

Baena-Extremera, A. y Granero-Gallegos, A. (2012). Desarrollo de un modelo de utilidad en descensores para deportes de montaña / Development of a utility model in descender for the mountain sports. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 12 (48) pp. 681-698  
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista48/artdesarrollo315.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista48/artdesarrollo315.htm)

## ORIGINAL

### DESARROLLO DE UN MODELO DE UTILIDAD EN DESCENSORES PARA DEPORTES DE MONTAÑA

### DEVELOPMENT OF A UTILITY MODEL IN DESCENDER FOR THE MOUNTAIN SPORTS

Baena-Extremera, A.<sup>1</sup> y Granero-Gallegos, A.<sup>2</sup>

1 Doctor en Educación Física. Profesor de la asignatura de Deportes de Aventura  
Facultad de Ciencias del Deporte (Universidad de Murcia, España) [abaenaextrem@um.es](mailto:abaenaextrem@um.es)

2 Doctor en Educación Física. Profesor de la asignatura de Actividades en el Medio Natural  
Facultad de Ciencias del Deporte (Universidad de Murcia, España) [agranero@um.es](mailto:agranero@um.es)

**Código UNESCO / UNESCO code:** 3315.01 Tecnología metalúrgica del Aluminio / Metallurgical Technology of Aluminum

**Clasificación del Consejo de Europa / European Council Classification:** 17 Otras: nuevas tecnologías aplicadas al deporte) / Others: new technologies applied to sports.

**Recibido** 7 de noviembre de 2010 **Received** November 7, 2010

**Aceptado** 27 de abril de 2011 **Accepted** April 27, 2011

**AGRADECIMIENTOS:** Al Parque de Bomberos Sur de Granada (España), pues en la Torre de Maniobras de Técnicas Verticales pudimos realizar las pruebas de rozamiento. Al Dr. A. Lorca del Servicio de Cálculo Científico del CSIC, cuyo asesoramiento permitieron realizar las pruebas y cálculos informáticos de simulación del nuevo aparato.

## RESUMEN

Los deportes de montaña constituyen unas de las disciplinas más practicadas en el mundo, y que mayor desarrollo tecnológico han experimentado en los últimos años, creándose materiales fabricados en su mayoría en acero y aluminio. El objetivo de este artículo es presentar cómo se ha diseñado y fabricado un modelo de utilidad, innovando sobre un descensor ya existente, fabricándolo en aluminio 7075 T6 y ofreciendo una mayor utilidad que el producto anterior. Se han realizado cinco entrevistas a expertos, y se ha utilizado el programa Catia V5 realizando las pruebas de simulación de fuerza, soportando hasta 18 kN en su eje longitudinal. Posteriormente, se ha probado por los expertos y se ha comparado con el modelo en ocho existente,

verificando las mejoras propuestas. Esta innovación es menos voluminosa, menos pesada que otros descensores, y presenta mayores utilidades de los descensores en ocho, como un mayor rozamiento con posibilidad de graduación.

**PALABRAS CLAVE:** descensor, deportes de montaña, innovación, modelo de utilidad.

## **ABSTRACT**

Mountain sports constitute one of the most practised and with the highest technological development disciplines in the world in recent years, creating materials mostly made of steel and aluminium. The aim of this paper is to present the way a utility model has been designed and constructed, innovating on a previously existing “eight descender”, made of aluminium 7075 T6 and offering greater utility than the previous product. Five interviews have been done to experts, and the program Catia V5 has been used with simulation tests of strength, supporting up to 18 kN in the longitudinal axis. Later, it has been proved and compared to the eight existing model by experts, verifying the proposed improvements. This innovation is less bulky and heavy than other descenders, and has more uses than “eight descenders”, such as a higher friction with possibility of graduation.

**KEYWORDS:** descender, mountain sports, innovation, utility model.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El número de practicantes en deportes de montaña, como la escalada, el montañismo, el descenso de barrancos, etc., está aumentando considerablemente en la última década, contribuyendo así a incrementar el interés científico sobre estas disciplinas (Giles, Rhodes y Taunton, 2006; Sheel, 2004; Watts, 2004). Esto conlleva un aumento en investigación y desarrollo tanto en técnicas como en materiales, que culminan con la creación de productos innovadores que mejoran la seguridad y la práctica deportiva.

Una de las grandes innovaciones en la escalada fue la llegada hacia 1940 de materiales como el acero, para la construcción de mosquetones y el desarrollo posterior de otros elementos como los seguros fijados permanentes (España-Romero et al., 2009) como los spits (tacos autoperforantes). Estos materiales hicieron que este deporte se desarrollara a nivel mundial, ofreciendo la posibilidad de conquistar por primera vez en la historia del ser humano, las grandes paredes de caliza de los Alpes Orientales, aumentando aún más el interés científico por esta disciplina. Sin embargo, debido a la escasez de este material durante la Segunda Guerra Mundial, Bill House, un escalador del equipo de desarrollo de material del ejército estadounidense, colaboró con la empresa *Alcoa* para producir los primeros mosquetones de aleación de

aluminio (S-T 24). Este aluminio, presenta una baja densidad y resultó ser tres veces más ligero que los mosquetones de acero ya existentes llegando a una resistencia similar, por lo que el resto de elementos de la escalada comenzarían a trabajarse en este metal. Actualmente, la mayoría de los modelos de descensores, mosquetones y demás piezas metálicas propias de estos deportes, están fabricados en aleaciones de aluminio, sometidos como explican Schubert (2007), a un tratamiento térmico para aumentar varias veces la resistencia de su aleación. Todo este proceso de calentamiento y enfriamiento, si se realiza correctamente, nos da como resultado la aleación T6, siendo uno de los procesos más utilizados por conseguir una gran resistencia (Toledano et al., 2010).

