caída de piedras. Es tristemente conocida la noticia de la muerte de una chica, en el año 2007, en el sector deportivo de la Cova de l'Arcada, en Montserrat sur. Estando a pie de vía le cayó una piedra, con toda seguridad desequilibrada por el paso de cabras salvajes en la pendiente que domina la pared.

Los propios compañeros de cuerda o otros escaladores nos pueden tirar piedras mientras estamos a pie de vía, sin querer y incluso sin darse cuenta. Esta situación se produce muy a menudo, sea por rotura de presas que no aguantan la presión del

escalador, sea por la propia cuerda que desequilibra piedras inestables al tirar de ellas en dirección desfavorable.

Esto es especialmente habitual en vías recién abiertas, pero también puede pasar en vías trazadas sobre un terreno demasiado inestable, que no se terminan de limpiar nunca con el paso de escaladores. A finales del año 2011, un escalador murió en la zona deportiva de Fatanga, en Gran Canaria, a resultas de un desprendimiento de bloques situados en la propia vía que estaba escalando. Los bloques cortaron la cuerda y precipitaron el escalador al vacío.

Nosotros mismos, escalando, podemos arrancar presas inestables, con la consiguiente caída inesperada. A veces éstas son claramente sospechosas, pero a veces no es así.

Las acciones preventivas que podremos tomar son:

-Llevar casco, tanto escalando como a pie de vía. A pesar de esta prevención, no tendremos nunca la seguridad total, pero sí la favoreceremos muchísimo. Apartarnos siempre, cuando aseguremos, de la vertical del escalador, ya que ésta es la trayectoria natural de piedras que pueden caer.

-Estar atentos para percibir este peligro en un momento y un lugar determinado: observar la calidad de la roca, cargar las presas con prudencia si pensamos que son sospechosas, observar la morfología del terreno que domina el sector y evitar pies de vía bajo canales o pequeñas tarteras, no subestimar la fuerza del viento y considerar el paso de animales salvajes. También hemos de estar atentos al las cordadas vecinas. Es necesario pues, ser críticos con todos estos factores y reaccionar en consecuencia a los primeros síntomas de que hay una situación propicia a la caída de piedras.

-La comunicación con el compañero puede ser fundamental como acción preventiva, cuando sospechemos que pueden desprenderse piedras.

-La parada o técnica de boulder que consiste en cubrir la espalda al compañero durante los primeros movimientos de la vía, antes de alcanzar el primer seguro, se impone como actitud preventiva ante la posible rotura de una presa.



Fig.6

Aseguramiento tipo Boulder antes de la primera chapa

EL DISEÑO DE LA VIA

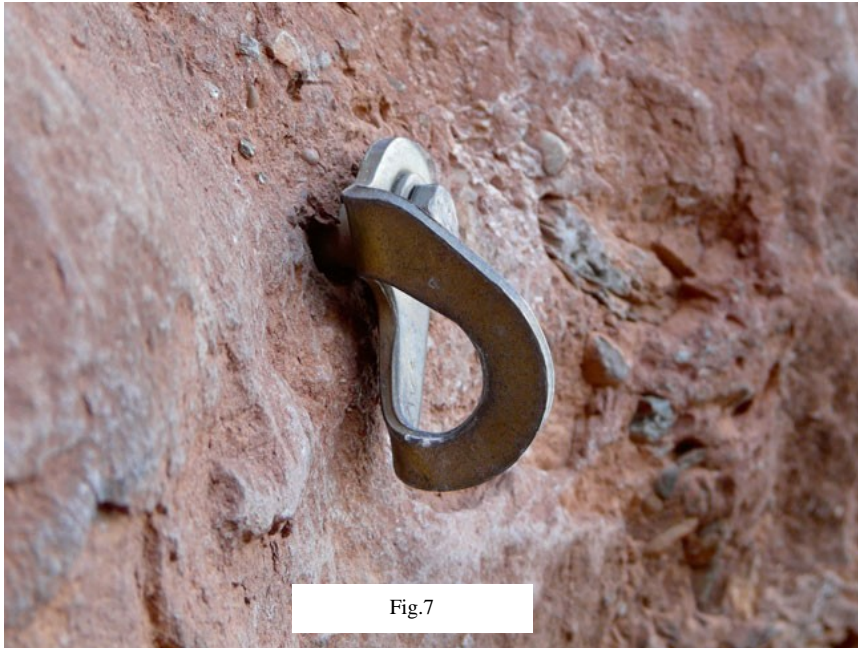
Éste es un factor que tampoco depende de nosotros, y que puede ser realmente peligroso.

La situación de los anclajes en algunas vías es claramente errónea, ya sea por distancias excesivas entre ellos, ya sea por la posición del anclaje respecto a las presas, que obliga a chaparlo precariamente. Los alejes excesivos son típicos de algunas zonas, donde los escaladores locales han gustado de desarrollar esta tradición fanfarrona.

La posición del anclaje respecto a la roca, puede ser peligrosa si como a menudo ocurre, obliga al mosquetón a trabajar haciendo palanca con la roca o en posición desfavorable.

Los anclajes inadecuados que podemos encontrar en algunas vías, son también peligrosos. Podemos encontrarnos anclajes obsoletos, caseros, inadecuados para el tipo de roca, o con metales mezclados.

Sobre rocas areniscas o calizas muy blandas, así como en todo tipo de rocas en ambientes marinos, el químico es el único seguro que podemos considerar fiable.



Un spit en roca blanda no es muy de fiar

Las acciones preventivas que podemos tomar son:

-Nuestra observación de cada situación concreta, y la actuación en consecuencia será de nuevo, fundamental.

-Renunciar a hacer una vía si juzgamos un peligro evidente en este sentido. Esto lo podemos hacer después de una inspección visual desde el suelo, pero también lo podemos hacer si a media vía, la sensatez nos dice que las distancias entre seguros son excesivas, y valoramos la posibilidad de una caída larga en terreno con salientes o pequeñas repisas. En este caso, no deberíamos dudar de abandonar un mosquetón en el seguro correspondiente y bajarnos de la vía.

EL ESTADO DE LOS ANCLAJES

Es otro factor que puede ser peligroso y no depende de nosotros. Ya hemos hablado de que deberíamos descartar escalar vías deportivas con anclajes obsoletos, caseros o inadecuados. Al margen de esto, el estado de los anclajes puede ser peligroso si están mal colocados, si han envejecido excesivamente, o están deteriorados por múltiples caídas. Actualmente podemos considerar que hay dos grandes familias en los anclajes, los que actúan por expansión mecánica, que genéricamente llamamos parabolts, y los que actúan por acción de una resina epoxi, que llamamos químicos. A priori estos últimos son más resistentes y fiables, pero no infalibles.

Una mala colocación se evidencia en un parabolt cuando presenta el espárrago demasiado salido, síntoma de que no ha expansionado bien o lo ha hecho superficialmente. Por el contrario, si encontramos una chapa suelta basta con apretarla con la mano, el parabolt será seguro si está bien expansionado.



Un parabolt con el espárrago excesivamente salido indica una expansión dudosa o demasiado cerca de salirse

El envejecimiento está directamente relacionado con la corrosión del anclaje. Cuando presenta síntomas externos, la corrosión interna puede ser importante y el anclaje puede fallar bajo carga. Los anclajes situados en el curso de pequeñas corrientes de agua, o en sitios especialmente húmedos como los techos acostumbran a envejecer más rápidamente. En los anclajes situados en entornos marinos, la corrosión es muy rápida, y se tendría que utilizar exclusivamente acero inoxidable.

El deterioro por múltiples caídas es evidente en algunos anclajes. La chapa es en este caso la que sufre más. Esto se hace evidente en el tramo clave de algunas vías duras. Lo positivo es que antes de romperse la chapa presentará una deformación muy importante, avisándonos.

La instalación de la reunión es otro punto especialmente crítico, que deberíamos mirarlos con atención. La mayoría de reuniones incorporan un mosquetón para descolgarse. Este mosquetón debería cerrar bien, y no presentar desgastes exagerados en la zona por donde pasa la cuerda. También deberíamos estar atentos al estado de los anclajes que conforman la reunión, aunque el hecho de que haya por lo menos dos supone un margen de seguridad enorme, pero no total.



Un mosquetón de reunión muy deteriorado. Los bordes cortantes son peligrosos.

Las acciones preventivas que podemos tomar serian:

-Nuestra observación y prudencia, y no creer ciegamente en la solidez de todo lo que brilla en la pared.

-Abandonar un mosquetón en la reunión si el existente no nos ofrece garantías. Esta es una práctica muy extendida que hace que las reuniones se vayan poblando de mosquetones. Retirar los que veamos realmente desgastados.

-Cambiar una chapa si presenta una deformación evidente. Es un buen hábito y cuesta muy poco llevar siempre en la mochila una chapa y una llave fija.

LAS CINTAS EXPRESS FIJAS

En muchas zonas de escalada deportiva a menudo podemos ver vías con las cintas express colocadas. La función de estas cintas debería ser facilitarnos el montaje y desmontaje de la vía, y no la protección de la misma. Estas cintas pasan a veces meses o años colgadas en el mismo sitio, expuestas a la intemperie.

El deterioro de las cintas provoca que bajen alarmantemente su resistencia. No hace muchos meses, a un escalador vasco le falló una cinta de este tipo en la cueva de Baltzola. El escalador tan sólo cargó su peso en la cinta, y ésta se partió. La caída, parada afortunadamente por el anclaje inferior, fue inesperada y violenta, y supuso que

el escalador se rompiera el codo. En algunas zonas americanas utilizan cadenas en vez de cintas. Esto casi resuelve el problema, pero a un coste estético fatal.

El deterioro de los mosquetones de estas cintas permanentes también puede resultar peligroso. A menudo, la exposición a la intemperie hace que no cierren bien, disminuyendo su resistencia de forma drástica. Si además, están colocados en un anclaje que protege un paso difícil, las caídas repetitivas sobre éste lo pueden desgastar excesivamente. El desgaste supone que la zona donde se apoya la cuerda toma una forma con los bordes afilados, que comporta un peligro real de cizalla de la cuerda. Hace dos años en Red River Gorge, una zona americana plagada de este tipo de cintas, un escalador cayó en la segunda chapa, sobre una cinta permanente. El mosquetón, con el borde desgastado, cortó completamente la cuerda y el escalador cayó al suelo, por suerte sin sufrir lesiones graves. El pasado mes de septiembre pasó lo mismo en una escuela suiza, con peor resultado. Un mosquetón de una cinta permanente muy desgastado, cortó la cuerda en una caída relativamente suave. El escalador cayó al suelo, muriendo en el accidente

EL FALLO DEL MATERIAL DE ESCALADA

Este factor, cuando no ha habido un uso inadecuado, es muy poco frecuente, pero no imposible. No estamos hablando de situaciones en que se ha hecho trabajar mal el material, sino de casos en que el material, aún siendo empleado correctamente, no ha funcionado como era de esperar porque de origen era defectuoso. Aunque el material de escalada homologado que encontramos en el mercado ha pasado rigurosas pruebas de seguridad y controles de calidad, hay inevitablemente un pequeño porcentaje de material que por las razones que sea sale defectuoso, no se detecta y finalmente llega a las tiendas.

La acción preventiva en este caso pasa única y exclusivamente por nuestra atención, especialmente cuando acabamos de comprar algo.

Una inspección visual es importante para detectar posibles defectos, aunque es obvio que esta atención puede ser insuficiente contra defectos ocultos o poco evidentes. De todos modos, la buena noticia, es que recordemos, estos casos son muy infrecuentes

Tipos de escalada

- **Escalada clásica**
- **La escalada de competición**
- **Escalada en Hielo**
- **Escalada deportiva**
- **Escalada Artificial**
- **Solo integral**
- **Psicoblock**
- **Boulder**

Escalada Clásica, alpina o en libre

Consiste, en ascender por superficies inclinadas, que no están equipadas en absoluto. Los anclajes que se utilizan, son provisionales y una vez ascendido se procede a quitarlos, quedando nuevamente la vía libre. En este proyecto se pretende conocer los distintos tipos de sistemas para detener las caídas y sobre todo se hará hincapié en los denominados Friend, que son los dispositivos más modernos que existen hoy en día en el mercado.

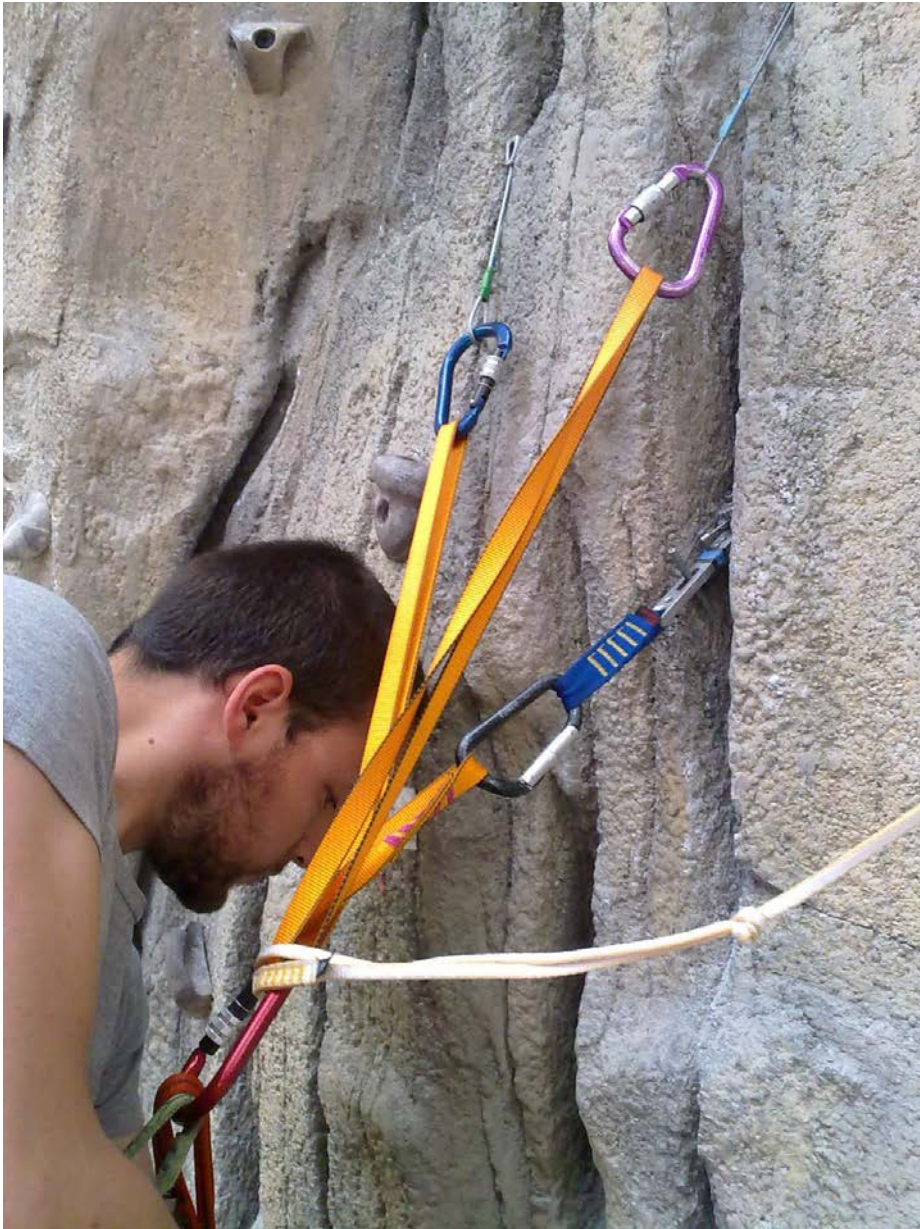


Fig.10

Escalada de competición:

Las primeras competiciones de escalada, son el resultado de las concentraciones, demostraciones y encuentros que los escaladores de dificultad realizaban con el objetivo de medirse con otros escaladores y subir el listón. Estas concentraciones, fueron haciéndose cada vez más frecuentes, hasta que empezaron a celebrarse las primeras competiciones en roca natural. En seguida, la FEDME, el colectivo de escaladores y organizadores y la propia Federación Internacional, vieron que el camino de las competiciones de escalada en el medio natural era insostenible dado el impacto causado y la solución pasaba por organizarlas sobre estructuras artificiales de resina.

Desde entonces las competiciones se celebran en un circuito cerrado, normalmente rocódromos. En ellas los escaladores han de subir lo más alto posible en un tiempo límite siguiendo un recorrido concreto. Las competiciones cuentan con una serie de eliminatorias hasta llegar a la final, o súper final en caso de concluir la final con deportistas empatados.

Se celebran en tres categorías; dificultad, bloque y velocidad (las dos primeras tienen sus homólogos en la escalada deportiva y la escalada deportiva en bloque). Es competencia de la FEDME establecer, cada año, un calendario de competición nacional, en el que se dan cita los mejores escaladores deportivos de España. Existe un calendario de competiciones de alto nivel, en el que participan los escaladores con mejor preparación, actualmente se celebra una Copa de España de Dificultad, que consta de 3 pruebas y los Campeonatos de España de Bloque y Dificultad. Cada año se celebra también un Campeonato de España y una Copa de España de Dificultad en categoría Juvenil, son las llamadas competiciones de escalada de Promoción cuyo objetivo es que los más jóvenes, que posiblemente en un futuro compitan en Alto Nivel, se acostumbren a las competiciones, celebradas en un circuito de competiciones, normalmente rocódromos.

En el ámbito internacional, hasta 2006 el UIAA-Climbing, comité de escalada de la UIAA, era el responsable de establecer el calendario internacional, en el que destacan la Copa del Mundo (en las modalidades de bloque, dificultad y velocidad), el Campeonato del Mundo y el Campeonato de Europa, tanto en la categoría senior como en la juvenil. Con la escisión de este comité será la nueva federación internacional responsable de la escalada, la que fije el calendario.



Fig.11



Fig.12

Escalada en Hielo:

Se considera escalada en hielo a todo ascenso en hielo o nieve dura que por su dificultad y peligro requiera el uso de equipamiento especial como crampones y piolets. Además se suele usar equipamiento para seguridad.

La dificultad y el peligro de esta especialidad de escalada, están marcados por la inclinación de la pared y por el estado de dureza de la nieve, que va desde la nieve blanda hasta el hielo puro. En el caso ideal, que podría ser una cascada helada, el escalador asciende con crampones en los pies y con un piolet técnico en cada mano. El equipamiento para asegurarse en la ascensión es parecido al de la escalada en roca.

Para el aseguramiento se emplean unos tornillos huecos que taladran el hielo de manera que en caso de caída estos permanecerán inmóviles.



