



**Universidad**  
Zaragoza

# Trabajo Fin de Grado

Las reuniones de escalada en vías de  
varios largos y la resistencia de estas  
ante diferentes cargas y ángulos.

Climbing belays in multi pitch routes and the resistance of those to  
different loads and angles.

Autor

**Iker Madoz Campistegui**

Director

**José Antonio Poblador**

Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

2016



## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS .....	4
ÍNDICE DE TABLAS .....	6
RESUMEN .....	7
INTRODUCCIÓN .....	8
MARCO TEÓRICO .....	9
LA ESCALADA DE VARIOS LARGOS .....	12
MATERIAL .....	13
Cuerdas y cordinos .....	14
Arnés .....	17
Dispositivos de aseguramiento (frenos) .....	17
Mosquetones y cintas express .....	18
Anillos o vagas .....	19
Cabos de anclaje o de vida .....	20
Seguros móviles .....	20
Seguros fijos .....	20
TIPOS DE REUNIONES .....	21
Montajes en línea .....	21
Ecualizaciones móviles .....	22
Ecualizaciones fijas .....	23
TRIANGULACIÓN .....	24
HIPÓTESIS .....	26
OBJETIVOS .....	26
METODOLOGÍA .....	27
SUJETO .....	27
MATERIAL ESPECÍFICO .....	27
DISEÑO EXPERIMENTAL .....	29
RESULTADOS .....	33
Resultados prueba experimental .....	33
Resultados cálculo matemático .....	33
Comparación de los resultados teóricos y experimentales .....	34
DISCUSIÓN .....	38
CONCLUSIONES .....	41
BIBLIOGRAFÍA .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Rocódromo.....	9
<b>Figura 2:</b> Escalada en hielo y/o mixto .....	9
<b>Figura 3:</b> Psicobloc .....	9
<b>Figura 4:</b> Búlder .....	10
<b>Figura 5:</b> Escalada deportiva. ....	10
<b>Figura 6:</b> Escalada clásica. ....	10
<b>Figura 7:</b> Reunión de 3 personas.....	12
<b>Figura 8:</b> Corresponde al logotipo de la UIAA. Se encuentra en los productos que hayan sido revisados por dicha asociación.....	13
<b>Figura 9:</b> Símbolo de los tipos de cuerda (Schubert, 1996). Se encuentran descritos en cualquier cuerda que esté homologada por la UIAA. ....	14
<b>Figura 10:</b> Se trata del ejemplo gráfico y posterior cálculo del factor de caída (Petzl, 2014). ...	15
<b>Figura 11:</b> Ejemplo y descripción del cálculo del factor de caída teórico (Petzl, 2014). ....	16
<b>Figura 12:</b> Partes que componen un arnés (Schubert, 1996). ....	17
<b>Figura 13:</b> Reverso (Petzl) .....	17
<b>Figura 14:</b> Grigri 2 (Petzl). ....	18
<b>Figura 15:</b> Datos resistencia mosquetón (Lewis & Cauthorn, 2002).....	19
<b>Figura 16:</b> Ejemplo de reunión en línea horizontal sin triangular.....	21
<b>Figura 17:</b> Ejemplo de reunión móvil con dos nudos de retención. ....	22
<b>Figura 18:</b> Ejemplo de reunión móvil básica. ....	22
<b>Figura 19:</b> Gaza doble.....	23
<b>Figura 20:</b> Ballestrinque .....	23
<b>Figura 21:</b> Alondra.....	23
<b>Figura 22:</b> Ocho doble con mosquetón.....	23
<b>Figura 23:</b> Ejemplo de reunión en un árbol. ....	23
<b>Figura 24:</b> Diagrama extraído del manual de Hill (2007) en el que aparecen los porcentajes de carga sobre cada seguro en ángulos de 30º, 60º, 90º y 120º, definiendo su relación en cada caso. ....	24
<b>Figura 25:</b> Ecuación matemática extraída del manual de escalada en varios largos de los autores Luján y Núñez (2004). Hace referencia al cálculo de la tensión que ejerce una fuerza concreta sobre cada anclaje en una reunión de dos puntos. ....	25

<b>Figura 26:</b> Se trata de un diagrama que muestra un triángulo de fuerza simple imaginario entre los anclajes A y B. El anillo de cinta forma los vectores AC y BC entre el punto central (C) y los anclajes A y B respectivamente, así como un ángulo $\alpha=90^\circ$ . Al sistema se le aplica una fuerza hacia abajo llamada F1 (Luján & Núñez, 2004).	25
<b>Figura 27:</b> Material utilizado. La numeración corresponde al material descrito a continuación.	27
<b>Figura 28:</b> Corresponde al momento de la colocación de la reunión.	29
<b>Figura 29:</b> Dinamómetro utilizado.	30
<b>Figura 30:</b> Momento de una de las tres mediciones del peso del sujeto colgándolo directamente desde el punto central de la reunión.	30
<b>Figura 31:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de $30^\circ$ .	31
<b>Figura 32:</b> Uno de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro izquierdo y con un ángulo en el punto central de $30^\circ$ .	31
<b>Figura 33:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de $60^\circ$ .	31
<b>Figura 35:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de $60^\circ$ .	31
<b>Figura 37:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de $90^\circ$ .	32
<b>Figura 36:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro izquierdo y con un ángulo en el punto central de $90^\circ$ .	32
<b>Figura 38:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de $120^\circ$ .	32
<b>Figura 39:</b> Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro izquierdo y con un ángulo en el punto central de $120^\circ$ .	32

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Resultados de la prueba de campo. Se detallan los 4 casos, colocando el dinamómetro en ambos anclajes en cada caso. Se ilustran los 3 intentos, la media de estos y el porcentaje de la carga. ....	33
<b>Tabla 2:</b> Resultados de los cálculos con porcentajes teóricos. Se ilustra la carga que debería soportar cada anclaje en los diferentes casos. ....	33
<b>Tabla 3:</b> Comparación entre la media de los resultados obtenidos en la prueba de campo y los logrados mediante cálculos matemáticos, es decir, los teóricos con los prácticos. ....	34
<b>Tabla 4:</b> Gráfico en el que se detallan los datos de la "tabla 3". En él se comparan los porcentajes de carga obtenidos en la prueba de campo y los teóricos. ....	34
<b>Tabla 5:</b> Se representan las mediciones registradas en cada caso utilizando la unidad de "kg". Después aparecen calculadas la varianza y la desviación típica para cada situación. ....	35
<b>Tabla 6:</b> Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 30°. ....	36
<b>Tabla 7:</b> Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 60°. ....	36
<b>Tabla 8:</b> Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 90°. ....	37
<b>Tabla 9:</b> Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 120°. ....	37

## RESUMEN

La escalada en vías de varios largos es una de las diferentes modalidades existentes dentro de este deporte. Esta, como su nombre lo indica, sirve para ascender extensos tramos rocosos en los que con un solo largo de cuerda no se llegaría hasta el lugar deseado. De tal manera que se deberán realizar puntos de encuentro en los que se junten los dos miembros que componen una cordada, para intercambiar opiniones, descansar, ordenarse el material y recuperar las cuerdas para poder realizar el siguiente tramo. Dicho lugar es conocido como reunión, y puede haber infinidad de tipos dependiendo del material y el terreno en el que se encuentre el escalador, siendo crucial su correcta colocación, puesto que de ello depende la seguridad de los integrantes del grupo. Principalmente se distinguen entre las equipadas, semiequipadas y desequipadas.

Dicha seguridad se encuentra en la triangulación de los anclajes de la reunión: técnica que se lleva a cabo uniendo los puntos con una cinta o cuerda y fijando un foco central en ella, desde donde se consigue repartir la carga que han de soportar los seguros. Los anillos que se dirijan desde ese núcleo a los anclajes, formarán en él un ángulo, el cual deberá cumplir ciertos requisitos para no peligrar la seguridad.

Por tanto, la finalidad de este estudio es contrastar mediante una prueba de campo si los ángulos teóricos se equivalen a los prácticos, además de concluir con un ángulo idóneo con el que se repartiese el peso por igual y sin sobrecargar más de lo necesario.

Para ello se diseñó un protocolo en el que se medía mediante un dinamómetro de mano la carga que se repartía en los dos anclajes de la reunión a diferentes ángulos de triangulación. Primero se midió el peso del sujeto colgándolo directamente desde el dinamómetro, que a su vez estaba atado a la pared y después se fijaron los ángulos a 30°, 60°, 90° y 120° con la ayuda de un goniómetro de plástico. Se realizaron 3 mediciones con el dinamómetro en cada punto. De esta manera, calculando la media de los tres registros, intentamos minimizar las desigualdades que se pudiesen dar debido a las tensiones ejercidas.

Por otro lado se calculó el esfuerzo que debían de soportar los dos seguros de la reunión mediante cálculos teóricos, tomando como punto de partida el peso real del sujeto. Así se pudieron comparar los resultados obtenidos con aquellos logrados en la prueba.

Analizándolos, se pudo observar cómo según iba incrementando el ángulo del punto central, mayor era el porcentaje de carga que recibían ambos seguros, pero en ninguno de los casos se vio una total similitud entre la teoría y la realidad. Posiblemente se deba a una de las limitaciones principales que tenía este estudio: la utilización de un dinamómetro de mano en vez de uno específico para medir este tipo de tensiones. Se confeccionó para que trabajase como queríamos, pero no se pudieron lograr datos exactos.

Por consiguiente, se requieren más estudios con un protocolo estandarizado con los que realmente se pueda contrastar si es cierto que con ángulos menores o igual a 30° es cuando mejor trabaja la triangulación y si verdaderamente no se reparte mayor porcentaje de carga en cada seguro de lo que teóricamente se cree.

## INTRODUCCIÓN

A lo largo de los años lo que ahora se conoce como escalada ha ido evolucionando, dependiendo de los intereses de cada individuo. Posiblemente, desde mucho antes de que se tenga constancia, el ser humano dio sus primeros pasos como escalador en busca de alimento o cobijo, simplemente para sobrevivir. Pero fue en los Alpes donde se dieron a conocer los primeros hitos en el mundo de la escalada o, por aquel entonces, montañismo (Garrido, 2014).

Desde final del siglo XVIII y hasta finales del XIX tiene lugar la conocida época dorada del montañismo, en la que se mezclan diferentes intereses entorno a las montañas y los aristócratas del momento buscan la conquista de las altas cumbres. A finales del siglo XIX, con la conquista del Cervino de la mano de Whymper y la posterior tragedia en el descenso, cambia la mentalidad hacia una búsqueda del reto deportivo y la dificultad (Zorrilla, 2000). La evolución de dichas escaladas siempre ha ido relacionada con la de los materiales, siendo el principal condicionante de la manera de progresar y la seguridad de los aventureros.

En los años 20 se desarrolla la ya conocida escalada libre, la cual limita las ascensiones al uso de pies de gatos y manos como método de progresión, siendo únicamente posible el uso de material fijo o móvil como método de aseguramiento, no progresión. Surgió la escala de graduación con la que poder cotar las dificultades entre el grado I y VI (Murcia, 2016).

En los años 30, mediante el uso de ambas técnicas, tanto en libre como en artificial, comenzaron a atacar trazados verticales y directos en grandes paredes. Por aquel entonces se utilizaban cuerdas de cáñamo, por lo que no estaba permitida la caída del escalador que iba en cabeza, ya que era muy probable que esta se partiera. Al mismo tiempo, en Fontainebleau, comenzó a surgir una nueva modalidad llamada Búlder, con la que se pretendía forzar la escalada libre sobre bloques de pequeña altura, sirviendo estos de entrenamiento para posteriores escaladas (Destivelle, 2004).

En los años 50, en España y Pirineos, los aventureros trazaban rutas por las montañas de la zona, las cuales nada tenían que envidiar a las de los Alpes o Dolomitas. Al mismo tiempo, en Francia, nacieron los primeros “pies de gato”; calzado de gran precisión con el que pudieron escalar en libre por terrenos hasta entonces impensables (Zorrilla, 2000).

Fue después, en los años 60, cuando se dio la aparición de los seguros fijos o expansivos, con los cuales se podía ascender por cualquier lugar. Enseguida se entendió su uso como forma de protección y no progresión (Bonatti, 2012). Poco después, en los años 80, junto a esta nueva manera de asegurarse, nació lo que hoy en día se conoce como escalada deportiva, llevando la escalada libre hasta el séptimo e incluso el octavo grado.

A finales del siglo XX, de la mano de escaladores potentes, se alcanzó el noveno grado en la escalada deportiva. En la escalada de grandes recorridos también se empezaron a realizar en libre vías que habían sido abiertas mediante el uso del artificial como método de progresión.

Todo ello no habría sido posible si el material no hubiera llevado una evolución paralela a la de la escalada, ya que con las grandes apariciones de diferentes materiales específicos fue cuando sucedían los saltos hacia el progreso en la escalada (Terray, 2015).