Como se puede apreciar, el desarrollo tecnológico en multitud de deportes está haciendo de éstos disciplinas más seguras en las que el deportista pueda mejorar su rendimiento (Schad, 2000). Entre la tecnología desarrollada, y en la que nos vamos a centrar, se encuentran los descensores, que son los materiales más utilizados en la escalada y en el alpinismo. Los descensores son aparatos que sirven para descender por una cuerda para hacer rapel, y a veces para asegurar a un compañero, utilizándolo como freno en caso de caída (Peter y Peter, 1990; Long, 1997). El principio básico de todos los descensores es pasar la cuerda por el aparato para establecer una fuerza de fricción que permita contrarrestar la velocidad de descenso o detener la caída del escalador. Las fuerzas de frenado de los descensores comunes están entre 1.0 y 3.0 kiloNewton (kN, donde 1kN es igual a 100 daN ó a 102 kg de fuerza) (Randelzhofer, 1997), según su funcionamiento, la fuerza del asegurador y la rigidez de la cuerda entre otros factores.

Hoy en día, los elementos metálicos, como mosquetones y descensores son parte de los Equipos de Protección Individual (E.P.I.) de bomberos, alpinistas, trabajadores e, incluso, de guardia civil, regulados por la normativa 89/686/C.E.E., donde en su tercera categoría se incluyen estas piezas metálicas. Según Bianchi, Gallo, Mantovani y Zappa (2003), el diseño y fabricación de los E.P.I. de tercera categoría está sujeta por ley a una serie de exigencias muy severas, que la marca fabricante debe tener en cuenta para obtener la certificación de Conformidad Europea (C.E.) otorgada por un organismo de control autorizado. La marca C.E. distingue los materiales y los dispositivos certificados según las directivas europeas, donde las relativas normas de referencia no constituyen una marca de calidad, sino un testimonio de conformidad según las pruebas de resistencia.

Para entender las pruebas que se realizan para su normalización, vamos a explicarlas y así podremos comprender la fuerza que se genera para romper cualquier material de escalada.

## Fuerza de choque

La fuerza de choque es el tirón que se transmite al alpinista (que cae) en el momento de la detención de la caída. Se trata de la fuerza residual que no se dispersa en los roces ni en los diversos elementos de la cadena de seguridad (Creasey, Banks, Gresham y Wood, 2008; Luebben, 2007).

La Unión Internacional de Asociaciones de Alpinismo (U.I.A.A.) realiza pruebas de fuerza de choque a las piezas metálicas con una cuerda bloqueada (el caso más duro). Si se utiliza una cuerda estática en escalada, en caso de una caída del escalador, se superaría el límite de seguridad fisiológico por efecto de una deceleración demasiado fuerte; tal límite fisiológico ha sido fijado en 15 veces el peso corporal de una persona, que considerando un peso estándar de 80 kg, equivaldría a una fuerza de 1200 decaNewton (daN) (1 daN = 1.02 kg de fuerza). Esta fuerza debería ser soportada, entre otros, por todos los elementos metálicos, como mosquetones y descensores (Bianchi et al., 2003; Schad, 2000). Si un mosquetón no aguanta más de 12 kN, en el caso anterior podría romper. Pero además, debemos hablar de los test que se realizan sobre el factor de caída. Este factor es la relación entre la longitud de vuelo cuando el escalador cae (H) y la longitud de la cuerda existente entre la reunión y el escalador (L). Teniendo presente que existen algunos casos excepcionales, el valor se suele situar entre 0 y 2 (en el peor de los casos). Veamos cuatro posibles casos, para hacernos una idea de los kN que deben soportar las piezas metálicas (Figura 1 y Tabla 1).

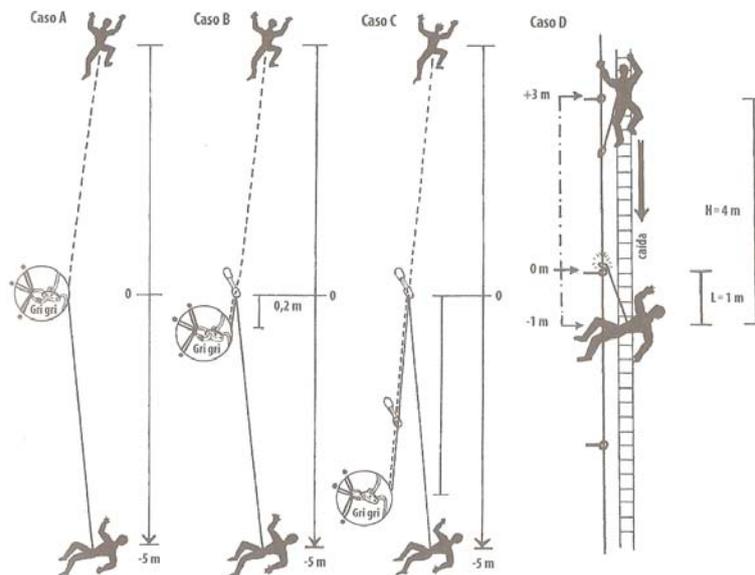


Figura 1. Fuerza de choque (según Bianchi et al., 2003, p.17)

**Tabla 1.** Fuerzas de Choque.

	Caso A	Caso B	Caso C	Caso D
Caída del escalador	10 m	10 m	10 m	4 m
Long. cuerda dinámica	5m	5,2m	9m	1m
Factor de caída	2	1.9	1.1	4
Fuerza de choque piezas metálicas del escalador	<b>8kN</b>	<b>7.5kN</b>	<b>5kN</b>	<b>16kN</b>
Fuerza de choque piezas metálicas del anclaje	<b>8kN</b>	<b>14.5kN</b>	<b>12kN</b>	<b>16kN</b>