Escalada en hielo



Tornillos de hielo

Fig.14

Escalada deportiva:

La escalada deportiva, largamente desarrollada los últimos años, nació a principios de los años ochenta con una filosofía muy clara: intentar alcanzar un nivel superior de dificultad sobre la roca, a base de reducir los peligros que de una forma natural, la escalada comporta. De esta manera, el escalador es liberado en buena parte de la carga emocional que suponen los peligros de la escalada, olvida sus temores y puede concentrarse en el rendimiento físico, acercándose a su máximo y disfrutando de esta nueva experiencia, muy distinta en su planteo a la de la escalada tradicional.

Pero este control del riesgo nunca es total. La escalada deportiva tiene un cierto nivel de peligro, superior por ejemplo al de la escalada de bloque, pero inferior al que hay en la escalada tradicional de pared, y no digamos en alpinismo. En escalada deportiva hay, efectivamente muchas situaciones peligrosas, algunas de las cuales acaban desgraciadamente en accidentes. Éstos a menudo son de poca importancia, pero a veces son graves o incluso mortales.

Escalada Artificial

Consiste en ganar metros de altura utilizando los anclajes en la roca. A diferencia de la escalada en libre, en esta modalidad, se sube tirando de un estribo o escalerilla e intentando llegar lo más alto posible para colocar el siguiente anclaje.

En esta modalidad se emplea mucho material, ya que cada poco hay que colocar un nuevo anclaje sobre el cual apoyarse. Este tipo de ascensiones suelen durar días enteros e incluso semanas.

Se usan mucho más material y mucho más pesado que en la escalada libre como clavos, pitones buriles e incluso plomos, que una vez han sido golpeados con un martillo quedan adheridos a pequeñas fisuritas de roca.



Escalada artificial con estribos

Fig.15



y colocación de un plomo

Solo integral

Escalar en **solo integral** o simplemente en **solo**, es hacerlo sin cuerda, donde una caída puede traer gravísimas consecuencias. Es una fórmula totalmente en desacuerdo con los nuevos tiempos, en los que la escalada se ha convertido en un deporte con cada vez más practicantes, donde se tiende más al mínimo compromiso en general.

Si preguntásemos a un escalador por que escala en solo integral sin ninguna protección, nos dirán que por la libertad que proporciona en cuanto a movimientos, ligereza en la escalada, rapidez y sobre todo por la superación del propio miedo y límites de la mente.

Muy pocos escaladores son capaces de realizar estas proezas donde un pequeño descuido puede costarles la vida. La gente que practica esta disciplina lo hace realmente preparada y convencida de que puede realizar las vías que se está proponiendo. Muchas veces, detrás de una persona que ha escalado una vía dura en solitario, hay meses e incluso años de entrenamiento en la misma vía, lo que hace que pueda ser capaz de realizarla sin problemas. Aun así, los videos e imágenes que nos llegan son realmente impresionantes.

Por ejemplo, Heinz Zak abajo en la imagen, tardo dos años en estudiarse la vía Separate Reality de Yosemite.



Alex Honnold en repisa gracias a Dios

Fig.16



Heinz Zak

Fig.17

Existe otra modalidad que combina el solo integral y el salto base que ha sido practicada por muy pocas personas en el mundo.



Fig.18

Consiste en escalar en solo integral protegido con un paracaídas empleado en salto base, de manera que en caso de caída, el escalador tendría que girarse, separarse de la pared y abrir el paracaídas para proteger su vida. En la foto vemos a Deam Potter en el Eiger. Para esta modalidad se necesita comenzar de una altura elevada para que de tiempo a abrir el paracaídas. Cabe mencionar, que este escalador, falleció en mayo de 2015 por un accidente haciendo salto base. Esta persona, creía firmemente en que pronto se podría aterrizar con los trajes que se emplean en salto base sin necesidad de utilizar paracaídas.

Boulder

El Boulder, consiste en escalar pequeñas rocas, protegiéndolas con colchonetas. Suelen ser pasos muy técnicos, de gran dificultad, donde se suele comenzar sentado para aprovechar más la roca. En el caso de caída, un compañero nos ayudará a caer para que no nos golpeemos con ningún saliente o caigamos fuera de las partes protegidas. Es una modalidad muy divertida y fácil de practicar donde solo se necesita, un crash pad, magnesio y calzado de escalada.

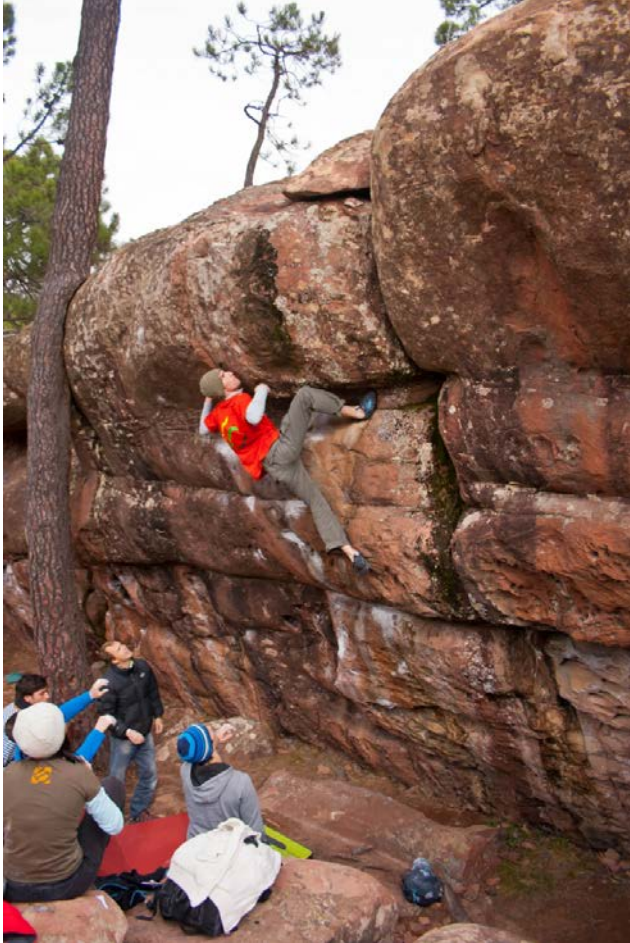


Fig.19

Uno de los mejores lugares de Europa para escalar en esta modalidad es Albarracín. Está situado en la provincia de Teruel y es muy conocido debido a su gran variedad de bloques, facilidad para protegerlos y buena climatología.

Por nuestro entorno también tenemos zonas muy buenas de escalada como por ejemplo Jaizkibel, lugar que está teniendo mucho éxito gracias al esfuerzo de ciertos escaladores que están buscando, limpiando zonas y dándolas a conocer.

Psicoblock

Se trata de una modalidad de escalada que combina el Bloque y el solo integral y utiliza como elemento disipador el agua. Se escala en acantilados, sobre todo en la costa y las posibles caídas son al agua. Esta modalidad nació en Mallorca, y es allí donde se practica sobre todo, ya que la climatología, la temperatura del agua y sobre todo la morfología del terreno ayudan. Son acantilados donde cubre más de 20 m de profundidad y las caídas son más o menos seguras. Crish Sharma, famoso escalador estadounidense casado con su esposa de Mallorca, dio a conocer esta modalidad realizando la vía más difícil que se ha escalado en esta modalidad.



Chris Sharma en Es Pontas

Fig.20

Obviamente, la altura de la escalada tiene un límite ya que una caída desde más de 20 m puede tener graves consecuencias para la salud. Más aún, si la caída es descontrolada. Aun así, se puede decir, que aunque la impresión que da escalar así, es muy grande, esta modalidad es segura hasta una altura de 10 m.

Materiales empleados en la escalada libre

Fisureros:

Los fisureros, fueron las primeras herramientas que se utilizaron en la escalada denominada, libre. Comenzaron a usarse ante la prohibición de la utilización de clavos que dañaban la roca. Ante la imposibilidad de utilizar clavos ni poder perforar la roca, ciertos escaladores comenzaron a utilizar tuercas de diferentes medidas atadas con un **cordino** para empotrarlas en las pequeñas fisuras que tienen las rocas.

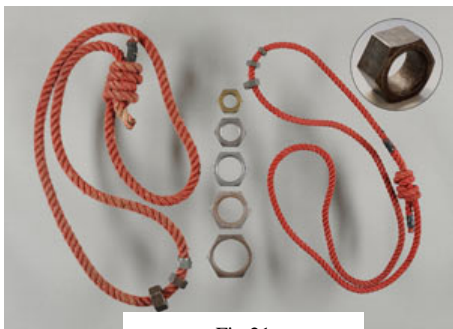


Fig.21

Poco a poco, fueron desarrollándose otros inventos más sofisticados hasta crearse las herramientas que existen hoy en día, logrando altos niveles de ligereza, fiabilidad y resistencia.

Hoy en día, se utilizan unas cuñas de aluminio que sirven para empotrarse en fisuras ciegas o que tienden a cerrarse. De manera que esta cuña entraría por la parte superior y quedaría empotrada al ir empujándola hacia abajo. Este material, tiene la ventaja de ser muy resistente, si se coloca adecuadamente y de ser muy ligero. Tiene la desventaja de no soportar grandes fuerzas y que se necesita un conocimiento del funcionamiento de esta para que aguante una caída. A veces, las fuerzas generadas pueden ser en diversas direcciones y no se pueden cubrir solo con un fisurero y hay que colocar dos en oposición para abarcar todas las posibilidades en las caídas.



Fig.22

Como se ve en la imagen, existen diversas tallas, con diferentes colores, para que sea más intuitivo elegir el tamaño que hay que utilizar.

Después de una fuerte caída suelen ser difíciles de recuperar ya que pueden quedar muy empotrados en la roca.

Dentro de la familia de los fisureros existen muchos modelos. Veremos algunos de ellos.

Fisureros excéntricos:

Se trata de unos fisureros especiales que además de empotrarse, una vez colocados tienden a girar, de manera que este momento que se produce, se aprovecha para hacer mayor fuerza en las paredes de la roca. En la imagen se puede observar todas las maneras en las que se puede colocar.



Fig.23

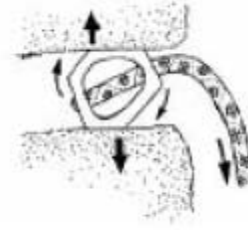


Fig.24

Tricam o pata de cabra.

Aprovecha el mismo principio que el fisurero anterior pero este en vez de rotar sobre una superficie, rota sobre un punto. Se utiliza para rocas de conglomerado, que son muy irregulares.



Fig.25

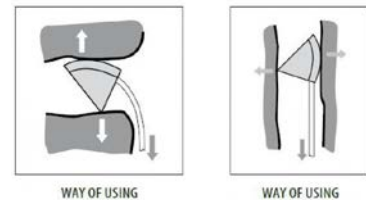


Fig.26

Fisureros mecánicos por cuñas:

Estos fisureros funcionan como los anteriores, con la peculiaridad de que estos, pueden aumentar de tamaño. Transforman la fuerza que se ejerce en el asa, en fricción en las paredes de la roca. Tienen un tirador para desbloquearlo y que vuelvan a la posición inicial.



Fig.27

Friends:

Son los sistemas de aseguramiento por excelencia en la escalada libre. Hay muchos modelos que siempre se basan en la forma de las espirales logarítmicas. Estas tienen la peculiaridad de que siempre al contactar con la pared lo hagan con un ángulo conocido. De manera que las fuerzas serán conocidas.

Son de gran utilidad por su fiabilidad y facilidad de manejo, no obstante, es de vital importancia que el usuario sepa manejarlos y colocarlos ya que si no se hace un buen uso de ellos, su eficacia será muy baja.

Tienen la gran ventaja de poderse colocar con una mano y quitarlos rápidamente accionando el tirador para la recuperación.

Diferentes modelos:

Wild country:

Fue la marca pionera en comercializar este tipo de sistemas. Son sistemas de cuatro levas que trabajarían de manera simétrica en la fisura. Todas las levas están conectadas a un mismo eje que aguantaría todas las fuerzas y este estaría unido a un vástago central de cable grueso que se uniría a la cinta y el mosquetón final



Imagen lateral del Wild country

Fig.28



Imagen frontal del Wild country.

Fig.29

Como se ve en la imagen todas las levas están unidas a un tirador, de manera que al apretarlo, quedarían en una posición en la que ocuparían menos tamaño. Una vez soltándola, gracias a unos muelles, recuperarían la forma de mayor expansión.

La forma de la espiral es logarítmica y las ranuras que tienen, hacen que pueda quedar empotrado en fisuras no muy regulares.

Camalot de Blac diamont:

Este dispositivo tiene la ventaja de tener levas de tamaño mayor tamaño que uno de un solo eje ya que estos están separados. Permitiendo tener unas levas más grandes que los friends normales de un eje. Es una gran ventaja, ya que esto permite que haya más rozamiento con la pared y más superficie de contacto. Cuanto menor sea la leva es más fácil que el aparato salte.

Por otro lado, al tener dos ejes, estos hacen tope en las levas y no dejará en ningún momento, que las levas superen la posición que tienen en la foto. No es usual que un friend trabaje totalmente abierto, (En paraguas), pero estos dispositivos permiten que se pueda usar así sin que lleguen a fallar.



Por lo demás el sistema es el mismo que en el modelo anterior. Tanto el vástago como en cuanto a los tiradores para recoger las levas.

Fig.30

Totemcam:

Es un nuevo sistema patentado en el que las levas son precargadas por unos cables. Este sistema se fabrica exclusivamente en Euskadi y es un referente ya en todo el mundo. Fue diseñado por un profesor de Hernani y tiene varias ventajas frente a otros sistemas.

En primer lugar, cada grupo de levas trabaja independiente debido al sistema de carga de estas. El mosquetón se colocaría en la cinta y reparte la fuerza entre los dos grupos de levas.



Fig.31

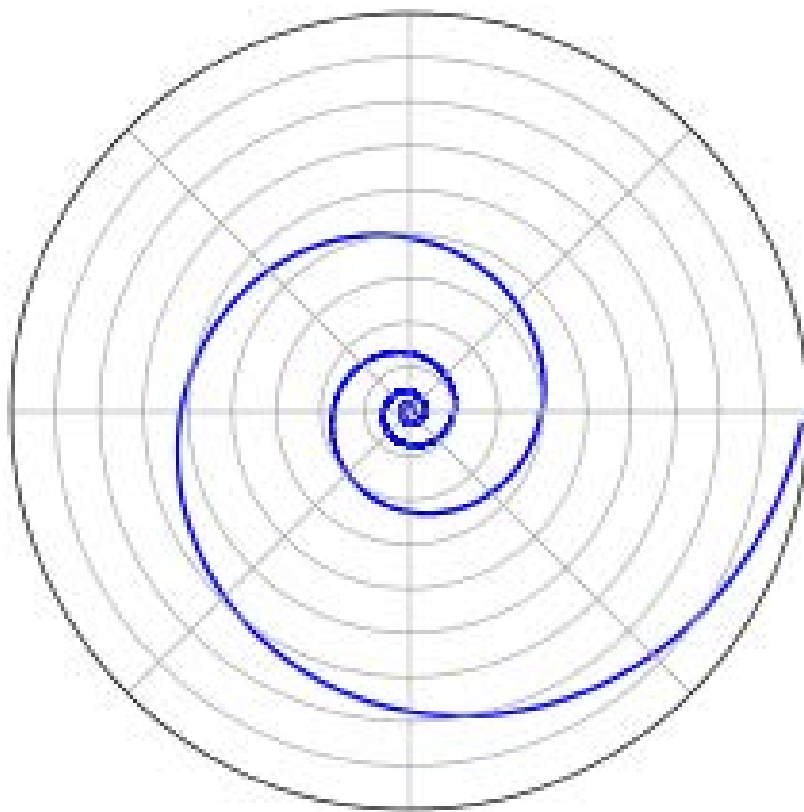
Gracias al sistema también, se permite que solo dos levas trabajen de manera independiente. Colocando la fuerza el cable negro donde está la cinta, solo esas dos levas trabajarían. En este caso, el friendo, aguantaría la mitad que si trabajasen las 4 levas, pero permitiría por ejemplo superar algún paso en “artificial” es

decir, utilizando ese punto de anclaje como punto de progresión. Colocando todo nuestro peso en él. En esta posición no aguantaría una caída ya que el sistema puede ser más inestable y frágil que cuando trabajan las cuatro levas.

Otra ventaja es su grado de apertura, ya que las espirales tienen más ángulo, debido a que el punto de rodadura ya no es el eje sino el punto de contacto entre el cable y la leva.

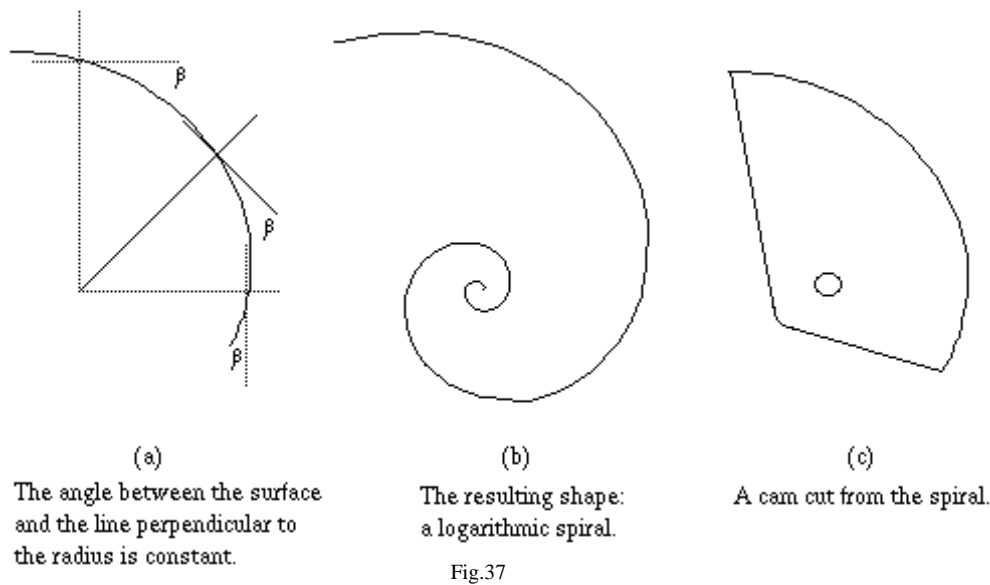
Este sistema se ha ideado sobre todo para piedras calizas donde es más fácil que el resto de herramientas salten, ya que esta piedra, tiene un coeficiente de rozamiento menor y es más frágil por ejemplo el granito.

LEVAS DE FRIENDS



ESPIRALES EMPLEADAS EN LOS DISTINTOS FRIENDS

Funcionamiento:



La idea principal es colocar tres o cuatro de estas levas en oposición unidas a un eje, consiguiendo que este se posicione en medio de la fisura. De manera en que una fuerza que lo intente sacar, haría rotar las levas haciendo fuerza al exterior de la fisura. Esto aumenta la fricción entre las levas y la roca y a su vez es capaz de detener la caída.

