



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA MECÁNICA – DISEÑO MECANICO

**PROPUESTA DE DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN SISTEMA DE  
BLOQUEO DE CUERDAS**

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA MECÁNICA

PRESENTA:  
ING.MAURO ULISES GARCÍA ROJO

TUTOR PRINCIPAL:  
DR. LEOPOLDO ADRIÁN GONZÁLEZ GONZÁLEZ  
FACULTAD DE INGENIERIA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2018



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## **JURADO ASIGNADO**

Presidente: Dr. Borja Ramírez Vicente  
Secretario: Dr. Espinosa Bautista Adrián  
Vocal: Dr. González González Leopoldo A.  
1<sup>er</sup> suplente: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.  
2<sup>do</sup> suplente: Dr. Rocha Cózatl Edmundo Gabriel

Lugar donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, CDMX.

TUTOR DE TESIS:

Dr. Leopoldo Adrián González González

---

Firma

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por la oportunidad de vivir una gran experiencia, que me permitió crecer tanto personal como profesionalmente.

Gracias a mis padres, Laura y Joel, quienes me han guiado a lo largo de mi vida; por apoyarme en cada proyecto, por cada sabio consejo y estar a mi lado en cada paso.

Gracias a mis hermanos, Mario y Ernesto, quienes me motivan a darlo todo de mí para brindarles el mejor ejemplo a seguir.

A mi compañera de aventuras, Elsa, por todo su apoyo, por su fe en mí, por su paciencia, por estar a mi lado en las buenas y en las malas.

Le agradezco a mi tutor, Dr. Leopoldo, por la confianza, dedicación y guía en la elaboración de este proyecto.

Le agradezco a mis profesores y compañeros por compartir sus conocimientos y su amistad.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>19</b>
1.1 Introducción.....	19
1.2 Justificación.....	20
1.3 Objetivo.....	20
1.4 Alcances.....	20
1.5 Metodología.....	20
1.6 Antecedentes.....	21
1.6.1 Montañismo.....	22
1.6.2 Trabajo vertical.....	23
1.6.2.1 Equipo usado en trabajos verticales.....	23
1.6.3 Rescate en altura.....	24
1.6.3.1 Desbloqueo por contrapeso.....	25
1.6.3.2 Desbloqueo mediante polipasto.....	26
1.6.3.3 Desbloqueo mediante corte de cuerda.....	26
1.6.4 Espeleología.....	27
1.7 Cuerdas.....	28
1.7.1 Materiales utilizados en la fabricación.....	29

1.7.2 Fabricación de cuerdas.....	29
1.7.2.1 Torcida o enroscada.....	29
1.7.2.2 Trenzadas.....	30
1.7.2.3 Camisa – alma (kernmantle).....	30
1.7.3 Características y limitaciones.....	31
1.7.3.1 Elongación.....	31
1.7.3.2 Peso por unidad de longitud.....	32
1.7.3.3 Diámetro.....	32
1.7.3.4 Longitud.....	33
1.7.3.5 Color.....	33
1.7.3.6 Resistencia estática o punto de quiebre.....	33
1.7.3.7 Resistencia a la abrasión.....	33
1.7.3.8 Fuerza de choque.....	34
1.7.3.9 Número de caídas.....	34
1.8 Factor de caída.....	34
1.9 Descensores, bloqueadores y poleas.....	35
1.9.1 Descensores.....	35
1.9.2 Bloqueadores.....	36
1.9.3 Poleas.....	37

1.10 Normativas.....	38
1.10.1 Norma DIN 33 402 segunda parte.....	39
1.10.2 Norma EN 12841.....	41
1.10.2.1 Dispositivos de tipo A.....	41
1.10.2.2 Dispositivos de tipo B.....	41
1.10.2.3 Dispositivos de tipo C.....	41
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>42</b>
2.1 Búsqueda de información.....	42
2.1.1 Estado del arte.....	42
2.1.2 Patentes.....	47
2.2 Funcionamiento de dispositivos comerciales.....	56
2.2.1 Descomposición funcional de sistemas comerciales.....	62
2.3 Análisis de sistemas de dispositivos comerciales.....	65
2.3.1 Comparativo de sistemas utilizados en dispositivos comerciales.....	71
2.3.2 Matriz morfológica.....	72
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>73</b>
3.1 Generación de conceptos.....	73
3.1.1 Radar de innovación triz.....	73
3.1.2 Requerimientos y especificaciones.....	79

3.1.3 Diagrama de caja negra.....	80
3.1.4 Sistemas propuestos para el dispositivo.....	80
3.1.5 Diagrama de sistemas propuesto.....	81
3.1.6 Matriz de alternativas comerciales y sugeridas.....	81
3.2 Selección de conceptos.....	82
3.2.1 Requerimientos y su importancia.....	82
3.2.2 Factor de peso.....	83
3.2.3 Matriz de decisión.....	85
3.3 Propuestas de configuración.....	87
3.3.1 Primera propuesta de configuración.....	89
3.3.2 Segunda propuesta de configuración.....	91
3.3.3 Acercamiento con usuarios.....	93
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>96</b>
4.1 Diseño de detalle.....	96
4.2 Configuración.....	96
4.2.1 Sistemas.....	97
4.3 Descripción de sistemas.....	99
4.3.1 Sistema de bloqueo-desbloqueo.....	99
4.3.2 Sistema de evacuación de residuos.....	100



4.3.3 Sistema de posicionamiento.....	101
4.3.4 Sistema estructural.....	102
4.3.5 Sistema de interfaz con el usuario.....	103
4.3.6 Sistema de bloqueo de leva.....	104
4.4 Diseño de los sistemas.....	105
4.4.1 Calculo de fuerzas y factor de seguridad.....	106
4.4.2 Selección de materiales.....	107
4.4.3 Análisis por elementos finitos.....	109
4.4.3.1 Análisis del sistema de bloqueo-desbloqueo.....	109
4.4.3.2 Análisis del sistema estructural.....	115
4.4.3.3 Análisis del sistema de sujeción.....	117
4.4.4 Análisis de fatiga a los ejes.....	118
4.4.5 Selección de resorte helicoidal de torsión para el sistema de posicionamiento.....	123
<b>CAPÍTULO 5.....</b>	<b>128</b>
5.1 Pruebas y refinamiento.....	128
5.1.1 Prueba 1.....	128
5.1.1.1 Observaciones prueba 1.....	131
5.1.2 Prueba 2.....	132
5.2 Propuesta del sistema de bloqueo de cuerdas.....	136

---

5.3 Conclusiones.....	137
5.4 Trabajo a futuro.....	140
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO A.....</b>	<b>144</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>146</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Aseguradores.....	43
Tabla 2.2 Ascensores.....	44
Tabla 2.3 Descendedores.....	44
Tabla 2.4 Poleas.....	46
Tabla 2.5 Comparativa de características.....	47
Tabla 2.6 Comparativa de sistemas en dispositivos comerciales.....	71
Tabla 2.7 Comparativa de sistemas en dispositivos comerciales 2.....	71
Tabla 2.8 Matriz morfológica de sistemas comerciales.....	72
Tabla 3.1 Requerimientos y especificaciones.....	80
Tabla 3.2 Matriz de alternativas comerciales y propuestas.....	82
Tabla 3.3 Requerimientos y su importancia.....	83
Tabla 3.4 Factor de peso para el sistema de interfaz de usuario.....	83
Tabla 3.5 Factor de peso para el sistema de bloqueo.....	84
Tabla 3.6 Factor de peso para el sistema de posicionamiento.....	84
Tabla 3.7 Factor de peso para el sistema estructural.....	84
Tabla 3.8 Matriz de decisión para el sistema de interfaz de usuario.....	85
Tabla 3.9 Matriz de decisión para el sistema de bloqueo.....	86

---

Tabla 3.10 Matriz de decisión para el sistema de posicionamiento.....	86
Tabla 3.11 Matriz de decisión para el sistema estructural.....	87
Tabla 4.1 Valores para a y b para diferentes diámetros y materiales de alambre.....	125
Tabla 4.2 Selección de resorte.....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Metodología propuesta para el diseño y manufactura de un sistema de bloqueo de cuerdas.....	21
Figura 1.2 Equipo utilizado en rescate vertical.....	25
Figura 1.3 Espeleología en cavidades subterráneas.....	28
Figura 1.4 Cuerda torcida.....	29
Figura 1.5 Cuerda trenzada.....	30
Figura 1.6 Factor de caída.....	35
Figura 1.7 Descensores simples.....	36
Figura 1.8 Descensores auto-bloqueantes.....	36
Figura 1.9 Bloqueadores.....	37
Figura 1.10 Poleas.....	38
Figura 1.11 Dimensiones ancho dedos de la mano.....	39
Figura 1.12 Dimensiones ancho de dedo pulgar y grosor de mano.....	40
Figura 1.13 Dimensiones ancho de mano.....	40
Figura 2.1 Bloqueador de pie.....	48
Figura 2.2 Dispositivo ascendente con leva.....	49
Figura 2.3 Aparato de escalada.....	49
Figura 2.4 Bloqueador/ascensor.....	50

Figura 2.5 Descensor auto-bloqueo.....	51
Figura 2.6 Aparato compacto para descender.....	52
Figura 2.7 Dispositivo fallarest.....	53
Figura 2.8 Dispositivo para colgar y bloquear cuerdas.....	54
Figura 2.9 Dispositivo de aseguramiento multifuncional.....	55
Figura 2.10 Dispositivo de frenado descendente para subir y bajar la cuerda.....	56
Figura 2.11 Descripción de funcionamiento croll.....	56
Figura 2.12 Descripción de funcionamiento bloqueador de puño.....	57
Figura 2.13 Descripción de funcionamiento bloqueador de pie.....	57
Figura 2.14 Descripción de funcionamiento shunt.....	58
Figura 2.15 Descripción de funcionamiento tibloc.....	58
Figura 2.16 Descripción de funcionamiento basic.....	59
Figura 2.17 Descripción de funcionamiento stop.....	59
Figura 2.18 Descripción de funcionamiento pro traxion.....	60
Figura 2.19 Descripción de funcionamiento descendedor tipo C.....	60
Figura 2.20 Descripción de funcionamiento descendedor druid.....	61
Figura 2.21 Descripción de funcionamiento descendedor rack.....	61
Figura 2.22 Descripción de funcionamiento descendedor rig.....	62
Figura 2.23 Descomposición funcional dispositivos bloqueadores.....	62

Figura 2.24 Descomposición funcional aseguradores.....	63
Figura 2.25 Descomposición funcional de descendedores.....	64
Figura 2.26 Descomposición funcional de poleas.....	64
Figura 2.27 Identificación de sistemas croll.....	66
Figura 2.28 Identificación de sistemas bloqueador de mano.....	66
Figura 2.29 Identificación de sistemas bloqueador de pie.....	67
Figura 2.30 Identificación de sistemas bloqueador shunt.....	67
Figura 2.31 Identificación de sistemas descendedor stop.....	67
Figura 2.32 Identificación de sistemas pro traxion.....	68
Figura 2.33 Identificación de sistemas rig.....	68
Figura 2.34 Identificación de sistemas rack.....	68
Figura 2.35 Identificación de sistemas duck.....	69
Figura 2.36 Identificación de sistemas future hand.....	69
Figura 2.37 Identificación de sistemas druid.....	69
Figura 2.38 Identificación de sistemas axel.....	70
Figura 2.39 Identificación de sistemas autobloqueante tipo C.....	70
Figura 2.40 Identificación de sistemas bloqueador para ascenso y descenso.....	71
Figura 3.1 Radar croll.....	73
Figura 3.2 Radar bloqueador de mano.....	74

Figura 3.3 Radar bloqueador de pie.....	74
Figura 3.4 Radar bloqueador shunt.....	75
Figura 3.5 Radar stop.....	75
Figura 3.6 Radar polea.....	76
Figura 3.7 Radar rig.....	76
Figura 3.8 Radar auto-bloqueante tipo C.....	77
Figura 3.9 Radar ocho.....	77
Figura 3.10 Radar rack.....	78
Figura 3.11 Radar comparativo.....	78
Figura 3.12 Diagrama de caja negra.....	80
Figura 3.13 Diagrama funcional propuesto.....	81
Figura 3.14 Diagrama de primera propuesta de configuración de sistemas.	88
Figura 3.15 Primera propuesta de configuración.....	88
Figura 3.16 Primera propuesta CAD.....	89
Figura 3.17 Manufactura de modelo MDF .....	89
Figura 3.18 Primer modelo MDF.....	90
Figura 3.19 Segunda propuesta CAD .....	91
Figura 3.20 Diagrama de segunda propuesta de configuración de sistemas.	91
Figura 3.21 Segundo modelo MDF.....	92