## MARCO TEÓRICO

En la escalada, siendo conscientes de su origen en el montañismo o alpinismo, se pueden diferenciar varias modalidades teniendo en cuenta el material que se utiliza o el medio dónde se practica (Murcia, 2016). Si nos referimos al segundo requisito, la escalada se repartiría en los siguientes campos:

- **Escalada en interior o rocódromos:** engloban todas aquellas instalaciones artificiales donde los interesados pueden practicar la escalada sin tener que atender a las inclemencias de la meteorología o al momento del día (Lewis & Cauthorn, 2002). En estos centros, los cuales pueden ser desde pequeños locales con cuatro paneles y un par de colchonetas hasta inmensas naves con todo tipo de formas y paredes, se puede realizar tanto la escalada deportiva como el boulder.
- **Escalada en roca:** incluyen todas las actividades relacionadas con la escalada que se realicen en el medio natural rocoso, ya puedan ser altas montañas, paredes pequeñas, paredes de grandes recorridos o bloques de piedra que no superen los 5 metros. Se practica a lo largo de todo el año, dependiendo las condiciones climatológicas de cada lugar y hay que tener en cuenta diferentes factores de seguridad como pueden ser los cambios de tiempo repentinos o el estado del terreno, ya que a menudo se asciende por lugares poco transitados (Luján & Nuñez, 2004).
- **Escalada en hielo y/o mixto:** se trata de ascensiones por recorridos que combinen tanto la roca como el hielo y la nieve (Hill, 2007). Siendo así, solo se realizan en temporada invernal y con condiciones muy variables según la época del año o la meteorología que haya estado presente los meses anteriores. Dentro de la escalada es una de las modalidades en la que mayor riesgo se asume (Ayora, 2016), debido a que a menudo la progresión y seguridad de la cordada se basa en el estado del hielo; un elemento cambiante e incontrolable.
- **Psicobloc:** esta modalidad, común en la zona mediterránea en época veraniega, trata de la ascensión de normalmente pequeños itinerarios desplomados en los que se escala sin cuerda y la posible caída es al mar o a lagos. Principalmente se practica en acantilados.



Figura 1: Rocódromo



Figura 2: Escalada en hielo y/o mixto



Figura 3: Psicobloc

Por otro lado, al tener en cuenta el equipo y material que se utilice para la práctica de la escalada, se pueden establecer una serie de modalidades que poco tienen que ver la una con la otra; las cuales pueden llegar a combinarse en un mismo itinerario:

- **Búlder:** actividad que se realiza en cortos tramos rocosos o bloques de piedra, en los que los escaladores escalan únicamente con gatos y magnesio y utilizan unas colchonetas de alta densidad llamadas “Crash pad” como elemento de seguridad para evitar las lesiones por caída (Murcia, 2016). Suelen ser secuencias de pocos movimientos, muy explosivos por lo general.



Figura 4: Búlder

- **Escalada deportiva:** se trata de recorrer tramos de roca de un único largo de cuerda, en los que como elemento de seguridad están los anclajes fijos (Lewis & Cauthorn, 2002). Estos seguros los coloca el equipador de la vía, responsable de la “fabricación” del recorrido deportivo, y están situados a una distancia determinada, evitando los posibles peligros que puedan surgir debido al tipo de terreno. Es la modalidad más popular entre sus practicantes. Estos únicamente utilizan los pies de gato y sus manos empolvadas por el magnesio para progresar por el itinerario, estando siempre asegurados por un segundo mediante la cuerda, el sistema de freno y las cintas exprés (Bianchi, Gallo, Mantovani & Zappa 2003).



Figura 5: Escalada deportiva.

- **Escalada clásica o de varios largos:** nos referimos a aquellas ascensiones en las que, debido a la longitud o tipología de la pared, se han de realizar más de un largo de cuerda para alcanzar el punto deseado; normalmente la cima. En este tipo de actividades, por tanto, serán dos o tres personas las partícipes de la escalada, siendo que uno irá de primero y el o los otros de segundo; formando una cordada (Luján & Núñez, 2004). Las maniobras a realizar con el manejo de la cuerda y demás material para poder ascender las paredes de manera segura serán más complejas, ya que el escalador deberá tener experiencia en el montaje de reuniones, aseguramiento con sistemas de freno dinámicos, manejo de doble cuerda, rápel, colocación de seguros móviles, etc. Son ascensiones en las que se pueden llegar a asumir más riesgos, según las posibilidades de escape que tenga la pared, el material fijo del que se disponga, el lugar de alrededor, etc. Estas rutas pueden estar equipadas con seguros fijos, semiequipadas o desequipadas (Galnes & Long, 2008):



Figura 6: Escalada clásica.

- Vía equipada: disponen de los anclajes necesarios para escalar por ella sin tener que precisar de más material que las cintas express y el material de reunión. Los seguros fijos pueden variar entre parabolts, spits, químicos, long lifes, buril, etc.
- Vía semiequipada: no están equipadas al completo, por lo que la cordada deberá llevar el material que se especifique en la reseña de la vía para completar y poder asegurarse en las zonas donde no se hayan emplazado seguros fijos. Dicho material se conoce como material móvil: pueden ser friends, fisureros, clavos, tricams, vagas, etc.
- Vía desequipada: puede que a lo largo de todo su recorrido se pueda encontrar algún clavo, puente de roca o material fijo, pero estas vías brillan por su ausencia de material. Por lo tanto, el escalador deberá llevar consigo lo necesario para poder asegurarse. Suelen ser recorridos que aprovechan las debilidades de la pared (fisuras, agujeros, diedros) para poder asegurarse y progresar por ellos.
- **Escalada artificial:** la modalidad que, quizás, menos tenga que ver con las demás. En esta el artificiero no lleva pies de gato ni magnesio, no los necesita, ya que no progresa agarrándose a los cantos; la manera de ascender es a través de la utilización de los seguros y emplazamientos que estén fijos o que vaya colocando conforme va subiendo (Santamaría, 2002). Mediante esta técnica se consigue pasar por sitios donde la escalada libre no ha llegado.
- **Escalada en libre:** los anclajes se utilizan como elemento de seguridad, pero nunca como elementos que faciliten la progresión del escalador (Ilgner, 2003). Este deberá usar los pies de gato y las manos para ascender, realizando movimientos acorde con el tipo de terreno en el que esté en cada momento. Esta manera de escalar se ve directamente relacionada a la escalada deportiva, ya que es parte de ella. Pero también se sigue la misma ética en todos los recorridos que se quiera y se pueda intentar progresar sin el uso de los seguros como método de progresión.
- **Escalada en solitario:** no existe cordada de dos o tres personas. Se realiza, como el nombre bien indica, de manera autónoma. Puede ser en solitario y asegurándose mediante una cuerda o en solo integral, dónde no hay ningún tipo de elemento de seguridad que les impida precipitarse al vacío en caso de caerse.

## LA ESCALADA DE VARIOS LARGOS

Es esta modalidad la que nos interesa, ya que es en ella en la que se deben montar las reuniones para poder progresar a lo largo de la pared o para poder descender por la misma en el caso de tener que retirarse, realizando la técnica de rápel. Por lo tanto, el emplazamiento de las reuniones es uno de los puntos clave de estas ascensiones. Estas deben cumplir tres requisitos básicos: la seguridad, la rapidez del montaje y la sencillez (Luján & Núñez, 2004).

La cordada realiza varios largos cuando, debido a la longitud de la pared o la sinuosidad del recorrido elegido, es demasiado extenso como para hacerlo en un solo tramo de cuerda. Esto dependerá a la longitud de la cuerda que lleven. Por ejemplo, si llevan dos cuerdas de 60 metros (siendo que en este tipo de vías se suele escalar en doble) es esa la distancia máxima que pueden recorrer entre cada reunión.

Esta, por consiguiente, ha de ser un punto de encuentro entre los miembros de la cordada. Tiene que ser lo suficientemente segura como para poder estar colgada de ella sin tener que estar asegurado a otro punto más que a los de la misma. Si son seguros fijos normalmente se monta la reunión con 2 anclajes, pero ya si son móviles o de resistencia dudosa se pueden emplazar tantos puntos como sean necesarios. Después, todos ellos, serán unidos mediante cintas, cordinos o la propia cuerda de escalada para conseguir un punto central y repartir la tensión ejercida por el segundo de cordada (Hill, 2007). Dicha técnica es conocida como triangulación.



Figura 7: Reunión de 3 personas.

Cumpliendo, por tanto, con la función de punto de encuentro entre los miembros de la cordada, se buscan zonas en las que poder emplazar buenos seguros y estar cómodos: se utilizan fisuras o agujeros en el caso de tener que equipar la reunión con seguros móviles y siempre se realizan en plataformas o repisas donde poder estar de pie, dando descanso a la zona lumbar y ejerciendo menos tensión sobre los seguros de la reunión.

## MATERIAL

La escalada conlleva el uso de un tipo de material específico, el cual debe cumplir una serie de estrictas normas para evitar los accidentes causados por el fallo del material o diseño erróneo. Dichos requisitos han sido formalizados por la UIAA (Unión Internacional de Asociaciones de Alpinismo). Las normas UIAA son la garantía de seguridad y calidad del material de montaña; ya que en la mayoría de los casos el escalador debe confiar su vida al adecuado funcionamiento de los aparatos (Guinda, 2001). El organismo es de carácter mundial, aunque hoy en día en Europa también se puede encontrar material validado por la norma EN (agrupa a un determinado número de organismos europeos de Normalización).



Figura 8: Corresponde al logotipo de la UIAA. Se encuentra en los productos que hayan sido revisados por dicha asociación.

Dentro de la UIAA existe una Comisión de Seguridad dirigida por Pit Schubert (uno de los pioneros en libros de Seguridad y Riesgo) que se creó para minimizar aquellos accidentes derivados de los defectos en el material. Se encargan de analizar el mercado actual de equipamiento para montaña y escalada buscando si existen patrones que deben ser revisados, de analizar los accidentes y sus causas y acreditan laboratorios en los que poder realizar tests del material, asegurándose que toda marca que lleve implícito en sus productos el logo UIAA haya cumplido con éxito dichas pruebas dictadas por la organización (Schubert, 1996).

Existen infinidad de marcas relacionadas con el mundo de la montaña y la escalada, cada una especializada en ciertos productos, como puede ser calzado, ropa, material duro, cuerdas, mochilas, etc. Quizás las más conocidas en nuestro entorno sean Petzl, Black Diamond, DMM, Edelrid, Sportiva, Scarpa, Boreal, The North Face, Ternua, Trangoworld, Mountain Equipment, Altus, Fixe & Faders, Beal, Simond, Arteryx, Julbo, etc. Todas ellas más o menos familiares según el tipo de cliente al que estén dirigidas.

Hay que ser conscientes de que prácticamente todo el material específico toma parte en la cadena de seguridad y por muy resistente que parezca se va envejeciendo, siendo de vital importancia desechar cualquier aparato que veamos empieza a dar problemas (Colorado, 2014). Se han dado accidentes mortales debido a roturas de material que a simple vista parecían en buen estado.

En este apartado se describe el material específico necesario para realizar escalada, sin tener en cuenta las discrepancias que puede haber entre una marca y otra dentro de un mismo producto (Luján & Núñez, 2004). La clasificación también ayudará a comprender correctamente el posterior análisis de las reuniones.

## Cuerdas y cordinos

No sirve cualquier tipo de cuerda para la práctica de la escalada, ya que cada modelo nos ofrece una serie de prestaciones. Según cuál sea el fin de la actividad, el escalador debe usar un tipo de cuerda u otra. El requisito que todas ellas han de cumplir es que hayan sido confeccionadas a partir de la poliamida, con la que se consigue que sean dinámicas. Las cuerdas catalogadas como estáticas no servirán para encordarse entre compañeros, ya que el impacto que recibiría el escalador en una posible caída sería demasiado fuerte. Estos son algunos de los parámetros que diferencian unos modelos de otros:

1. Diámetro y longitud: las cuerdas varían según su diámetro y longitud, pudiendo ser de 6'9 a 11 mm de diámetro y de 20 a 120 metros de longitud. Estas serían las cotas en las que entrarían la mayoría de los modelos de cuerda que hoy en día se pueden encontrar en el mercado. De todas formas, siempre se busca el material más ligero y de mejor prestación, por lo que cada vez sacan al mercado cuerdas homologadas de menor diámetro.
2. Tipo de uso: se diferencian entre cuerdas dobles, gemelas y simples.

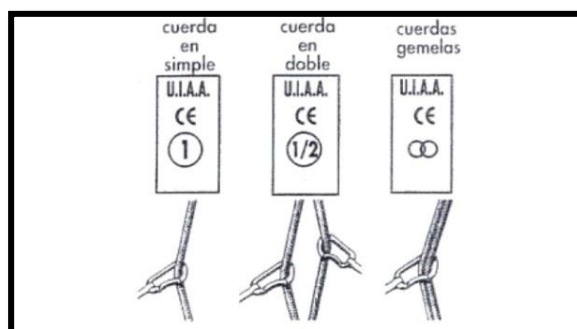


Figura 9: Símbolo de los tipos de cuerda (Schubert, 1996). Se encuentran descritos en cualquier cuerda que esté homologada por la UIAA.