Un tirador hace que se pueda sacar el friend con una sola mano. Con él, las levas girarían en dirección contraria hasta que queden libres de la fisura.

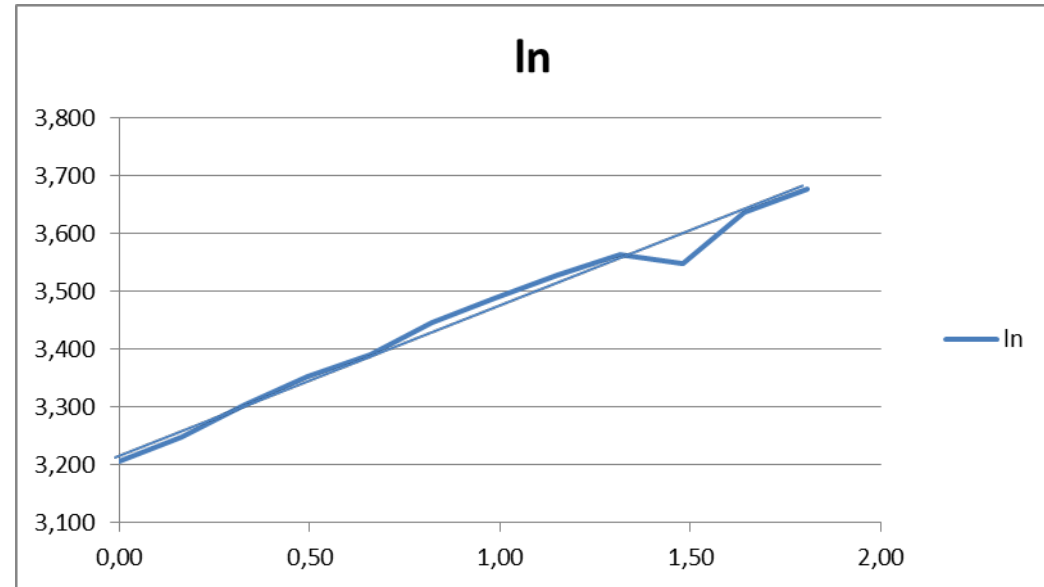
Los primeros friends del mercado usaban un cuerpo rígido, lo que dificultaba la colocación en fisuras horizontales, ya que el momento generado en una caída hacía que este pudiese partirse. Poco más tarde se inventaron los friends con cuerpo flexible que evitaban la palanca. Estos cuerpos o vástagos, son de cable de acero.

Aunque ha habido una gran evolución en cuanto a materiales, y mecanismos, en principio, siempre se mantiene la forma logarítmica de la leva desde 1973 en el que fue inventado el primer friend mecánico.

En 1987, el fabricante Black Diamond, introduce un segundo eje para aumentar el grado de expansión poderse utilizar en paraguas, es decir, cuando el friend está completamente abierto. Este modelo es el denominado Camalot. Que se puede usar como un empotrador pasivo.

En este trabajo se han medido tres tipos de levas. Camalot, HB, y Wild Country
 Se pretendía ver la evolución de las levas. Aun así se ve que el perfil es muy parecido.

CAMALOT 2. VERSIÓN ANTIGUA				
i	medicion	Ri	α	ln
1	27,7	24,65	0,00	3,205
2	28,8	25,75	0,16	3,248
3	30,25	27,2	0,33	3,303
4	31,6	28,55	0,49	3,352
5	32,7	29,65	0,66	3,389
6	34,4	31,35	0,82	3,445
7	35,8	32,75	0,99	3,489
8	37,1	34,05	1,15	3,528
9	38,3	35,25	1,31	3,562
10	37,8	34,75	1,48	3,548
11	41	37,95	1,64	3,636
12	42,6	39,55	1,81	3,678



diámetro de medición

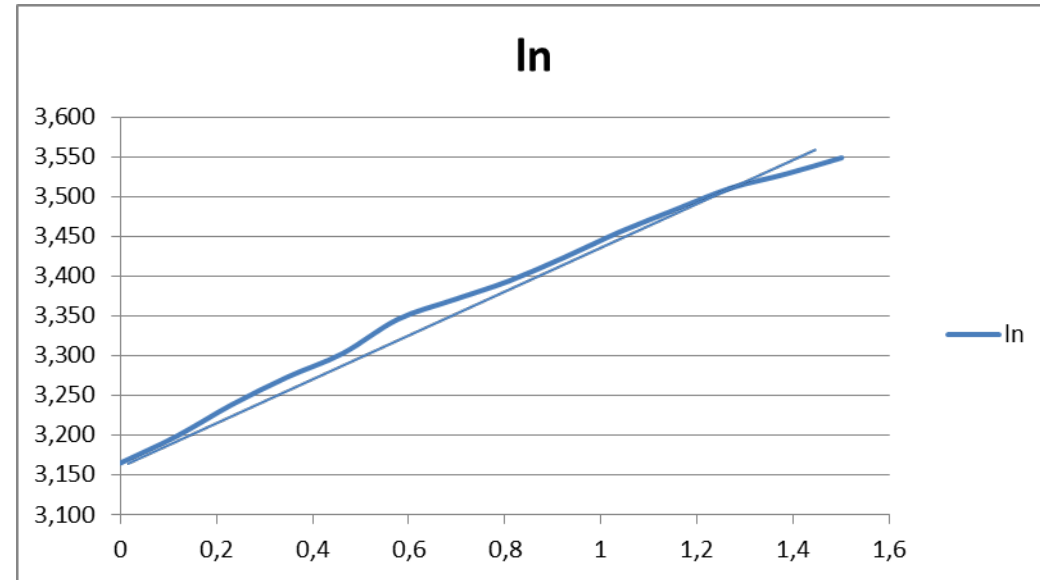
Formula de la linea
 $3,2 + 0,5/1,81 * X$

Formula logaritmica=
 $e^{(3,2+ 0,276 *X)}$

HB

i	medición	Ri	α	ln
1	29,2	23,7	0	3,165
2	30	24,5	0,12	3,199
3	31	25,5	0,23	3,239
4	31,9	26,4	0,35	3,273
5	32,7	27,2	0,46	3,303
6	33,9	28,4	0,58	3,346
7	34,6	29,1	0,69	3,371
8	35,3	29,8	0,81	3,395
9	36,2	30,7	0,92	3,424
10	37,2	31,7	1,04	3,456
11	38,1	32,6	1,15	3,484
12	39	33,5	1,27	3,512
13	39,6	34,1	1,39	3,529
14	40,3	34,8	1,50	3,550

diámetro medición

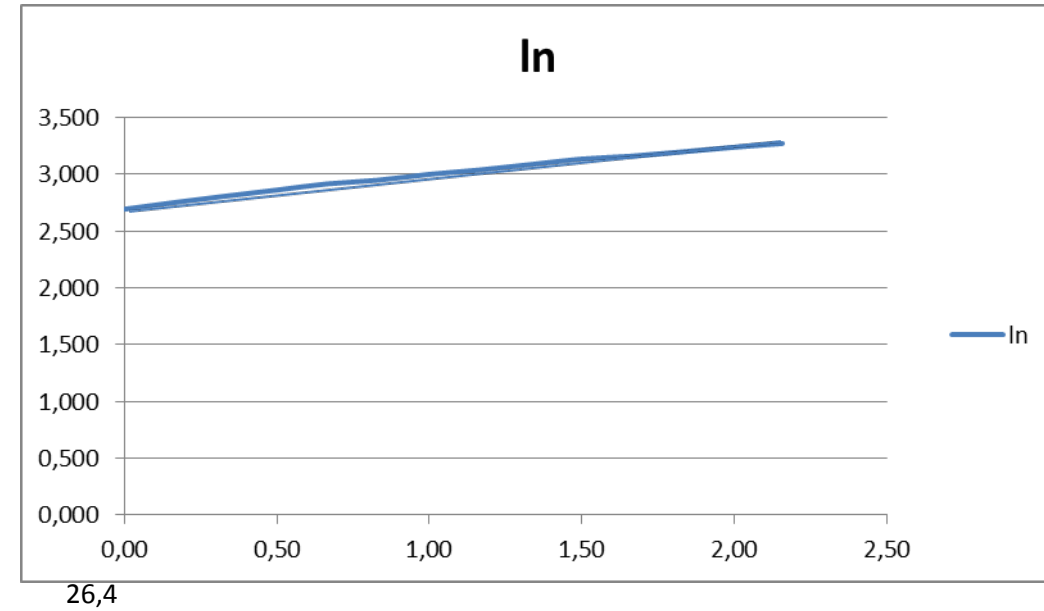


Formula de la línea
 $3,17 + 0,34/1,27 * X$

Formula logarítmica=
 $e^{(3,17+ 0,267 *X)}$

Wild Country

i	medición	Ri	α	ln
1	20,3	14,8	0,00	2,695
2	21,2	15,7	0,17	2,754
3	22,1	16,6	0,33	2,809
4	23	17,5	0,50	2,862
5	24	18,5	0,66	2,918
6	24,6	19,1	0,83	2,950
7	25,6	20,1	1,00	3,001
8	26,4	20,9	1,16	3,040
9	27,4	21,9	1,33	3,086
10	28,5	23	1,49	3,135
11	29,1	23,6	1,66	3,161
12	30	24,5	1,83	3,199
13	31	25,5	1,99	3,239
14	31,9	26,4	2,16	3,273



diámetro medición

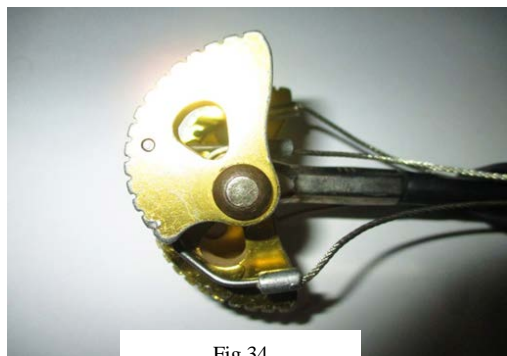


Fig.34

Formula de la línea

$$2,7 + 0,6/2,16 * X$$

Formula

logarítmica=

$$e^{(2,7 + 0,277 * X)}$$

Representaciones de las ecuaciones en coordenadas polares

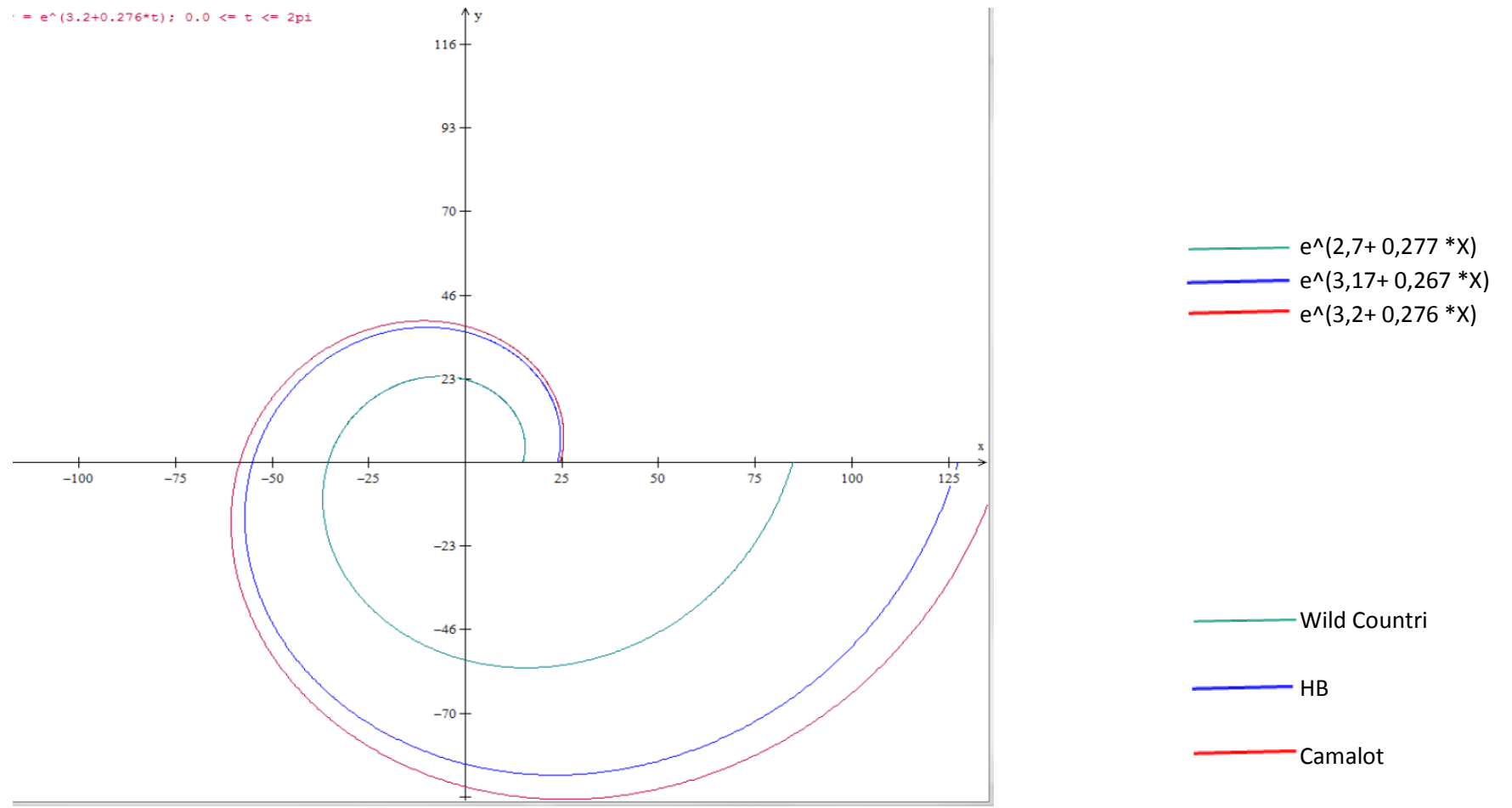


Fig.35

Conclusiones:

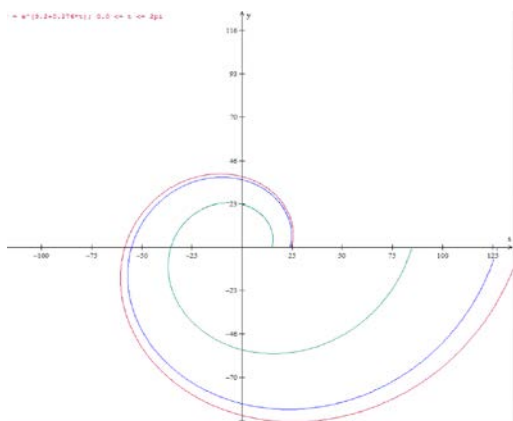
Como se observa todas las espirales son logarítmicas. Estas espirales tienen la peculiaridad de que todas las tangentes van a salir con un determinado ángulo conocido, por lo tanto, la leva con esta forma, al tocar la pared, creará unas fuerzas predecibles y hará que el sistema sea estable.

Este tipo de levas se caracterizan por las formulas $c_0 \cdot e^{\tan(\alpha)}$ (En coordenadas polares). Donde c_0 es el radio inicial. Y α sería el ángulo que definirá la espiral. Las tangentes que salgan de esta espiral tendrán este ángulo.

Por lo tanto, poniendo las formulas calculadas de esta manera obtendríamos:

- Wild country: $14,9 \cdot e^{\tan(15,48^\circ)}$ por lo que $c_0 = 14,9$ y $\alpha = 15,48^\circ$
- HB: $23,8 \cdot e^{\tan(14,9^\circ)}$ por lo que $c_0 = 23,8$ y $\alpha = 14,9^\circ$
- Camalot: $24,5 \cdot e^{\tan(15,4^\circ)}$ por lo que $c_0 = 24,5$ y $\alpha = 15,4^\circ$

Este ángulo es muy importante a la hora de buscar el equilibrio del friend. Por lo general, cuanto más grande sea el ángulo, mayor será el rango de apertura del friend, pero más fácil será que este patine y se salga. Por el contrario, cuanto menor sea el ángulo, menor rango de apertura tendrá y mayor serán las fuerzas que se generen en la caída, por lo que hay más posibilidades de que se rompa el friend o la roca. En el siguiente apartado se analizará la estática y el equilibrio y el papel que tiene este ángulo.



saltos en las líneas.

Fig.36

Podemos pensar que la mayoría de los friends del mercado tienen un ángulo muy parecido a excepción de los tótem cam. Estos tienen un ángulo de 20° pero en vez de rotar sobre el eje, lo hacen desde el exterior del friend gracias a unos cables de acero que actúan como tensores. Esto hace que aunque el ángulo real sobre el eje sea alrededor de $20,35^\circ$ el ángulo equivalente está entre $12,52^\circ$ y $13,13^\circ$.

En ensayo realizado se han utilizado friends bastante antiguos y es posible que haya partes más gastadas que otras por lo tanto a eso se pueden deber los

Por otro lado, las mediciones se han realizado sin desmontar las levas por lo que ha podido haber errores en las mediciones. Ya que por ejemplo sabemos que el Wild country usa un ángulo de $13,75^\circ$. Por lo que puede haber un pequeño margen de error en los cálculos.

EQUILIBRIO DEL FRIEND



CALCULOS ESTÁTICA Y EQUILIBRIO

En este apartado se hará hincapié en el equilibrio del friend y su funcionamiento para sacar las conclusiones.

Equilibrio en el friend:

El equilibrio del friend se produce gracias al pequeño momento que producen los muelles. Estos generan una fuerza normal en las levas que crean suficiente fricción para aguantar el propio peso del friend. En esta imagen, vemos como el friend queda encajado en el hueco.