Como podemos apreciar, en el caso A el escalador cae 10 metros (m) habiendo una longitud de cuerda de 5 m, por lo que se obtiene un factor de caída de 2 con una fuerza de choque de 8 kN. El supuesto B, la diferencia radica en que el asegurador dispone de 0.2 m de cuerda hasta el anclaje de la reunión, por lo que la longitud de cuerda se situaría en 5.2 m, reduciendo así con la misma longitud de caída, a 1.9 el factor. En el caso C, el asegurador se sitúa debajo, por lo que el escalador cae 10 m, pero la longitud de cuerda ahora es de 9 m, reduciéndose el factor de caída a 1.1 y sufriendo el escalador una fuerza de choque de 5kN. El factor más duro ocurre en las vías ferratas, pues la caída suele ser de 3 m más la longitud del disipador (1 m), por lo que la fuerza de choque sobre el deportista se sitúa en 16 kN.

### Test de rotura de piezas metálicas

El Comité Europeo de Normalización especifica que los materiales, como por ejemplo los mosquetones, deben resistir un mínimo de kN, regulado por la normativa EN 12275. Estas piezas deben soportar al menos 20 kN de carga longitudinal con el gatillo cerrado. Esta cifra se basa en el límite de 12 kN impuesto sobre las cuerdas de escalada. El Comité Europeo de Normalización exige una resistencia mínima con el gatillo abierto de 7 kN, aunque ya algunos de las nuevas versiones de mosquetones soportan hasta más de 10 kN con el gatillo abierto. Los mosquetones también se someten a una carga transversal de al menos 7 kN en los test de resistencia.

Como explican Schubert y Stückl (2007), en cada test se aplica una carga, que se aumenta en una proporción controlada hasta que algo cede, a menudo de forma explosiva. La carga está sujeta por dos tornillos de acero engrasados de 12 mm, que se van separando progresivamente hasta romper (ver Figura 2).

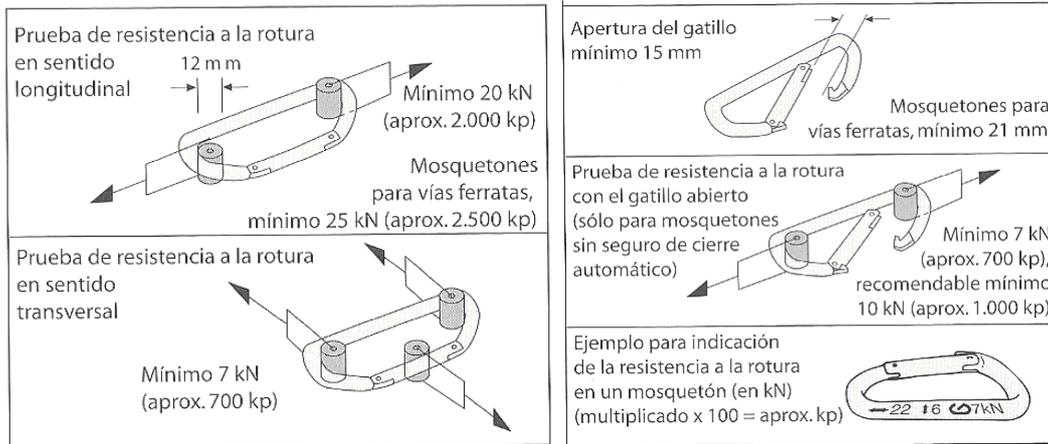


Figura 2. Test de rotura de mosquetones (Schubert y Stückl, 2007, p.85).

Es destacable, además, que el perfil transversal de los mosquetones y de otras piezas metálicas, incluidos los ángulos donde se apoya la cuerda, no están contemplados en la normativa. Si antes lo habitual era un grosor de aluminio de 8 a 10 mm, ahora van apareciendo en el mercado ciertos modelos con un grosor de tan solo 6 mm. Estos grosores tan finos en descensores o mosquetones están conllevando polémica, puesto que las pruebas de certificación para cuerdas se están realizando sobre un reenvío cilíndrico de 10 mm de diámetro.

En el caso de los descensores, y tal y como recogen Marbach y Torute (2003), según sus características pueden no estar sujetos a ninguna norma obligatoria. Por ejemplo, si disponen de capacidad autobloqueante deberían respetar la norma EN 341, que hace referencia a dispositivos de descenso para salvamento con esta capacidad. Existen varios modelos de descensores, y muchos de ellos con ciertas ventajas de usos y ciertos inconvenientes, como más adelante veremos. Nosotros, concretamente, nos vamos a situar en los descensores sin capacidad bloqueante, que no exigen el cumplimiento de ninguna normativa U.I.A.A. o C.E., intentando solventar los inconvenientes de algunos aparatos ya existentes como el *descensor en ocho*. Por ello, el objetivo principal del presente trabajo es explicar el análisis realizado para diseñar y crear un nuevo descensor, con capacidad de soportar un mínimo de 12 kN en su eje longitudinal (que sería el máximo soportado por una cuerda, tal y como se indicó anteriormente) y que ofrezca más ventajas en su uso que el citado descensor en *ocho*. Este nuevo diseño, está enfocado para diferentes deportes y actividades de montaña, estando más destinado al descenso de barrancos y rapel, y pudiéndose utilizar en escalada y espeleología.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

A continuación se detalla cómo se ha llevado a cabo el diseño y patentado de un nuevo material de escalada, fabricado en una aleación de aluminio. La idea de esta innovación surgió debido a la necesidad de crear un nuevo descensor para cuerda, con utilidades parecidas conocido *ocho*, pero

con una mayor versatilidad. El *ocho* es un descensor con esa forma, por el cual la cuerda pasa a través de él infringiendo un rozamiento que ayuda al escalador a descender por ella (Figura 3).