- Las **dobles** son aquellas que están homologadas (por las normas UIAA) para su uso con otra cuerda de similares cualidades, pudiendo pasarse por los diferentes seguros de manera individual, pero siempre teniendo que intercalarlas entre ambas. La longitud estándar es de 60 metros (también las hay de 50 metros) y diámetro varía de 7'3 a 9mm, aunque lo normal es encontrarlas entre 8'1 y 8'5mm. Son las más utilizadas en escalada de varios largos, por su polivalencia. En terrenos sinuosos en los que el escalador no sigue una línea recta de seguros, se puede dirigir una cuerda por cada lado, evitando que el rozamiento sea mayor de lo necesario. También, con seguros de resistencia dudosa, se evita los fuertes impactos; ya que al ser más fina correrá más por la placa de aseguramiento y el choque se disipará. Al mismo tiempo que se puede dividir el impacto en dos seguros llevando cada cuerda por separado. Además, otra de las principales ventajas es que a la hora de rapelar (técnica utilizada para descender de manera segura por aquellos sitios que no podemos hacerlo andando) tenemos dos cuerdas, es decir, más metros con los que cubrir tramos más largos.
- Las **gemelas** son aquellas que están homologadas para su uso en doble, pero no cumplen con las cualidades suficientes como para pasarlas de manera individual por los seguros. Son las más finas del mercado y únicamente se utilizan en



escaladas de varios largos, normalmente en terreno invernal. El diámetro varía entre 6'9 y 8mm y su longitud común es de 60 metros. Aunque hoy en día, para según qué actividades, también se pueden encontrar de 50 metros. Su principal cualidad es la ligereza, atribuyéndose la desventaja de ser las más vulnerables con respecto a posibles caídas o terrenos con salientes rocosos que peligren la integridad de la cuerda.

- Las **simples** son aquellas que están homologadas para su uso de manera individual; en este caso solo se escala con una sola cuerda. Son las más comunes y las más vendidas, debido a que con ellas se realiza la escalada deportiva; una de las modalidades con mayor número de practicantes. Para evitar el rozamiento en los seguros e intentar escalar con el menor peso posible cumpliendo las prestaciones necesarias, las cuerdas simples más finas del mercado alcanzan los 8'5mm; impensable hacía pocos años. Pueden llegar hasta los 11mm. Su longitud suele rondar los 80 o 100 metros, ya que cada vez las vías (recorridos a seguir en la roca) que se van equipando tienden a ser de mayor longitud. Hoy en día comienzan a venderse también de 120 metros.
3. Fuerza de choque: representa el impacto que transmite la cuerda al cuerpo del escalador. Cuanto menor sea la fuerza de choque de una cuerda, más suave resultará el impacto derivado por una caída. En dicho momento la técnica del asegurador (persona de la cordada que se encarga de la seguridad del escalador, siendo el responsable de la cuerda activa) también será de crucial importancia para hacer que el vuelo (caída de un escalador) sea más liviano. Por lo general, a cuerdas más finas, menor es la fuerza de choque, es decir, son más elásticas (Petzl, 2014).

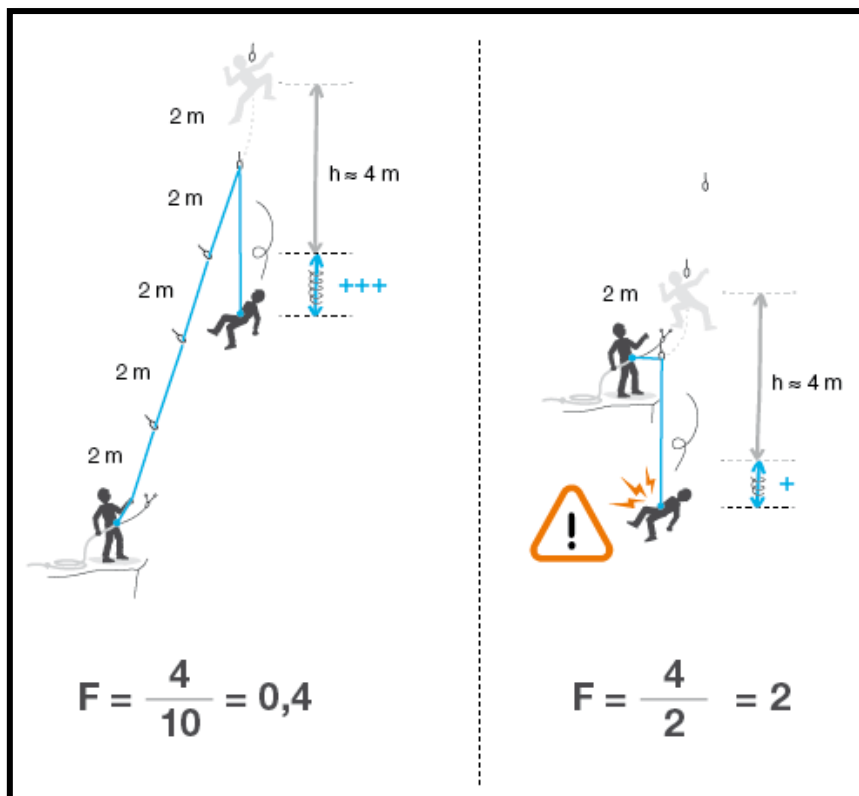


Figura 10: Se trata del ejemplo gráfico y posterior cálculo del factor de caída (Petzl, 2014).

4. Factor de caída: se utiliza para cuantificar la gravedad de la caída en escalada y está comprendido entre los valores 0 y 2; siendo 0 el mínimo y 2 el mayor impacto posible, peligrando la integridad del escalador y la del último seguro (Petzl, 2014). Se trata de una división entre la altura de la caída del escalador y la longitud de la cuerda activa (tramo de cuerda que separa al escalador del asegurador). A mayor longitud de cuerda desplegada, mayor será la capacidad de absorción de la misma, disminuyendo la gravedad de la caída.

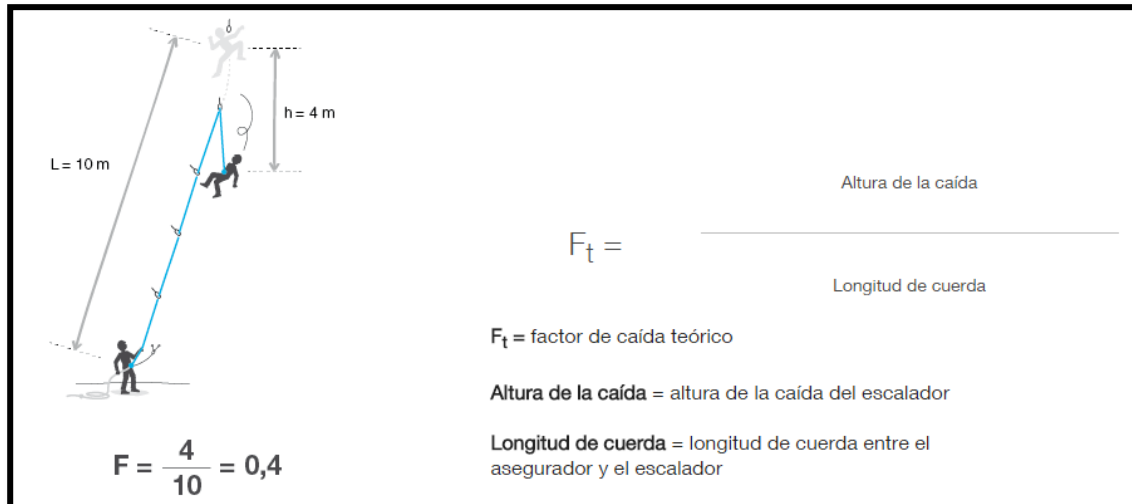


Figura 11: Ejemplo y descripción del cálculo del factor de caída teórico (Petzl, 2014).

5. Número de caídas de factor 2 que soporta: a mayor cifra, la cuerda proporcionará más seguridad y fiabilidad a lo largo del tiempo.
6. Resistencia a la abrasión y tratamiento: dentro de una cuerda se diferencian principalmente dos partes: el alma y la camisa. Cada una se fabrica con diferente material y es en la camisa donde residen los diferentes tipos de tratamientos o resistencias a agentes externos. Existen diferentes tratamientos, patentados por distintas marcas (Dry Cover, Everdry, Golden Dry, Perdur, Long-life, Guide Dry, etc.) que hacen de una cuerda más duradera, repelente a la humedad, con mayor resistencia a la abrasión, etc. Esto se consigue mediante el trenzado de la camisa con un elevado número de hilos y ciertos tratamientos de impregnación.

Las **cuerdas estáticas** jamás se deben utilizar para asegurarse en una escalada, pero sí que se utilizan para fijar una cuerda a un punto y poder ascender o descender por ella. Estas tienen un porcentaje elástico muy bajo y gracias a eso apenas se estiran al someterles a cierta carga (como podría ser colgarse de la cuerda), lo que les hace ideales para utilizarlas como ascensor para llegar al punto donde la hayamos colocado sin tener que tocar la pared.

Los **cordinos** se pueden utilizar como sistema auxiliar para izar un bulto sin tener que acarrearlo durante el momento de la escalada, como sistema de triangulación de una reunión, como anillo para enlazar árboles o puentes de roca, como anillo para colgar material de la reunión o del cuerpo del escalador, como sistema de frenado mediante una serie de nudos específicos, como material de fortuna para la confección de un arnés, etc. Estas cuerdas finas son muy polivalentes en la escalada. Su composición varía entre la Aramida, el Dyneema, el Kevlar, la Poliamida o la Para-aramida (Raleigh, 2007).



## Arnés

Al igual que con las cuerdas y prácticamente el resto del material, el mercado está repleto de arneses de todos los colores y variedades. Dependiendo del diseño que le haya querido dar cada marca y del fin para el que se haya fabricado. Por lo tanto, se pueden encontrar desde los arneses más minimalistas y ligeros confeccionados para la competición o la progresión por terreno glacial, hasta los arneses más robustos y pesados dirigidos a aquellos que trabajan colgados de una cuerda o a los que se dedican a escalar itinerarios de artificial en los que la ligereza no es una de sus virtudes, ya que toda la “artillería” que llevan consigo ha sido fabricada con material pesado.

El arnés más utilizado en la escalada, denominado arnés de cintura o pélvico, debe cumplir con los siguientes componentes (Martínez, 2016): cinturón lumbar y dos perneras, anillo ventral, punto de encordamiento superior e inferior y cuatro portamateriales.

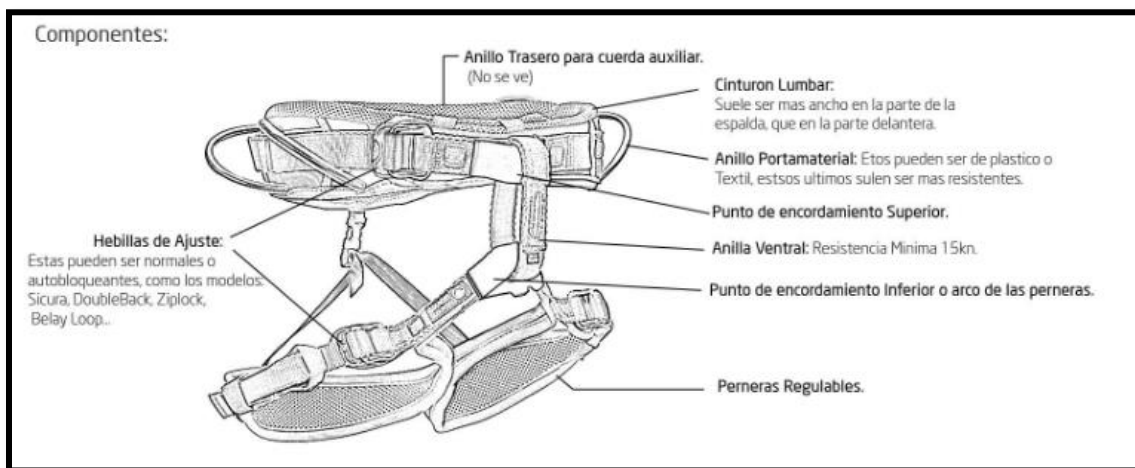


Figura 12: Partes que componen un arnés (Schubert, 1996).

## Dispositivos de aseguramiento (frenos)

Existen fundamentalmente dos tipos de frenos: dinámicos y estáticos o automáticos. También existen modelos más modernos semiautomáticos (Iglesias, 2009).

Dentro de los **dinámicos** entrarían las diferentes placas o cestas, las cuales han ido evolucionando a lo largo de los años hacia modelos más prácticos y ligeros. En todos ellos es la mano del asegurador la que detiene el paso de la cuerda por el aparato; si no se ejerce dicha presión, la cuerda nunca se detendría y correríamos el riesgo de sufrir un accidente. El ocho, hasta hace pocos años tan popular, está pasando a la historia en el mundo de la escalada, debido a la poca fricción que ejerce a la hora de intentar frenar una cuerda. El ejemplo más conocido sería el Reverso de Petzl (véase figura 13).