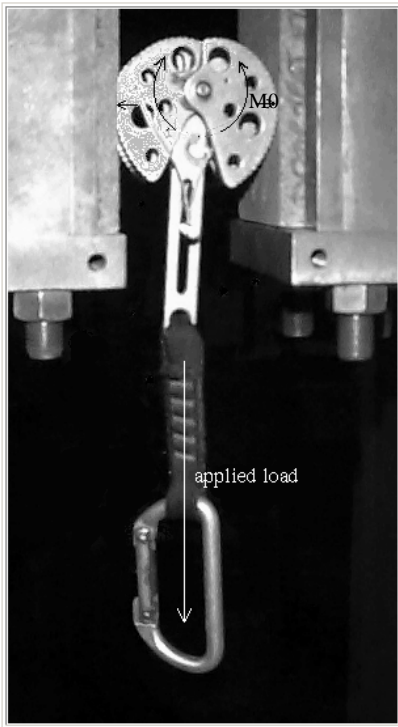
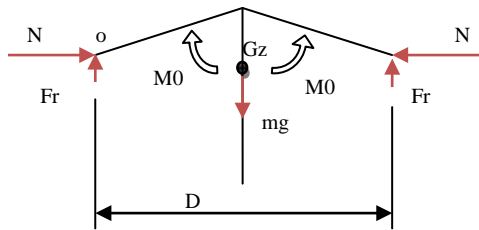


Fig.38

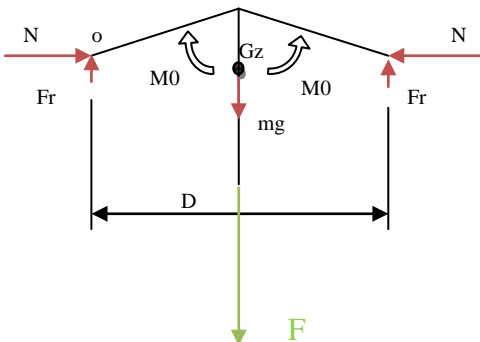
DSL:



De aquí sacamos:
 $Mg=2xFR$
 Suma momentos en O
 $0=-mg \times D/2 + Fr \times D$
 N no genera momento y las M_0 se anulan

Siendo α un ángulo conocido, podemos sacar la relación entre N y Fr que será $Fr = \tan(\alpha) * N$
 Por otro lado, para que haya equilibrio $\mu > Fr/N$ de lo contrario el friend caerá.

Cuando el friend se somete a carga quedaría la siguiente ecuación:



De aquí sacamos:
 $2 \times Fr = mg + F$
 Suma momentos en O
 $0=-mg \times D/2 + F \times D/2 + Fr \times D$
 N no genera momento y las M_0 se anulan

Podemos pensar que mg son unos pocos gramos comparado con la F que será de cientos de Kg, por lo que podemos despreciarlo junto con M_0

De aquí las ecuaciones de equilibrio serían las mismas anteriores:

$\mu > Fr/N$ y $Fr = N \times \tan \alpha$ por lo que mientras $\mu > \tan \alpha$ se puede pensar que el sistema estará en equilibrio.

La peculiaridad de la leva, es la causante de que el ángulo que se produce entre el centro de las levas (donde se produce el giro de estas) y las superficies de contacto entre la pared, independientemente de la distancia, siempre sea conocida y que tendrá un valor entre 10° y 14° . Lo que hará que el sistema sea estable.

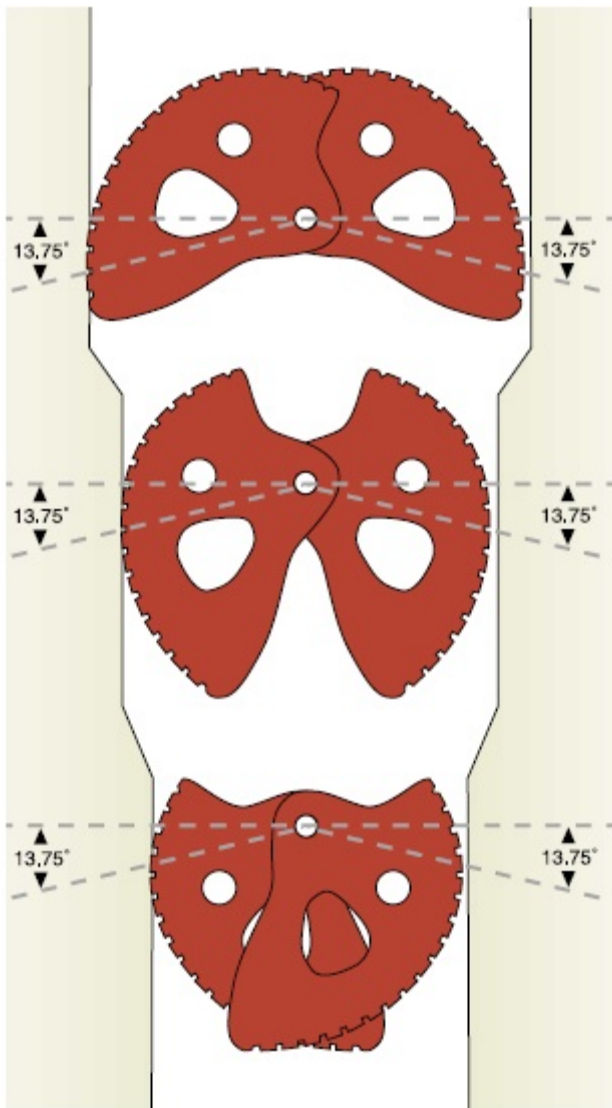
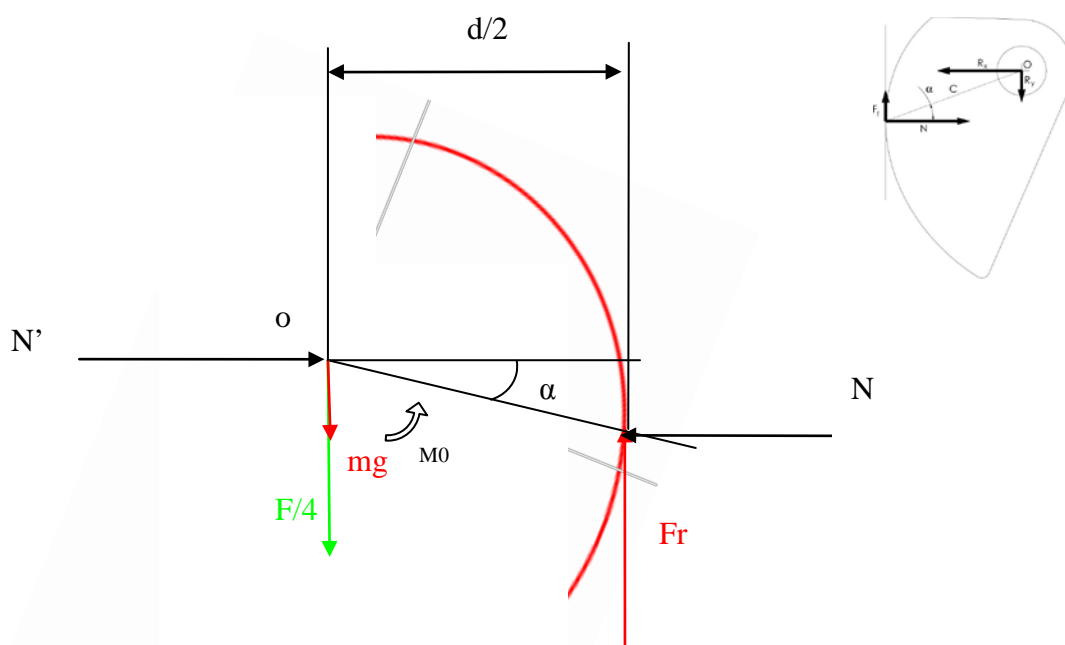


Fig.39

En esta imagen se aprecia el funcionamiento del friend en fisuras paralelas de diversos tamaños y como se adapta abriéndose o cerrándose más manteniéndose siempre el ángulo de $13,75^\circ$.

Analizando una sola leva del friend quedaría de la siguiente manera:



$$\sum M_0 = 0$$

$$-N \times \frac{d}{2} \times \tan \alpha + \frac{d}{2} \times Fr + Mo = 0$$

$$N \times \tan \alpha + Fr - Mo \times 2/d = 0$$

$$\sum F_x = 0$$

$$N' = N;$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-mg - F/4 + Fr = 0; \quad mg + F/4 = Fr$$

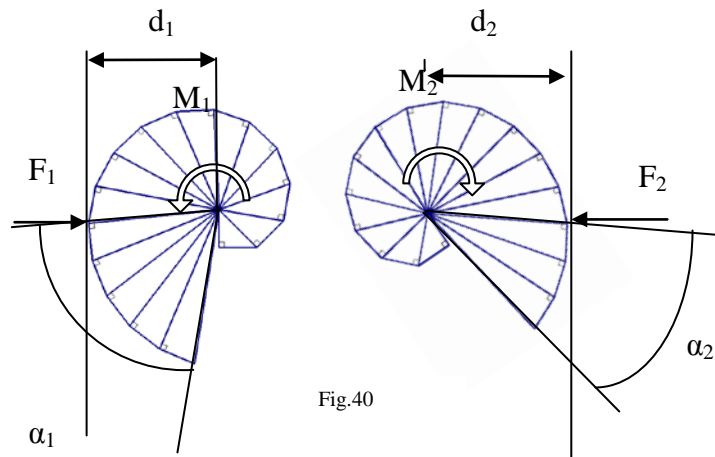
Siendo $Fr_{\max} = \mu \times N$

$$\frac{Fr}{\mu} \times \tan \alpha = Fr$$

$$\mu < \tan \alpha$$

Como se centra el friend:

El muelle transmite un momento idéntico para cada par de levas. Por lo que el radio será lo que variará dependiendo de si el friend está centrado o no. En el caso de que no esté centrado, la leva que tiene mayor d es la que menos fuerza hará por lo que la de menor d empujará el friend hasta centrarlo.



$$F_1 = -M_1 / d_1$$
$$F_2 = -M_2 / d_2$$
$$M_1 = M_2 = M$$
$$\Delta F = M/d_2 - M/d_1 = M * (d_1 - d_2) / (d_1 * d_2)$$

Si $d_1 \ll d_2$; $F_1 \gg F_2$ por tanto desplaza el centro hacia la derecha \rightarrow
Si $d_1 \gg d_2$; $F_2 \gg F_1$ por tanto desplaza el centro hacia la izquierda \leftarrow

Es muy importante que el eje se sitúe en el centro de la grieta. Si esto no ocurre, es muy fácil que una leva empuje a la otra y si a la que quedó más escorada no le queda recorrido, esta saltará lo que hará que todo el sistema falle.

Analizamos todos los casos posibles:

Fisuras paralelas

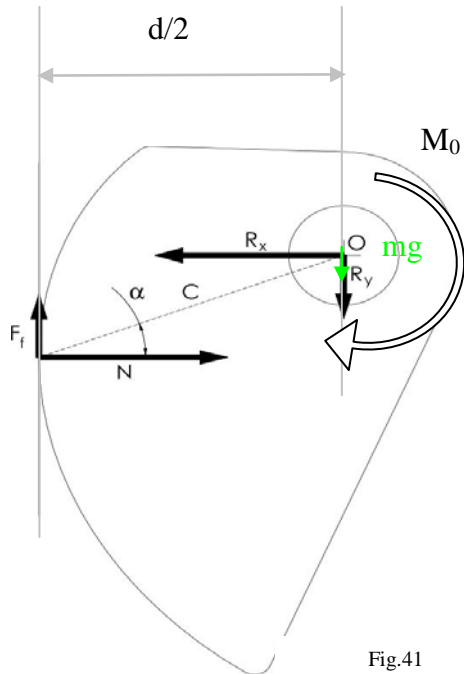


Fig.41

$$\sum M_0 = 0$$

$$F_r \cdot d/2 + M_0 = N \cdot d/2 \cdot \tan \alpha$$

M_0 es despreciable cuando el sistema está en carga.

$$\rightarrow F_r = N \cdot \tan \alpha$$

$$\sum F_x = 0$$

$$N = R_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$F_r = R_y + mg$$

mg es despreciable cuando el sistema está en carga

Donde $F_r < N \cdot \mu \rightarrow \mu > \tan \alpha$

El vector R de reacciones tendrá el módulo

$$R = R_y / \sin \alpha$$

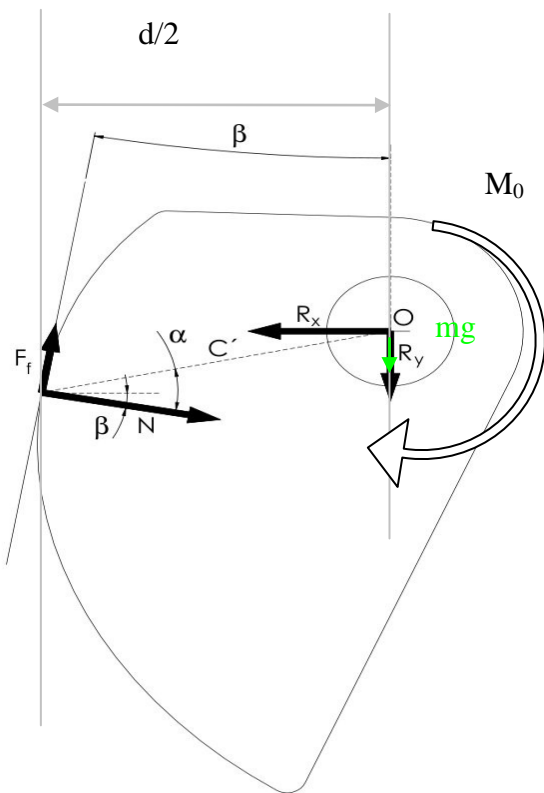
Vemos en estas ecuaciones que el coeficiente de rozamiento μ sea mayor que $\tan \alpha$, siendo $\alpha = 13,75^\circ$, μ debería de ser mayor que 0.245, de lo contrario el anclaje no va a aguantar una caída.

Por otro lado, vemos que la reacción de la roza es de $R_y / \sin \alpha$ que sería $= R_y \cdot 4.21$, lo que supondría para una caída de una fuerza de choque de 800kg, 200kg para cada leva, se generaría una fuerza de 842 kg en cada leva.

Por lo tanto, para una roca sana que tenga una resistencia a la compresión de 15 kg/mm² haría falta una superficie de 32 mm² para que la roca no se fragmente o se dañe.

La resistencia de una roca como el granito anda entorno a los 27 kg/mm² necesitando una superficie de 7,4 mm²

Fisuras abiertas:



$$\sum M_0 = 0$$

$$Fr \cdot C' \cdot \cos \alpha + M_0 = N \cdot C' \cdot \sin \alpha$$

M_0 es despreciable cuando el sistema está en carga.
 $\rightarrow Fr = N \cdot \tan \alpha$
 $\mu > \tan \alpha$

$$\sum F_x = 0$$

$$N \cdot \cos(\alpha - \beta) + Fr \cdot \sin(\alpha - \beta) = R_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$Fr \cdot \cos(\alpha - \beta) - N \cdot \sin(\alpha - \beta) = R_y + mg$$

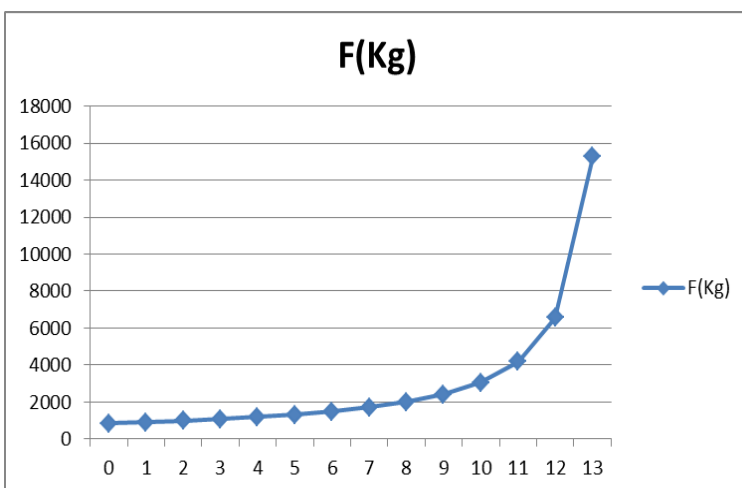
mg es despreciable cuando el sistema está en carga

Donde $Fr < N \cdot \mu \rightarrow \mu > \tan \alpha$

El vector R de reacciones tendrá el módulo
 $R = R_y / \sin(\alpha - \beta)$ y la dirección $(\alpha - \beta)$

Fig.42

Por lo tanto: cuando β tiende a α , Las reacciones R tienden a ∞ , por lo que tanto la roca como el friend pueden acabar rompiéndose. Si $\beta > \alpha$, no hay equilibrio posible ya que en este caso No sería posible que hubiese N, y por tanto tampoco Fr para sostener el aparato.



En este gráfico se muestra como aumenta el valor de las reacciones en Kg, cuando β se va incrementando. α se ha tomado el valor de $13,75^\circ$ y vemos que a partir de $\beta > 8$, las fuerzas superarían los 2000kg de fuerza por lo que el sistema no lo soportaría. Se ha supuesto una caída que genere 200kp de fuerza en cada leva.

Vemos que μ no afectaría en el ensayo, ya que depende directamente del ángulo de la leva.

Fisuras cerradas

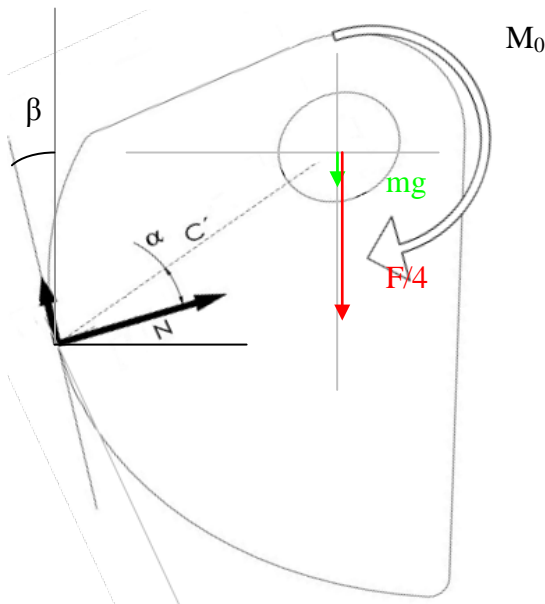
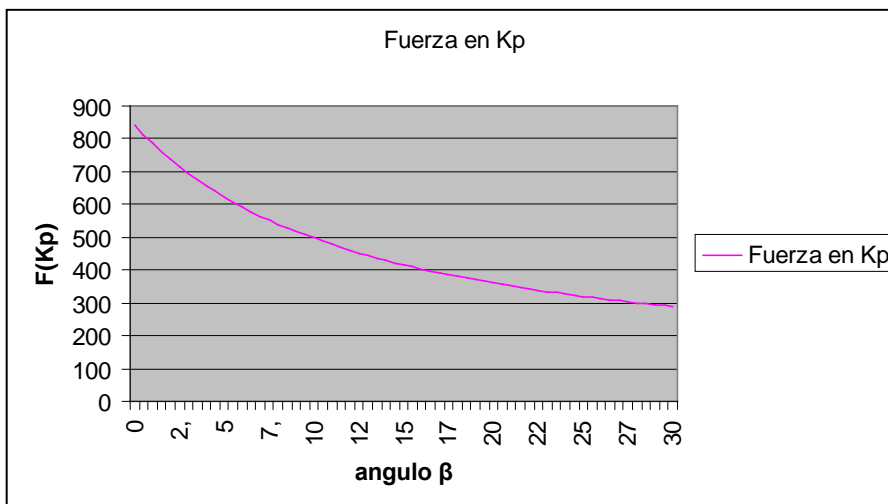


Fig.43

$$\begin{aligned} \sum M_0 &= 0 \\ Fr \cdot C' \cdot \cos \alpha + M_0 &= N \cdot C' \cdot \sin \alpha \\ M_0 &\text{ es despreciable cuando el sistema está en carga.} \\ \rightarrow Fr &= N \cdot \tan \alpha \\ \sum F_x &= 0 \\ Fr \cdot \sin \beta + N \cdot \cos \beta &= R_x \\ \sum F_y &= 0 \\ Fr \cdot \cos \beta + N \cdot \sin \beta &= R_y + mg \\ mg &\text{ es despreciable cuando el sistema está en carga} \\ Fr \cdot \cos \beta + N \cdot \sin \beta &= R_y \end{aligned}$$

El vector R de reacciones tendrá el módulo
 $R = R_y / \sin(\alpha + \beta)$

Como vemos en las ecuaciones, N juega a favor por lo que no solo depende de Fr que el sistema este en equilibrio. Gracias a ello, la ecuación de la reacción es $R = R_y / \sin(\alpha + \beta)$. Cuanto mayor sea β , menor serán las reacciones en la roca y en el friend. Haciendo el mismo gráfico con una caída de 800 kp en el friend, siendo 200 kp para cada leva, quedaría de este modo:



Como vemos cuanto mayor sea β , menor será la fuerza soportada por la leva, esto tiene como límite los 200 kg que sería si β fuese 90° , cosa que no sería posible.