**Figura 3.** Descensor en *ocho* y su posición en técnicas de descenso.

El *ocho* es una pieza metálica de aluminio y se puede considerar como el descensor más vendido en el mundo. Es barato, versátil y con muchas posibilidades, aunque también algunos inconvenientes, como por ejemplo:

- Para introducir la cuerda por él es necesario sacar el aparato del mosquetón, lo que conlleva posibilidades de pérdida y caída.
- No es un aparato válido cuando la persona que desciende ejerce mucha fuerza hacia la dirección de la caída (por llevar una mochila con material pesado, un herido o incluso el agua de una cascada a varios metros que cae encima del deportista). En este caso, el rozamiento de este aparato no sería suficiente.
- Debido a que el rozamiento es pequeño, tampoco está aconsejado para grande rapeles.
- Presenta algunos inconvenientes para el montaje de cabeceras de rapeles.

A partir de estas necesidades, las cuales ya han ocasionado muchas caídas y muertes de deportistas a lo largo de la historia, creímos conveniente mejorarlo con una nueva innovación, que pasamos a describir.

## 2.1. Diseño del material

Con el fin de solventar estos problemas, se creyó conveniente crear un "*oreja*" más al descensor en *ocho*, con una angulación de  $102^\circ$  calculada según el grado de obtenido en laboratorio para la posición desembragable estándar con dos ochos. Entre las nuevas utilidades del diseño de utilidad, podemos destacar que:

- Es posible instalar un bloqueador, tipo Shunt de la marca Petzl.
- Ofrecer una graduación en el rozamiento del descenso, aumentando su intensidad según la posición de la cuerda por la nueva *oreja*.
- Se puede utilizar como un ocho normal, pero con la peculiaridad de no tener que sacarlo del mosquetón para introducir la cuerda, con lo cual, se evita que se pueda perder por caída.

- Además, tiene la forma idónea para el montaje desembragable (el método más seguro) de cabeceras en descenso de barrancos, uno de los deportes más practicados en todo el mundo.

A partir de este momento, se realizó el siguiente diseño, en tres tamaños diferentes, para que varios expertos pudieran dar su opinión sobre el más idóneo (Figura 4). Una de las premisas a tener en cuenta en el diseño, era el diámetro interior de las circunferencias, ya que la circunferencia mayor, debía tener el tamaño necesario para rapelar en doble con cuerdas como máximo de 12 mm, y las circunferencias pequeñas, lo suficiente para poder introducir una cuerda simple de 12 mm como máximo en rozamiento con un mosquetón.

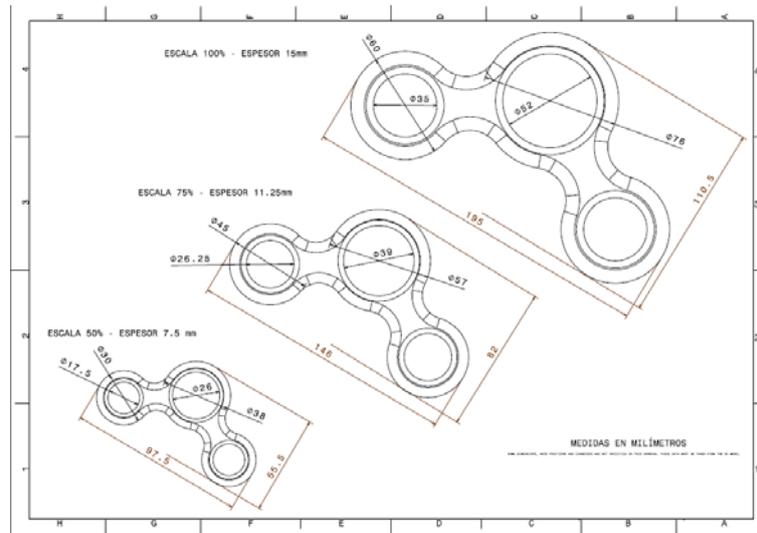


Figura 4. Diseño a diferentes escalas del nuevo descensor.

## 2.2. Entrevistas a expertos

Una vez diseñada la forma, se procedió a realizar cinco entrevistas con profesionales de la materia. En primer lugar, se realizó un esbozo de entrevista estructurada, puesto que se planteó una guía de preguntas específicas previamente establecidas (Colas y Buendía, 1994). Posteriormente, para optimizar el contenido de la entrevista, tanto del punto de vista científico como del argot empleado, se discutieron las preguntas en colaboración con dos expertos escaladores ajenos a los entrevistados, hasta confeccionar el guión final.

En relación al procedimiento, tres de las entrevistas se llevaron a cabo con probadores profesionales de diversas marcas de material deportivo de escalada a nivel mundial, para tener en cuenta sus opiniones y versiones sobre las posibles utilidades del aparato. Las mismas se realizaron entre los meses de enero y junio de 2010, de manera que cada experto no conocía de antemano el motivo de la entrevista (para evitar posibles sesgos) ni tenía constancia que otros expertos serían preguntados. Cada entrevista duró entre 50 minutos y una hora, y fueron grabadas en privacidad. Durante ese tiempo,

cada experto pudo tener en sus manos los planos (Figura 4), un descensor en ocho y una cuerda de escalada. Durante los siguientes 15 minutos, se le preguntó al experto sobre las utilidades y los inconvenientes del descensor en *ocho*. Posteriormente, se le presentó el prototipo del modelo nuevo a escala 1:1 (en relación con las dimensiones reales del *ocho*) y sus utilidades, para que pudiera comparar y dar su opinión sobre las posibilidades reales del aparato. Todos los comentarios fueron recogidos en un cuaderno de notas y posteriormente transcritas *verbatim fielmente* (Morse, 2007), para las futuras revisiones.