Figura 13: Reverso (Petzl)

Dentro de los **estáticos** o **automáticos** entrarían aquellos dispositivos en los que la mano del asegurador no interfiere como una parte indispensable del sistema de frenado, aunque siempre hay que tener en cuenta que el aparato puede fallar y es aconsejable tener una mano sobre la cuerda inactiva. Estos son más utilizados en la escalada deportiva debido a su comodidad y fácil funcionamiento. El ejemplo más común y más utilizado es el Grigri de Petzl. Está homologado para su uso en simple y con diámetros de cuerda que abarcan de 8'9 a 11mm en el caso del Grigri2 (véase figura 14).

Hoy en día han ido apareciendo modelos **semiautomáticos**. Estos provienen de la cesta, sistema dinámico, a la que le han incorporado cierta tecnología (dependiendo modelo) que la hace menos dependiente de la capacidad del asegurador, aunque no llegan a tener un funcionamiento totalmente automático. Un ejemplo menos conocido de esta placa de freno sería el Mega Jul de Edelrid.

En escalada en pared o de varios largos por lo general se usarán para asegurar, tanto al primero de cordada como al segundo, los dispositivos dinámicos. Se debe a que:

- En este tipo de escalada se suelen utilizar dos cuerdas, y son los dinámicos los que se componen de dos orificios por los que introducir las dos cuerdas, los automáticos tipo Grigri (sería el ejemplo más conocido) solo se utilizan con cuerdas simples.
- A la hora de frenar las posibles caídas, se consigue disipar la carga con el pequeño recorrido que realiza la cuerda al pasar por la placa, minimizando el impacto que soporta el o los seguros de donde el primero de cordada ha volado.
- El diámetro de cuerda para el que está homologado su uso y buen funcionamiento es inferior al de los dispositivos automáticos.
- Suelen ser más ligeros.
- Sirven para rapelar.



Figura 14: Grigri 2 (Petzl).

### *Mosquetones y cintas express*

En sus inicios empezaron siendo de hierro, ovalados y con un gatillo en uno de sus lados por el que abrirlos para introducir la cuerda o lo que fuese oportuno. Desde entonces han cambiado mucho, pero siguen cumpliendo la misma función. Pueden fabricarse de diferentes materiales, pero la mayoría entran dentro de la familia del aluminio; variando las aleaciones. Siendo que uno de los aspectos más importantes a cumplir es la ligereza del producto, cada vez los hacen de materiales menos duraderos.

Principalmente se pueden distinguir entre los mosquetones de seguro y aquellos que no lo son. La diferencia está en el gatillo; los de seguro pueden cerrarse de tal manera que para volver a abrirlos haya que realizar un movimiento concreto o haya que apretar un botón. Son estos, por tanto, los que se utilizan para montar una reunión y atar la cuerda a los anclajes. Los normales en cambio se abren con el simple movimiento de apretar hacia adentro.

Existen al igual diferentes diseños de mosquetones, tanto de seguro como normales. Quizás el más conocido sea el mosquetón de seguro HMS o vulgarmente también llamado de pera. La característica de estos es que tienen un lado más ancho que el otro, evitando los ángulos cerrados que suelen tener los mosquetones normales. De esta manera facilita el manejo de cuerdas con un nudo dinámico (Hill, 2007).

Las cintas express son la unión de dos mosquetones normales mediante un aro de cinta plana cosido. Dicha cinta puede ser de diferentes longitudes, según su finalidad. De todas formas, las más comunes rondan entre los 10 y 20cm de distancia.

En cuanto a la resistencia que pueden soportar variará según el material del que se haya fabricado, del diseño del mosquetón y de si es de seguro o no. En todos ellos irá detallado la fuerza que son capaces de aguantar, según las pruebas realizadas en los laboratorios de cada marca, en sentido longitudinal, transversal y estando el gatillo abierto (véase figura 15).



Figura 15: Datos resistencia mosquetón (Lewis & Cauthorn, 2002).

### Anillos o vagas

También llamados aros o cintas, pueden ser de distintos materiales como Dyneema, cordino, etc. Algunos vienen cosidos de fábrica mediante un trenzado específico y otros pueden ser unidos mediante nudos si son confeccionados mediante trozos de cordino sueltos. Existen infinidad de nudos útiles en el mundo de la escalada, pero los más conocidos para la unión de dos extremos de cordino pueden ser el nudo de cola de vaca, el pescador, el pescador doble y el ocho (Blosca, 2015). Si se tuviesen que unir dos extremos de cinta plana se utilizaría también, a parte de los mencionados, un nudo de cinta plana normal; sencillo y de gran resistencia. También pueden variar en su longitud dependiendo de la finalidad, pudiendo ser de un diámetro de 60cm hasta los 3m o más; cada cual a su gusto.

En la escalada, sobretodo en la de varios largos, se pueden utilizar en muchas situaciones: para colocar un puente de roca o rodear un saliente rocoso, para realizar nudos autoblocantes, para alargar un seguro evitando el exceso rozamiento de cuerda, para llevar el material en el pecho, para montar la triangulación de una reunión, para montar una reunión en un árbol, etc. Es un tipo de material que nos puede salvar de muchos apuros gracias a su polivalencia.

Hay que tener en cuenta, eso sí, su baja resistencia a filos cortantes, ya que estamos hablando de materiales considerablemente finos. También, según el nudo que realices en el cordino o Dyneema la resistencia de esta a un impacto variará (Colorado, 2014).

### *Cabos de anclaje o de vida*

Existen gran variedad de cabos de anclaje, aunque, si se omiten aquellos destinados para las vías ferrata, se podrían dividir en los cabos de anclaje de anillos, la Daisy Chain y aquel confeccionado con un cordino y un sistema autoblocante. Estos se utilizan para asegurarse a un punto de manera individual, sin tener que utilizar la cuerda de escalada. También son útiles en cordadas de tres personas, dónde las maniobras con la cuerda son más complejas y el tener un cabo de vida cada uno agiliza dichos procesos de aseguramiento.

### *Seguros móviles*

Dentro de esta familia se incluyen todos aquellos seguros que se deben emplazar en cada repetición de una vía. Se trataría de fisureros, friends y clavos principalmente. La resistencia de estos podrá variar según la posición del mismo, la calidad de la roca en el que se haya colocado y la dirección de tiro. Por tanto, la experiencia del propio escalador cumplirá un papel fundamental en el emplazamiento de los mismos.

### *Seguros fijos*

También llamados anclajes, son aquellos seguros que se mantienen de manera permanente en las vías de escalada. Los más conocidos y usados hoy en día son los parabolts y químicos, aunque a lo largo de la historia se han inventado y utilizado diferentes modelos; como pueden ser los buriles, remaches, spits, long lifes, etc. Todos ellos, a excepción de los químicos, tienen que ser introducidos en la roca a martillazos o mediante un previo agujero realizado con el taladro u espitador, en el que se expandirá por dentro evitando su extracción (Durán, 2010). Dependiendo del tipo de anclaje variará su resistencia.

## TIPOS DE REUNIONES

En vías de varios largos, en las que cada cierta distancia se ha de montar una reunión lo más sencilla posible, de manera veloz y lo suficientemente segura, es la experiencia del escalador el factor principal. Aquel que tenga acumulados años de bagaje será quién pueda adecuarse a cada situación y, según el material que tenga consigo, montar una reunión. Por ello, la improvisación siempre está vigente a la hora de tener que elaborar un punto de encuentro lo suficientemente seguro, ya que cada lugar es diferente.

Dependiendo de que autores, unos hacen un tipo de clasificación y otros otra, pero la mayoría coinciden en tres maneras claras de diferenciarlas: montajes en línea, ecualizaciones móviles y ecualizaciones fijas (Luján & Núñez, 2004). Dentro de estas tres grandes familias se subdividen en más grupos, según el tipo de triangulación que se utilice, el número de seguros que se vayan a utilizar para montar la reunión, el material que podamos utilizar, etc. Aun con todo, se deben usar mosquetones de seguro y no normales, para evitar posibles sustos causados por la apertura fortuita del gatillo (Colorado, 2014).

### *Montajes en línea*

Pueden ser tanto en línea horizontal como vertical. Únicamente se deben utilizar con seguros de alta resistencia, ya que con este método no existe repartición de carga; toda la tensión que vaya a ejercer el segundo de cordada irá directo a un único punto. Normalmente se suelen utilizar en reuniones de dos parabolts o químicos, dónde cada uno de ellos soporta alrededor de 25KN (Durán, 2010); lo que vendría siendo unos 2500kg.

Se monta con la propia cuerda de escalada, lo que impediría volver a salir de primero de cordada al mismo escalador, a no ser que cambiasen de cabos. Este al llegar a los dos seguros se ataría con un nudo tipo ballestrinque a uno de ellos y con un ocho doble a otro, sin haber tensión entre ambos puntos. Y colocaría la placa para asegurar al segundo directamente a uno de los puntos; por lo general al contrario de donde estaría colgado. De esta manera siempre van a estar unidos ambos seguros, pero trabajarán independientemente.



Figura 16: Ejemplo de reunión en línea horizontal sin triangular.

### *Ecuilibraciones móviles*

Son aquellas en las que existe una triangulación entre los puntos de la reunión, pero esta no será fija. Contamos con un punto central de donde tiraríamos de todos los seguros por igual (partiendo de la base de que la reunión se ha montado correctamente), pero este nunca quedaría inmóvil, pudiéndose adaptarse a los ángulos de donde le venga la tensión en cada momento. Hay que tener en cuenta de que en este tipo de instalaciones si se diese el caso de que uno de los emplazamientos que forman la reunión se soltase, el impacto que ejercería sobre el resto sería mucho mayor que la propia carga que estuviese recibiendo (Colorado, 2014). Por ello es importante saber cuándo dejar una triangulación sin un punto central fijo: todos los seguros que forman la reunión han de ser de resistencia fiable.

Una de las más comunes sería una reunión de dos puntos triangulada mediante una viga de 120cm y con un punto central móvil (véase figura 18). Pasaríamos la cinta por los mosquetones situados en cada anclaje y el mosquetón central lo introduciríamos por el ambos bucles del aro, dándole a uno de ellos una media vuelta para evitar que se salga en caso de la extracción de uno de los puntos de la reunión (Ullastre, 2014). Este está totalmente desaconsejado en reuniones de dos puntos de fiabilidad dudosa, debido a la fuerza de choque que tendría que resistir en caso de rotura de uno de los seguros.



Figura 18: Ejemplo de reunión móvil básica.



Figura 17: Ejemplo de reunión móvil con dos nudos de retención.

Por otro lado, existe otra manera de dejar una reunión móvil que sea más segura en caso de extracción de uno de sus emplazamientos (figura 17). Se siguen los mismos pasos que en el anterior caso, pero realizando un nudo en los brazos de la cinta que salen del punto central a los seguros de baja fiabilidad. Un nudo de gaza doble que quede cerca de la unión (Ullastre, 2014). De esta manera, si un punto saltase, el nudo chocaría enseguida con el mosquetón del punto central, minimizando la fuerza de choque al no dejarle coger velocidad de impacto.

Estos ejemplos se podrán realizar también con diferentes tamaños de anillos, con cordino o con la propia cuerda de escalada, dependiendo de la situación y el material que llevemos encima. Teniendo tres seguros o más en la reunión se realizaría el mismo proceso, introduciendo la viga por todos los seguros.



## Ecualizaciones fijas

En este grupo se engloban todas las instalaciones que, de cualquiera de las maneras, dispongan de un punto central fijo. Así, en el caso de extracción de uno de los puntos únicamente columpiaría hacia donde esté el otro, sin sobrecargar la reunión con un impacto; simplemente se volvería a repartir la carga entre el o los seguros que quedasen (Petzl, 2012).

Existen muchas maneras de fijar un punto central, dependiendo de qué nudo se realice o de que material se quiera utilizar. Sí que, en todas ellas, antes de confeccionar el nudo que creamos oportuno deberemos de dirigir el tiro hacia donde creemos vendrán las cuerdas del segundo o estará colgado el asegurador, ya que al ser fijo este no podrá desplazarse como lo hacía el centro móvil (Hill, 2007). De todas formas, dependiendo el nudo que se utilice, será sencillo corregir la situación del punto central.

Los siguientes casos son los más comunes entre el colectivo de escaladores: el nudo Ballestrinque, el nudo Alondra, el nudo de Gaza doble, el nudo de Ocho, el nudo de Gaza o de Ocho con mosquetón, el nudo de Nueve y el nudo de Ocho de doble seno (Blosca, 2015).



Figura 19: Gaza doble



Figura 20:  
Ballestrinque



Figura 21: Alondra



Figura 22: Ocho  
doble con  
mosquetón

El nudo de Alondra y Ballestrinque tienen la ventaja de ser fáciles de regular en el caso de que tengamos que modificar la dirección de carga del punto central, pero tiene la desventaja de que deberemos utilizar un mosquetón de seguro como mosquetón madre; este no se podrá abrir y ahí se atarán los miembros de la cordada o los mosquetones del sistema de asegurar. El nudo de Gaza doble y de Ocho son los más utilizados, pero tienen la pega de apretarse demasiado y luego cuesta soltarlos. Para ello se puede colocar un mosquetón de seguro que pase por uno de las partes del nudo y por el bucle que sirve de punto central; así, al quitar el mosquetón cuando desmontemos la reunión, el nudo ganará espacio y soltará fácilmente.