Fisuras paralelas mecanismo tótem:

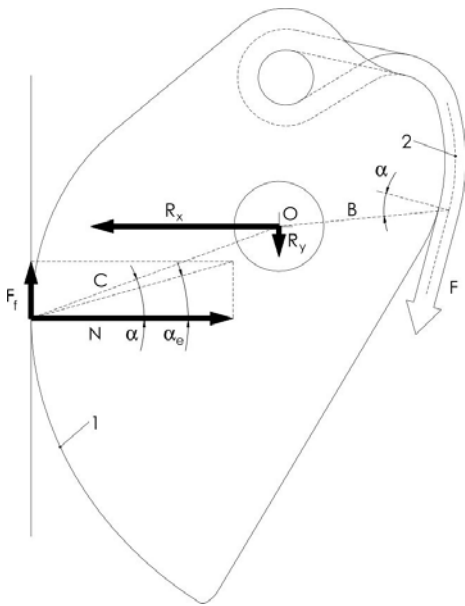


Fig.44

$$\sum M_0 = 0$$

$$Fr \cdot C \cdot \cos \alpha + F \cdot B \cdot \cos \alpha = N \cdot C \cdot \sin \alpha$$

$$\rightarrow Fr \cdot \cos \alpha \cdot (C+B) = N \cdot C \cdot \sin \alpha$$

$$\rightarrow \frac{Fr}{N} = \frac{\tan \alpha}{1+b/c}$$

$$\sum F_x = 0$$

$$N \approx R_x$$

$$\sum F_y = 0$$

$$Fr \approx F$$

F tendría un ángulo que despreciaremos
 b/c tiene un valor entre 0,67 cuando está totalmente abierto a 0,59 cuando está cerrado
 $\alpha = 20,35^\circ$
 aunque se utiliza un α_e que oscila entre 12,52 a 13,13° sale de igualar $Fr/N = \tan \alpha_e$
 La reacción sería $R_y / \sin \alpha_e$

Hay que mencionar que este dispositivo es muy complejo y sus ecuaciones también lo son. Lo hemos probado ha sido una experiencia muy agradable debido a su facilidad de manejo, fiabilidad, y gran adaptabilidad. Sus fuertes muelles hacen que se agarre muy bien a la roca. Como peculiaridad, además de que la fuerza que sostendrá el friendo se transmite a través de cables de acero situados en los extremos de la leva, es a través de estos donde se genera el momento que hará que quede enganchado en la roca. Es un sistema sofisticado y muy original, que se adapta muy bien en terrenos irregulares.

Fisuras abiertas mecanismo totem

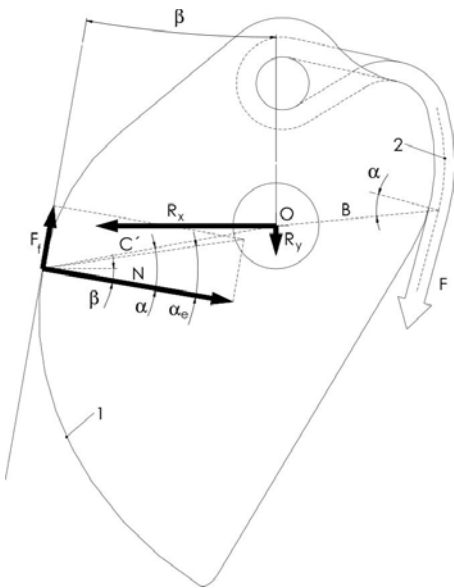


Fig.45

$$\sum M_0 = 0$$

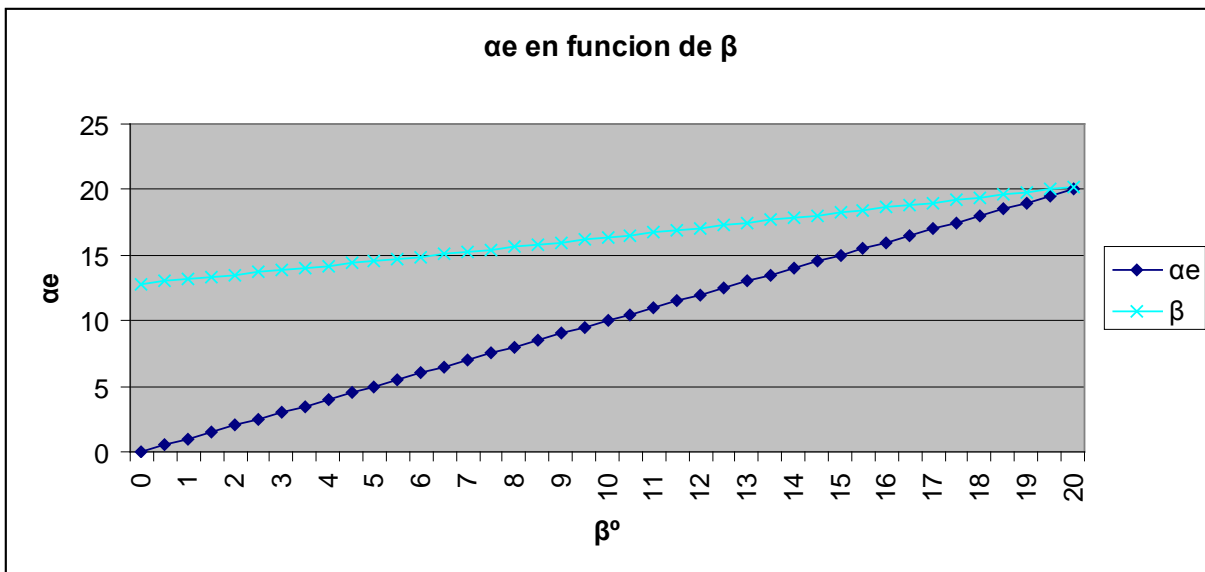
$$Fr \cdot C' \cdot \cos \alpha + F \cdot B \cdot \cos \alpha = N \cdot C' \cdot \sin \alpha$$

$$Fr \cdot C' + F \cdot B = N \cdot C' \cdot \tan \alpha$$

Siendo C' y B funciones exponenciales la ecuación del ángulo equivalente quedaría de la siguiente manera:

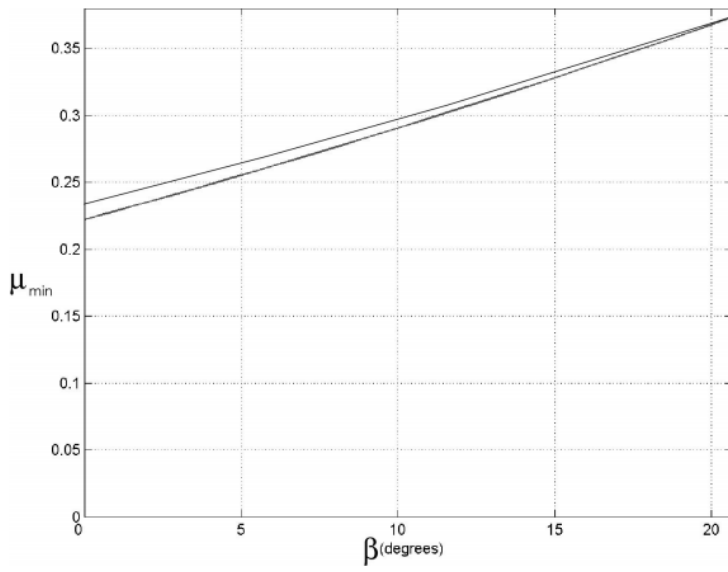
$$\alpha_e = \text{atan} \left(\frac{\left(\frac{\tan(\alpha)}{e^{\tan(\alpha) \cdot \beta}} + \frac{b}{c} \cdot \sin(\beta) \right)}{\left(\frac{1}{e^{\tan(\alpha) \cdot \beta}} + \frac{b}{c} \cdot \cos(\beta) \right)} \right)$$

De esta manera conseguimos la ecuación



Como se ve en el gráfico, cuando β aumenta α_e aumenta también hasta que llega a 20°. Vemos que cuanto más alto sea β, la diferencia entre α_e y β es menor, por lo que, el coeficiente de rozamiento entre la leva y la roca tiene que ser mayor para que el sistema siga en equilibrio.

En el siguiente gráfico vemos como tiene que variar μ en función de β .



Vemos que μ tiene que ser mayor para que el sistema se mantenga en equilibrio.

CONCLUSIONES:

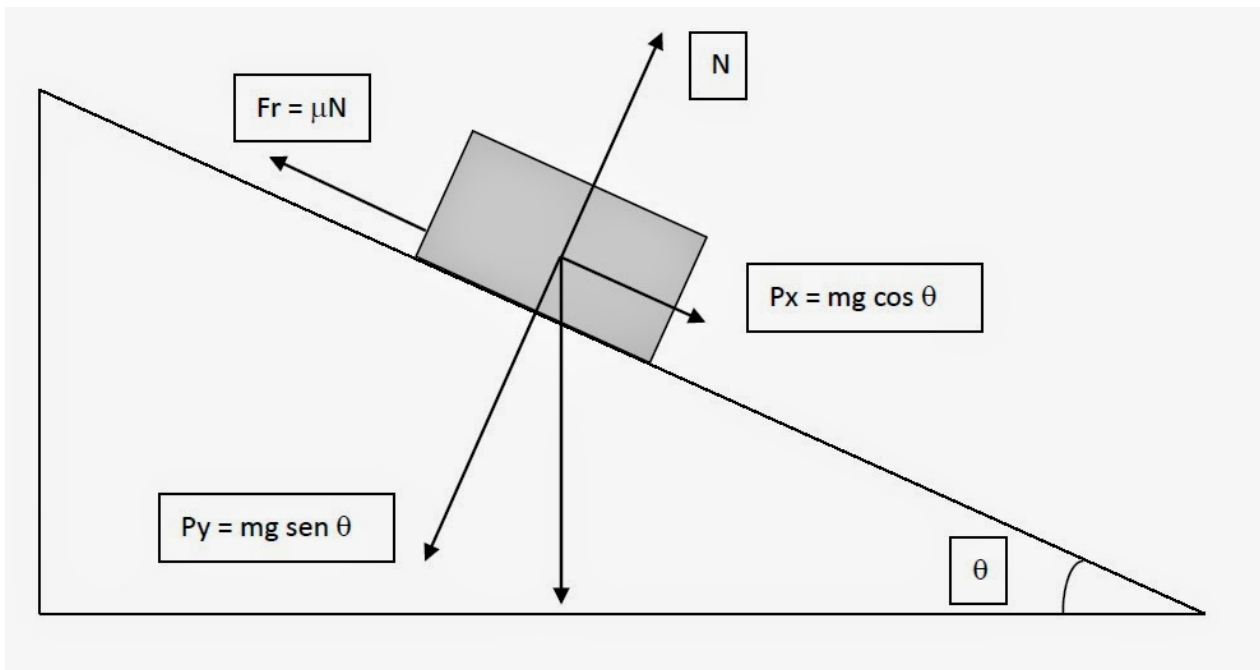
Vemos que estos sistemas han sido desarrollados para fisuras paralelas o fisuras que se cierran un poco. En el caso de fisuras abiertas, no se puede asegurar un buen anclaje. Con el sistema tótem, se equilibra de manera en que el α aumentaría según β pudiendo aguantar más en este tipo de fisuras. Aun así requerirá que μ también sea mayor tal y como se ve en el gráfico.

Vemos también que las fórmulas de los tótem son muy complejas. Esto se debe a que tienen dos espirales logarítmicas en cada leva. Una sería la de la leva que hace contacto con la roca y la otra sería donde están apoyados los tensores de acero que se encargarán de aguantar el peso de la tracción.

En todos los casos, μ juega un papel fundamental en el agarre. En el caso de que μ fuese bajo, por motivos de suciedad, polvo, humedad, pulimiento de la piedra o cualquier causa que afecte a esta, todo el sistema se saldría ante una caída. Independientemente de que la fisura se abra, cierre o sea paralela. Por este motivo, es muy importante observar el emplazamiento donde se colocan ya que una mala ubicación o un emplazamiento erróneo, harán que la vida del escalador corra peligro en caso de caída.

Por ejemplo, una caliza pulida por el paso del agua, que es especialmente resbaladiza, la colocación de un friend será peligrosa. Quizá en este tipo de pareces convenga más colocar un fisurero que quedará empotrado por la forma y no por rozamiento.

CALCULOS COEFICIENTES FRICCIÓN



CALCULOS EXPERIMENTAL DE COEFICIENTES DE FRICCIÓN ENTRE ACERO Y ROCAS

Cálculo coeficiente de fricción estático.

Medición del coeficiente de rozamiento entre metales con diferentes ranuras en tipos distintos de rocas.

Se ha procedido a calcular los coeficientes de rozamiento de varias piezas en varios tipos de roca. Para ello se ha utilizado un inclinómetro que nos dirá en todo momento que ángulo tenemos respecto a la horizontal. Sabiendo el ángulo podremos calcular el coeficiente de fricción entre los dos elementos.

Para ello, aplicaremos las ecuaciones de equilibrio, para de esta manera, llegar a la siguiente conclusión:

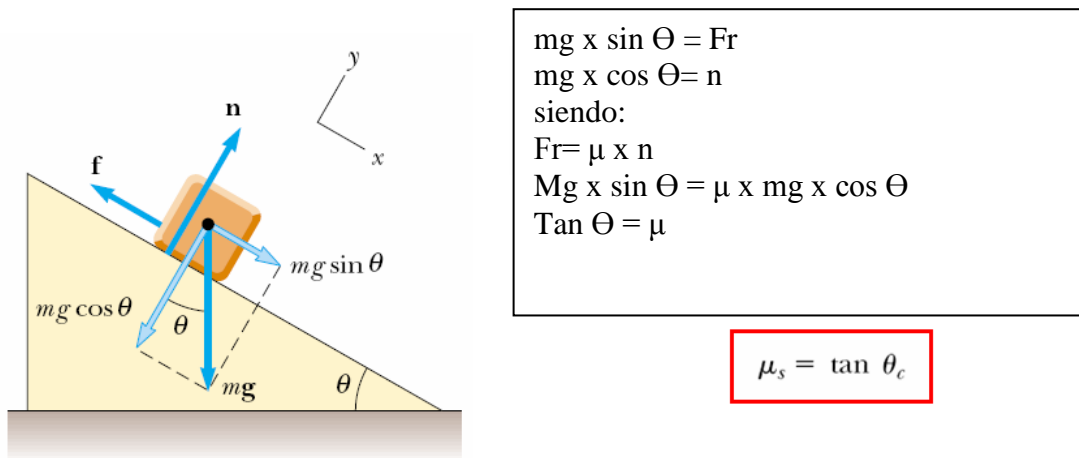


Fig.46

Con esta formula se va a proceder a conocer el coeficiente de rozamiento de varias piezas de acero. La primera será un perfil en forma de U, la segunda otro perfil en forma de U con ranuras, la tercera una pieza plana con ranuras en forma de dientes de sierra.



Fig.47

que complica conocer el ángulo en el que comenzará a caer la pieza. Por lo que se procederá a colocar el nivel encima de esta para así conocer mejor dicho ángulo.

Además de esto, se midió también el grado de humedad de las piedras para ver como afectaba en el coeficiente de rozamiento.

En cuanto a las superficies, hemos elegido diferentes tipos de arenisca, también caliza, ya que estas predominan las zonas de escaladas más cercanas.

El problema de las superficies rocosas que hemos encontrado en las zonas de escalada, es que no son superficies planas. Lo

Por tanto tomaremos dos referencias. La primera será el ángulo que forme la mesa con la piedra y la segunda será entre la pieza y la horizontal.

Tipos de piedras:

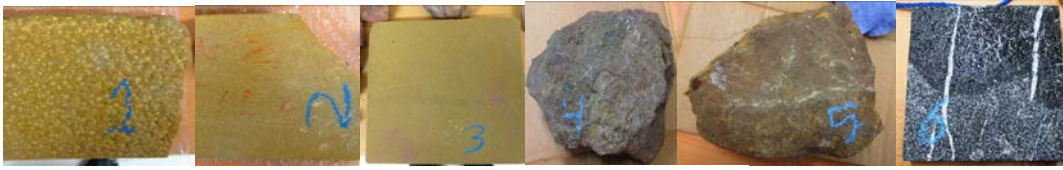


Fig.48

- 1) Arenisca apuntalada
- 2) Arenisca pulida
- 3) Arenisca muy pulida
- 4) Piedra caliza de la cantera de San Marcos
- 5) Piedra caliza Cantera San Marcos
- 6) Piedra caliza tratada.