Una vez abalado por los expertos en la materia, se procedió a realizar las otras dos entrevistas a deportistas de alto nivel. La primera se llevó a cabo con un deportista de alto rendimiento en escalada en el mes de julio de 2010, con una duración de 1 hora. A este experto se le presentó el material, sus utilidades, y se le dejó la referida muestra de escala 1:1 durante dos semanas para su utilización. Al finalizar el período de prueba, se realizó otra entrevista personal durante una hora y media, donde nos ofreció la información que había obtenido durante su uso en los quince días.

La última entrevista se realizó en el mes de agosto, con un bombero experimentado en alta montaña. Se trata de un experto en escalada y alpinismo, contando con ascensiones al Everest o Mont Blanc, entre otras. El procedimiento seguido fue similar a la entrevista anterior del escalador experto.

### 2.3. Registro en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial

Obtenidas todas las opiniones, y valoradas las sugerencias, se volvió a rediseñar la forma del nuevo descensor, quedando de la siguiente manera y decidiéndose por una escala del 85%, respecto a la escala 1:1, con medidas similares al descensor en *ocho*, pues los resultados de las diferentes simulaciones así lo recomendaron.



Figura 5. Forma final del descensor.

Se procedió a registrar el material a través de la concesión de un Modelo de Utilidad [nº 201000147(8)], concedido y publicado en el Boletín Oficial de la Propiedad Industrial, de 4 de agosto de 2010.

## 2.4. Tipo de metal y procedimiento de simulación

El siguiente paso en la elaboración de esta innovación, consistió en realizar simulaciones por ordenador, con diferentes materiales, para intentar ver las propiedades más adecuadas según nuestras necesidades y las especificadas por los expertos. Una vez analizadas las diferentes posibilidades de metales, se decidió utilizar el Aluminio 7075 T6. Este material ha sido muy utilizado en la industria aeroespacial (Badía, Antoranz, Tarin, Simón y Piris, 2004; Gil, Jiménez, Castro, Puchi-Cabrera y Staia, 2008) debido a su gran resistencia mecánica y su bajo peso, y el cual presenta las siguientes características (Tablas 2, 3, 4).

**Tabla 2.** Características del Aluminio 7075 T6.

Material	Módulo de Young (GPa)	Coefficiente de Poisson	Densidad	Rendimiento	Coefficiente de expansión térmica
ALUMINIO 7075 T6	72	0,35	2,8 g_cm3	480MPa	2,36e-005_Kdeg

**Tabla 3.** Composición química del Aluminio 7075 T6.

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min	0,40	0,50	1,20	0,30	2,10	0,18	5,10	0,20	Zr +	0,15
Max			2,00		2,90	0,28	6,10	Ti		Resto
								0,25		

**Tabla 4.** Propiedades mecánicas del Aluminio 7075 T6.

Estado	Carga de rotura Rm N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento 5.65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm <sup>2</sup>	Dureza	
					Brinell (HB)	Vickers
0	280	150	10	-	-	-
T6	540	480	11	330	145	157

En primer lugar reseñar que, una vez seleccionado el material por sus propiedades, se trabajó con el programa Catia V5 desarrollado por Dassault Systems y distribuido por IBM, por ser el programa más utilizado en la concepción y diseño de nuevos productos. Según Fernández (2005), este software permite diseñar una pieza metálica en tres dimensiones, definir interactivamente las operaciones de mecanizado a realizar sobre el stock inicial, y generar un programa de control numérico en lenguaje APT (Automatically Programmed Tooling; es decir, lenguaje de alto nivel para la definición de operaciones de mecanizado en control numérico). Además, este software es un programa de diseño integral, que abarca el CAD/CAM/CAE/KBE/PDM (Diseño/Mecanizado/Cálculo de Elementos Finitos/Gestión del conocimiento/Gestión del producto), permitiéndonos realizar las simulaciones necesarias.

## 2.5. Comparación con otros descensores

Para poder realizar comparaciones con otros descensores existentes, se ha realizado una prueba de rozamiento en la Torre de Maniobras de Técnicas Verticales del Parque de Bomberos Sur de Granada (España) (Figura 6), comparando nuestra invención con otros descensores de su gama, como el *ocho normal* y el más parecido a nuestra invención, el *SFD8*. Esta prueba ha consistido en realizar 10 caídas libres de un peso de 80 kg hasta los 2 m con cada uno de los aparatos, para poder realizar tras estudiar la cinemática y dinámica, la media de cada aparato. Este procedimiento, ha sido grabado con una Cámara Digital Casio High Speed Exilim EX-FH20, 40fps continuous shooting, para poder calcular la velocidad de caída en cada fotograma.



**Figura 6.** Prueba de rozamiento del descenso en ocho (izq.) y de la innovación (dcha.)

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con respecto a los resultados obtenidos en las entrevistas, los tres expertos primeros mostraron su sorpresa e interés (**Experto 2**, “*Me parece muy atractiva la forma, tendría que probarlo, pero a simple vista parece tener muchas utilidades*”) por el nuevo producto, puesto que solventaba los problemas que el descensor en ocho presenta normalmente.

**Experto 1:** “*Sí, sí, sí, efectivamente, si introducimos la cuerda por el aro grande y lo pasamos por la otra oreja, no tendríamos obligatoriamente que desengancharnos en el descenso, lo cual es una utilidad muy interesante*”.

**Experto 2:** “*Bien, es posible que tal y como puedo ver en las utilidades que me planteas, efectivamente estaría bien diseñado para una cabecera en rapel desembragable, algo que el ocho normal dificulta*”.