En otras situaciones donde nos podamos encontrar troncos de árbol sanos, puentes de roca buena, salientes rocosos sólidos, etc. se puede utilizar como único seguro de reunión (véase figura 23). Para ello deberemos de estar muy seguros de su fortaleza. Siendo así, nos podremos valer de la propia cuerda, de un anillo o un cordino para envolver el anclaje natural y poder realizar la reunión. En el caso de utilizar la cuerda, para unir ambos extremos, un nudo rápido de hacer y con el que se necesita poca cuerda es el As de guía o Bulin en doble.



Figura 23: Ejemplo de reunión  
en un árbol.

## TRIANGULACIÓN

También llamada ecualización, es un aspecto que toda reunión de seguros dudosos debería tener en cuenta para cuidar la integridad de los miembros de la cordada. Se trata, por tanto, de formar con anillos un sistema que facilite el reparto de la carga en todos los puntos de manera equitativa (Petzl, 2012).

Esta unión formada entre los distintos emplazamientos de la instalación deberá tener un punto central de dónde poder ejercer la fuerza. Será ese el punto vital de nuestra base, y deberemos de tener en cuenta que entre los brazos de anillo que salen hacia cada seguro el ángulo no debe exceder de los  $90^\circ$ . Es decir, el ángulo que se forma sobre el punto central no debe ser mayor de  $90^\circ$ , ya que cuanto mayor sea el ángulo mayor será el esfuerzo sobre cada anclaje individual (Hill, 2007).

En principio, al pensar en la repartición de una carga sobre dos puntos, se puede pensar que esta se repartirá a partes iguales sobre estos, cargando el 50% sobre cada seguro (véase figura 24). Esta creencia es un error, no es del todo cierto, ya que dependerá del ángulo que formen los anillos en el punto central. Si el ángulo es menor o igual a  $30^\circ$  la carga será repartida al 50% sobre cada seguro, mientras que si el ángulo asciende hasta los  $90^\circ$  esta pasará a ejercer el 71% de su peso sobre cada punto. Y si ya son ángulos que exceden de los  $120^\circ$ , la triangulación no nos servirá de nada, ya que cada punto deberá soportar el 100% de la carga.

Dicha relación entre la angulación y la tensión en los anclajes viene dada por el cálculo matemático del coseno de un ángulo de un triángulo rectángulo, que será igual al cateto adyacente dividido entre la hipotenusa (Luján & Núñez, 2004). Véase figura 25 y 26, en donde aparece descrito el procedimiento para obtener la carga teórica.

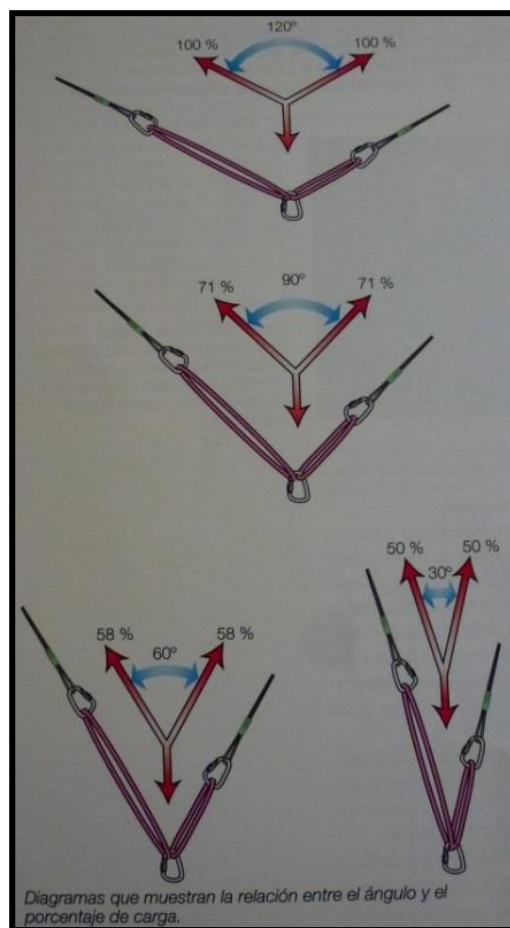


Figura 24: Diagrama extraído del manual de Hill (2007) en el que aparecen los porcentajes de carga sobre cada seguro en ángulos de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  y  $120^\circ$ , definiendo su relación en cada caso.



La tensión sobre cada anclaje viene dada por<sup>(1)</sup>: 
$$F_a = \frac{F_1}{2 \cos \frac{\alpha}{2}}$$

Figura 25: Ecuación matemática extraída del manual de escalada en varios largos de los autores Luján y Núñez (2004). Hace referencia al cálculo de la tensión que ejerce una fuerza concreta sobre cada anclaje en una reunión de dos puntos.

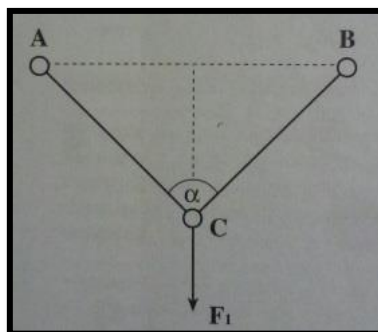


Figura 26: Se trata de un diagrama que muestra un triángulo de fuerza simple imaginario entre los anclajes A y B. El anillo de cinta forma los vectores AC y BC entre el punto central (C) y los anclajes A y B respectivamente, así como un ángulo  $\alpha=90^\circ$ . Al sistema se le aplica una fuerza hacia abajo llamada F1 (Luján & Núñez, 2004).

Por ello, basándose en los resultados matemáticos se puede interpretar que será hasta los  $30^\circ$  de ángulo en el punto central cuando mejor trabaja la triangulación. A partir de  $60^\circ$  ya deberemos de tener cuidado, puesto que la carga comienza a ejercer casi 60% de su peso sobre cada seguro. Y con ángulos superiores a  $90^\circ$  no se debería trabajar, debido a que asciende a un valor del 70% de la carga en cada punto (Vaz, 2014; Schubert, 1996).

Para evitar dichos ángulos tan abiertos la mejor solución es alargar el anillo utilizado para equalizar o bien cambiarlo por otro más largo. En caso de no tener se puede utilizar la cuerda para montar la reunión, realizando la unión entre los dos puntos más alargada, descendiendo el nudo y por tanto empujando el ángulo central.

## HIPÓTESIS

Al realizar una reunión de escalada triangulada se forma un ángulo en el punto central. Se estima que la tensión en los anclajes aumenta al incrementar el ángulo en el foco central de dicha triangulación. Es decir, a mayor ángulo mayor será el porcentaje de carga en cada seguro, hasta poder llegar a un 100% en cada punto con ángulos abiertos.

Se cree, por tanto, que con ángulos del punto central cercanos a los 30° es cuando mejor trabaja una reunión de estas características.

## OBJETIVOS

Analizar si los resultados obtenidos en la prueba experimental se asemejan a aquellos logrados mediante ecuaciones matemáticas.

Observar, mediante el trabajo de campo, en qué ángulo trabaja mejor una reunión de dos puntos fijos triangulada con Dyneema y dejando el punto central móvil.

Establecer, en base al trabajo de campo y a los resultados logrados mediante ecuaciones matemáticas, un ángulo aproximado de triangulación idóneo, en el que la carga se reparta en los dos puntos por igual sin llegar a ejercer mayor tensión de la debida.

## METODOLOGÍA

A continuación se detallan los diferentes materiales utilizados tanto en la colocación de los seguros necesarios para poder realizar la prueba como en el desarrollo de esta, sin los cuales no habría sido posible llevarlo a cabo. Se explica también el diseño del experimento, en donde se detalla el protocolo y cualquier tipo de modificación que se pudiese haber dado debido al medio natural donde se realizaban las mediciones.

Estas se realizaron en el Parque Natural de la Sierra de Guara, más concretamente en los muros del sector de escalada de San Pelegrín, en las inmediaciones de Alquezar.

## SUJETO

Para lograr que fuese una simulación lo más real posible se descartó la posibilidad de colocar una carga inerte y se invitó a una de las escaladoras del lugar a realizar la labor de carga. De esta manera simulamos estar asegurando desde una reunión al de segundo y este se cuelga, repartiendo su peso sobre la triangulación móvil. Es un caso muy normal en la escalada de vías de varios largos.

Además, al tener que andar más de 20 minutos hasta el lugar exacto donde se realizaron las mediciones, creí oportuno no tener que cargar con dicha carga a la espalda; en el caso de haber utilizado algo similar a unas pesas. También, a la hora de manejar, colocar y quitar el peso del punto central es mucho más sencillo si es una persona, siendo esta la que se mueve con las indicaciones que le dábamos.

Se eligió a una mujer joven de **50,25kg** para no sobrecargar el dinamómetro, el cuál podía soportar hasta cargas de 100kg. Ya que este, como se explicará a continuación, no ha sido precisamente creado para este tipo de tensiones y teníamos miedo a poder dañarlo.

## MATERIAL ESPECÍFICO



Figura 27: Material utilizado. La numeración corresponde al material descrito a continuación.

El material utilizado para la colocación de los 3 anclajes necesarios para la realización de la prueba fue el siguiente (véase figura 27):

- **Taladro (1):** funciona con una batería con autonomía para realizar de 8 a 12 agujeros, dependiendo de la profundidad de este y de la dureza de la roca. Datos de la batería: Power 4all, 18V, 15ah. De la casa BOSCH, modelo Uneo Max. Se diferencian en que son más ligeros que los normales, no precisan de toma eléctrica y tienen la función percutora.
- **Broca (2):** de 6mm de diámetro, 100mm de largo y sistema de sujeción SDS. Cabezal diseñado para perforar la roca. El diámetro de está irá en función del diámetro del espárrago del anclaje que se quiera introducir.
- **Maza (3):** específica para escalada. Se compone de un extremo en forma de pico y el otro de maza, mango de goma dura para favorecer el agarre y cordino de 2 metros de longitud para poder atarlo al arnés y evitar perderlo.
- **Llave inglesa (4):** tamaño medio-pequeño. Se utiliza para enroscar el tornillo en el agujero que previamente hayamos realizado con el taladro. En el extremo inferior dispone de un cordino con mosquetón, para poder atarlo al arnés.
- **2 chapas (5):** de la marca Fixe. Se trata de una plaqueta multidireccional de 4mm de espesor, de acero Bicromatado y con una resistencia de 25 kN. El agujero es de 8mm de diámetro.
- **2 tornillos (6):** tipo Multi-monti, de 60mm de largo y 7'5mm de ancho. Resistencia de 18 kN a cizalladura. Se enroscan en el agujero de 6mm. Se eligió este y no otro tipo de anclaje porque no deja restos materiales después de usarlos, únicamente quedó visible los 3 pequeños agujeros, sin nada dentro.

Por otro lado, el material necesario para la medición de la carga que ha de soportar una reunión triangulada se expone a continuación (véase figura 27):

- **Dinamómetro (7):** se utilizó el dinamómetro de mano del Laboratorio Biomédico de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte del Campus de Huesca. La casa comercial es Takei (Japonesa) y el modelo es el siguiente: Dinamómetro Grip-D T.K.K. 5401. Este tipo de medidor de fuerza no es el ideal para pruebas en las que la carga se ejerce de manera longitudinal (Cadogan, Laslett, Hing, McNair & Williams 2011), pero debido a la falta de dinamómetros específicos (Durán, 2010) se tuvo que inventar un método para pasar de medir la fuerza de la mano a la de una carga. Rango de registro de 5 a 100 kg.
- **Goniómetro de plástico (8):** para situar el anillo de triangulación a los ángulos exactos en los que queríamos que trabajase en cada caso: a 30º, 60º, 90º y 120º. Se situaba el goniómetro sobre la intersección de los anillos en el punto central y estos se recolocaban hasta alcanzar el ángulo requerido.
- **5 Mosquetones de seguro (9):** 2 mosquetones de Petzl modelo Spirit Screw-Lock de 23 kN de resistencia con gatillo cerrado. Mosquetón de Petzl modelo Attache tipo HMS de 22 kN de resistencia con gatillo cerrado. 2 mosquetones de Edelrid modelo Pure Screw de 23 kN de resistencia con gatillo cerrado. Según datos de la página web de cada marca.

- **1 Dyneema de 120 (10):** se utilizó para triangular la reunión, de Altus, con una resistencia de 22 kN.
- **2 Dyneema de 60 (11):** de Altus, con 22 kN de resistencia. Una de ellas se utilizó para confeccionar el dinamómetro y la otra para atar al sujeto al punto central de la reunión cuando esta, debido a ángulos más abiertos, se encontraba demasiado alta para poder colgarse directamente del punto central.
- **Cordino (12):** 1 metro de cordino de Kevlar de 6 mm, con el que se confeccionó el dinamómetro para que pudiese trabajar como queríamos.
- **Camiseta (13):** protector de la parte trasera del dinamómetro, para no dañarlo con el contacto de la roca.
- **Block de notas y bolígrafo (14).**

Para que nuestro dinamómetro de mano pudiese trabajar con tensiones que proviniesen desde sus dos extremos, superior e inferior, se completó de la siguiente manera: con el cordino se hizo un aro que sobresaliese lo suficiente como para poder pasar un mosquetón por sus dos bucles sobrantes sin que entorpeciese su funcionamiento ni visión de los datos de la pantalla. En el extremo donde se colocaría la mano se situó el anillo de Dyneema de 60 en doble, abarcando la mayor anchura posible del tirador, y uniendo los bucles con un mosquetón de seguro HMS.