Ponemos unas fotos de cómo se realizó el trabajo



Fig.49

Medición del ángulo de la piedra de caliza, junto con la pieza que tiene perfil de dientes de sierra

Medición del ángulo de la pieza de perfil en U sobre arenisca pulida

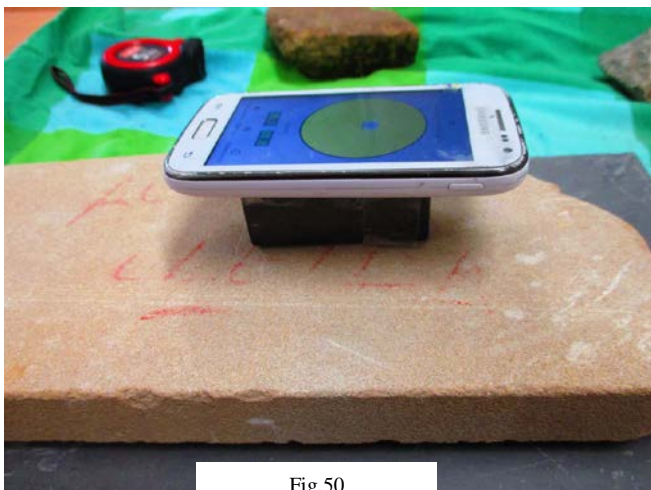


Fig.50

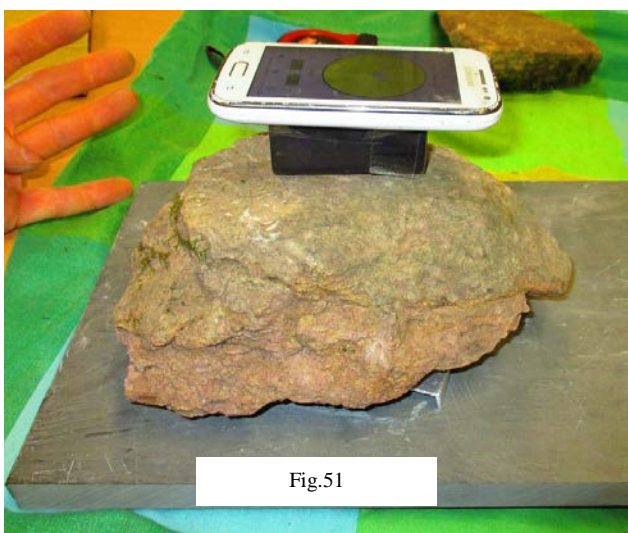


Fig.51

Medición del perfil en U sobre piedra caliza

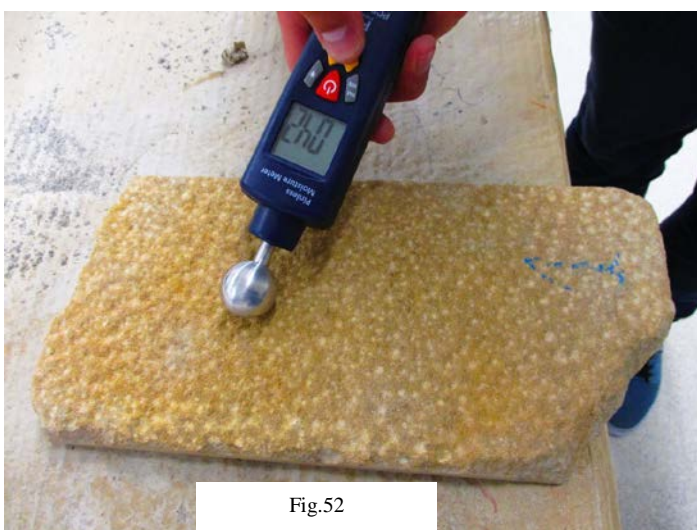
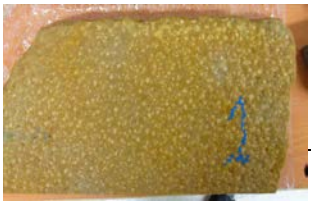
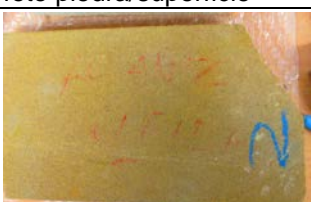



Fig.52


Medición de humedad en arenisca

Tabla de resultados obtenidos:


Pieza: Perfil U sin muescas			Piedra: Arenisca apuntalada					
humedad%	0							foto piedra/superficie
1	28 °	6	22 °	11	24 °	16	24 °	
2	30 °	7	18 °	12	27 °	17	26 °	
3	30 °	8	17 °	13	28 °	18	25 °	
4	28 °	9	22 °	14	27 °	19	23 °	
5	17 °	10	24 °	15	22 °	20	23 °	
Media coeficiente rozamiento							0,45	

Pieza: Perfil U sin muescas			Piedra: Arenisca lado pulido					
humedad%	0							foto piedra/superficie
1	22 °	6	22 °	11	21 °	16	24 °	
2	23 °	7	23 °	12	21 °	17	23 °	
3	24 °	8	25 °	13	20 °	18	22 °	
4	22 °	9	20 °	14	22 °	19	23 °	
5	25 °	10	22 °	15	21 °	20	23 °	
Media coeficiente rozamiento							0,41	

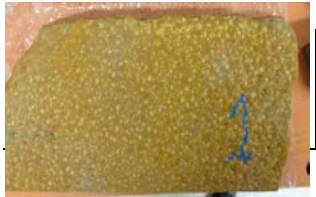
Pieza: Perfil U sin muescas			Piedra: Arenisca pulida					
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	28 °	6	23 °	11	21 °	16	23 °	
2	22 °	7	22 °	12	23 °	17	22 °	
3	22 °	8	23 °	13	25 °	18	22 °	
4	21 °	9	22 °	14	26 °	19	23 °	
5	26 °	10	23 °	15	22 °	20	23 °	
Media coeficiente rozamiento							0,43	

Pieza: Perfil U sin muescas			Piedra: san marcos grande					
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	29 °	6	25 °	11	23 °	16	24 °	
2	28 °	7	23 °	12	23 °	17		
3	23 °	8	25 °	13	24 °	18		
4	24 °	9	25 °	14	32 °	19		
5	27 °	10	25 °	15	24 °	20		
Media coeficiente rozamiento							0,38	


Pieza: Perfil U sin muescas			Piedra: san marcos mediana				
humedad%	0						Foto piedra/ superficie
1	26 °	6	27 °	11	24 °	16	26 °
2	28 °	7	32 °	12	29 °	17	
3	29 °	8	34 °	13	26 °	18	
4	32 °	9	28 °	14	35 °	19	
5	26 °	10	29 °	15	24 °	20	
Media coeficiente rozamiento							0,44




Pieza: Perfil U con muescas			Piedra: arenisca apuntalada				
humedad%	0						Foto piedra/ superficie
1	27 °	6	31 °	11	20 °	16	40 °
2	21 °	7	41 °	12	24 °	17	20 °
3	44 °	8	27 °	13	21 °	18	23 °
4	30 °	9	28 °	14	38 °	19	29 °
5	34 °	10	36 °	15	28 °	20	35 °
Media coeficiente rozamiento							0,59
Desviación Típica:							0,18




Pieza: Perfil U con muescas			Piedra: arenisca cara b lisa				
humedad%	0						Foto piedra/ superficie
1	23 °	6	21 °	11	24 °	16	24 °
2	15 °	7	19 °	12	18 °	17	21 °
3	21 °	8	16 °	13	19 °	18	22 °
4	22 °	9	18 °	14	16 °	19	14 °
5	25 °	10	16 °	15	21 °	20	18 °
Media coeficiente rozamiento							0,36
Desviación Típica:							0,06





Pieza: Perfil U con muescas			Piedra: arenisca lisa cuadrada				
humedad%	0						Foto piedra/ superficie
1	18 °	6	23 °	11	21 °	16	26 °
2	20 °	7	20 °	12	21 °	17	28 °
3	20 °	8	21 °	13	26 °	18	26 °
4	24 °	9	22 °	14	27 °	19	26 °
5	20 °	10	23 °	15	23 °	20	26 °
Media coeficiente rozamiento							0,43
Desviación Típica:							0,06

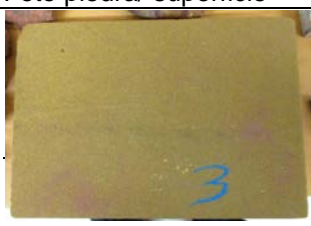



Pieza: Perfil U con muescas			Piedra: San Marcos Grande					
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	24 °	6	24 °	11	21 °	16	21 °	
2	26 °	7	28 °	12	25 °	17	23 °	
3	16 °	8	23 °	13	28 °	18	27 °	
4	24 °	9	17 °	14	18 °	19	24 °	
5	32 °	10	17 °	15	22 °	20	19 °	
Media coeficiente rozamiento							0,43	
Desviación Típica:							0,09	


Pieza: Perfil U con muescas			Piedra: San Marcos Mediana					
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	37 °	6	30 °	11	22 °	16	22 °	
2	44 °	7	28 °	12	21 °	17	26 °	
3	35 °	8	23 °	13	32 °	18	26 °	
4	26 °	9	30 °	14	27 °	19	30 °	
5	32 °	10	28 °	15	22 °	20	26 °	
Media coeficiente rozamiento							0,55	
Desviación Típica:							0,14	

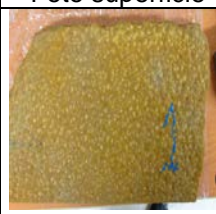
Pieza: Perfil sierra			Piedra: Arenisca apuntalada					
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	40 °	6	41 °	11	47 °	16	39 °	
2	37 °	7	34 °	12	49 °	17	42 °	
3	32 °	8	37 °	13	32 °	18	47 °	
4	47 °	9	38 °	14	43 °	19	47 °	
5	39 °	10	47 °	15	42 °	20	43 °	
Media coeficiente rozamiento							0,89	
Desviación Típica:							0,16	

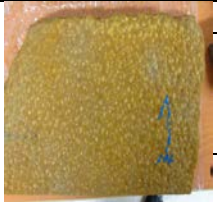
Pieza: Perfil sierra			Piedra: Arenisca cara B lisa					
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	34 °	6	33 °	11	26 °	16	26 °	
2	27 °	7	34 °	12	26 °	17	30 °	
3	25 °	8	30 °	13	24 °	18	32 °	
4	26 °	9	31 °	14	32 °	19	26 °	
5	30 °	10	35 °	15	24 °	20	28 °	
Media coeficiente rozamiento							0,56	
Desviación Típica:							0,08	

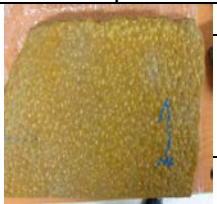
Pieza: Perfil sierra				Piedra: Arenisca lisa cuadrada				
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	27 °	6	32 °	11	31 °	16	36 °	
2	36 °	7	28 °	12	30 °	17	28 °	
3	34 °	8	26 °	13	26 °	18	30 °	
4	32 °	9	37 °	14	27 °	19	41 °	
5	35 °	10	31 °	15	31 °	20	28 °	
Media coeficiente rozamiento							0,61	
Desviación Típica:							0,10	


Pieza: Perfil sierra				Piedra: San Marcos grande				
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	44 °	6	34 °	11	29 °	16	33 °	
2	41 °	7	43 °	12	41 °	17	27 °	
3	47 °	8	36 °	13	43 °	18	30 °	
4	35 °	9	45 °	14	41 °	19	36 °	
5	27 °	10	30 °	15	26 °	20	27 °	
Media coeficiente rozamiento							0,74	
Desviación Típica:							0,19	


Pieza: Perfil sierra				Piedra: San Marcos mediana				
humedad%	0							Foto piedra/ superficie
1	38 °	6	26 °	11	28 °	16	32 °	
2	44 °	7	34 °	12	33 °	17	34 °	
3	26 °	8	40 °	13	26 °	18	31 °	
4	38 °	9	28 °	14	34 °	19	37 °	
5	32 °	10	38 °	15	31 °	20	36 °	
Media coeficiente rozamiento							0,66	
Desviación Típica:							0,13	

Las tres piezas a la vez				Piedra: Gruesa		
humedad%	30					Foto superficie
	U		U ranurada		Perfil sierra	
1	25 °	1	31 °	1	44 °	
2	35 °	2	35 °	2	45 °	
3	32 °	3	32 °	3	51 °	
4	34 °	4	32 °	4	34 °	
5	31 °	5	31 °	5	45 °	
Med	0,61	Med	0,63	Med	0,98	
Desv	0,09	Desv	0,04	Desv	0,20	

Pieza: Arenisca apuntalada			Piedra: Gruesa			Foto superficie
humedad%	50					
	U		U ranurada		Perfil sierra	
1	29 °	1	29 °	1	55 °	
2	31 °	2	30 °	2	46 °	
3	44 °	3	27 °	3	44 °	
4	32 °	4	32 °	4	54 °	
5	27 °	5	27 °	5	47 °	
Med	0,65	Med	0,56	Med	1,18	
Desv	0,18	Desv	0,05	Desv	0,21	

Pieza: Arenisca apuntalada						Foto superficie
humedad%	100					
	U		U ranurada		Perfil sierra	
1	26 °	1	27 °	1	26 °	
2	23 °	2	30 °	2	37 °	
3	23 °	3	30 °	3	20 °	
4	22 °	4	32 °	4	37 °	
5	21 °	5	30 °	5	26 °	
Med	0,42	Med	0,57	Med	0,57	
Desv	0,04	Desv	0,04	Desv	0,18	

Piedra: Arenisca lisa						Foto superficie
humedad%	30					
	U		U ranurada		Perfil sierra	
1	23 °	1	25 °	1	44 °	
2	24 °	2	24 °	2	34 °	
3	21 °	3	26 °	3	43 °	
4	21 °	4	26 °	4	27 °	
5	19 °	5	23 °	5	32 °	
Med	0,40	Med	0,46	Med	0,74	
Desv	0,04	Desv	0,03	Desv	0,20	

Piedra: Arenisca lisa						Foto superficie
humedad%	100					
	U		U ranurada		Perfil sierra	
1	22 °	1	25 °	1	44 °	
2	24 °	2	24 °	2	34 °	
3	20 °	3	26 °	3	43 °	
4	25 °	4	26 °	4	27 °	
5	22 °	5	23 °	5	32 °	
6	20 °	6	33 °	6	36 °	
Med	0,41	Med	0,49	Med	0,74	
Desv	0,04	Desv	0,08	Desv	0,18	

Piedra: caliza pulida apuntalada					
humedad%	100				Foto superficie
	U		U ranurada		Perfil sierra
1	27 °	1	26 °	1	33 °
2	27 °	2	26 °	2	30 °
3	26 °	3	29 °	3	36 °
4	28 °	4	30 °	4	29 °
5	26 °	5	34 °	5	31 °
6	28 °	6	26 °	6	32 °
Med	0,51	Med	0,54	Med	0,62
Desv	0,02	Desv	0,07	Desv	0,06



Resumen datos en seco:

	Piedra 1	Piedra 2	Piedra 3	Piedra 4	Piedra 5
U	0,45	0,41	0,43	0,38	0,44
U ranurada	0,59	0,36	0,43	0,43	0,55
Perfil sierra	0,89	0,56	0,61	0,74	0,66

Como se puede observar en la tabla, vemos que el mayor coeficiente de rozamiento lo ha obtenido la pieza más rugosa en la piedra mas rugosa también. Es decir, la piedra arenisca apuntalada.

Resumen de datos con diferentes grados de humedades:

	Arenisca apuntalada			Arenisca lisa		Caliza pulida
	30%	50%	100%	30%	100%	100%
U	0,61	0,65	0,42	0,40	0,41	0,51
U ranurada	0,63	0,56	0,57	0,46	0,49	0,54
Perfil sierra	0,98	1,18	0,57	0,74	0,74	0,62

Nos puede sorprender en un principio que al humedecer la piedra arenisca haya aumentado tanto el coeficiente de rozamiento. Pero esta diferencia es apenas de 2,7 grados. Puede que haya sido que al humedecer las piedras, se hayan eliminado parte del polvo de la arenisca suelta que desprenden las piedras.

Vemos claramente que todos los coeficientes de rozamiento son superiores a los necesarios para que un friend se mantenga en su posición. Lo que nos hace tener la necesidad de calcular los coeficientes de rozamiento dinámicos.

Calculo de los coeficientes dinámicos:

Se ha procedido a medir los coeficientes dinámicos entre diferentes rocas y piezas metálicas para saber si en caso de que el sistema comience a moverse si se detendría o por el contrario seguiría moviéndose hasta salirse de la fisura.

Para ello se ha utilizado un dinamómetro para calcular la fuerza que había que hacerle a la pieza para mantenerla en movimiento y una pesa para saber el peso de esta.



Fig.53

Sabiendo la fuerza F , que será igual a F_r , podemos calcular μ que es igual a $\mu = F_r / N$ donde $N=p$.

De esta manera tenemos los siguientes pesos:

- Pieza en U ; 117 gr
- Perfil dientes de sierra: 71 gr

Realizamos las siguientes pruebas con el **perfil en U:**
Prueba en la piedra 2, de arenisca pulida



Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	40 gr	0.34
2	45 gr	0.38
3	45 gr	0.38
4	50 gr	0.42
5	40 gr	0.42
	Media	0.388

Calculado inclinando la piedra: 20 ° que sería equivalente a 0.36

Prueba en la piedra 3, de arenisca pulida

Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	40 gr	0.34
2	40 gr	0.34
3	45 gr	0.38
4	45 gr	0.38
5	50 gr	0.42
	Media	0.372

Calculado inclinando la piedra: 20 ° que sería equivalente a 0.36

Prueba en la piedra 6, de caliza apuntalada

Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	40 gr	0.34
2	38 gr	0.32
3	35 gr	0.30
4	35 gr	0.30
5	35 gr	0.30
	Media	0.312

Calculado inclinando la piedra: 17 ° que sería equivalente a 0.30

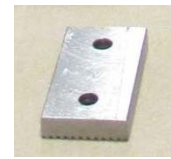
Prueba en la piedra 7, de granito

Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	30 gr	0.26
2	30 gr	0.26
3	32 gr	0.27
4	30 gr	0.26
5	30 gr	0.26
	Media	0.262

Calculado inclinando la piedra: 15 ° que sería equivalente a 0.267

Realizamos las pruebas con el **perfil de dientes** de sierra de 71 gr

Prueba en la piedra 2, de arenisca pulida



Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	30 gr	0.42
2	30 gr	0.42
3	30 gr	0.42
4	30 gr	0.42
5	30 gr	0.42
	Media	0.42

Calculado inclinando la piedra: 23 ° que sería equivalente a 0.424

Prueba en la piedra 3, de arenisca pulida

Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	30 gr	0.42
2	30 gr	0.42
3	30 gr	0.42
4	30 gr	0.42
5	30 gr	0.42
	Media	0.42

Calculado inclinando la piedra: 24 ° que sería equivalente a 0.445

Prueba en la piedra 6, de caliza apuntalada

Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	20 gr	0.28
2	20 gr	0.28
3	20 gr	0.28
4	22 gr	0.31
5	20 gr	0.28
	Media	0.29

Calculado inclinando la piedra: 20 ° que sería equivalente a 0.34

Prueba en la piedra 7, de Granito

Numero prueba	Fuerza aplicada en gramos	Coefficiente teórico
1	28 gr	0.39
2	28 gr	0.39
3	28 gr	0.39
4	28 gr	0.39
5	28 gr	0.39
	Media	0.39

Calculado inclinando la piedra: 22 ° que sería equivalente a 0.404

Resumen:

Tipo de piedra	Perfil en U	Perfil dientes de sierra
Arenisca pulida 2	0.388	0.42
Arenisca pulida 3	0.372	0.42
Caliza 6	0.312	0.29
Granito 7	0.262	0.39

Como desventaja en esta prueba, hay que mencionar que el dinamómetro empleado no era de gran precisión y que la prueba tenía su dificultad ya que al intentar llevar la piedra a velocidad uniforme, a veces esta quedaba enganchada en los surcos de la piedra y aumentaba la fuerza que había que hacerle. También ha pasado, que el dinamómetro tiene bastante recorrido y al quedar enganchada la pieza hacía efecto muelle empujaba la pieza hacia delante de manera incontrolada.