**Experto 3:** “*Mi duda surge cuando quiera darle más rozamiento, porque con el ocho normal debes realizar una técnicas que no sé si conoces, que se llama Vertaco; en cambio, con este aparato queda claro que puedes poner y quitar rozamiento durante el descenso, sin tener que desmontar el descensor. Me parece muy buena idea*”.

Además, los cinco expertos coincidieron al sugerirnos la fabricación del aparato a una escala menor del tamaño original que les habíamos proporcionado (escala 1:1, de la Figura 4). A esto hay que añadirle, que los dos últimos creyeron ideal reducir el peso del aparato (**Experto 5:** “*En nuestro trabajo, al igual que en escalada y alpinismo, es fundamental reducir el peso. Muchas empresas incluso cambian un pequeño tornillo del mosquetón de aluminio por otro de titanio por ser menos pesado y perder unos gramos en el peso. ¡Imagínate que importante es el peso cuando arrastras 100 mosquetones en una pared de 500 m! Yo te recomendaría, por tanto, que hicieras el aparato un poco más pequeño. Si consigues hacer un diseño donde la resistencia de rotura esté por encima de los 12 kN con un diámetro de los aros y tamaño menor, donde también el peso sea menor a esté que tengo, sería un gran avance, que merece mucho su atención*”); por lo cual, al reducirlo en tamaño deberíamos reducir el peso. Así, la forma decisiva seleccionada por los expertos y los creadores de esta innovación, fue a escala 85% del modelo 1:1 y con un grosor de aluminio 7075 T6 de 12.75 mm. Con este grosor, se consiguió el peso mínimo con la máxima resistencia requerida en nuestro diseño.

Los tres primeros expertos coincidieron en sugerir el diseño del  *cuello* de cada  *oreja* con un  *tamaño menor* de la escala proporcionada, de manera que de nuevo se reduciría el peso y seguiría siendo igual de válido. Un ejemplo claro se da en el descensor *SFD8*, recientemente creado.

Asimismo, de manera unánime, los cinco concluyeron en disminuir el tamaño de los  *círculos* (orificio de cada  *oreja*), tanto el central como el de los laterales, siempre que se permitiera en el central un diámetro mínimo de 40 mm, lo suficiente para cuerdas dobles de 12 mm.

Para la decisión final de los parámetros de medida, se realizaron diferentes simulaciones de deformación, aplicando las fuerzas que se especifican en la Tabla 5:

**Tabla 5.** Valores del método directo de computación.

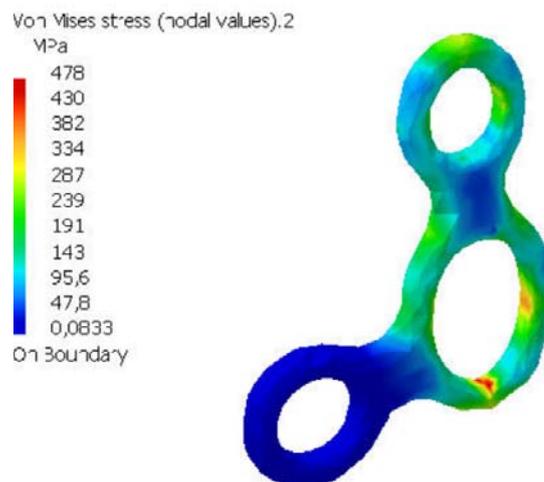
Componentes	Aplicación de las fuerzas	Reacción	Residuos	Magnitud relativa de error
Fx (N)	-2.3842e-007	2.3760e-007	-8.2241e-010	3.3246e-0
Fy (N)	<b>1.8000e+004*</b>	-1.8000e+004	5.3697e-009	2.1707e-0
Fz (N)	-4.0531e-006	4.0528e-006	-3.2958e-010	1.3323e-0
Mx (Nxm)	-1.1475e+002	1.1475e+002	-4.0245e-011	1.3317e-0
My (Nxm)	2.8355e-008	2.8354e-008	-5.6457e-013	1.8681e-0
Mz (Nxm)	4.1057e-008	-4.0934e-008	1.2300e-010	4.0700e-0

La simulación ofreció ciertas deformidades (ver Figura 7), que no roturas, por lo cual, se decidió realizar otras pruebas hasta calcular los valores máximos de resistencia.



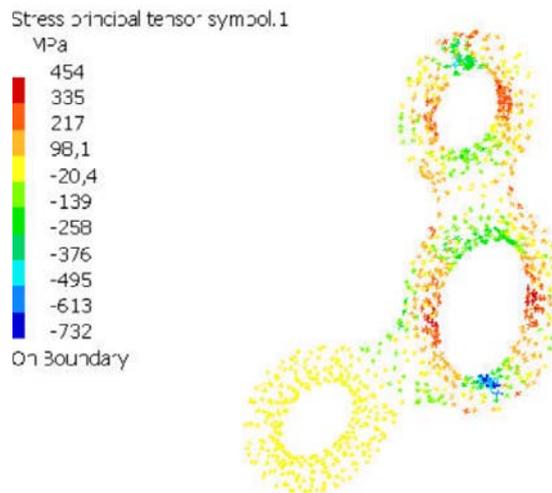
**Figura 7.** Deformación de la pieza metálica por simulación.

Gracias a la simulación (Figura 8) pudimos ir ajustando la forma de la pieza para que cumpliera su función además de que resistiera sin ningún problema los 18 kN, sin llegar al límite elástico del material y por tanto no dejando ninguna deformación residual. Como podemos apreciar, el límite elástico es de 478 MPa, para el Aluminio 7075 en estado T6.



**Figura 8.** Distribución de la tensión Von Misses.

Por último, se observaron los desplazamientos sufridos durante el esfuerzo (Figura 9). La máxima compresión se daría en los laterales de las circunferencias por donde discurre la cuerda en el rapel, mientras que las fuerzas del aro de anclaje del mosquetón, se situarían en los límites permitidos, volviendo a su estado inicial al dejar de aplicar dicho esfuerzo.