Figura 3.22 Pruebas de funcionamiento modelo MDF.....	92
Figura 3.23 Dispositivos utilizados en escalada deportiva.....	93
Figura 3.24 Interacción con usuarios.....	93
Figura 3.25 Interacción en actividades de escalada.....	94
Figura 4.1 Diagrama de sistemas que componen el sistema de bloqueo de cuerdas.....	96
Figura 4.2 Modelo CAD 3D del sistema de bloqueo de cuerdas.....	98
Figura 4.3 Modelo CAD 3D SBC vista explosionada con sistemas.....	98
Figura 4.4 Funcionamiento bloqueo para el ascenso.....	99
Figura 4.5 Funcionamiento para bloqueo en descenso.....	100
Figura 4.6 Descripción de sistema evacuación de residuos.....	101
Figura 4.7 Descripción de sistema de posicionamiento.....	101
Figura 4.8 Descripción de sistema estructural.....	102
Figura 4.9 Descripción del sistema de interfaz de usuario.....	103
Figura 4.10 Descripción de sistema de bloqueo de leva.....	104
Figura 4.11 Análisis por elementos finitos de la leva dentada posición 1.....	110
Figura 4.12 Análisis por elementos finitos de la leva dentada posición 2.....	111
Figura 4.13 Análisis por elementos finitos de la leva dentada posición 3.....	111
Figura 4.14 Análisis de leva lisa en posición de ascenso.....	112

Figura 4.15 Análisis por elementos finitos de la leva lisa.....	113
Figura 4.16 Análisis por elemento finito del eje para pinchamiento de la sección de descenso.....	114
Figura 4.17 Análisis por elementos finitos a pared 1 descenso.....	115
Figura 4.18 Análisis por elementos finitos a pared 1 ascenso.....	116
Figura 4.19 Análisis por elementos finitos pared 2.....	116
Figura 4.20 Análisis por elementos finitos a sujeción 1.....	117
Figura 4.21 Gráfica fracción de resistencia.....	122
Figura 4.22 Componentes para calcular las características del resorte.....	124
Figura 5.1 Prototipo de PLA.....	128
Figura 5.2 Colocación de cuerda.....	129
Figura 5.3 Pruebas de funcionamiento en posición de descenso.....	129
Figura 5.4 Pruebas de bloqueo en posición de ascenso.....	130
Figura 5.5 Sistema de posicionamiento.....	130
Figura 5.6 Problema con cople.....	131
Figura 5.7 Problema y solución a obstrucción del cople.....	132
Figura 5.8 Cambio de geometría en sección inferior de la leva lisa.....	133
Figura 5.9 Análisis de leva lisa modificada en posición de descenso.....	133
Figura 5.10 Análisis de leva lisa modificada en posición de ascenso.....	134
Figura 5.11 Prueba 2 de funcionamiento en posición de descenso.....	135

---

Figura 5.12 Prueba 2 de funcionamiento en posición de ascenso.....	135
Figura 5.13 Sistema de bloqueo de cuerdas.....	136
Figura 5.14 Sistema de bloqueo de cuerdas, empuñadura desmontada...	137

## CAPÍTULO 1

### 1.1 Introducción

Las actividades en altura son de suma importancia en diferentes aspectos de la vida humana, desde la escalada como actividad recreativa hasta la realización de trabajos de diferente índole, el riesgo que implica el realizar actividades suspendido a grandes alturas es muy alto; y el uso de dispositivos de seguridad, así como dispositivos de progresión por cuerda, se vuelven fundamentales para quienes asumen este riesgo.

En el presente trabajo se propone el diseño de un sistema de bloqueo de cuerdas que brinde una alternativa novedosa a los usuarios con respecto a los dispositivos que actualmente se encuentran en el mercado. Para realizar el diseño del sistema de bloqueo se propuso una metodología que se conformó tomando en cuenta diferentes enfoques de diseño, los cuales contribuyeron a cumplir con el objetivo planteado.

Se consideró, como parte fundamental, la opinión del usuario para tomar decisiones orientadas a satisfacer sus necesidades de una mejor manera. De igual forma se estudiaron las técnicas empleadas en las diferentes actividades de altura; así como, del perfil de usuario al cual ira dirigido el dispositivo, y cómo influyen los diferentes dispositivos en las actividades que el usuario realiza. Esto ayudo a identificar las características que pueden dar ventaja competitiva al sistema de bloqueo de cuerdas en el mercado, y diversificar su uso; de tal manera que no importa que actividad realice el usuario: rappel, rescate en altura, escalada deportiva, etc., el sistema de bloqueo de cuerdas cuenta con características que pueden ser de utilidad en la mayoría de las actividades en altura.

## **1.2 Justificación**

Actualmente los dispositivos de progresión en cuerda, ya sean para ascenso o descenso, cumplen solo una función, como su nombre lo indica: subir o bajar al usuario o algún objeto como en el caso de las poleas. Sin embargo, el que estos dispositivos estén diseñados para funcionar de esta manera implica que se tengan que adquirir un equipo para cada función, lo que incrementa la inversión y el espacio necesario para el almacenamiento; por lo cual se busca diseñar un dispositivo que pueda servir en diferentes actividades, pudiendo ser usado tanto para ascender como para descender, reduciendo el número de dispositivos necesarios para realizar varias actividades en altura.

## **1.3 Objetivo**

El objetivo de este trabajo es proponer un diseño, así como la manufactura de un sistema de bloqueo de cuerda (SBC), para utilizarse en trabajos verticales y deportes de altura, que sea seguro, sencillo de manipular, que pueda ser un instrumento útil y rápido para maniobras de rescate y auto rescate.

## **1.4 Alcances**

Este trabajo comprende las siguientes actividades: Definición del problema Búsqueda de información, investigación del estado del arte, definición de requerimientos y especificaciones, diseño conceptual, análisis de elementos finitos, selección de materiales, fabricación de prototipos para pruebas funcionales.

## **1.5 Metodología**

La metodología que en el presente trabajo se utiliza se muestra en la figura 1.1, es el resultado del estudio de metodologías presentadas por diferentes autores como

G. Pahl and W. Beitz (2017), K. Ulrich (2013) y Michael French (2007). Tomando diferentes puntos de cada una de ellas, buscando el desarrollo adecuado del dispositivo a diseñar.



Figura 1.1 Metodología propuesta para el diseño y manufactura de un sistema de bloqueo de cuerdas

El uso de diferentes herramientas para el diseño en ingeniería es muy importante; por lo cual, para tener un panorama más completo, así como una mejor propuesta de diseño, se propone utilizar algunos enfoques de diseño que puedan contribuir a la propuesta del dispositivo.

## 1.6 Antecedentes

Los sistemas de bloqueo de cuerdas son dispositivos utilizados en actividades de altura donde estos evitan que el usuario se precipite al suelo, ayuda en el

descenso o al ascenso, así como mantener una posición. Las actividades donde estos dispositivos son utilizados son las siguientes:

### **1.6.1 Montañismo**

El montañismo nace en los Alpes al final del siglo XVIII. Se trata de una disciplina que consiste en realizar ascenso y descenso en las montañas. Es también el conjunto de técnicas, conocimientos y habilidades orientadas a la realización de este objetivo.

El montañismo no es un simple deporte, pues deriva de una antigua actividad exploratoria del ser humano; y como tal cuenta con una historia y tradiciones muy importantes que determinan una ética bien definida. Además, quienes lo practican lo consideran como un verdadero estilo de vida y una forma de experimentar e interpretar el mundo que los rodea. (Montañismo, s.f.)

El montañismo se puede dividir en varias áreas que engloban diversas especialidades; algunas de las cuales se alejan de la definición estricta de ascender montañas, pero que, no obstante, requieren de ese medio natural para su práctica: senderismo (o hiking), excursionismo (a menudo mal llamado trekking, lo cual significa en realidad "caminar durante varios días por lugares remotos") y expediciones, escalada deportiva (y boulder) y escalada en hielo. Asimismo, existen variantes deportivas, como el duatlón en montaña, media maratón de montaña y maratón de montaña, barranquismo, esquí de montaña (también llamado esquí de travesía o esquí-alpinismo) y bicicleta de montaña.

El término montañismo muchas veces se entiende como el deporte practicado en la alta montaña, es decir, el montañismo de altura. Así, a quien asciende a las montañas, se le dice "montañista" o "montaño" y no a quien solo practica una de las especialidades mencionadas. También cuando se habla de un curso o manual

de montañismo, se enfoca al excursionismo por las montañas y no a toda la gama de especialidades que se mencionan. (Montañismo, s.f.)

## **1.6.2 Trabajo vertical**

Las técnicas de trabajo seguro en alturas, o trabajo en cuerda, están asociadas a las técnicas del alpinismo desarrolladas en Europa, y trasladadas a los ambientes urbano e industrial. Estas técnicas permiten hoy en día desempeñar labores en lugares de difícil acceso, aumentando el grado de seguridad y eliminando accidentes derivados de caídas. Es por esto que desde mediados del siglo XX las necesidades de seguridad y efectividad en el ambiente industrial llevaron a diferentes empresas de Estados Unidos y Europa a solicitar intervenciones desde el ambiente alpino, para la reparación y el mantenimiento de torres, edificios altos, puentes, etc.

Los trabajos verticales son técnicas para trabajar en altura que se basan en la utilización de cuerdas, anclajes y aparatos de progresión para acceder a objetos naturales (árboles), subsuelo (pozos), construcciones (edificios, diques, puentes, etc.), junto con todos los accesorios incorporados a las mismas para la realización de algún tipo de trabajo. La utilización de las técnicas de trabajos verticales es aconsejable en aquellos trabajos donde el montaje de sistemas tradicionales (por ejemplo, andamios) resulta difícil técnicamente o presenta un riesgo mayor que realizarlo con dichas técnicas con independencia de que la duración de muchos de estos trabajos hace que económicamente no sean rentables. (Trabajo vertical, s.f.)

### **1.6.2.1 Equipo usado en trabajos verticales**

Elementos estáticos (resistencia).

\*Arnés

\*Cintas



\*Conectores

\*Anclajes

\*Cuerdas estáticas

\*Poleas

Elementos dinámicos (absorción).

\*Aseguradores/descensores

\*Cuerdas dinámicas

Elementos de protección individual.

\*Casco

\*Zapatos con casquillo

\*Guantes de protección

### **1.6.3 Rescate en altura**

Son los procedimientos técnicos tendientes a lograr la recuperación de una persona que ha quedado atrapada, lesionada o accidentada en lugares altos, implementando sistemas adecuados que reúnan todas las condiciones de seguridad necesaria para garantizar el éxito de la operación. (Syslaboral, 2012)

- Casco
- Manta térmica
- Iluminación eléctrica
- Guantes de trabajo
- Arnés pélvico, con el punto del anillo ventral bajo, con cabos de anclaje y sus respectivos mosquetones, así como un mallón para unir el cabo de anclaje al arnés.
- Arnés de pecho
- Descensor auto bloqueante con su respectivo mosquetón de frenado
- Bloqueador de mano con su respectivo mosquetón y pedal de dyneema de 5 mm de  $\emptyset$

- Bloqueador ventral
- Navaja tipo
- Llave fija del n° 13 para instalación de anclajes
- Calzado adecuado de seguridad



Figura 1.2 Equipo utilizado en rescate vertical

Existen diversas técnicas para desbloquear a una persona suspendida de dispositivos no desembagables, a continuación se describen 3 de ellas.