### DISEÑO EXPERIMENTAL

Se taladraron 3 agujeros en línea horizontal, a una distancia de 45 cm entre ellos y se colocaron las chapas (véase figura 28). Todos ellos se encuentran a la misma altura para evitar posibles sobrecargas sobre uno de los seguros, ya que estando uno más alto que el otro es más fácil que se registren mayores esfuerzos sobre el punto inferior. Al tener únicamente dos Multi-monti se tuvo que colocar primero dos de ellos y luego quitar el del medio y volver a colocarlo en el tercer agujero. Simultáneamente solo se utilizaban dos de los tres agujeros, pero todos ellos fueron necesarios, por la siguiente razón: al ir ampliando el ángulo del punto central cada vez teníamos que subir más dicha unión, hasta que finalmente para los ángulos de 90º y 120º tuvimos que cambiar al seguro más alejado, estando a una distancia de 90 cm uno del otro. También se debe a que, al no tener un dinamómetro específico, la distancia que este necesitaba para poder trabajar de manera adecuada era mayor.



Figura 28: Corresponde al momento de la colocación de la reunión.

En cada plaqueta se colocó un mosquetón de seguro Petzl modelo Spirit Screw-Lock y por cada uno de ellos se introdujo la viga de 120. Se cerró la rosca y en medio del anillo, dando media vuelta a uno de los lados de este, se introdujo el mosquetón para conseguir una triangulación móvil básica. Desde esta situación, se fue variando la distancia de la cinta o la posición de los seguros para poder medir la fuerza en los ángulos precisos. Cuando no se requería un anillo de triangulación de 120cm, en uno de los mosquetones se realizaba un nudo Ballestrinque, pudiendo acortar la viga hasta conseguir el ángulo necesario.

El conjunto del dinamómetro con su confección de vagas, cordinos y mosquetones (véase figura 29) primero se colocó en el punto central de donde se colgó directamente nuestro sujeto para medir la carga real y después se colocó a cada uno de los puntos de anclaje, estando en cada caso en ambos puntos, pudiendo ver si había diferencia en cuanto a la tensión que ejercía sobre ellos.

Con cada ángulo se realizaron 6 mediciones, 3 de ellas con el dinamómetro en un seguro y las otras 3 con el dinamómetro en el seguro opuesto. De esta manera el resultado sería la media de los tres intentos, intentando evitar mediciones erróneas debidas al impacto brusco que pueden registrarse si no se ejerce el peso de manera progresiva, a la dirección de la tensión ejercida o a la colocación inadecuada del sujeto. El protocolo fue el siguiente:



Figura 29: Dinamómetro utilizado.

1. **Medición del peso exacto del sujeto**, colocando el dinamómetro sobre el punto central y situando la carga directamente bajo este (véase figura 30). Hay que tener en cuenta que el sujeto siempre debe ejercer la tensión hacia la misma dirección, tiene que cargar el peso de sin golpes bruscos para que no se registre la carga de ese impacto y tiene que quedarse con los pies al aire. El sujeto se coloca de pie bajo el dinamómetro, atado al mosquetón, se enciende el dinamómetro y se le dice que se cuelgue. Tras registrar la marca vuelve a colocar los pies sobre el suelo y se pone el contador del dinamómetro a 0 para volver a repetir el proceso hasta tres veces.



Figura 30: Momento de una de las tres mediciones del peso del sujeto colgándolo directamente desde el punto central de la reunión.



2. **La triangulación a 30°:** se coloca el dinamómetro en uno de los anclajes y al otro extremo se pasa el anillo del triángulo de la reunión, se modifica el ángulo hasta conseguir los 30° y se realiza el mismo proceso que en el primer caso, colgando esta vez al sujeto directamente al punto central. Se registran 3 mediciones. Después se instala el dinamómetro sobre el otro anclaje y se vuelve a repetir el proceso.



Figura 32: Uno de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro izquierdo y con un ángulo en el punto central de 30°.



Figura 31: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de 30°.

3. **La triangulación a 60°:** se realiza el mismo sistema que en el caso 2, pero esta vez a 60°. Para ello habremos colocado el goniómetro sobre el punto central y habremos modificado la distancia de la vaga de 120 cm de la triangulación hasta que se lograra llegar al ángulo requerido. Para acortar el anillo se utilizará el nudo de Ballestrinque sobre el mosquetón de seguro del anclaje que no tiene el dinamómetro.



Figura 34: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de 60°.



Figura 35: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de 60°.

4. **La triangulación a 90°:** se realiza el mismo sistema, pero esta vez a 90°, angulación que se conseguirá con la ayuda del goniómetro. Esta vez, para llegar a dicho rango de apertura, se cambia el anclaje del medio y se sitúa al doble de distancia. Se vuelven a tomar 6 registros, 3 de ellas con el dinamómetro a cada lado.



Figura 37: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro izquierdo y con un ángulo en el punto central de 90°.



Figura 36: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de 90°.

5. **La triangulación a 120°:** mismo protocolo, pero esta vez a 120°. Para ello se juega con la longitud de la cinta de triangulación, la cual se debe acortar mediante el nudo de Ballestrinque. Se eligió este y no otro por su fácil sistema de regulación. 3 intentos.



Figura 39: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro izquierdo y con un ángulo en el punto central de 120°.



Figura 38: Una de las mediciones colocando el dinamómetro en el seguro derecho y con un ángulo en el punto central de 120°.

Los ángulos en los que se puso a prueba el esfuerzo que sufría cada punto de anclaje fueron esos por hacer más sencillo la posterior comparación con los cálculos mediante ecuación matemática. También porque son ángulos fáciles de distinguir a simple vista, haciendo más sencillo el trabajo con los mismos.



## RESULTADOS

A continuación se exponen los resultados logrados. Por un lado aparecen aquellos medidos en la prueba experimental y por otro aquellos provenientes de la ecuación matemática que define la carga exacta. A su vez se realizan varias comparaciones entre los resultados obtenidos teóricamente y los registrados en la prueba experimental.

### *Resultados prueba experimental:*

Se diferencian las 3 mediciones y finalmente se realiza la media. Primero está el peso del sujeto medido directamente desde el dinamómetro y después aparece cada angulación habiendo sido colocado el dinamómetro tanto en el anclaje izquierdo como en el derecho. En la última columna se detallan los porcentajes de carga que han soportado cada seguro, habiendo sido calculada a partir del peso medio de cada intento.

	MEDICIÓN 1 (kg)	MEDICIÓN 2 (kg)	MEDICIÓN 3 (kg)	MEDIA (kg)	% MEDIA
CARGA REAL	50,6	49,8	50,3	<b>50,23</b>	<b>100</b>
TRIANG. 30º ANCLAJE IZQ.	31,1	32,6	28,2	<b>30,63</b>	<b>61</b>
TRIANG. 30º ANCLAJE DER.	27,3	32	27,8	<b>29,03</b>	<b>58</b>
TRIANG. 60º ANCLAJE IZQ.	34,4	32,3	36,4	<b>34,37</b>	<b>68</b>
TRIANG. 60º ANCLAJE DER.	39,3	41,2	37,6	<b>39,37</b>	<b>78</b>
TRIANG. 90º ANCLAJE IZQ.	41,5	39,7	37,5	<b>39,57</b>	<b>79</b>
TRIANG. 90º ANCLAJE DER.	39,8	38,2	39,3	<b>39,10</b>	<b>78</b>
TRIANG. 120º ANCLAJE IZQ.	46,2	44,6	45,9	<b>45,57</b>	<b>91</b>
TRIANG. 120º ANCLAJE DER.	44,7	47,2	45,3	<b>45,73</b>	<b>91</b>

Tabla 1: Resultados de la prueba de campo. Se detallan los 4 casos, colocando el dinamómetro en ambos anclajes en cada caso. Se ilustran los 3 intentos, la media de estos y el porcentaje de la carga.

### *Resultados cálculo matemático:*

Se ha calculado la carga que debería registrarse en cada seguro basándose en los porcentajes de esfuerzo teóricos (Hill, 2007). Se ha tomado la media del peso del sujeto registrado de forma experimental para establecer los valores teóricos de cada caso.

	Triangulación a 30º (50%)	Triangulación a 60º (58%)	Triangulación a 90º (71%)	Triangulación a 120º (100%)
Carga teórica (kg)	<b>25'12</b>	<b>29'13</b>	<b>35'66</b>	<b>50'23</b>

Tabla 2: Resultados de los cálculos con porcentajes teóricos. Se ilustra la carga que debería soportar cada anclaje en los diferentes casos.

### Comparación de los resultados teóricos y experimentales:

Se realizan comparaciones que ayuden a comprender mejor los datos obtenidos.

	MEDIA (kg)	% MEDIA	CARGA TEÓRICA (kg)	% TEÓRICO
CARGA REAL	50,23	100	50,23	100
TRIANG. 30º ANCLAJE IZQ.	30,63	61	25,12	50
TRIANG. 30º ANCLAJE DER.	29,03	58	25,12	50
TRIANG. 60º ANCLAJE IZQ.	34,37	68	29,13	58
TRIANG. 60º ANCLAJE DER.	39,37	78	29,13	58
TRIANG. 90º ANCLAJE IZQ.	39,57	79	35,66	71
TRIANG. 90º ANCLAJE DER.	39,10	78	35,66	71
TRIANG. 120º ANCLAJE IZQ.	45,57	91	50,23	100
TRIANG. 120º ANCLAJE DER.	45,73	91	50,23	100

Tabla 3: Comparación entre la media de los resultados obtenidos en la prueba de campo y los logrados mediante cálculos matemáticos, es decir, los teóricos con los prácticos.

A continuación se exponen los datos en un gráfico de barras. Las columnas azules hacen mención a los porcentajes calculados en base a los resultados de las mediciones registradas en la prueba experimental y las rojas a los teóricos, aquellos que supuestamente debían de haber cumplido. En el eje X del gráfico se denomina cada caso y se diferencia entre los dos seguros en los que se colocó el dinamómetro.

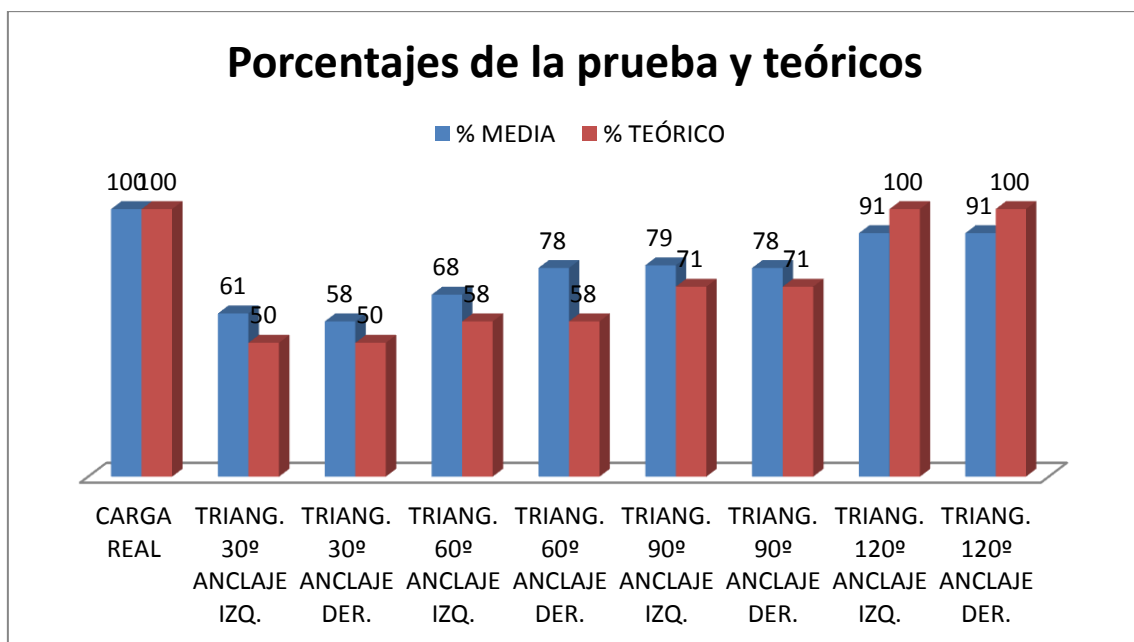


Tabla 4: Gráfico en el que se detallan los datos de la "tabla 3". En él se comparan los porcentajes de carga obtenidos en la prueba de campo y los teóricos.

En este caso aparecen los datos registrados en el experimento, acompañados de la varianza y la desviación típica de todos ellos. Estos dos cálculos estadísticos nos ayudarán a comprender mejor la dispersión de los valores. La varianza nos informa de cómo de alejados se encuentran los datos registrados respecto a la media. Mientras que la desviación típica nos indica cuanto pueden desviarse los valores respecto a la media.