**Figura 9.** Compresión y/o extensión tras aplicación de la fuerza.

Cierto es que en la fabricación de algunos de estos materiales se sigue utilizando el acero, como ocurre en los mosquetones simétricos para espeleología, las poleas de tirolinas, los polipastos, etc. Actualmente, se están trabajando en diversos campos industriales, con varios tipos de acero buscando la posibilidad de conseguir el máximo rendimiento y prestaciones al mínimo coste de producción (Campos, Blanco, Sicre-Artalejo, Torralba, 2008).

En la bibliografía internacional existen trabajos relacionados con la seguridad en la escalada (Smith, 1998; Pavier, 1998), con la resistencia de otros materiales, como los mosquetones (Jackson, 2008), nudos (Brown, 2008; Diamond, 2007), empotradores y sistema de fijación (Vogwell & Minguez, 2007), etc. Pero no existen investigaciones en torno a los sistemas y aparatos de descenso, siendo posiblemente la técnica más utilizada en estas prácticas deportivas. Además, las variables que pueden influir en el descenso, como son el tipo de descensor, tipo de cuerda, metros de descenso, etc., pueden ser condicionantes en el riesgo que una persona puede sufrir y, por tanto, ocasionar un accidente mortal.

En relación al experimento de comparación del nuevo modelo de utilidad con los descensores de su gama, podemos ver claramente en la Figura 10, el aumento del rozamiento al disminuir la velocidad de caída en la nueva invención. Es interesante ver cómo el descensor que menor rozamiento aplica es el *SFD8*, posiblemente debido al grosor de su sección. En cambio, el descensor en ocho normal, tiene una sección aproximada de 13mm, lo que conlleva un aumento del rozamiento con respecto al anterior. Ambos aparatos, no permiten usar otra posibilidad de rozamiento como ocurre con el nuevo modelo, pues al poder redireccionar la cuerda de frenado, mejora el rozamiento aumentándolo con respecto a los aparatos de su gama (ver Figura 6).

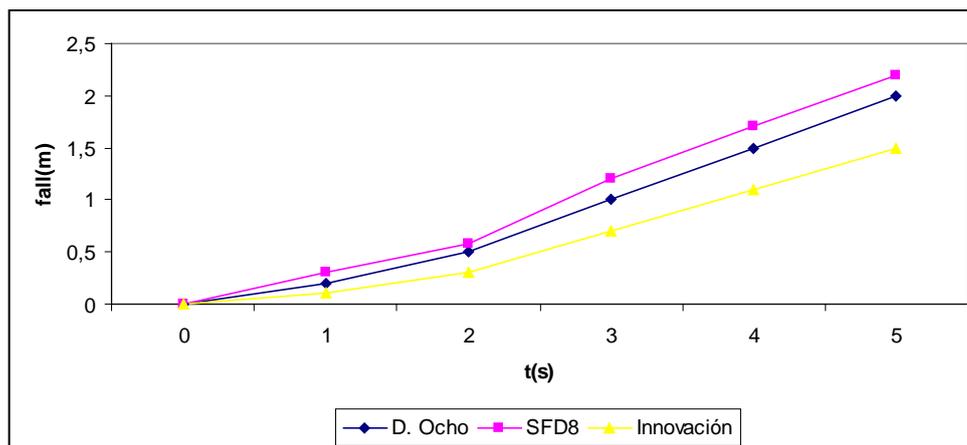


Figura 10. Diferencia de caída de un peso de 80kgs según el descensor utilizado.

#### 4. CONCLUSIONES

Podemos concluir afirmando que el nuevo descensor soportaría en su sección longitudinal hasta 18 kN de tracción. Esto supone un valor importante, ya que en estos deportes, los valores en esta sección para un descensor en ocho sería casi imposible que se diesen, por lo que estaríamos aportando una máxima seguridad. De hecho, observando el rozamiento de la cuerda en la Figura 3, podemos apreciar como en el eje longitudinal sería imposible sufrir tanta fuerza, pues los cálculos de test de otros materiales se realizan con un peso normal de una persona (80 kg) con una cuerda que no permanece estática, sino que realiza un rozamiento continuo sobre el cuello. Así, el nuevo diseño nos ofrece un margen de seguridad excelente.

Los datos de la compresión y extensión son muy fiables, pues el mayor rozamiento se daría en el *cuello* del aparato, y éste no sufre ninguna modificación. Si se quiere mejorar su resistencia longitudinal habría que aumentar el grosor de la sección transversal de los puntos más débiles.

En relación a otros descensores, esta innovación presenta un peso (168 gr) menor a otros descensores, como el *Rack* (470 gr), el *Stop* (300 gr) o el *Gri-Gri* (225 gr), siendo incluso menos voluminoso que el *SFD8* o el *Hopf*. Además, solventaría ciertas deficiencias de otros descensores como ya hemos comentado, pudiéndose utilizar para una cuerda e incluso para dos, algo que no es posible con otros aparatos como el *Gri-gri*, el *Stop* o el *Piraña*.

Otras de las conclusiones interesantes a destacar es que la inclusión de una segunda oreja permite que se pueda pasar la cuerda por el aparato para descender sin necesidad que sacar éste del mosquetón de seguridad -pues permanece anclado al mosquetón por la oreja añadida-, como suele ocurrir con la mayoría de los descensores. De esta forma, evitamos su posible pérdida por caída. Esto es especialmente interesante para las empresas de turismo activo de todo el mundo, puesto que mucho material y, por tanto, dinero, se pierde

debido a la inexperiencia de los turistas al perderlos, como por ejemplo suele ocurrir en el descenso de barrancos. En el caso de deportistas experimentados, ahorramos en tener que utilizar una cinta express extra (y por tanto el peso y su coste) para realizar ciertas maniobras asegurando el descensor desde el aro grande.