### 1.6.3.1 Desbloqueo por contrapeso

La técnica más versátil. De nuevo aquí existen diversas técnicas, aunque quizá la más extendida sea la de contrapeso con ayuda de un estribo o pedal. La maniobra consiste básicamente en colocar el mosquetón del pedal en la anilla esternal o ventral de la víctima (según si está suspendido de croll/anti-caídas o del cabo de anclaje de posicionamiento), pasar el pedal por el mosquetón de un bloqueador colocado en la cuerda de la que cuelga la víctima, subirse al estribo de manera que todo nuestro peso esté sobre él y tirar de la víctima hacia arriba cogiéndole debajo de la anilla ventral. Con elevarlo tres dedos es más que suficiente para

desbloquearlo de un croll/anti-caídas/cabo de anclaje. Entre las ventajas de este sistema está que es posible usarlo en todas las situaciones (independientemente de donde se encuentre situada la víctima). (Gran vertical, 2016)

### **1.6.3.2 Desbloqueo mediante polipasto**

Interesante en determinadas situaciones. Si, por ejemplo, existe mucha diferencia de peso entre víctima y rescatador, instalar un polipasto puede facilitar la maniobra. Se puede montar directamente en la cuerda de la víctima (muy rápido y sencillo si se dispone de un dispositivo tipo Jag de Petzl), o simplemente en la propia cuerda del rescatista. En este caso bastará con conectar el cabo corto a la anilla externa de la víctima, colocar un bloqueador de mano en la cuerda y reenviar la cuerda que sale del descensor mediante una polea. De esta forma, a medida que se vaya ganando altura, se ira elevando a la víctima hasta que quede totalmente suspendida del rescatista y se pueda desbloquear.

Este sistema tiene varios inconvenientes, siendo el principal que no funciona si la víctima se encuentra pegada a la cabecera (por ejemplo, pegada al nudo en el interior de una nave industrial) o recién colgado en una fachada a escasos centímetros del cambio de ángulo de horizontal a vertical de la cuerda: sencillamente no hay espacio. (Gran vertical, 2016)

### **1.6.3.3 Desbloqueo mediante corte de cuerda**

Además de que no está permitido por la norma EN 363, el corte de cuerda en situaciones de rescate debe constituir siempre la última opción. No cabe duda de que puede ser una opción muy rápida e incluso segura si se planifica correctamente, pero en una situación de nervios puede resultar peligroso. En otras muchas situaciones, simplemente no es posible cortar ninguna cuerda pues se requiere para hacer la evacuación. (Gran vertical, 2016).

#### 1.6.4 Espeleología

La espeleología es una ciencia cuyo objeto es la exploración y estudio de las cavidades subterráneas. Considerado como el padre de la espeleología moderna, el francés Édouard Alfred Martel (1859-1938) inició las primeras exploraciones científicas y en 1895 fundó la Sociedad Espeleológica de Francia. (Ecured, s.f)

Se ha propuesto sin éxito que aquellas ocasiones en que su práctica se asemeja más bien a un deporte, sería más apropiado denominarla espeleísmo; aunque no deja de tener sus orígenes en una ciencia que estudia la morfología de las cavidades naturales del subsuelo. Se investiga, se topografía y se catalogan todo tipo de descubrimientos subterráneos. Es más, la espeleología es una ciencia en la que se hallan implicadas varias otras: la formación y las características de las cavidades interesan a los geógrafos y geólogos; los cursos subterráneos de agua a los hidrólogos; la fauna (más variada y numerosa de lo que se cree) a los zoólogos; los vestigios del hombre prehistórico a los antropólogos y arqueólogos y los fósiles de animales a los paleontólogos, etc. (Ecured, s.f)

Equipo usado en espeleología:

1. Monos
2. Guantes
3. Botas
4. Arneses
5. Arnés de pecho
6. Cabos de anclaje
7. Descendedores
8. Bloqueadores
9. Cascos con iluminación
10. Sacas o petates



Figura 1.3 Espeleología en cavidades subterráneas

## 1.7 Cuerdas

Se puede asegurar que, dentro de la cadena de seguridad, la cuerda es el elemento más importante en los rescates, por eso se realizará un examen más exhaustivo de este material que de otros. No debe tomarse simplemente como un objeto físico o un instrumento, sino que implica un compromiso de solidaridad que acaba solo al finalizar la actividad. Su importancia como el principal equipo de seguridad, en maniobras de socorro como en cualquier especialidad del montañismo, se ve reflejada al citarla en la escalada como el cordón de vida que une dos escaladores. En actividades de rescate la situación es más ilustrativa, ya que un solo cordón de vida puede unir a más de dos compañeros completamente dependientes entre sí a través de la cuerda. Por esto cualquier maniobra realizada sobre la cuerda se debe hacer de manera segura y consciente. Las fabricaciones de las cuerdas están reguladas por la norma europea EN 1891 tipo A y la Nfpa1983. (ANBVRA, 2009)

### 1.7.1 Materiales utilizados en la fabricación

Las fibras naturales han sido eliminadas para la fabricación de cuerdas, ya que se pudren y no soportan mucha carga. Actualmente las cuerdas para trabajos en altura están compuestas de los siguientes materiales: Poliamida, Poliéster, Polietileno, Polipropileno, Kevlar. El material comúnmente empleado para la fabricación de cuerdas certificadas es el Nylon 6 (Perlón), y el Nylon 6.6 (Dupont). (ANBVRA, 2009)

### 1.7.2 Fabricación de cuerdas

Las cuerdas enfocadas a actividades de altura tienen diferentes métodos de fabricación que se presentan a continuación.

#### 1.7.2.1 Torcida o enroscada

Están fabricadas enroscadas las fibras en hilos, los hilos en hebras y las hebras enroscadas terminando la cuerda.

Inconvenientes:

1. Todas las fibras están sometidas a la abrasión.
2. Bajo tensión (rapel), tienden a girar si se está colgado libremente.
3. Son propensas a rizarse.
4. Son difíciles de anudar.



Figura 1.4 Cuerda torcida

### 1.7.2.2 Trenzadas

Fabricadas con dos hebras, una encajada en la otra. Un 60% de la resistencia de la cuerda lo proporciona la hebra interior y un 40% la exterior.

Inconvenientes:

1. Bajo cargas de trabajo, la resistencia a la abrasión es mala.
2. Por el tipo de estructura es muy elástica bajo cargas.



Figura 1.5 Cuerda trenzada

### 1.7.2.3 Camisa – Alma (kernmantle)

El Kernmantle es el tejido aprobado por UIAA (*Unión Internationale des Associations d'Alpinisme*), organización francesa reguladora en la fabricación de equipos de montaña. Este tejido consiste en una envoltura que cubre a un núcleo. También existen otros tipos de tejidos usados para la fabricación de cuerdas empleadas en otras labores. (ANBVRA, 2009)

Hay cuerdas dinámicas y semi-estáticas que siempre son elaboradas con fibras sintéticas. El alma soporta 80-85% de su carga de ruptura, la camisa soporta entre 15-20%, además de proteger al alma de la abrasión y contaminación. (ANBVRA, 2009)

Ventajas:

1. Buena carga en tensión.
2. Las fibras del alma son tan largas como la cuerda.
3. Tacto muy suave (se pueden hacer los nudos más apretados).
4. Tiene una elasticidad mínima con cargas ligeras (una persona).



### 1.7.3 Características y limitaciones

Para el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas es importante conocer las características de las diferentes cuerdas que se utilizan, estas se presentan a continuación.

#### 1.7.3.1 Elongación

Es la capacidad de la cuerda para cambiar su longitud y de esta forma absorber cualquier esfuerzo brusco en la cuerda. La UIAA (Unión Internacional de Asociaciones de Alpinismo) realiza una prueba que consiste en medir la longitud de una cuerda sin peso y luego medir la longitud de la cuerda con un peso estático (80 kg). La diferencia porcentual dará una idea de la elongación de la cuerda.

El valor típico para cuerdas de escalada es alrededor de 6%, es decir, para una longitud de 100m de cuerda sin peso, al someterla a 80 kg la cuerda medirá 106 m. Para cuerdas de rescate este valor debe ser menor a 5%. Ahora se hablará de las cuerdas según su elongación, su cualidad para absorber caídas: (ANBVRA, 2009)

1. Dinámicas: Este término describe la capacidad de las cuerdas de actuar como un amortiguador en caso de caída. Sin embargo, para obtener ésta cualidad de elasticidad, es necesario sacrificar otra de sus propiedades como la resistencia a la abrasión. Cuando la amortiguación de caídas es imperativo, una cuerda dinámica es la opción adecuada para evitar lesiones por caídas. Entre sus propiedades se puede mencionar, aparte de la alta capacidad en absorción de impactos, su maniobrabilidad, resistencia y bajo peso. Sólo se elonga aproximadamente un 8% bajo carga normales de trabajo. (ANBVRA, 2009)



2. Semi-estáticas: Se refiere a que permanece casi en su longitud original al tensarla, ya que sólo se elonga aproximadamente un 5% bajo carga normales de trabajo. (ANBVRA, 2009)

### **1.7.3.2 Peso por unidad de longitud**

Importante para conocer el peso del material que se va a trasladar. El valor típico para una cuerda dinámica de 10.5 mm de diámetro es de 77 gramos por metro aproximadamente, así una cuerda de 55 metros pesara 4.235 Kg. (ANBVRA, 2009)

### **1.7.3.3 Diámetro**

El diámetro de la cuerda de rescate debe ser mayor o igual que 10.5 mm. En Europa, lo habitual es el uso de cuerdas de entre 9 mm. y 12 mm. de diámetro según sus usos. Estas cuerdas también se clasifican en A, para cuerdas de rescate o líneas de seguridad; y las de tipo B, para cuerdas auxiliares de cuyo diámetro y resistencia son menores a las de tipo A con lo que requiere tomar más precauciones y prestar más atención durante su utilización. Pero en EEUU se utilizan de mayores diámetros. Cuando se utilizan diámetros mayores de 11,5 mm. Se pueden encontrar los siguientes problemas:

1. Mayor costo al emplearse más materiales de elaboración.
2. En cuerdas de mayor diámetro, lo que implica más peso y mayor dificultad de transporte.
3. Problemas de uso, por ejemplo, dificultan el rapel debido al peso. (ANBVRA, 2009)

#### **1.7.3.4 Longitud**

Es la medida longitudinal. Una cuerda de escalada varía entre 50 y 60 metros. Las drizas se pueden considerar pedazos de cuerdas con longitud menor a 45 metros. En rescate la longitud de la cuerda puede ser muy grande (200 m), pero este valor dependerá del tiempo de transporte, y de las dimensiones del lugar del rescate. Se recomienda usar cuerdas de rescate entre 60 y 150 m de longitud. (ANBVRA, 2009)

#### **1.7.3.5 Color**

Es la característica resaltante de las cuerdas. Tanto en rescate como en escalada se recomienda colores fácilmente distinguibles, con el fin de tener una mejor visualización de la cuerda en el terreno. Algunas cuerdas son bicolors, es decir, las mitades están pintadas con diferentes colores, esto permite ubicar con facilidad la mitad de la cuerda y así tener una mejor idea de las dimensiones de esta con respecto al escenario donde se usa. (ANBVRA, 2009)

#### **1.7.3.6 Resistencia estática o punto de quiebre**

Es el peso estático máximo que puede resistir una cuerda sin romperse. En labores de rescate este valor no debe ser menor que 2500 Kg. (22Kn. EN 1891 EN892); y para escalada en cuerda simple no debe soportar menos de 1800Kg. Esta es la principal propiedad de una cuerda de rescate. Sin que exista ningún nudo de por medio. (ANBVRA, 2009)

#### **1.7.3.7 Resistencia a la abrasión**

Es la propiedad de la cuerda para soportar la influencia del medio en su superficie. La funda es la principal responsable de contrarrestar cualquier efecto externo sobre la cuerda, en especial los efectos de fricción. (ANBVRA, 2009)

### **1.7.3.8 Fuerza de choque**

Es la fuerza que se transmite a la persona anclada a la cuerda, al mosquetón, y al punto de anclaje cuando se produce una caída. Por lo tanto, es la capacidad de la cuerda para absorber choques provocados por caídas.