	MEDICIÓN 1 (kg)	MEDICIÓN 2 (kg)	MEDICIÓN 3 (kg)	MEDIA (kg)	VARIANZA	DESVIACIÓN TÍPICA
CARGA REAL	50,6	49,8	50,3	50,23	0,163	0,404
TRIANG. 30º ANCLAJE IZQ.	31,1	32,6	28,2	30,63	5,003	2,237
TRIANG. 30º ANCLAJE DER.	27,3	32	27,8	29,03	6,663	2,581
TRIANG. 60º ANCLAJE IZQ.	34,4	32,3	36,4	34,37	4,203	2,050
TRIANG. 60º ANCLAJE DER.	39,3	41,2	37,6	39,37	3,243	1,801
TRIANG. 90º ANCLAJE IZQ.	41,5	39,7	37,5	39,57	4,013	2,003
TRIANG. 90º ANCLAJE DER.	39,8	38,2	39,3	39,10	0,670	0,819
TRIANG. 120º ANCLAJE IZQ.	46,2	44,6	45,9	45,57	0,723	0,850
TRIANG. 120º ANCLAJE DER.	44,7	47,2	45,3	45,73	1,703	1,305

Tabla 5: Se representan las mediciones registradas en cada caso utilizando la unidad de "kg". Después aparecen calculadas la varianza y la desviación típica para cada situación.

A continuación se ilustran los cuatro gráficos de cada caso en los que se puede ver como varía la carga en cada registro. Finalmente aparecen expresadas también el peso teórico que debería haberse dado según los cálculos matemáticos y la media de las 3 mediciones. En cada ilustración la barra azul corresponde a la colocación del dinamómetro en el anclaje izquierdo, mientras que la barra roja corresponde al derecho. De esta manera se diferencian entre las mediciones obtenidas en cada anclaje, ya que debido a la dirección de la tensión en ningún caso se han registrado los mismos valores.

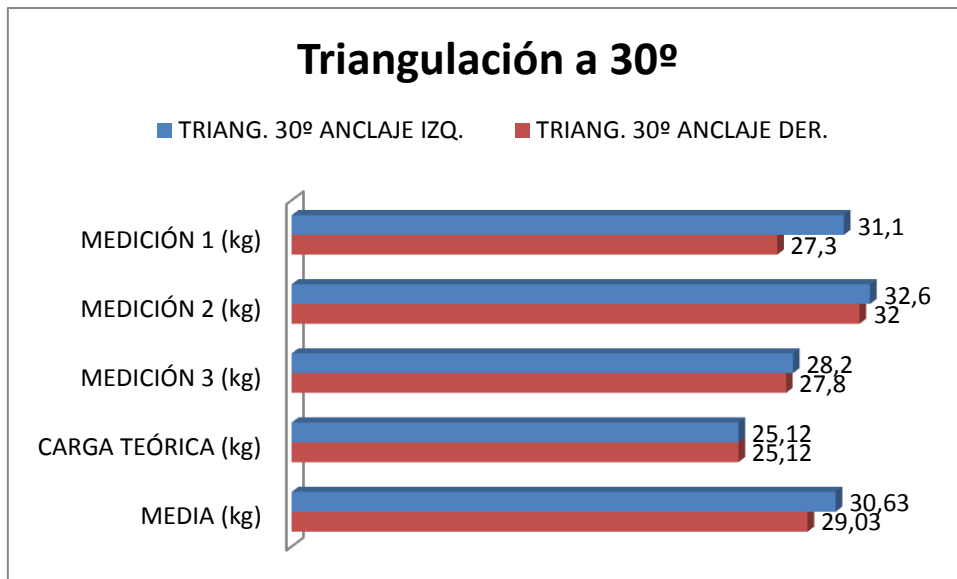


Tabla 6: Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 30°.

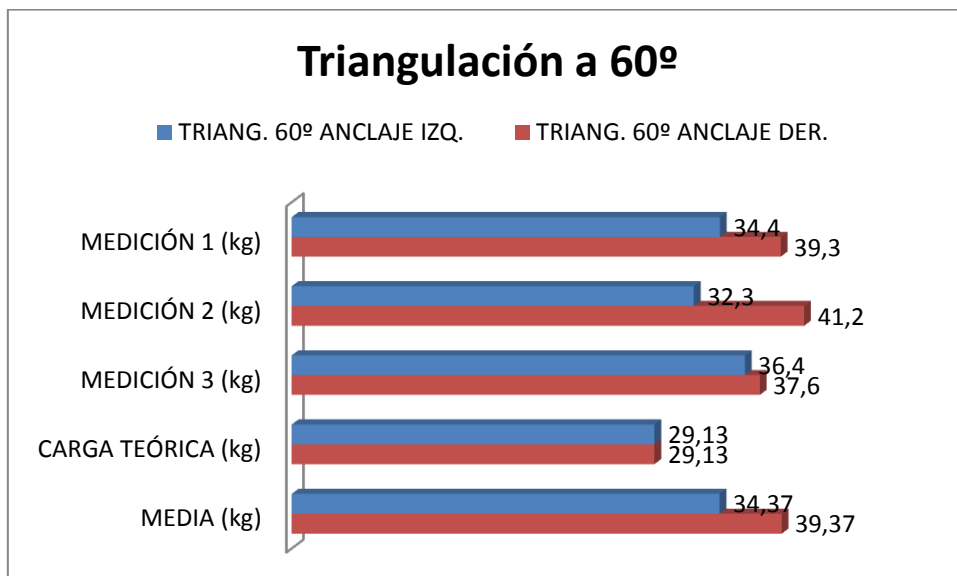


Tabla 7: Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 60°.

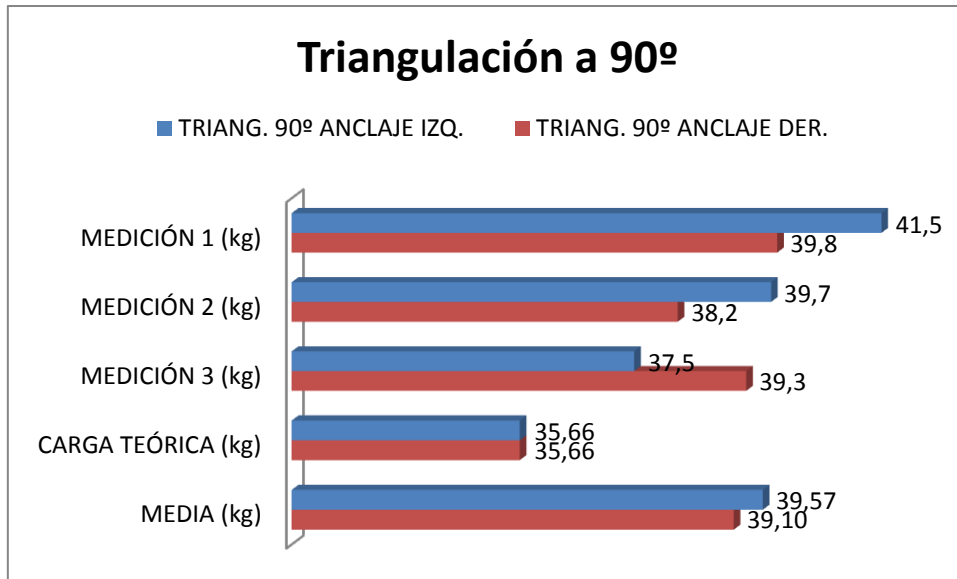


Tabla 8: Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 90°.

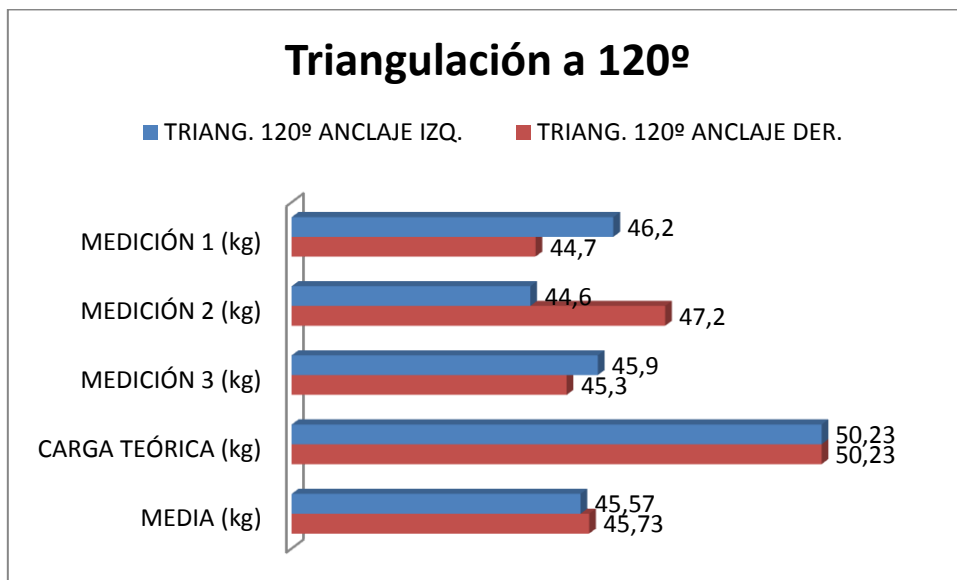


Tabla 9: Gráfico en el que se representan los datos de la "tabla 2" y la "tabla 5". En este caso hace mención a la triangulación con un ángulo de 120°.

## DISCUSIÓN

Antes de realizar la prueba de campo teníamos dudas de si los resultados saldrían según lo pensado o darían cifras diferentes a las teóricas. La principal incertidumbre se encontraba en el tipo de dinamómetro que íbamos a utilizar, ya que este no había sido diseñado para las mediciones a las que lo íbamos a poner a trabajar, sino para la fuerza de mano (Trampisch, 2014). Pero mediante la utilización de cordinos, material muy polivalente en escalada, se pudo diseñar un sencillo sistema con el que cambiamos las direcciones de dónde debían venir las tensiones; en este caso ejercidas al colgarse el sujeto sobre la reunión.

Los resultados, sin ser exactos a los que teóricamente debían haber sido, fueron paralelos. Se observa además una constante progresión ascendente del esfuerzo en cada seguro según iba incrementando el ángulo del punto central de la triangulación. Esto se debe a alguna de las limitaciones que tenía el estudio, de las cuales más adelante hablaremos.

A la hora de realizar las mediciones, efectuando tres para cada ángulo y anclaje de donde estaba colgado el dinamómetro, en ninguna se repitió el mismo resultado. Posiblemente sea por el impacto que recibiría el dinamómetro al cargar el peso del sujeto. Si no se hacía de manera suave y progresiva, el medidor registraba el valor más elevado, pudiendo ser mayor al peso real. También, al estar la reunión en contacto con la pared no se podía evitar que hubiera cierto rozamiento incontrolable, aspecto que podía variar el resultado de cada prueba. Además, y uno de los principales puntos a tener en cuenta, estaba la dirección de la fuerza: si el sujeto se empezaba a colgar de lado, el anillo del triángulo se situaría hacia dónde más tensión le estén ejerciendo, cargando más dicho punto, ya fuese el lado del dinamómetro o el del anclaje libre. Por todo ello, se vio oportuno realizar 3 intentos y de ahí calcular la media, intentando estandarizar dentro de lo posible los valores dispares.

Al realizar una primera medición de la carga pudimos ver cuál era el cien por cien del peso que después se iba a repartir en los dos seguros, la cual fue de 50,25 kg. Además, posteriormente, se utilizó para calcular el peso que, según los porcentajes de carga teóricos (Hill, 2007; Luján & Nuñez, 2004), debería haberse registrado. De esta manera pudimos comparar la veracidad de nuestro sistema.

En la triangulación con un ángulo de 30° en el punto central el esfuerzo en cada seguro fue de 30,63 kg en el izquierdo y 29,03 en el derecho. Teóricamente debía de haber sido de 25,12 kg en ambos seguros por igual. Las cifras dispares entre cada anclaje habrían sido en consecuencia de la dirección de la tensión ejercida, mientras que el incremento de estas sobre el peso teórico pudo haber sido por algún impacto brusco recibido, por el rozamiento, por la dirección de la carga, por utilizar un dinamómetro de mano o por otros aspectos incontrolables. De todas formas, si la prueba hubiese sido realizada con material específico y en un medio más controlado, se podría observar cómo en la realidad con un ángulo de 30° la tensión que se reparte en cada anclaje es mayor que la teórica; siendo un 61% (izq.) y 58% (der.) de la carga en vez del 50% teórico.

En la triangulación con un ángulo de 60° en el punto central el esfuerzo en cada seguro fue de 34,37 kg en el izquierdo y 39,37 kg en el derecho. Teóricamente debía de haber sido de

29,13 kg en ambos seguros por igual. Esta vez con 5 kg de diferencia entre los dos valores. Se puede observar cómo, de los dos, el valor que se ha disparado ha sido el del derecho, ya que es similar al obtenido con un ángulo de 90°. Esto seguramente se deba a que el sujeto se habría colocado más hacia la vertical del anclaje derecho, cargándolo más. Teóricamente debería de haber sido el 58% de su peso, y en realidad se registraron porcentajes de 68% (izq.) y 78% (der.).