Por otro lado, hemos notado que la posición de los dientes de sierra no influía en el resultado del coeficiente de rozamiento.

El cálculo de la inclinación se ha hecho de manera aproximada viendo a que ángulo comenzaba a caer de manera constante la pieza por la pendiente generada. Para que fuese dinámico se mantenía la pieza a una pequeña velocidad sobre la pieza.

Vemos que el coeficiente de rozamiento es mayor en las piedras rugosas como la arenisca y que en piedras como la caliza o el granito disminuye.

En comparación con los coeficientes estáticos, estos son menores pero siempre harían que el friend funcionase adecuadamente en fisuras paralelas. Donde más problemas podría haber es en las rocas de granito que es donde menos fricción han tenido los materiales.

SISTEMA ALTERNATIVO



SISTEMA ALTERNATIVO AL FRIEND CON POLIPASTO

Problemática del friend:

El friend es el mejor invento para la progresión en escalada libre, de eso no hay duda. Aun así, su gran desventaja es cuando las fisuras son pequeñas. En esos casos, es fácil que durante una caída fuerte este tipo de sistemas fallen.

Como se ha visto en el cálculo de estática, las reacciones en la roca van a ser $R_y/\sin \alpha$, por lo que estas pueden ser elevadas, más cuando no hay una buena colocación. Por lo tanto, estas fuerzas, realizadas sobre superficies pequeñas e irregulares, pueden dar lugar a que la roca se fragmente y que estos mismos fragmentos afecten de manera negativa en las fuerzas de rozamiento generadas.



Fig.54

Como se ve en la imagen, si se une la superficie pequeña de contacto que tiene el friend y una roca muy rugosa e irregular, tenemos como resultado, que si se rompe esa pequeña punta, todo el sistema se desequilibrará.

Como alternativa a esto, se ha pensado en utilizar un sistema parecido al fisurero convencional, con la ventaja de que este se expandiría cuando se le apliquen cargas. La mejora consistiría en que la superficie de contacto entre la roca y el aparato sería mayor.

Para aumentar las fuerzas que se ejerzan, se ha colocado un sistema con polipasto que aumentará varias veces la fuerza de caída.

De manera, que tal y como se ha calculado en los coeficientes de rozamiento, se ha empleado el mismo ranurado que hay dado mayor coeficiente de rozamiento en las pruebas realizadas, es decir, el perfil de dientes de sierra. De esta manera, se intenta que en superficies irregulares el sistema quede más estable.



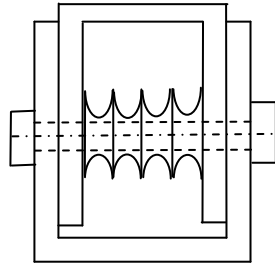
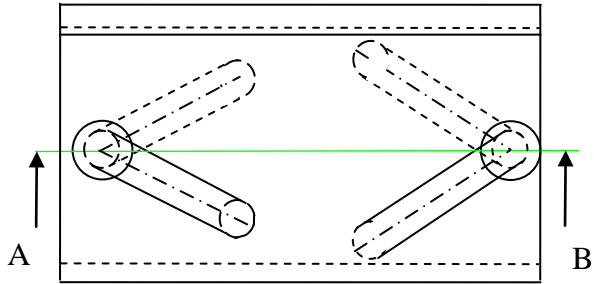
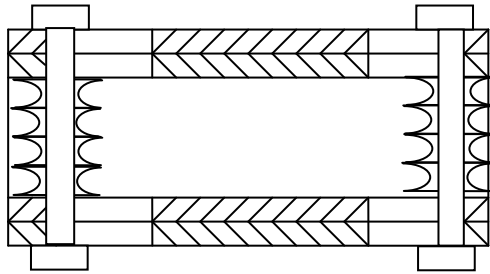
Fig.55

Como se ve en la imagen, las sierras tocan varias veces la roca en varios puntos diferentes.

Por otro lado, otro problema del friend es que puede “**caminar**” es decir, que con el movimiento de la cuerda, este se coloque en una nueva posición. Esto ocurre cuando se desplaza hacia los lados, como las levas no permiten el movimiento hacia fuera, este va entrando dentro de la fisura, con el consiguiente peligro de que o bien quede muy prieto para luego sacarlo o bien, si la fisura se abre, quede en un hueco el cual no agarre bien.

Este sistema, no “caminaría” ya que el método utilizado bloquearía el movimiento en ambos sentidos además de que tendría gran flexibilidad ya que no utiliza cables de acero sino cabos de espectra.

Conjunto de la muela



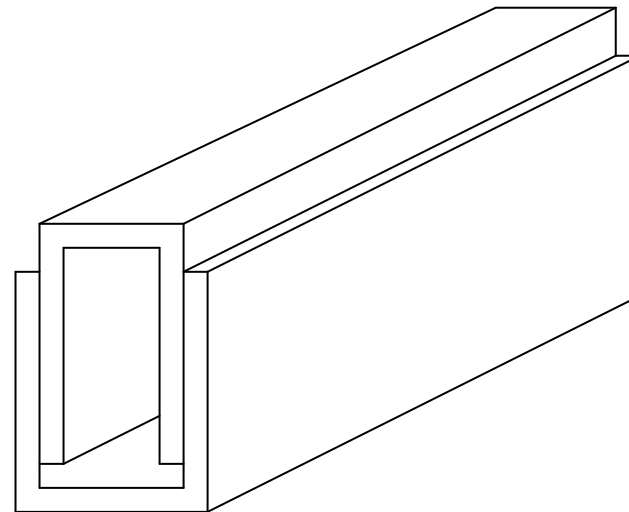
Proyecto fin de carrera 2015

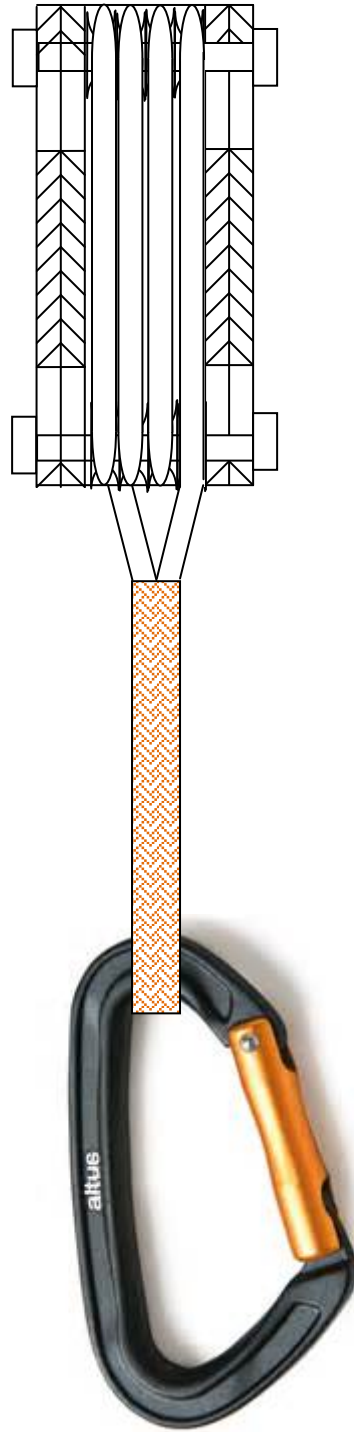
Diseño: Bingen Durá

Fecha: 18/12/2015

Sistema alternativo al friend. Fisurero expansible (Lagun)

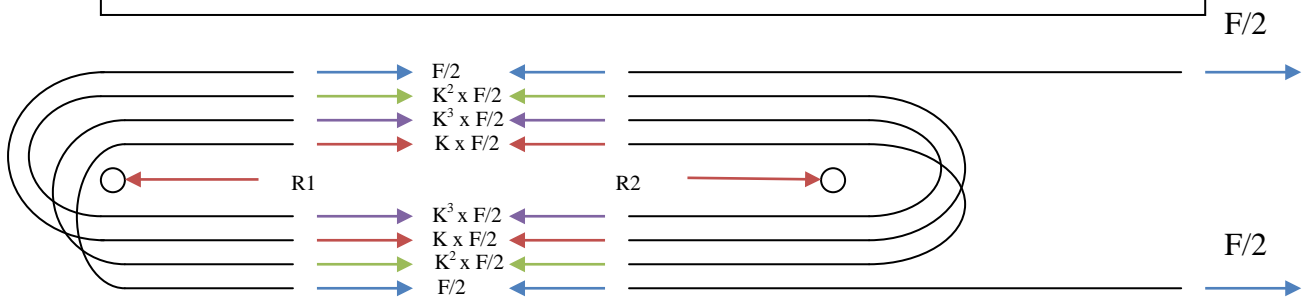
Tutor: Aimar Insausti (UPV)





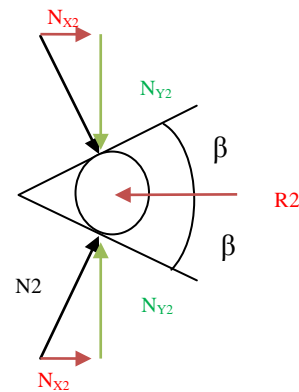
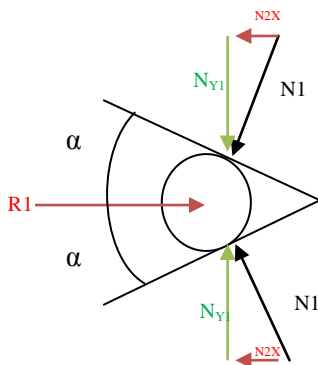
Proyecto fin de carrera 2015	
Diseño: Bingen Durá	Fecha: 18/12/2015
Sistema alternativo al friend. Fisurero expansible (Lagun)	
Tutor: Aimar Insausti (UPV)	

Se considera que la fuerza restante al pasar por la polea es $K * F$
 Donde K tiene un valor entre 3/4 y 4/7



$$R1 = 2 \times (F/2 + K \times F/2 + K^2 \times F/2 + K^3 \times F/2) = F \times (1 + K + K^2 + K^3)$$

$$R2 = 2 \times (K \times F/2 + K^2 \times F/2 + K^3 \times F/2) = F \times (K + K^2 + K^3)$$



$$\sum F_x = 0$$

$$R1 = 2 \times N_x = 2 \times N1 \times \sin(\alpha); N1 = R1 / (2 \times \sin(\alpha))$$

$$N_{Y1} = N1 \times \cos(\alpha) = R1 \times \cos(\alpha) / (2 \times \sin(\alpha)) = R1 / (2 \times \tan(\alpha))$$

$$N_{Y1} = F \times (1 + K + K^2 + K^3) / (2 \times \tan(\alpha))$$

$$N_{Y2} = F \times (K + K^2 + K^3) / (2 \times \tan(\beta))$$

Proyecto fin de carrera 2015

Diseño: Bingen Durá

Fecha: 18/12/2015

Sistema alternativo al friend. Fisurero expansible (Lagun)

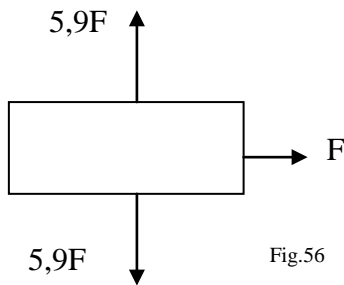
Tutor: Aimar Insausti (UPV)

Por tanto la fuerza que se hará en la roca será:

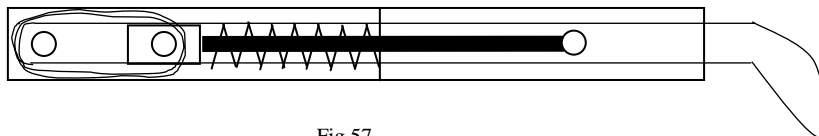
$$N_{Y1} + N_{Y2} = \frac{F(1 + K + K^2 + K^3)}{2 \tan(\alpha)} + \frac{F(K + K^2 + K^3)}{2 \tan(\beta)}$$

$\alpha = 15^\circ$ $\beta = 10^\circ$ y K es una constante que representaría la fuerza que se mantendría después de pasar por el polipasto, para incluir la pérdida de fuerza que se produce en este. K viene siendo 4/7 Por tanto:

$$N_{Y1} + N_{Y2} = F \times 5,9$$



Lo más difícil de este invento ha sido crear el tirador. Necesitábamos que fuese flexible a su vez que hiciese fuerza para que al colocarlo en la fisura, si no tenía carga que se mantuviese allí. Al final la solución tomada ha sido la siguiente:



El sistema del tirador, funciona de la siguiente manera. Un muelle de compresión empuja una parte del polipasto mientras que la otra está fija en el extremo de la manguera. Este muelle va alrededor de un eje flexible que empujará la parte móvil del polipasto haciendo que las muelas se cierren. La fuerza del muelle hace que las muelas se abran. Un cabo de espectra, es el encargado de accionar el polipasto y unir el mosquetón final.

Uno de los grandes problemas a la hora de diseñar y fabricar el dispositivo ha sido que tiene que ser muy flexible para aguantar las cargas en fisuras horizontales. Otro problema grande es que el muelle de compresión, toca en las paredes de la manguera creando fricción entre el cabo que circula por la manguera, por lo que ese rozamiento hace que las muelas no se cierren con la facilidad con la que debieran.

Otro fallo que queda por solucionar, es que el cabo de espectra, está compuesto por hilos finos que se enganchan en el polipasto quedando a veces

atrapados en él. Hay veces que el sistema no se puede cerrar del todo sin ayuda de las dos manos.

Por lo general, el resultado del invento es muy bueno, ya que es un prototipo y aunque le quedan algunas cosas por arreglar, se puede decir que el resultado es muy bueno.

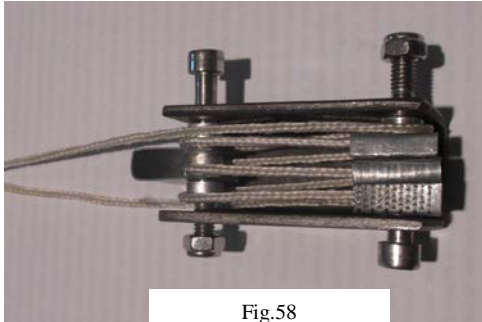


Fig.58

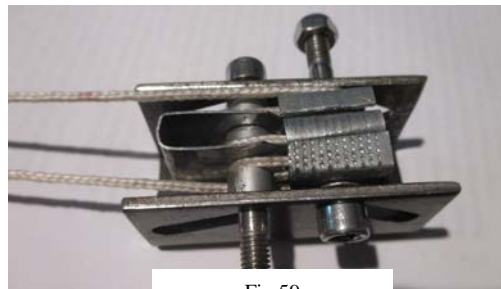


Fig.59

En la imagen podemos ver el polipasto empleado para hacer fuerza en los dos ejes. Esta fuerza, se convierte en las ranuras de las paredes de las muelas, en fuerza de expansión para que se empotre en las fisuras o agujeros.

El cabo empleado para tirar de los dos ejes es de spectra, un material más resistente que el acero a la tracción. El cabo empleado, que no es el de la imagen, tiene 2 mm de diámetro y aguantaría una fuerza de 435 daN, de manera que en doble como está anudado aguantaría 970 daN. Se ha utilizado en vez de un nudo, un embutido para anudar los extremos por lo que no hay pérdida de resistencia a la tracción en la unión.

Las ventajas más significativas y por las que ha sido diseñado serían las siguientes:

- Aunque no se haya conseguido, una de las ideas era bajar el **peso**. Se pretendía utilizar spectra, como cabo principal y eso haría que el peso fuese más bajo. El problema ha sido que en vez de aluminio se ha utilizado acero y también, que no se ha estudiado que partes de la muela podían agujerarse para aligerar la carga. El sistema pesa en su conjunto alrededor de 300 gr, que es el doble que un friend normal, por lo que en este aspecto no se ha logrado mejora, aunque con un buen estudio y utilizando mejores materiales, creemos que es posible igualar el peso actual de los friends.
- **Aumentar la superficie de contacto entre la roca y la muela.** Esto si que se ha logrado ya que estas piezas contactan más con la roca, con la ventaja de hacer que el sistema sea más estable y más predecible. También al bascular, se pretendía que se **empotrarse por forma** y no solo por fricción. Una vez que el artilugio coja la forma de cuña, por muy poca fricción que haya este no se escapará de la fisura.

- **Posibilidad de colocar materiales más adherentes en las superficies.** Se había pensado en un principio recubrir las superficies de las muelas con material como caucho empleado en los silembloc. De esta manera, hacer que la superficie se adaptase mejor a rocas irregulares y también que aumentase la fricción entre la muela y la roca. Por tanto además de por fricción, esta muela se adaptaría a la forma de la roca impidiendo el movimiento. Además se conseguiría que se distribuyese la fuerza de una manera más uniforme en toda la superficie de contacto. Este apartado no ha sido desarrollado en este proyecto por tiempo, pero realmente, se cree firmemente que puede ser una buena idea a desarrollar.
- **Posibilidad de colocarlo en agujeros.** No es muy habitual encontrarse con agujeros en la roca, esto suele ocurrir en arenisca, aunque no el tan habitual, aun así, este sistema es capaz de conseguir una buena sujeción en un agujero cilíndrico donde otros sistemas no conseguirían una buena sujeción.
- **Facilidad de fabricación.** Una ventaja grande que tiene este sistema es la facilidad con la que se puede fabricar y el uso de elementos normalizados, como por ejemplo los perfiles en U utilizados. También las operaciones de mecanizado son muy sencillas y no requieren de mucha dificultad. Por otro lado, el montaje no es complicado al usarse cabo para accionar los polipastos.
- Aunque el dispositivo sea muy grande, con un margen de apertura de 36mm a 52 mm, la idea es que se pueda fabricar en pequeño ya que sobre todo es en los tamaños pequeños donde surgen los problemas mencionados

En el siguiente apartado lo pondremos a prueba:

Prueba en el rocódromo:

Se ha realizado, la siguiente prueba en el rocódromo, buscando diversas presas y colocándolas en posiciones para simular fisuras abiertas, cerradas y demás situaciones que pueden encontrarse en la roca. Se ha comparado con un totem cam rojo, que tiene más o menos el mismo rango de apertura que el aparato que hemos fabricado. Aun así, los resultados han sido completamente distintos debido a las diferencias de la forma de las muelas.