Esta es la principal propiedad de una cuerda dinámica. Es la fuerza que la cuerda transmite al rescatista cuando surge una caída. Si esta supera los 6 kN máximos (según norma de la U.I.A.A.) se podrían ocasionar graves lesiones al cuerpo. Por esta razón las cuerdas semi-estáticas tienen algo de elasticidad. (ANBVRA, 2009)

### **1.7.3.9 Número de caídas**

El número de caídas se determinan con un dispositivo que reproduce una caída de factor 1, siendo los terminales de las cuerdas un nudo ocho. La cuerda se somete a choques, a intervalos de 3 minutos y debe resistir como mínimo 5 caídas sucesivas con una masa de 100kg. para las cuerdas de tipo A; y de 80 kg para las de tipo B. (ANBVRA, 2009)

### **1.8 Factor de caída**

El factor de caída (Figura 1.6) determina la dureza o gravedad de una caída: cuanto mayor sea su valor, más dura será la caída. Su valor, comprendido entre 0 y 2, se calcula dividiendo la altura de la caída entre la longitud de cuerda utilizada. La dureza de la caída no va en función de la altura de la misma sino de esta relación, pues cuanto mayor sea la longitud de la cuerda, más podrá estirarse para amortiguar la caída. Este factor de caída teórico supone que no hay rozamiento entre el asegurador y el punto superior para que la cuerda utilizada pueda absorber de forma uniforme la energía. (ANBVRA, 2009)

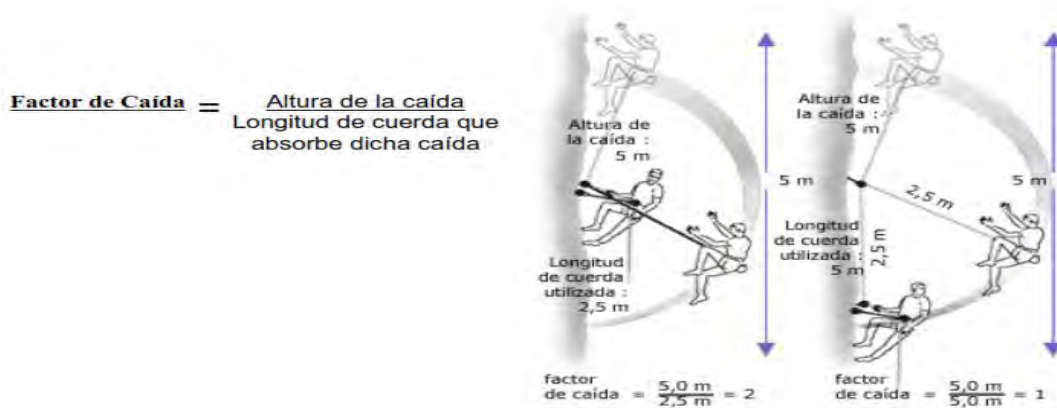


Figura 1.6 Factor de caída

## 1.9 Descensores, bloqueadores y poleas

En este apartado se presenta la descripción y las características de los diferentes dispositivos de bloqueo de cuerdas, y se clasifican según estas.

### 1.9.1 Descensores

Los Descensores (Figura 1.7) son aparatos que trabajan bajo la fuerza de fricción que realiza la cuerda al pasar sobre estos. En general esta fuerza de fricción se usa para contrarrestar la fuerza gravitatoria o peso del usuario. Para el trabajo en altura o el rescate, el acceso «por arriba» es el más utilizado, ya que permite aprovecharse de la gravedad. El diseño de los descensores está pensado para regular el frenado y controlar el descenso a lo largo de una cuerda fija. Permiten también posicionarse en un punto de la cuerda para trabajar. Algunos descensores también cumplen la función de asegurador, para asegurar la progresión del escalador en técnica de trepar. (ANBVRA, 2009)

Existen dos tipos de descensores:

1. Descensores simples.
2. Descensores auto-bloqueantes.



Figura 1.7 Descensores simples



Figura 1.8 Descensores auto-bloqueantes

### 1.9.2 Bloqueadores

Los aparatos ascensores (Figura 1.9) son aquellos que son capaces de contrarrestar completamente la acción de la gravedad o cualquier otra fuerza aplicada en contra del funcionamiento normal de un aparato. En general estos aparatos poseen una dirección de trabajo, es decir, pueden bloquearse en una dirección y desplazarse hacia otra dirección (Jumar, Clog, microcender, etc.). (ANBVRA, 2009)



Figura 1.9 Bloqueadores

### 1.9.3 Poleas

Las poleas sirven para izar material en los rescates, o izar a una persona. Algunos modelos incluyen un bloqueador para facilitar las maniobras. Las poleas especializadas permiten también el desplazamiento por cuerda o cable, desplazamiento de cargas, o evacuación de una persona en operaciones de rescate.

Las poleas se clasifican en cuatro familias:

1. Las poleas simples pueden acoplarse en todos los sistemas.
2. Las poleas dobles su utilidad radica en la fabricación de polipastos (sistema que utiliza dos o más poleas para levantar objetos con menor esfuerzo).
3. Las poleas de desplazamiento están diseñadas para las tirolinas o tirolesas que es una estructura formada por una polea y un largo cable metálico colocado en sentido descendente, que permite a una persona bajar del extremo más alto al más bajo aprovechando la acción de la gravedad.
4. Las poleas con bloqueador (Figura 1.10) forman un sistema anti-retorno para instalar polipastos rápidamente.

El rendimiento de una polea lo determinan dos factores:

1. La medida de la polea: cuanto mayor es el diámetro de la polea, mejor es el rendimiento.
2. El soporte de la polea: los cojinetes auto-lubricantes aseguran un buen rendimiento, pero deben lubricarse regularmente.

Los rodamientos de bolas aseguran un excelente rendimiento y, al ser estancos, no necesitan mantenimiento. La forma de la polea determina su modo de instalación en la cuerda:

1. Las poleas de placas laterales fijas precisan el uso de un mosquetón de forma simétrica, se instalan con facilidad y rápidamente.
2. Las poleas con una placa lateral móvil es necesario abrirlas para colocarlas, pero funcionan con cualquier tipo de mosquetón.



Figura 1.10 Poleas

En este caso las poleas que nos interesan son las de bloqueador, las cuales el dispositivo, que se propone en el presente trabajo, puede sustituir.

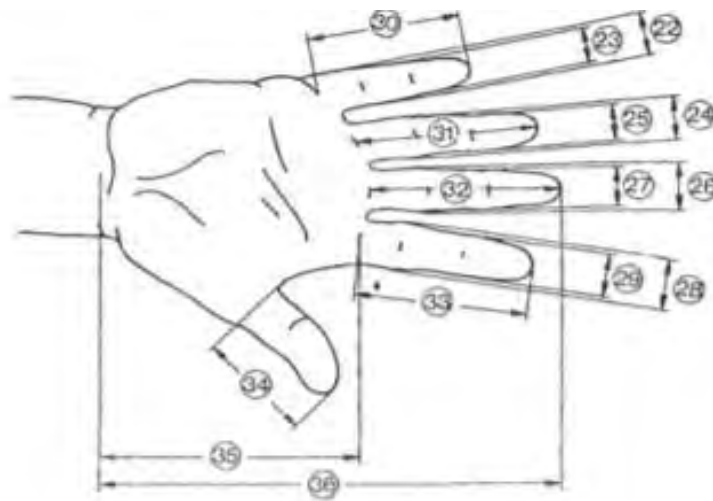
### 1.10 Normativas

A continuación, se presentan las normas aplicables al sistema de bloqueo de cuerdas.



### 1.10.1 Norma DIN 33 402 segunda parte

Se busca que el sistema de bloqueo tenga un diseño ergonómico; por lo cual se buscó información que pudiera ayudar a establecer las medidas para la empuñadura, con el fin de que esta sea cómoda para el usuario. De esta manera se encontró la norma DIN 33 402 que toma una muestra representativa de hombres y mujeres entre 20 y 60 años en Alemania. La norma indica las medidas de la mano de manera estandarizada, como se muestra a continuación de la figura 1.11, a la figura 1.13.



Dimensiones en cm	PERCENTIL					
	HOMBRES			MUJERES		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
22. ANCHO DEL MEÑIQUE EN LA PALMA DE LA MANO	1,8	1,7	1,8	1,2	1,5	1,7
23. ANCHO DEL MEÑIQUE PRÓXIMO DE LA YEMA	1,4	1,5	1,7	1,1	1,3	1,5
24. ANCHO DEL DEDO ANULAR EN LA PALMA DE LA MANO	1,8	2,0	2,1	1,5	1,8	1,8
25. ANCHO DEL DEDO ANULAR PRÓXIMO A LA YEMA	1,5	1,7	1,9	1,3	1,4	1,6
26. ANCHO DEL DEDO MAYOR EN LA PALMA DE LA MANO	1,9	2,1	2,3	1,6	1,8	2,0
27. ANCHO DEL DEDO MAYOR PRÓXIMO A LA YEMA	1,7	1,8	2,0	1,4	1,5	1,7
28. ANCHO DEL DEDO ÍNDICE EN LA PALMA DE LA MANO	1,9	2,1	2,3	1,6	1,8	2,0
29. ANCHO DEL DEDO ÍNDICE PRÓXIMO A LA YEMA	1,7	1,8	2,0	1,3	1,5	1,7
30. LARGO DEL DEDO MEÑIQUE	6,8	6,2	7,0	5,2	5,8	6,6
31. LARGO DEL DEDO ANULAR	7,0	7,7	8,6	6,5	7,3	8,0
32. LARGO DEL DEDO MAYOR	7,5	8,3	9,2	6,9	7,7	8,5
33. LARGO DEL DEDO ÍNDICE	6,8	7,5	8,3	6,2	6,9	7,8
34. LARGO DEL DEDO PULGAR	6,0	6,7	7,6	5,2	6,0	6,9
35. LARGO DE LA PALMA DE LA MANO	10,1	10,9	11,7	9,1	10,0	10,8
36. LARGO TOTAL DE LA MANO	17,0	18,6	20,1	15,9	17,4	19,0

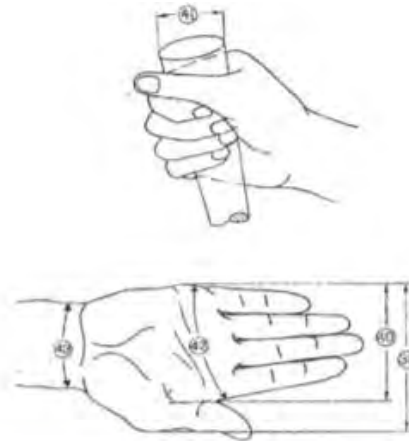
Figura 1.11. Dimensiones dedos de la mano





Dimensiones en cm	PERCENTIL					
	HOMBRES			MUJERES		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
37. ANCHO DEL DEDO PULGAR	2.0	2.3	2.5	1.6	1.9	2.1
38. GROSOR DE LA MANO	2.4	2.8	3.2	2.1	2.6	3.1

Figura 1.12 Dimensiones ancho dedo pulgar y grosor de mano



Dimensiones en cm	PERCENTIL					
	HOMBRES			MUJERES		
	5%	50%	95%	5%	50%	95%
39. ANCHO DE LA MANO INCLUYENDO DEDO PULGAR	9.8	10.7	11.6	8.2	9.2	10.1
40. ANCHO DE LA MANO EXCLUYENDO EL DEDO PULGAR	7.6	8.5	9.3	7.2	8.0	8.5
41. DIÁMETRO DE AGARRE DE LA MANO*	11.9	13.8	15.4	10.6	13.0	15.7
42. PERÍMETRO DE LA MANO	19.5	21.0	22.9	17.6	19.2	20.7
43. PERÍMETRO DE LA ARTICULACIÓN DE LA MUÑECA	16.1	17.8	18.9	14.6	16.0	17.7

Figura 1.13 Dimensiones ancho de mano

Además de utilizarse esta norma también se tomaron en cuenta otras fuentes de información, que presentan medidas antropométricas de personas en Latinoamérica.

### **1.10.2 Norma EN 12841**

Para el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas se buscó cumplir los requisitos de la norma EN 12841; la cual, cabe resaltar, es la única norma técnica de aplicación específica para trabajos verticales. (Gran vertical, 2015)

La norma presenta una clasificación para los diferentes tipos de dispositivos, que se mencionan a continuación.