En la triangulación con un ángulo de 90° en el punto central el esfuerzo en cada seguro fue de 39,57 kg en el izquierdo y 39,10 kg en el derecho. Teóricamente debía de haber sido de 35'68 kg en los dos seguros por igual. Esta vez en ambos anclajes se registraron valores parecidos, pero volvieron a ser más elevados: del 71% teórico al 79% (izq.) y 78% (der.) que se midieron en las pruebas.

En la triangulación con un ángulo de 120° en el punto central el esfuerzo en cada seguro fue de 45,57 kg en el izquierdo y 45,73 kg en el derecho. Teóricamente debía de haber sido de 50'25 kg, el cien por cien de su peso. Esta vez, al contrario que en los demás casos, los valores medidos fueron inferiores al del teórico, siendo el 91% de la carga en ambos seguros.

Observando los resultados obtenidos y las discrepancias entre estos, se puede decir que el sistema realizado no estaba bien diseñado o que el material utilizado no era el adecuado. Este, refiriéndonos al dinamómetro principalmente, no ha sido utilizado para lo que realmente había sido diseñado (Petitdant, 2016; Torres, González, Yáñez & Bartolomé, 1999) y fue uno de los causantes de que se registrasen valores irreales a la hora de llevar a cabo el experimento. Junto a esta limitación también estuvo el problema de su colocación para poder medir de la manera más exacta posible, en la que tuvimos que ingeniar un simple sistema con cordinos y nudos, pero con el que no se consiguió funcionase con la debida precisión.

Por otro lado, en cada situación la desviación típica de los valores en referencia a la media varía desde los 0,404 hasta los 2,581 (véase tabla 5). Siendo poco precisos los registros logrados en la mayoría de los casos, ya que la mayoría fluctúan entre un valor de varianza mayor a 3 (véase tabla 5). Principalmente se debe a la utilización del dinamómetro de mano como medidor de fuerza y a que según en qué dirección se ejerciese la carga el registro podía variar cargando más un seguro que el otro.

También se puede apreciar como la triangulación de la reunión era causante de la desviación de los resultados respecto a la media, ya que cuando medimos el peso del sujeto directamente del dinamómetro la desviación típica fue del 0,404, mientras que en los registros de los demás casos el valor más pequeño fue de 0,819, seguido de 0,850 y 1,305 (véase tabla 5). Con el cálculo de la varianza también nos ocurre lo mismo. Por lo tanto, el rozamiento de la cinta contra la pared será una de las causantes de la dispersión de datos.

Dicha difusión se aprecia claramente en las tablas 6, 7, 8 y 9, las cuales representan los datos de cada medición, su media y la carga que teóricamente debía de haberse registrado en gráficos de barras horizontales. Cada uno se refiere a los ángulos concretados en el diseño del protocolo (30°, 60°, 90° y 120°). Se puede observar como en los tres primeros casos la media del peso medido está muy por encima de la carga teórica, mientras que en el último caso de 120° de angulación sucede lo contrario, registrándose menor tensión de lo esperado.

Además, a la hora de comparar dichos resultados con otros estudios, nos hemos encontrado con que no había, siendo incapaz de contrastar los datos logrados con los de otras investigaciones. Siendo así, también tuvimos que diseñar nosotros mismos el protocolo, material y forma de colocación de los seguros, sin poder partir desde el de otros estudios. Lo cual no da pie a poder comparar los resultados, ya que según la vaga o mosquetones que se utilicen, dónde y a qué distancia metas los anclajes y demás aspectos, cambiarán los valores registrados.

Sí que se han podido contrastar con los porcentajes y cargas teóricas de varios manuales de seguridad y escalada que anteriormente se han citado, en los que se puede apreciar cómo en ellos aparecen porcentajes menores de los que a nosotros nos dieron (véase tabla 2). Pero no creo que con nuestro experimento se pueda discutir la veracidad de esos resultados teóricos. En principio, al compararlos, en la realidad se han registrado valores más altos, por lo que se podría concluir que a mismos ángulos la fuerza se reparte de diferente manera sobre cada anclaje, siendo mayor el esfuerzo percibido en cada uno de ellos (véase tabla 4). Aunque, para refutar estos datos, se necesitarían más estudios, en los que se utilizase un protocolo estandarizado y material y lugar específico para ello. De esta manera, minimizando los posibles errores que pudiesen surgir, sí que se podría llegar a discutir los modelos teóricos.

También creemos necesario la utilización de una carga inerte y no un sujeto real, ya que este puede ejercer las tensiones en una dirección u otra, pudiendo dar errores en las mediciones, como se ha podido ver en nuestros resultados. Para ello, la prueba se debe realizar en un lugar habilitado y con acceso cómodo, ya que no es viable trasladar el peso de una persona en algo similar a unas pesas a una zona como la que utilizamos, a 20-30 minutos del coche andando. Existen numerosos laboratorios de prueba en donde se realizan pruebas de resistencia de seguros (Schubert, 1996).

Por otra parte, con la utilización del goniómetro a la hora de colocar el ángulo exacto para cada caso, esto se pudo llevar a cabo de manera eficaz. Sin él habría que haberlo hecho a ojo, detalle que habría variado totalmente el resultado. Asimismo, el haber realizado el estudio con un sujeto real nos acerca más a lo que se puede dar en una reunión de escalada en una vía de varios largos. En esta la dirección de la carga va cambiando según de donde le venga la cuerda, por lo que la tensión que puede ejercer en cada seguro no siempre será la misma aunque esta haya sido repartida mediante la triangulación.

Por lo tanto, se necesitarán más estudios en la misma línea y utilizando un mismo protocolo para poder llegar a resultados consolidados. En ellos, sería interesante llegar al ángulo donde se midiese el cien por cien de la carga, ya que en nuestro estudio, con los 4 casos que habíamos diseñado, no pudimos llegar a dicha cifra. Aunque según los valores teóricos debíamos de haber llegado al realizarlo a 120°.



## CONCLUSIONES

Los resultados a los que se ha llegado son similares a los logrados mediante cálculos matemáticos, incrementando al aumentar el ángulo, pero no se asemejan, existe cierta inexactitud, posiblemente debido a las limitaciones de nuestro estudio. Por ello no se puede aportar una resolución final, en base a nuestros datos, que contradiga o verifique los porcentajes de carga teóricos visibles en los manuales de seguridad mencionados.

Es con un ángulo menor o igual a  $30^\circ$  cuando mejor trabaja una reunión de escalada en la repartición de la carga. Ya que cuanto mayor sea el ángulo del punto central, mayor será la tensión que se ejerce sobre cada emplazamiento.

En base a los resultados experimentales y los teóricos, el ángulo del punto central de la triangulación nunca debería exceder de los  $90^\circ$ , puesto que empiezan a ser valores cercanos al 70-80% del peso, demasiado altos para haber realizado una ecualización. Para evitarlos se podrá alargar la cuerda o cinta utilizada para montar la reunión, descendiendo el foco central y disminuyendo el ángulo de este.

## CONCLUSIONS

The results that we managed to obtain are similar to those obtained in mathematical calculations, increasing whilst the angle grows. But they are not equivalent, certain imprecisions exists, perhaps on account of the limitations of our study. Therefore it's not possible to take any final results, based on our measurings, to contradict or verify the percentage of theoretical loads visibles on the security manuals.

An angle of  $\leq 30^\circ$  is the best one to work in a climbing belay so that it shares out the load. Because the bigger the angle of the central point, the bigger the load on each bolt.

According to our study and theoretical results, it never must exceed  $90^\circ$  of angle, because it begins to be near to the 70-80% of the weight, too high to do a triangulation. To avoid that it is possible to lengthen the used rope to do the belay, descending the middle point and decreasing the angle.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ayora, A. (2016). *Gestión del riesgo en montaña y en actividades al aire libre*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Bianchi, C., Gallo, M., Mantovani, P. & Zappa, M. (2003). *Seguridad*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Blosca, C. (2015). *Manual completo de nudos: 108 nudos paso a paso y para todas las ocasiones*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Bonatti, W. (2012). *Montañas de una vida* (4ª ed.). Madrid: Ediciones Desnivel.
- Cadogan, A., Laslett, M., Hing, W., McNair, P. & Williams, M. (2011). Reliability of a new hand-held dynamometer in measuring shoulder range of motion and strength. *Manual Therapy*, 16, 97-101.
- Colorado, J. (2014). *Errores en escalada: 101 casos reales de accidentes e incidentes*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Comisión Técnica de Petzl (2012). *Instalar una reunión triangulada*. Extraído el 24 de septiembre, 2016 de la página web de Petzl: <https://www.petzl.com/ES/es/Sport/Instalar-una-reunion-triangulada?ActivityName=Escalada-en-grandes-itinerarios>
- Comisión Técnica de Petzl (2014). *Factor de caída y fuerza de choque*. Extraído el 7 de junio, 2016 de la página web de Petzl: <https://www.petzl.com/ES/es/Sport/Factor-de-caida-y-fuerza-de-choque---teoria?ActivityName=Escalada#.WCrl6i3hDIV>
- Destivelle, C. (2004). *Ascensiones*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Durán, D. (2010). Curso de experto reconocido en la instalación de anclajes para actividades verticales. Escuela Española de Espereología, Ramales de la Victoria, Cantabria, 27-28 marzo.
- Galnes, B. & Long, J. (2008). *Anclajes de escalada: guía de campo*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Garrido, C. (2014). *La escalada en roca: historia, evolución y modalidades*. Extraído el 24 de septiembre, 2016 de la página web de OS2O: <http://os2o.com/blog/la-escalada-en-roca-historia-evolucion-y-modalidades/>
- Guinda, F. (2001). *Sobre homologaciones y normas*. Extraído el 26 de septiembre, 2016 de la página web de Barrabés: <http://www.barrabes.com/actualidad/tecnica/1-1192/homologaciones-normas-i.html>
- Hill, P. (2007). *Técnicas de roca, hielo y nieve: de la A a la Z*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Ilgner, A. (2003). *Guerreros de la roca: entrenamiento mental para escaladores*. Madrid: Ediciones Desnivel.

- Iglesias, J. C. (2009). *Nudos, reuniones y aseguramientos básicos para la escalada*. Extraído el 9 de noviembre, 2016 de la página web de Barrabés: <http://www.barrabes.com/actualidad/tecnica/2-6191/nudos-reuniones-aseguramientos-basicos-escalada.html>
- Lewis, S. P. & Cauthorn, D. (2002). *Del rocódromo a la roca*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Luján, I. & Núñez, T. (2004). *Cómo escalar vías de varios largos: una visión práctica y realista* (3ª ed.). Madrid: Ediciones Desnivel.
- Martínez, C. (2016). *Arneses: tipos, usos y consejos para acertar con la compra*. Extraído el 7 de junio, 2016 de la página web de Desnivel: <http://desnivel.com/material/noticias/arneses-tipos-usos-y-consejos-para-acertar-con-la-compra>
- Murcia, M. (1996). *Prevención, seguridad y autorrescate*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Murcia, M. (2016). *Manual de escalada libre*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Núñez, T. (2011). *Los mejores nudos de escalada*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Petitdant, B. (2016). Origines, histoire, évolutions de la mesure de la force de préhension et des dynamomètres médicaux. *Kinesither Rev*, 687, 1-19.
- Raleigh, D. (2007). *Nudos y cuerdas para escaladores*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Santamaría, L. (2002). *Escalada artificial: teoría y práctica*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Schubert, P. (1996). *Seguridad y riesgo: análisis y prevención de accidentes de escalada*. Madrid: Ediciones Desnivel.
- Terray, L. (2015). *Los conquistadores de lo inútil: de los Alpes al Annapurna* (3ª ed.). Madrid: Ediciones Desnivel.
- Torres, M., González, J., Yáñez, J. & Bartolomé, E. (1999). Estudio dinamométrico de la mano y el pulgar. *Revista Española de Cirugía Ortopédica y Traumatología*, 43, 1-8.
- Trampisch, U. S. (2012). Optimal Jamar Dynamometer Handle Position to Assess Maximal Isometric Hand Grip Strength in Epidemiological Studies. *Elsevier*, 37, 2368-2373.
- Ullastre, F. (2014). *Reunions d'escalada: estudi sobre el comportament dels materials utilitzats en el muntatge de les reunions*. Proyecto final del ciclo formativo del Grado Superior de Deportes de Alta Montaña, Instituto de la Poble de Segur, Cataluña.
- Vaz, E. (2014). *Reuniones de escalada*. Extraído el 24 de septiembre, 2016 de la página web de Campobase: [http://www.eldiario.es/campobase/reportajes/tecnica/Reuniones\\_de\\_escalada\\_0\\_318818747.html](http://www.eldiario.es/campobase/reportajes/tecnica/Reuniones_de_escalada_0_318818747.html)
- Zorrilla, J. J. (2000). *Enciclopedia de la montaña*. Madrid: Ediciones Desnivel.