Una vez colocados los aparatos se han sometido al peso de un escalador para ver como aguantarían la fuerza de este. No se ha podido someter a más fuerza debido a que las presas del rocódromo podrían romperse o dañarse la madera a la que estaban sujetas, ya que, como hemos expuesto anteriormente las fuerzas en estos sistemas se multiplican para lograr un agarre suficiente.

Primera prueba:



Fig. 60

Se ha colocado el dispositivo en una fisura abierta. Aunque no se aprecie bien en la foto, la superficie de contacto con la roca no es la mejor. Aun así es, ha aguantado sin problema la fuerza de un escalador. Podemos ver el video en el siguiente link:

<https://youtu.be/g3opNDC3I68>

Usando el totem quedaría de la siguiente manera:



Fig. 61

Vemos que las levas del fondo están tocando la madera y la presa. La 3ª leva no estaría tocando la roca y la cuarta estaría simplemente apoyada en la madera. Por tanto las únicas levas que están trabajando serían las dos del fondo. En esta prueba vimos que la madera empezó a crujir y no pudimos colgarnos durante mucho tiempo. Esto se debió a que la superficie de contacto al ser más pequeña, hizo que el friendo se clavase en la madera. Se probó de dos maneras, de solo dos levas y del medio. Los resultados fueron buenos, aunque estaban las levas casi totalmente abiertas.

<https://youtu.be/5GCoviXN3Q8>

Prueba 2 fisura cerrada e irregular:



Fig. 62

Se ha probado el dispositivo en una fisura cerrada e irregular. El resultado ha sido muy bueno ya que en este caso, el aparato funciona como un fisurero completamente empotrado. Nos hemos podido colgar sin problemas de esta presa. Vemos el video en el siguiente linck:

<https://youtu.be/PInllNHDz2w>



Fig. 63

El totem también ha respondido muy bien en esta prueba, aunque estaba casi totalmente abierto y no es aconsejable que trabaje de esta manera, ha aguantado el peso sin problemas. Este tipo de fisuras son las mejores para colocar dispositivos ya que la misma forma hace que queden encajados. Aquí vemos que las cuatro levas del aparato están en contacto con la roca, que es la forma en la que deben trabajar. Se puede ver el video de esta prueba en el siguiente link:

<https://youtu.be/vGC8oQd6Hpc>

Prueba 3 presa tipo asa



Fig. 64

Se ha probado en esta presa que es como un puente de roca, aunque no se aprecie bien en la imagen, la parte de debajo de esta, está hueca por lo que se podría coger con la mano como si fuese un asa. Este aparato ha dado buenos resultados ya que la parte del fondo se ha abierto completamente y la que se ve en la imagen está completamente cerrada, por lo que, actúa como un empotrador normal. No obstante el totem no se ha podido colocar ya que caía al interior y dejaba de hacer fuerza.

Se puede ver el video en el siguiente link:

<https://youtu.be/lxZdc8Tu8WI>

Prueba 4 dos presas simulando fisura horizontal o chorreras

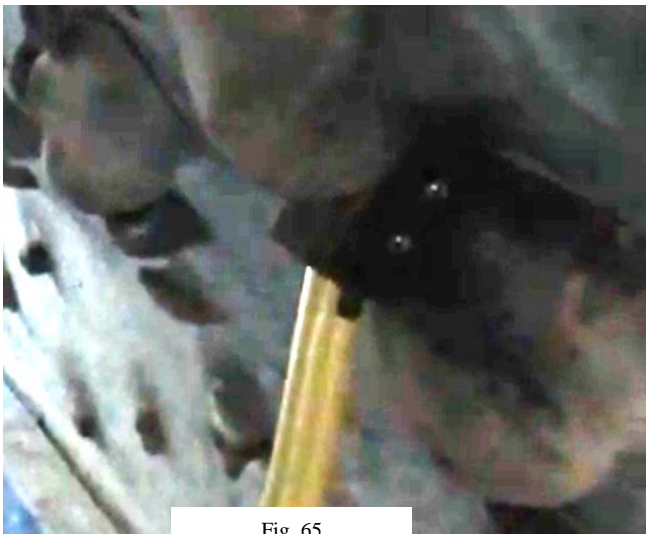


Fig. 65

La siguiente prueba se ha realizado entre dos presas, simulando una fisura horizontal o lo que podrían ser dos chorreras. El resultado ha sido que el artilugio se ha enclavado correctamente en cambio el totem no ha podido ser colocado ya que la fisura era demasiado grande para el.

El emplazamiento no es el más idóneo, ya que por un lado, se crea un poco de palanca y por el otro la superficie de contacto no es muy grande, ni está centrada. Aun así, vemos que gracias a la flexibilidad del artilugio este consigue adaptarse sin problemas a esta nueva situación. Es una ventaja muy grande el que no se utilice ningún cable dentro. Debido a que la fuerza se transmite a través de un cabo, la flexibilidad es muy elevada.

https://youtu.be/O-mz_xFeWjo

Prueba 5, fisura abierta



Fig. 66

siguiente

link:

<https://youtu.be/whDhohqEr-I>

Prueba de prototipo de friend en una fisura abierta. En este caso salta. El enclavamiento era muy extremo y la fuerza no se hace completamente vertical. Al agarrarlo con las manos, la fuerza hacia la derecha hace que salte.

Por otro lado, es importante que la fuerza que se hace en ambos cabos del extremo sea muy parecida. Al darle varias vueltas al cabo esto no lo cumplimos por lo que quizá también salte por ese motivo.

Podemos ver el video en el



Fig. 67

comienza este proceso, el sistema entero caerá.

<https://youtu.be/oWXFp0LGdDk>

Se prueba el totem en la misma fisura abierta a dos levass. No nos podemos llegar a colgar porque el dispositivo empieza a patinar. Las levass están totalmente abiertas por lo que creemos que ese es el fallo.

Este dispositivo, a diferencia del otro, no puede trabajar totalmente abierto. Vemos que empieza a girar si en una cara tiene más fricción que en la otra. Una vez



Volvemos a probar el prototipo esta vez como estribo. La fuerza es totalmente vertical y se hace progresivamente. También se coloca el cabo de manera que pueda ajustarse ya que es importante que la fuerza en los dos extremos sea muy parecida, si no el sistema puede descompensarse y caerá.

Podemos observar por la postura que no se ha

colocado todo el peso sobre el dispositivo. Esto ha sido difícil debido al desplome de la pared y la cercanía con el suelo.

Vemos en el siguiente link el video de la prueba.

<https://youtu.be/nvF1C9XWIR4>

Conclusiones.

El aparato ha respondido muy bien en las pruebas. Nos ha sorprendido que aunque los dos dispositivos tenían parecidos rangos de apretura. Muchas veces el totemcam no quedaba bien en los sitios que entraba en dispositivo que hemos fabricado. Esto se debe sobre todo a la forma de las muelas. En los totem son cuatro pequeñas levas las que se apoyan en la roca mientras que aquí son dos grandes rectángulos de 30 mm x 60 mm por lo que estas muelas se apoyan en los puntos más cercanos a estas, mientras que el totem lo hace en los valles que dejan las fisuras. Gráficamente lo explicaríamos de esta manera:



Fig. 69

Esta sería la forma en que trabajaría un friend normal. Vemos que queda anclado en los valles de la fisura. En cambio, en nuestro diseño, este no se ancla necesariamente en los valles sino que también puede hacerlo en las puntas. Lo que hace que necesite que la fisura sea más ancha.

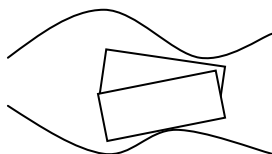


Fig. 70

Por lo que, tiende que entrar en fisuras más grandes debido a su forma y quedar empotrado como un fisurero.

Por otro lado, hemos visto que el Totemcam es muy buen dispositivo para agujeros cerrados.



Fig. 71

Gracias a su increíble elasticidad, en este tipo de agujeros se ofrece un muy buen agarre y seguridad. Como vemos, los cuatro cables que agarran las levas, flexan de manera que no produzcan ningun momento que saque para afuera todo el conjunto.

No podemos decir en cambio lo mismo de nuestro dispositivo. Al ser mucho más largo, las muelas tienen que quedar dentro de la fisura de lo contrario, la



Fig. 72

carga creará un momento muy perjudicial para el sistema. Este momento aunque no llegue a partir las muelas, puede romper la fisura o simplemente salirse ya que no está preparado para trabajar de esa manera. Lo ideal es siempre que las muelas queden dentro del agujero.

Una vez más vemos que la forma específica del sistema hace que tenga ventajas en algunos anclajes pero también tenga desventajas en otros. Como es en este caso de agujeros ciegos de poca profundidad.

Prueba en roca:

Se ha probado el artilugio en Santa Bárbara, para ver cómo funcionaba en un entorno natural. En esta prueba nos hemos dado cuenta de ciertas cosas, la primera es que en la muela, hay ciertas partes que impiden su correcta colocación. Por ejemplo, la muela es demasiado grande y en rocas muy irregulares, la parte externa e interna de la muela impiden la correcta colocación del dispositivo. Se ha pensado en darle una nueva forma para que sea más fácil su colocación además se podría hacer algunas ranuras que aligerarían el invento.

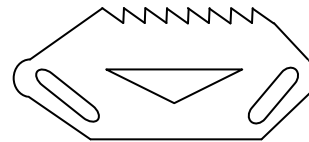


Fig. 73

La prueba realizada ha consistido en atar una pesa de 6kg al artilugio y lanzarla desde una altura de 2,65 m. Esta pesa estaba unida con 1,07 m de cuerda por lo que el coeficiente de caída superaba el 2. Aunque en el video no se vea espectacular, el golpe que da al anclaje es suficiente para que luego sea difícil soltar el nudo. En esta caída se han generado 155,82 Julios.



Fig. 74

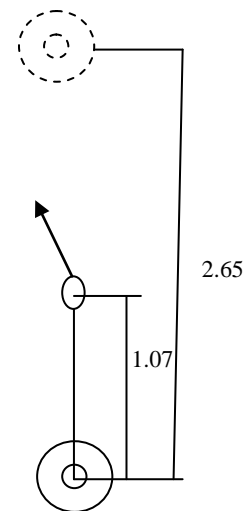


Fig. 75

Se pueden ver los videos en el siguiente link:

<https://www.youtube.com/watch?v=L0dKOahz45c>

<https://www.youtube.com/watch?v=JWJ5z288g-0>

Conclusión global del proyecto.

Como conclusión global de este proyecto, podríamos decir que la escalada en sí misma es un deporte de riesgo. Aunque se intenten controlar todos los factores, siempre hay aspectos que se nos escapan y pueden producir accidentes con mayores o menores consecuencias. Incluso en un rocodromo donde la mayoría de los riesgos están bajo control, pueden ocurrir accidentes por negligencia, despiste, mal uso del mismo material o incluso desgaste del mismo. Que decir cabe, si la actividad se desarrolla, en un entorno natural, donde nada es predecible, e incluso, las características de la roca pueden variar de un punto a otro.

Por ello, como conclusión, pese a todas las pruebas que se hayan realizado en laboratorios, y aunque los fabricantes del material te puedan asegurar que en los laboratorios se hayan conseguido tales o cuales resultados, en cuanto una persona comienza a coger altura y lleva ya varios metros, la única manera de asegurarse la supervivencia, es no cayéndose. Ya que en una caída, influyen tantos factores como, calidad de la roca, fricción, suciedad de la fisura, humedad, deterioro de los sistemas de empotramiento, adecuación del emplazamiento a las condiciones del material, tiempo de reacción del asegurador, fricción entre la cuerda y los dispositivos colocados etc... Todo ello hace, que aunque aparentemente en laboratorios todo funcione correctamente, en cuanto uno está en una montaña, a cierta altura y con un material limitado, en caso de caída, sea difícil limitar las consecuencias de esta, en todo momento.

Creo que todos los escaladores, hemos pasado por algún momento en el que por muchas medidas que hayamos tomado a la hora de escalar, en algún momento puntual, ya sea en alguna maniobra, o chapaje extremo, hemos sentido que nos hemos expuesto a una caída que podría haber tenido graves consecuencias. Ya que es imposible, estar en todo momento 100% seguro cuando se está desarrollando una actividad de este tipo.

Por otro lado, centrándonos en el trabajo realizado, creo que podemos estar muy contentos con los resultados obtenidos, ya que, este estudio ha servido para comprender mejor el funcionamiento de los elementos que se emplean en la escalada. También se puede decir, que el prototipo realizado, ha respondido correctamente en las pruebas. Aunque hay cosas para mejorar, los resultados han sido buenos y se ha podido desarrollar un mecanismo capaz de soportar cargas con materiales domésticos.

Agradecimientos:

Tengo que agradecer a la inestimable ayuda de mucha gente en este proyecto, primeramente a David Oiarzabal de Usurbilgo Lanbide Eskola, por ayudarme en la mecanización del prototipo así como por las ideas aportadas.

A Aimar Insausti por darme la oportunidad de hacer un proyecto de algo que tanto me apasiona como es la escalada.

A mi hermano Ander Durá, que como ingeniero de minas experto en geología me ha ayudado con las pruebas de laboratorio así como ha aportado ideas en para enfocar este proyecto.

A Ino Etxaniz, por conseguirme los cabos de espectra capaces de aguantar cientos de kg con apenas 2 mm de grosor así como por embutir los cabos para que no hubiese nudo alguno en el mecanismo

A mi esposa por sacar las fotos y videos de escalada así como por aguantar la chapa que le he dado con este proyecto. También por ayudarme en el complejo montaje del mecanismo diseñado.

Gracias a Mikel Apezetxea, inventor del Totem Cam por los conocimientos aportados así como por las figuras de las levas. Han sido esclarecedoras a la hora de entender el funcionamiento complejo de un friendo.

Y por supuesto a todos mis amigos escaladores que me han ayudado a mantener la motivación, conseguir material tanto físico como didáctico y por aguantar las pruebas que he ido haciendo mientras escalaba. Por nombrar a algunos, serían, Aritz, Eñaut, Iñaki, Isaac, Iñigo, Markel....

Índice de Figuras:

- Fig.1: Caída de primero en escalada
Fig.2: Arnés de cierre automático
Fig.3: Cinta expres usada en escalada
Fig.4: Mosquetones de escalada.
Fig.5: Aparatos aseguradores
Fig.6: Técnica parada de Boulder
Fig.7: Split en roca blanda
Fig.8: Tornillo parabolt muy salido
Fig.9: Chapa de descuelgue muy gastada
Fig.10: Reunión en escalada libre
Fig.11: Javi compes
Fig.12: Adam Ondra
Fig.13: Escalada en cascada de hielo
Fig.14: Tornillos de hielo
Fig.15: Escalada artificial con estribos
Fig. 16: Alex Honnold en repisa gracias a Dios
Fig. 17: Heinz Zag en Separate Reality
Fig. 18: Deam Potter en el Eiger
Fig. 19: Escalando en Albarracín Teruél
Fig. 20: Crish sharma en Es Pontas
Fig. 21: Fisureros antiguos realizados con cordino y tuercas
Fig. 22: Fisureros modernos
Fig. 23: Fisureros exagonales excéntricos
Fig. 24: Funcionamiento de un fisurero excéntrico
Fig. 25: Tricams o patas de cabra
Fig. 26: Funcionamiento de un tricam
Fig. 27: Fisureros mecánicos de levas
Fig. 28: Friend Wild Country
Fig. 29: Imágen frontal Wild Country
Fig. 30: detalle de un camalot del 2
Fig. 31: Totemcam
Fig. 32: Camalot 2 versión antigua
Fig. 33: HB
Fig. 34: Wild Country
Fig. 35: Graficas de las levas
Fig. 36: Graficas levas
Fig. 37: Funcionamiento de las levas
Fig. 38: Friend en banco de pruebas
Fig. 39: Friend en diferentes fisuras
Fig. 40: Centrado del friend
Fig. 41: leva en fisura paralela
Fig. 42: leva en fisura abierta
Fig. 43: leva en fisura cerrada
Fig. 44: Totemcam en fisura paralela
Fig. 45: Totemcam en fisura abierta
Fig. 46: Representación de fuerzas para el Calculo coeficiente estático.
Fig. 47: Medición de humedad en piedra arenisca
Fig. 48: Piedras de prueba
Fig. 49: Prueba con inclinómetro
Fig. 50: Medición ángulo arenisca pulida
Fig. 51: Medición ángulo caliza de San Marcos
Fig. 52: Medición humedad arenisca
Fig. 53: Medición coeficiente dinámico
Fig: 54: Leva friendo en superficie rugosa
Fig. 55: Perfil del artilugio en superficie rugosa
Fig. 56: Diagrama de fuerzas
Fig. 57: Esquema del dispositivo
Fig. 58: Detalle del polipasto abierto
Fig. 59: Detalle del polipasto cerrado
Fig. 60: Prueba fisura abierta con el dispositivo
Fig. 60: Prueba fisura abierta con totem
Fig. 61: Prueba en fisura abierta dispositivo
Fig. 62: Prueba fisura cerrada dispositivo
Fig. 63: Prueba fisura cerrada totem
Fig. 64: Prueba en puente de roca
Fig. 65: Prueba entre chorreras
Fig. 66: Prueba en fisura abierta
Fig. 67: Prueba en fisura abierta totem
Fig. 68: Prueba en fisura abierta dispositivo
Fig. 69: Friend empotrado en fisura irregular
Fig. 70: Artilugio empotrado en fisura irregular
Fig. 71: Agujero poco profundo
Fig. 72: artilugio en agujero poco profundo
Fig. 73: Nuevo diseño de la muela
Fig. 74: Prueba en roca
Fig. 75: Esquema de prueba en roca

Bibliografía:

Información escalada:

Escalada artificial teoría y práctica. Manuales desnivel.

Escalada clásica de primero. Manuales desnivel

¿Quién dijo miedo? Manuales desnivel.

Información sobre patentes, dispositivos existentes e inventos de escalada:
scholar.google.com

Nut museum: <http://www.needlesports.com/content/nuts-museum.aspx>
Colección de dispositivos para escalar.

Manuales totemcam: <http://www.totemcams.com/totem/?lang=es>
Información técnica y funcionamiento.

Manual Wild country:
<http://www.wildcountry.com/Content/Images/uploaded/Wild%20Country%20Cam%20book.pdf>
Principios del funcionamiento, forma de funcionar...

Información cabos espectra:
<http://www.gottifredimaffioli.com/prodotto.php?idF=4&idSF=5&idPr=10&idV=23>

Calculos coeficientes estáticos:
<http://elfisicoloco.blogspot.com.es/2014/05/calcular-el-coeficiente-de-rozamiento.html>