### **1.10.3 Dispositivos de tipo A**

Se trata de los dispositivos anti-caídas deslizantes sobre línea de anclaje flexible. Es el sistema de seguridad utilizado en técnicas de acceso por cuerdas. Deben tener una resistencia mínima de trabajo de 10 KN. Estos aparatos sustituyen a los que antes se regulaban por la UNE-EN 353.2. (Gran vertical, 2015)

### **1.10.4 Dispositivos de tipo B**

Son los denominados bloqueadores: bloqueador ventral y bloqueador de mano o puño. Permiten al usuario ascender por la línea de trabajo, deslizándose en un sentido (ascenso) y bloqueándose en el otro. Estos deben tener una resistencia mínima de trabajo de 4KN. Sustituyen a los bloqueadores regulados por la UNE-EN 567. (Gran vertical, 2015)

### **1.10.5 Dispositivos de tipo C**

Descensores. Permiten al usuario controlar la velocidad de descenso a lo largo de la línea de trabajo y permiten una parada, sin manos, en cualquier punto de la línea de trabajo. Estos dispositivos deben tener una resistencia mínima de trabajo de 3KN. Sustituyen a los, hasta entonces, populares descensores regulados por la UNE-EN 341 A. (Gran vertical, 2015).

## CAPÍTULO 2

En el presente capítulo se estudió el estado del arte de los dispositivos de bloqueo, se realizó una búsqueda de patentes y se hizo una comparativa de las características de los dispositivos encontrados; con el objetivo de identificar alternativas para el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas.

### 2.1 Búsqueda de información

A continuación, se presenta el resultado de la búsqueda de información para el estado del arte, así como la búsqueda de patentes de dispositivos de bloqueo de cuerdas; y se presentan las características de cada uno de ellos.

#### 2.1.1 Estado del arte

A continuación, de la tabla 2.1 a la tabla 2.4, se presenta los dispositivos comerciales encontrados, así como sus características.

Tabla 2.1 Aseguradores

#	Nombre	Imagen	Descripción	Características
1	Croll		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se utiliza como complemento de un bloqueador <i>basic</i>, o un puño <i>ascensión</i>, para el ascenso por cuerda.</li> <li>• Leva dentada con ranura de evacuación para optimizar el funcionamiento en cualquier condición.</li> <li>• Leva de acero inoxidable para mejorar la resistencia a la corrosión.</li> <li>• Placa de rozamiento de acero inoxidable para mejorar la resistencia al desgaste.</li> <li>• Abertura del tope por pinzamiento para una manipulación fácil.</li> </ul>	<p>Materiales: Cuerpo de aluminio. Leva y placa de rozamiento de acero inoxidable y tope de poliamida.</p> <p>Peso: 85 g.</p> <p>Compatibilidad de la cuerda: 8 a 11 mm.</p> <p>Certificaciones: CE EN 567, UIAA.</p>
2	Shunt		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se instala fácilmente en la cuerda.</li> <li>• Las piezas de bloqueo son lisas y no estropean la cuerda.</li> <li>• Puede utilizarse para los ascensos por una sola cuerda o dos cuerdas.</li> </ul>	<p>Materiales: cuerpo de aluminio.</p> <p>Peso: 188 g.</p> <p>Compatibilidad de la cuerda: una sola cuerda de 10 a 11 mm. o dos cuerdas de 8 a 11 mm.</p> <p>Certificaciones: CE, UIAA</p>
3	Basic		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede utilizarse para ascensos por cuerda fija o como anti-retorno en un polipasto.</li> <li>• Leva dentada con ranura de evacuación para optimizar el funcionamiento en cualquier condición.</li> <li>• Leva de acero inoxidable para mejorar la resistencia a la corrosión.</li> </ul>	<p>Materiales: cuerpo de aluminio, gatillo de acero inoxidable y tope de poliamida</p> <p>Peso: 85 g</p> <p>Compatibilidad de la cuerda: 8 a 11 mm.</p> <p>Certificaciones: CE EN 567, UIAA</p>
4	Tibloc		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se puede utilizar como bloqueador de ascenso por cuerda o bloqueador de reenvío en un polipasto.</li> <li>• Sistema automático de placaje del mosquetón en la cuerda para iniciar el bloqueo de la cuerda, independientemente de la posición.</li> <li>• La leva dentada de acero inoxidable y la ranura de evacuación de impurezas optimizan el funcionamiento por cuerda, esté embarrada o helada.</li> </ul>	<p>Materiales: acero inoxidable</p> <p>Peso: 35 g.</p> <p>Compatibilidad de la cuerda: 8 a 11 mm.</p> <p>Certificaciones: CE EN 567, UIAA</p>
5	Duck		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bloqueador de emergencia, útil en maniobras de recuperación, auto-rescate, progresión y como regulador para equipo de amarre.</li> <li>• De dimensiones bastante reducidas.</li> <li>• Funciona con cintas llanas y tubulares.</li> </ul>	<p>Compatibilidad de la cuerda: 8 a 13 mm.</p>

Tabla 2.2 Ascensores






#	Nombre	Imagen	Descripción	Características
1	Puño bloqueador		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñado para utilizarse para el ascenso por cuerda.</li> <li>• Empuñaduras moldeadas y ergonómicas.</li> <li>• Gatillo totalmente integrado en el cuerpo del bloqueador para evitar que se enganche accidentalmente.</li> <li>• Leva dentada con ranura de evacuación para optimizar el funcionamiento en cualquier condición.</li> </ul>	<p>Materiales: aluminio, acero inoxidable, plástico, caucho y nilón. Peso: 165 g. Compatibilidad de la cuerda: 8 a 13 mm. Certificaciones: CE EN 567, UIAA.</p>
2	Pantín		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Facilita el ascenso por cuerda.</li> <li>• Leva de acero inoxidable para mejorar la resistencia a la corrosión.</li> <li>• Leva dentada con ranura de evacuación para optimizar el funcionamiento en cualquier condición.</li> <li>• Utilización funcional y ergonómica.</li> </ul>	<p>Materiales: aluminio, acero inoxidable y Dyneema® Peso: 85 g. Compatibilidad de la cuerda: 8 a 13 mm.</p>
3	Futura hand		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dimensiones reducidas y ergonómicas.</li> <li>• Agarre anterior respecto a la cuerda para una mayor manejabilidad y seguridad.</li> <li>• Cuenta con dos empuñaduras intercambiables de diferentes tamaños.</li> <li>• Permite utilizar con gran facilidad la técnica "alterna".</li> </ul>	<p>Peso: 125 g.</p>

Tabla 2.3 Descendedores

#	Nombre	Imagen	Descripción	Características
1	Stop		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gracias al sistema autofrenante, es fácil detenerse y mantener una posición concreta en la cuerda.</li> <li>• Puede instalarse o retirarse fácilmente de la cuerda sin desengancharlo del arnés.</li> <li>• Permite ascensos cortos por cuerda con tan sólo añadir un pedal a un puño bloqueador.</li> </ul>	<p>Materiales: levas de aluminio. Peso: 326 g Compatibilidad de la cuerda: para una sola cuerda de 9 a 12 mm de diámetro Certificaciones: CE EN 341 clase A</p>
2	Huit ocho		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forma cuadrada para reducir el rizado de las cuerdas y la formación del nudo de alondra.</li> <li>• Aluminio forjado de gran resistencia.</li> <li>• El orificio pequeño permite utilizar el descensor con una cuerda fina o como placa de freno de seguro.</li> </ul>	<p>Materiales: aluminio. Peso: 100 g. Compatibilidad de la cuerda: para usar con cuerdas de 8 a 13 mm de diámetro.</p>

3	Rig		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diseñado para los trabajos con cuerda para usuarios con experiencia.</li> <li>• Empuñadura multifunción: liberar la cuerda y controlar el descenso con la mano o inmovilizarse en el puesto de trabajo sin llave de bloqueo.</li> <li>• Sistema de retroceso automático.</li> <li>• Leva pivotante que permite recuperar cuerda más fácilmente.</li> <li>• Descenso de cargas pesadas hasta 200 kg.</li> </ul>	<p>Peso: 380 g. Compatibilidad de la cuerda: de 10.5 a 11.5 mm. Certificaciones: EN 341 clase A, CE EN 12841 tipo C, NFPA 1983 Uso técnico, EAC.</p>
4	Rack		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las barras son fáciles de colocar en la cuerda en cualquier momento según la fuerza de retención deseada.</li> <li>• Reparte muy bien los rozamientos y el calor para proteger la cuerda.</li> <li>• No riza las cuerdas.</li> </ul>	<p>Materiales: estructura de acero inoxidable y barras de aluminio. Peso: 470 g. Compatibilidad de la cuerda: para una sola cuerda (9 a 13 mm) o con dos (8 a 11 mm).</p>
5	Druid		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descensor autofrenante compacto y ligero.</li> <li>• Palanca con función de bloqueo antipánico.</li> <li>• Cuerpo y palanca de resistente aleación de aluminio forjada, piezas mecánicas de acero inoxidable microfundido.</li> <li>• Leva equipada provista con extensión de gatillo, para permitir el rápido deslizamiento de la cuerda en situaciones de carga limitada.</li> </ul>	<p>Compatibilidad de la cuerda: 10 a 11 mm. Certificaciones: EN 12841/C, EN 341/2A, EN 15151-1.</p>
6	Axel		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descensor autofrenante.</li> <li>• Permite el ascenso con función autoblocante ventral.</li> <li>• Función antipánico.</li> <li>• Peso máximo de trabajo de 150 kg.</li> </ul>	<p>Compatibilidad de la cuerda: 11 mm. Certificaciones: EN 12841/C, EN 341/A</p>
7	Descendedor autobloqueante tipo C		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dispositivo de regulación de cuerda de tipo C, para ser utilizado en progresión por cuerda de trabajo.</li> <li>• El bloqueador funciona como aparato de frenado de cuerda, permitiendo al usuario controlar de manera manual la velocidad de descenso y detenerse en cualquier punto a lo largo de la cuerda al soltar la palanca.</li> </ul>	<p>Compatibilidad de la cuerda: 10.5 a 13 mm.</p>



Tabla 2.4 Poleas

#	Nombre	Imagen	Descripción	Características
1	Pro traxion		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polea imperdible: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permite instalar la cuerda cuando la polea está fijada al anclaje.</li> <li>• Particularmente adaptada para el izado de cargas pesadas: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Roldana de gran diámetro de aluminio con rodamiento de bolas estanco para asegurar un rendimiento excelente.</li> <li>- Placa lateral bloqueada bajo carga para impedir la abertura de la polea mientras se está utilizando.</li> </ul> </li> <li>• Polivalencia de utilización: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Punto de conexión inferior para montar diferentes tipos de polipastos.</li> <li>- Leva dentada con ranura de evacuación para optimizar el funcionamiento en cualquier condición.</li> <li>- Utilización como polea simple al bloquear la leva en posición levantada.</li> </ul> </li> </ul> </li> </ul>	<p>Materiales: aluminio, acero inoxidable y poliamida. Diámetro de cuerda: 8 a 13 mm. Peso: 265 g Certificaciones: CE EN 567 Tipo de roldana: rodamiento de bolas estanco Diámetro de la roldana: 38 mm Carga de trabajo: 2 x 2,5 = 5 kN Carga de rotura: 2 x 11 = 22 kN Carga de trabajo como polea-bloqueador: 2,5 kN Carga de rotura como polea-bloqueador: 4 kN Rendimiento: 95 %</p>
2	Micro traxion		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Polea bloqueadora ultraligera y ultracompacta (volumen y peso reducidos al 50 % en relación a la MINI TRAXION).</li> <li>• Excelente rendimiento gracias al rodamiento de bolas estanco (91 %).</li> <li>• Leva bloqueable en posición abierta para utilizar como polea simple. El bloqueo funciona con la cuerda helada o embarrada.</li> <li>• Para utilizar con cuerdas de 8 a 11 mm de diámetro.</li> <li>• Esquemas de instalación de la cuerda grabados en el interior de la polea.</li> <li>• Diseñada para rescate en grietas, sistemas de izado, autorrescate y como bloqueador de emergencia.</li> </ul>	<p>Diámetro de cuerda: 8 a 11 mm. Peso: 85 g Certificaciones: CE EN 567, UIAA Tipo de roldana: rodamiento de bolas estanco Diámetro de la roldana: 25 mm Carga de trabajo: 2 x 2,5 = 5 kN Carga de rotura: 2 x 7,5 = 15 kN Carga de trabajo como polea-bloqueador: 2,5 kN Carga de rotura como polea-bloqueador: 4 kN Rendimiento: 91 %</p>

A continuación, se presenta en la tabla 2.5 la comparativa de las características de los dispositivos comerciales.