El rozamiento que podemos infringir puede ser variable, con la gran ventaja de poderse realizar las diferentes posiciones durante el descenso (Figura 11), algo que no se puede con otros aparatos, como el *Piraña*. El *Piraña* de la marca Petzl dispone de más posiciones de rozamiento, pero con el inconveniente de tener que elegir y poner la cuerda en la posición que estimas según el rozamiento que se cree necesario antes de descender, sin poder cambiar durante el rapel, si el rozamiento no es el adecuado.



**Figura 11.** Posiciones de máximo rozamiento (izq.) y de rozamiento medio (dcha).

Esta innovación presenta, además, las posibilidades de poderse utilizar como aparato único en la instalación de cabeceras de rapeles, con técnicas innovadoras de descenso de seguridad desembragable (Figura 12), no apto para todos los aparatos.



**Figura 12.** Rapel doble desembragable.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Badía, J.M.; Antoranz, J.M.; Tarin, P.; Simón, A.G. y Piris, N.M. (2004). Influencia del medio ensayo y dirección de aplicación de la carga en el comportamiento a corrosión bajo tensiones de la aleación de aluminio 7075. *Revista de Metalurgia*, 40, 436-441.
- Brown, A. (2008). *The strength of knots in dynamic climbing rope*. MEng Aero-mechanical Engineering. University of Strathclyde.
- Campos, M.; Blanco, L.; Sicre-Artalejo, J. y Torralba, J.M. (2008). Aceros de baja aleación y alto rendimiento. *Revista de Metalurgia*, 44(1), 5-12.
- Colas, P. y Buendía, L. (1994). *Investigación educativa*. Sevilla: Alfar.
- Creasey, M.; Banks, N.; Gresham, N. y Wood, R.; (2008). *Advanced rock climbing. A step-by-step guide to improving skills*. London: Southwater.
- Diamond, W. (2007). *An assessment of the strength of rope splices and knots in sailing ropes*. MEng Aero-mechanical Engineering. University of Strathclyde.
- España-Romero, V.; Artero, E.G.; Ortega, F.B.; Jiménez-Pavón, D.; Gutiérrez, A.; Castillo, M.J. y Ruiz, J.R. (2009). Aspectos fisiológicos de la escalada deportiva. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 9(35) 264-298 <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista35/artescalada129.htm>
- Fernández, J.C. (2005). *Manual de de Catia V.5*, [en línea]. Ferrol: La Coruña. Disponible en: <http://www.cisgalicia.org> [Consulta: 2010, 22 de Octubre].
- Gil, L.; Jiménez, L.; Castro, A.C.; Puchi-Cabrera, E.S.; Staia, M.H. (2008). Evaluation of the effect of Ni-P coating on the corrosion resistance of the aluminium 7075 T6 alloy. *Revista de Metalurgia*, 44(1), 66-73.
- Giles, L.V, Rhodes, E.C, Taunton, J.E. (2006). The physiology of rock climbing. *Sports Medicine*, 36, 529-45.
- Jackson, N. (2008). *Dynamic testing of climbing karabiners*. MEng Aero-mechanical Engineering. University of Strathclyde.
- Long, J. (1997). *Advanced Rock Climbing*. Chockstone Press, Evergreen.
- Luebben, C. (2007). *Rock climbing anchors. A comprehensive guide*. Seattle: The mountaineers books.
- Marbach, G. y Tourte, B. (2003). *Techniques de la spéléologie alpine*. Pont-en-Royans: Expé.
- Morse, J. (2003). *Asuntos críticos en los métodos de investigación cualitativos*. Medellín, Colombia: Universidad de Antioquia.
- Pavier, M. (1998). Experimental and theoretical simulations of climbing falls. *Journal of Sports Engineering*, 1, 79-91.
- Peter, A. y Peter, I. (1990). *The Handbook of Climbing*. Pelham Books, London.
- Randelzhofer, P. (1997). Derzeit u" bliche Sicherungsgera"te und ihre Wirksamkeit. *Mitteilungen des Deutschen Alpenvereins* 3, 259.
- Schad, R. (2000). Analysis of climbing accidents. *Accident Analysis and Prevention*, 32(3), 391-396.
- Schubert, P. y Stückl, P. (2007). *Sicherheit am Berg. Alpin-Lehrplan Band*. München: BLV Verlagsgesellschaft mbH

- Sheel, A.W. (2004) Physiology of sport rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 38, 355-9.
- Smith, R. (1998). The development of equipment to reduce risk in rock climbing. *Journal of Sports Engineering*, 1, 27-39.
- Toledano, M.; Arenas, M.A.; Galánm J.J.; Ramirez, L.; Borja, S.M.; Conde, A.; Monsalve, A.; (2010). Resistencia a fatiga de la aleación de aluminio 7075-t6 en función del tipo de ensayo y espesor del recubrimiento. *XXVII Iberian Conference on Fracture and Structural Integrity*. Porto: Portugal.
- Unión Internacional de Asociaciones de Alpinismo. *Safety standars*, [en línea]. Disponible en: [http://www.theuiaa.org/act\\_risk\\_management.html](http://www.theuiaa.org/act_risk_management.html) [Consulta: 2010, 22 de Octubre].
- Vogwell, J. y Mínguez, J.M. (2007). Wire cable failures in climbing anchors chocks. *Key Engineering Materials*, (348-349), 165-168.
- Watts, P.B. (2004). Physiology of difficult rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 91,361-72

**Referencias totales / Total references:** 26 (100%)

**Referencias propias de la revista / Journal's own references:** 1 (3,84%)