Tabla 2.5 Comparativa de características

Dispositivo	croll	Bloqueador de puño	Patín	Hunt ocho	Basic	Rack	Stop	Tipo c	Rig	Pro traxion
Características										
Peso (g)	85	165	85	100	85	380	326	750	400	265
Materiales	Al, acero inox., poliamida	Al, acero inox., plástico, caucho y nilón	Al, acero inox., y Dyeema	Al	Al, acero inox. y poliamida	Acero inox. y aluminio	Levas de Aluminio	Acero inox.	Acero inox. y aluminio	Al
Certificación	CE EN 567, CE EN 12841 TYPR B	CE EN 567, CE EN 1241 TYPE B, NFPA 1983 technical use			CE EN 567, UIAA		CE EN 342 CLASSE A	ITEM 4.1.8. UNE - EN 12841: 2006	EN 12841 tipo C, EN 1891 A, EN 15151-1	CE EN 567
Diámetro de cuerda (mm)	8-11	8-11	8-11	8-13	8-11	8-11	9-12	10.5-13	10.5-11.5	8-13
Vida útil	3 años	3 años	3 años	3 años	3 años	3 años	3 años	3 años	3 años	3 años
Temperatura de trabajo (°C)	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40	80 -40
Precio (\$)	1350	1400	1600	375	1200	1346	2500	¿?	3675	1905

En la tabla 2.5 se presentan las características de los dispositivos representativos de cada tipo debido a que estas son similares.

### 2.1.2 Patentes

Como parte de la búsqueda de información, se buscaron patentes de dispositivos de bloqueo. A continuación, se presenta la descripción de cada patente encontrada.

Nombre: “Bloqueador de pie para ascenso a lo largo de una cuerda”

Número: US 2009/236177 A1

Inventor: Alain Maurice, Paul Petzl

Día, mes, año: febrero 13 2009



El bloqueador de pie es un dispositivo diseñado para ascender a lo largo de una cuerda, incluye una parte de puerta giratoria y fijación; con al menos un primer paso para que una primera correa pase a través y sea ajustado, y al menos un segundo paso para que una segunda correa pase a través. La primera correa está inclinada por un ángulo predefinido con respecto a la garganta, el ángulo es de entre  $40^\circ$  y  $75^\circ$  a fin de mantener la parte inferior de la garganta paralela a la trayectoria de la cuerda al ascender.

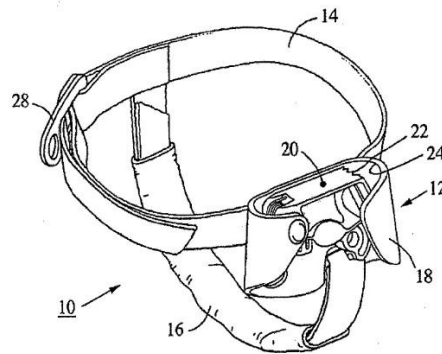


Figura 2.1 Bloqueador de pie

Nombre: “dispositivo ascendente con levas para el aseguramiento de una cuerda fija”

Número: US 2010/126802 A1

Inventor: Alain Maurice, Paul Petzl, Arnaud delaittre.

Día, mes, año: 13 febrero 2010

El dispositivo ascensor para aseguramiento sobre una cuerda fija, comprende de un cuerpo con un canal, una palanca de accionamiento que tiene un eje, una leva para la sujeción de la cuerda, y un orificio para la fijación de un medio de seguridad.

Un brazo de unión con un ojal está articulado entre el eje y el cuerpo para mover la palanca de accionamiento entre una posición de facilitar la inserción inactiva de la cuerda en el canal y una posición activa en la que los extremos del eje se alojan en los rebajes alineados que actúan como cojinetes.

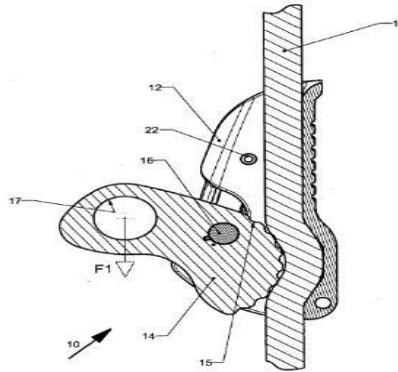


Figura 2.2. Dispositivo ascendente con leva

Nombre: “Aparato de escalada”

Número: USD 764,260 S

Inventor: Paul Petzl.

Día, mes, año: octubre 18 2015

Este dispositivo cuenta con dientes en la pared interior, es ligero y es de un diseño simple, muy compacto que permite efectuar un ascenso por cuerda, montar un polipasto o sustituir un nudo auto-bloqueante en caso de auto-rescate. Dispone de un sistema automático de placaje del mosquetón en la cuerda para iniciar el bloqueo de la cuerda.

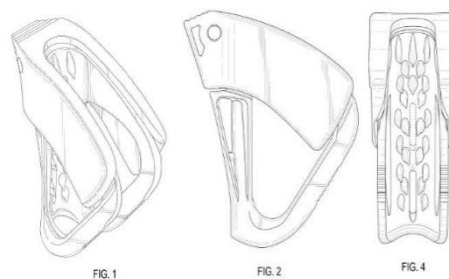


Figura 2.3 Aparato de escalada

Nombre: “Bloqueador / ascensor dispositivo de escalada”

Número: EP 1683551 A1

Inventor: Paglioli, Luca

Día, mes, año: enero 18 2006

La presente invención se refiere a un bloqueador y dispositivo de ascenso para escalada, ya sea mediante cuerdas o instrumentos de cuerda. El dispositivo comprende un cuerpo provisto de un asiento para alojar una cuerda, un elemento de bloqueo movable entre una posición de liberación con la cuerda, y una posición de acoplamiento con la cuerda, donde se evita que la cuerda para deslizarse dentro de su respectivo asiento en una dirección, medios adecuada para llevar el elemento de bloqueo nuevo a la posición de acoplamiento después de un movimiento del mismo y medios de operación manual para el bloqueo elemento. Ventajosamente, la operación manual medios comprenden un palpador que coopera con una superficie del cuerpo con el fin de mover el elemento de bloqueo a la posición de liberación.

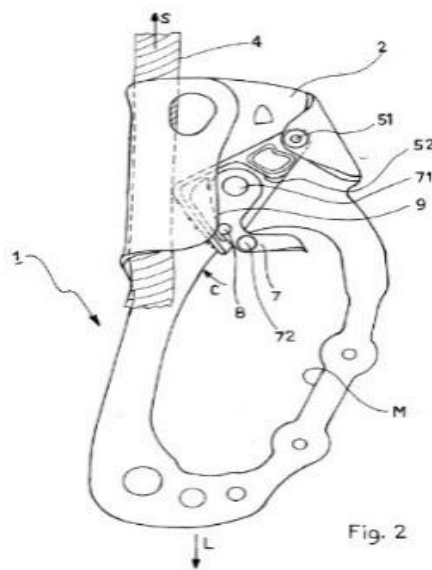


Figura 2.4 Bloqueador/ascensor

Nombre: “Descensor auto-bloqueo para una cuerda con una palanca operativa”

Número: US005850893A

Inventor: Jean Marc Hede, Le Touvet; Paul PetZI, BarrauX, both of France

Día, mes, año: 7 oct. 1996

El descensor de cierre automático para una cuerda, comprende una polea en forma de una leva giratoria destinada a presionar la cuerda contra una superficie de frenado de un perno. La polea está montada sobre una placa operativa

asociada con un mango de maniobra a la fuerza de desbloqueo de la palanca de accionamiento. Las fuerzas de fricción son absorbidas por un pasador, mirando hacia el sector circular de la leva. La cuerda pasa a través del pasador de carga y entra parcialmente en contacto con la polea.

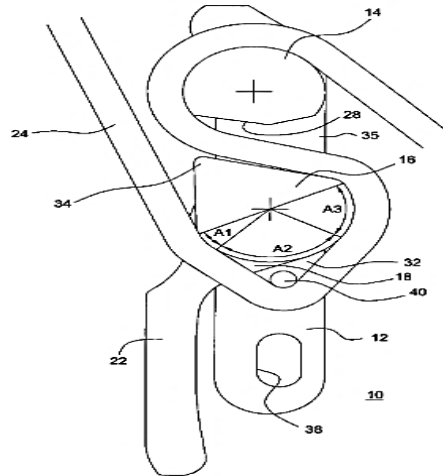


Figura 2.5 Descensor auto-bloqueo

Nombre: “Método y aparato compacto para descender”

Número: US 8,733,504 B2

Inventor: Kirk Martin Mauthner, Willmer (CA)

Día, mes, año: 17 enero 2012

Método y aparato para un descenso compacto utilizado en conjunción con una cuerda. La invención incluye una primera placa y una segunda placa dispuestas adyacentes entre sí y conectadas de forma pivotante entre sí mediante un poste de cable en los extremos superiores de la primera placa y la segunda placa. La primera placa y la segunda placa se abren de forma selectiva, cerrados y enclavados cuando están cerrados mediante la fijación de un mosquetón a través de un agujero en el extremo inferior de la primera placa y un orificio adyacente en el extremo inferior de la segunda placa. La primera placa y la segunda placa incluyen un canal de cuerda adyacente a una palanca, donde la palanca está unida de forma pivotante a un pivote fijado a la primera placa. Una leva de

sujeción de cuerda de forma sustancialmente rectangular está unida de forma pivotante por encima de la palanca sobre el mismo pasador de pivote.

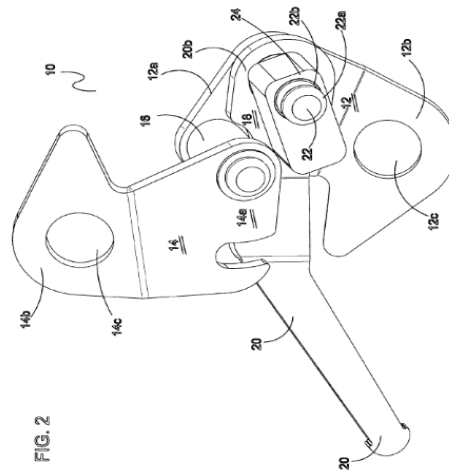


Figura 2.6 Aparato compacto para descender

Nombre: “Dispositivo fallarrest con rodillo de bloqueo”

Número: US2005/0082115A1

Inventor: Paul PetZI, BarrauX, (Fr) Christian Broquerie, Fontaine (Fr)

Día, mes, año: 1 julio 2004

Un dispositivo de detención de caídas utilizado con un cable de seguridad fijo; comprende un brazo de soporte articulado sobre un primer husillo del cuerpo, un rodillo en forma de una rueda cilíndrica montada libre en rotación sobre un segundo husillo fijado al brazo de soporte y un acoplamiento centrífugo. Medios dispuestos entre un elemento de accionamiento del rodillo y el brazo de soporte para ocupar una posición desenganchada o una posición de acoplamiento. Los medios de acoplamiento centrífugo comprenden al menos un mosquito desplazable a lo largo de una rampa del elemento de accionamiento contra un muelle de compresión y una interfaz de conexión acoplada dentro de un reborde cilíndrico del brazo de soporte para transmitir la fuerza elástica del muelle al contrapeso.

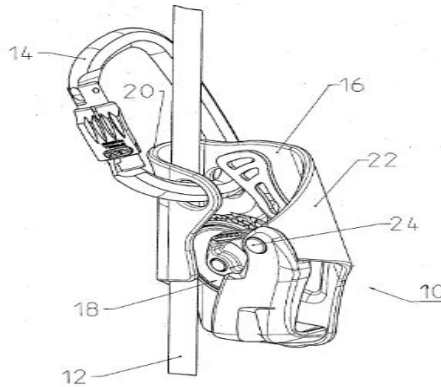


Figura 2.7 Dispositivo *fallarest*

Nombre: Dispositivo para colgar y bloquear cuerdas de escalada

Número: EP 1 666 104 A1

Inventor: Klingler, Gregory, L. Denver, CO 80210 (US), CIRERA NOGUERAS, José, Alberto E-08211 Castellar del Valles (ES)

Fecha de publicación: 07.06.2006

La invención se refiere a un dispositivo mejorado, que se utiliza para colgar y bloquear cuerdas de escalada. El dispositivo de la invención comprende una base, un anillo de bloqueo de cuerda, una tapa y un pasador de conexión. La base contiene un núcleo cilíndrico sobresaliente, que comprende un canal para el cable en la base. El núcleo cilíndrico sobresaliente, mencionado anteriormente, se recibe en un orificio central en el anillo de bloqueo de cable. Además, el anillo de bloqueo de cable está equipado con un canal para el cable en el anillo superior y un canal para la cuerda en el anillo inferior y, en la configuración de trabajo normal, dichos canales están alineados con el canal de cable anteriormente mencionado en la base, de modo que formen un canal continuo para la cuerda. De acuerdo con la invención, cuando se aplica una fuerza aguda al paso de la cuerda a través del dispositivo, el anillo de bloqueo de cable gira con respecto al núcleo cilíndrico sobresaliente, con lo que Interrumpir la alineación entre el canal de cable en el anillo inferior, el canal de cable en la base y el canal de cable en el anillo superior. De esta manera, el cable es sujetado y bloqueado en las zonas de transición entre dichos canales de cuerda. Para liberar la cuerda, se aplica una presión sobre un

mango que se extiende hacia fuera del anillo de bloqueo del cable. La trayectoria del cable del dispositivo de bloqueo mejorado pasa directamente a través del eje de rotación del anillo de bloqueo de cable y, como resultado, la distancia entre el eje de rotación y la abrazadera de cable puede reducirse en relación con el estado de la técnica, proporcionando un mejor aprovechamiento.

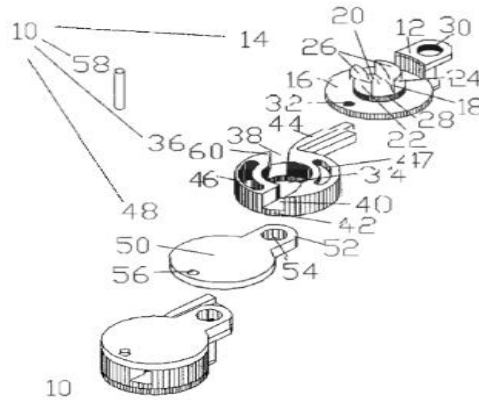


Figura 2.8 Dispositivo para colgar y bloquear cuerdas

Nombre: Dispositivo de aseguramiento multifuncional para cuerda

Número: EP1834672A1

Inventor: Petzl, Paul 38530 Barraux (FR), Broquerie, Christian 38600 Fontaine (FR)

Fecha de publicación: 27.02.2007

Un sistema de freno para cuerda, incluye una leva giratoria entre una posición de retención correspondiente al bloqueo de la cuerda por acción de cuña contra el pasador, y una posición separada lo que permite una cuerda para desplazarse libremente en el intervalo entre la leva y el pasador. La leva está asociado un trinquete de disparo puede ocupar o bien una posición de bloqueo que bloquea la leva en la posición de espaciador ya sea una posición desbloqueada en suite tiene una acción voluntaria de liberar dicho control por levas.

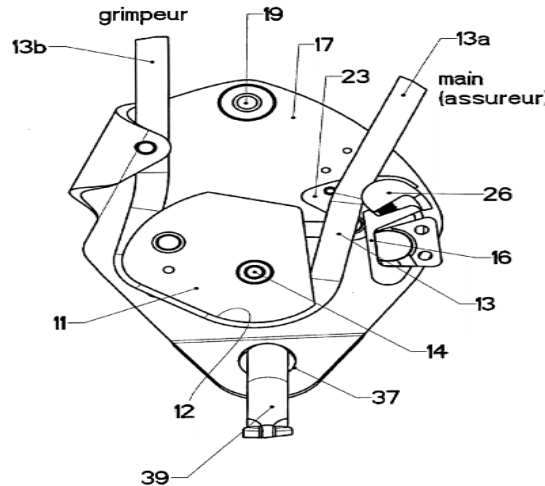


Figura 2.9 Dispositivo de aseguramiento multifuncional

Nombre: Dispositivo de frenado descendente para subir y bajar la cuerda

Número: EP2399651 A1

Inventor: Maurice, Alain 38660 Saint Hilaire du Touvet (FR), Vuillermoz, Benoit 38400 Saint-Martin-d'Herès (FR)

Fecha de publicación: 14.06.2011

Bloqueador dispositivo de descenso, subida y rapel, que comprende un cuerpo que tiene medios de fijación destinado a ser conectado al arnés del usuario, y un dispositivo de bloqueo que puede ser desbloqueado compatible. El bloqueador está dispuesto fuera del cuerpo, y comprende un canal de eslabones de metal que se compone de una sucesión de elementos de fricción articulados entre sí por bielas para formar una serie de intervalos para el paso de la cuerda en zig-zag.



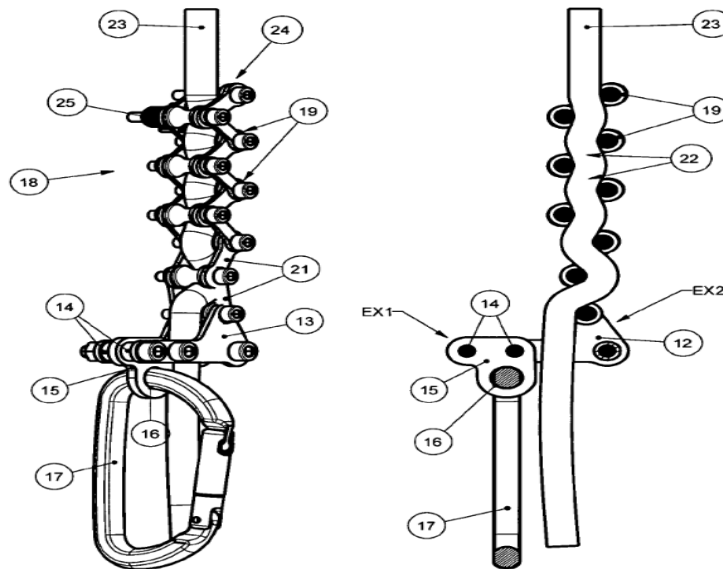
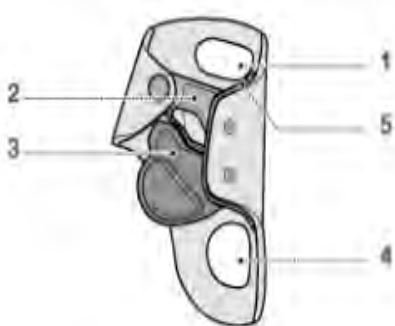


Figura 2.10 Dispositivo de frenado descendente para subir y bajar la cuerda

## 2.2 Funcionamiento de dispositivos comerciales

En este apartado, de la figura 2.11 a la figura 2.22 se presenta el funcionamiento de los dispositivos comerciales encontrados en el estado del arte.



(1) Orificio de unión torso, (2) Leva, (3) Tope de seguridad, (4) Orificio de conexión al arnés de asiento, (5) Placa de protección.

Materiales principales: cuerpo de aleación de aluminio, leva y placa de protección de acero inoxidable.

Equipo de protección individual (EPI).

Bloqueador ventral de progresión por cuerda.

- Bloqueador para alpinismo y escalada (EN 567).

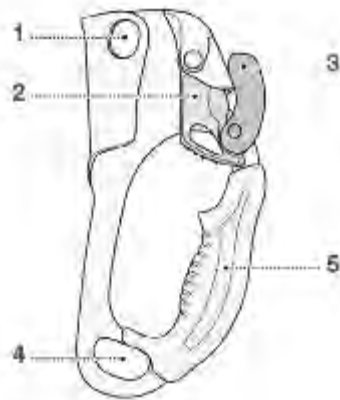
- Dispositivo de ascensión para soporte de trabajo (EN 12841:2006 tipo B).

Desliza a lo largo de la cuerda en un sentido y bloquea en el sentido contrario.

Los dientes de la leva inician la presión y, después, la leva bloquea la cuerda por pinzamiento.

La ranura de la leva permite evacuar el barro.

Figura 2.11. Descripción de Funcionamiento croll



(1) Orificio superior, (2) Leva, (3) Tope de seguridad, (4) Orificio de conexión inferior, (5) Empuñadura.

Materiales principales: aleación de aluminio, acero inoxidable y plástico

Equipo de protección individual (EPI).

Puño bloqueador.

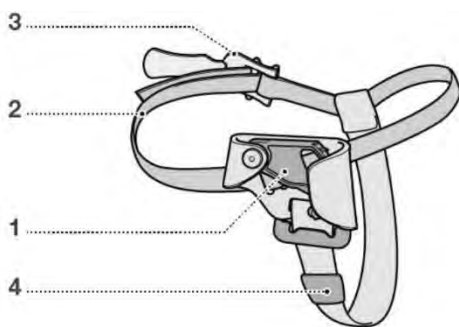
- Bloqueador para alpinismo y escalada (EN 567: 2013).

- Dispositivo de ascensión para soporte de trabajo (EN 12841 tipo B: 2006).

El ASCENSION desliza a lo largo de la cuerda en un sentido y bloquea en sentido contrario.

Los dientes de la leva inician la presión y, después, la leva bloquea la cuerda por pinzamiento.

Figura 2.12. Descripción de Funcionamiento bloqueador de puño



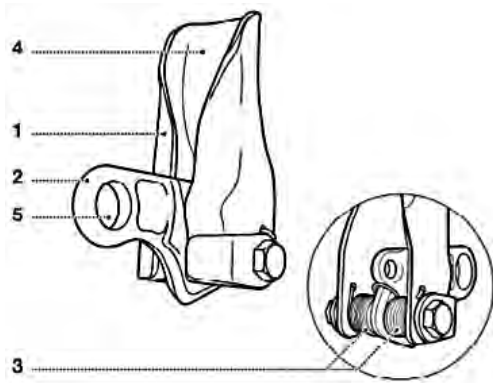
(1) Leva, (2) Cinta, (3) Hebilla de regulación.

Materiales principales: cuerpo de aleación de aluminio, leva de acero inoxidable y cinta de Dyneema.

El PANTIN (derecho o izquierdo) no es un Equipo de Protección Individual.

El PANTIN es un accesorio que ayuda en la progresión. Facilita el ascenso por cuerda ayudando a mantener el cuerpo erguido, pero no protege contra las caídas de altura.

Figura 2.13. Descripción de Funcionamiento bloqueador de pie



(1) Cuerpo, (2) Leva, (3) Muelles, (4) Gargantas de paso de la cuerda, (5) Orificio de conexión.

Materiales principales:

Aluminio y acero inoxidable.

Auto aseguramiento para el descenso en rápel:

Fije el SHUNT por debajo del descensor.

Desbloqueo bajo carga:

Tire de la cuerda bajo el SHUNT y oriéntelo según el eje de la cuerda

El SHUNT desliza a lo largo de la cuerda en un sentido y bloquea en sentido contrario. Si se tracciona de la leva, ésta pinza la cuerda en la garganta y bloquea el deslizamiento del aparato. La leva y el cuerpo siempre deben poder rotar libremente.

Figura 2.14. Descripción de Funcionamiento shunt



El tibloc, combinado con un mosquetón, es un bloqueador ultra ligero de emergencia. Desliza a lo largo de la cuerda en un sentido y bloquea en el sentido contrario. El mosquetón bloquea la cuerda contra los dientes por pinzamiento.

Equipo de protección individual (EPI). Bloqueador ultra ligero de emergencia.

Figura 2.15. Descripción de Funcionamiento tibloc

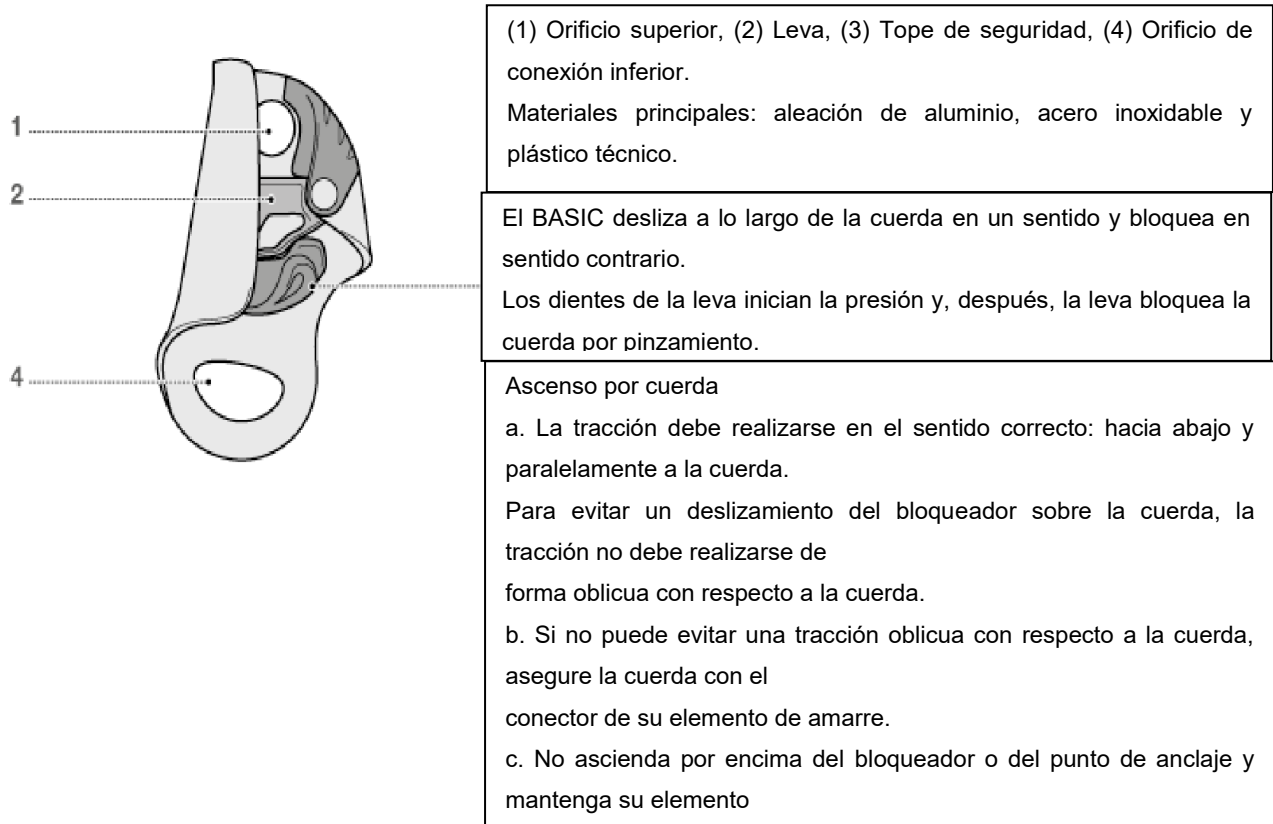


Figura 2.16. Descripción de Funcionamiento Basic

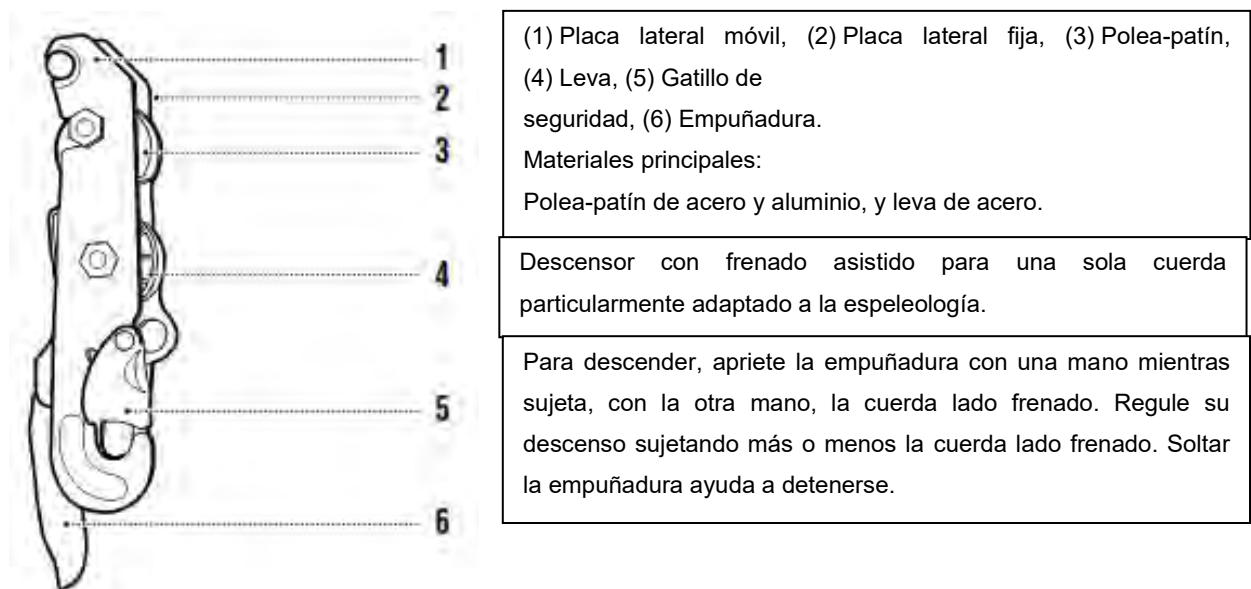
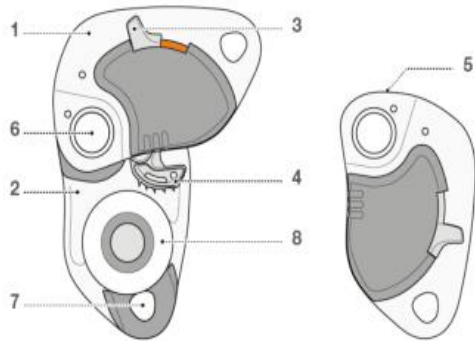


Figura 2.17. Descripción de Funcionamiento Stop



(1) Placa lateral móvil, (2) Placa lateral fija, (3) Gatillo con indicador visual de bloqueo, (4) Leva, (5) Botón, (6) Orificio de conexión al anclaje, (7) Orificio de conexión secundario, (8) Roldana.

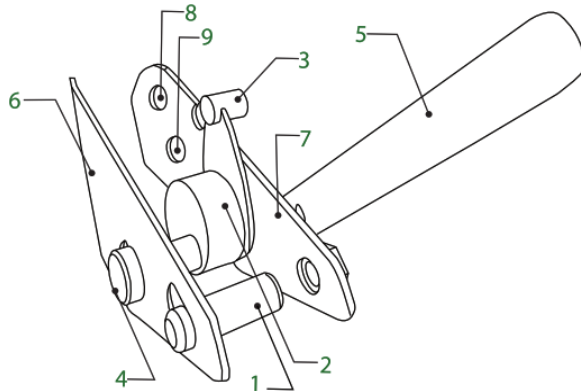
Materiales principales: aleación de aluminio, acero inoxidable y poliamida.

Equipo de protección individual (EPI).

Polea bloqueadora EN 567.

La PRO TRAXION permite que la cuerda deslice en un sentido y bloquee en sentido contrario. Los dientes de la leva inician la presión y, después, la cuerda se bloquea por pinzamiento en la roldana.

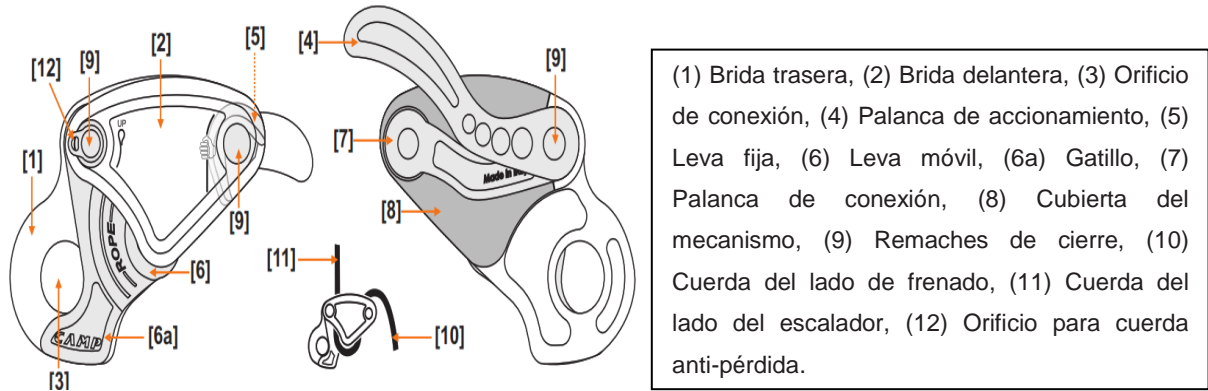
Figura 2.18. Descripción de Funcionamiento Pro Traxion



(1) Punto fijo, (2) Rueda de polea de eje excéntrico, (3) Punto de contacto entre polea de eje excéntrico y palanca, (4) Eje de polea excéntrica, permite la apertura del bloqueador, (5) Palanca que permite trasladar la fuerza de la mano a la polea, (6) Placa lateral móvil, permite que se pueda abrir el bloqueador para introducir la cuerda en cualquier posición, (7) Placa lateral fija, mantiene unidas todas las piezas del bloqueador, (8) Punto de anclaje, (9) Punto de anclaje adicional.

Cuando la cuerda se tensa genera un movimiento de rotación en la rueda (2), esto reduce la separación entre la rueda y el punto fijo quedando la cuerda prensada entre los dos elementos mencionados, de esta forma se produce un efecto de presión que mantiene la cuerda bloqueada. Para iniciar o reanudar el descenso se aplica presión sobre la palanca. Esta acción aumenta la separación entre la rueda y el punto fijo reduciéndose así el efecto de presión.

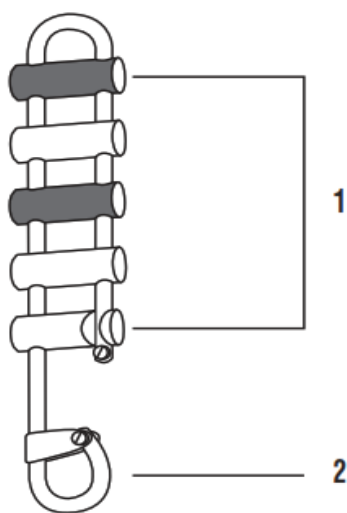
Figura 2.19. Descripción de Funcionamiento descendedor tipo C



En caso de carga en la cuerda del lado del anclaje/escalador [11], Druid/Druid Pro rota sobre el orificio de fijación [3], la leva móvil [6] rota hacia la leva fija [5] apretando la cuerda para frenarla. La mano del usuario, que en todo momento retiene la cuerda del lado de frenado [10] es una condición imprescindible para accionar la leva móvil [6] y, así, detener el deslizamiento de la cuerda. Para el correcto funcionamiento es indispensable que Druid/Druid Pro y la leva móvil [6] se pueden mover libremente.

Al tirar de la palanca de accionamiento [4], esta le permite soltar la cuerda de forma gradual y, mediante el control con la mano en la cuerda de frenado, permitir el descenso. Solo para Druid, en el caso de acción excesiva en la palanca, el dispositivo de bloqueo antipánico detiene la acción de la palanca: el frenado de la cuerda por el dispositivo depende siempre y en cualquier del hecho de mantener en la mano la cuerda de frenado. Tirando de la palanca de accionamiento [4] de Druid Pro el descenso es continuo y no hay un dispositivo de bloqueo antipánico, por lo tanto, Druid Pro es indicado para usuarios expertos o en situaciones de descenso en pendientes reducidas, donde el dispositivo de bloqueo antipánico es molesto. Al soltar la palanca de accionamiento [4], se interrumpe el descenso.

Figura 2.20. Descripción de Funcionamiento descendedor Druid



(1) Barras, (2) Punto de anclaje.

**Esquema 1. Colocación.** Instalación del descendor en el arnés: coloque el casquillo de cierre del mosquetón mirando hacia usted.

**Esquema 2. Bloqueo.** Para las llaves de bloqueo, la cuerda debe pasarse en las cinco barras del RACK. 3A. Bloqueo rápido: esta posición necesita que se mantenga la mano sobre el cabo libre. 3B. Bloqueo de seguridad.

**Esquema 3. Descenso**

Atención, utilizado solo, el RACK no asegura la función de bloqueo. La mano debe sujetar siempre el cabo libre.

Figura 2.21. Descripción de Funcionamiento descendedor Rack

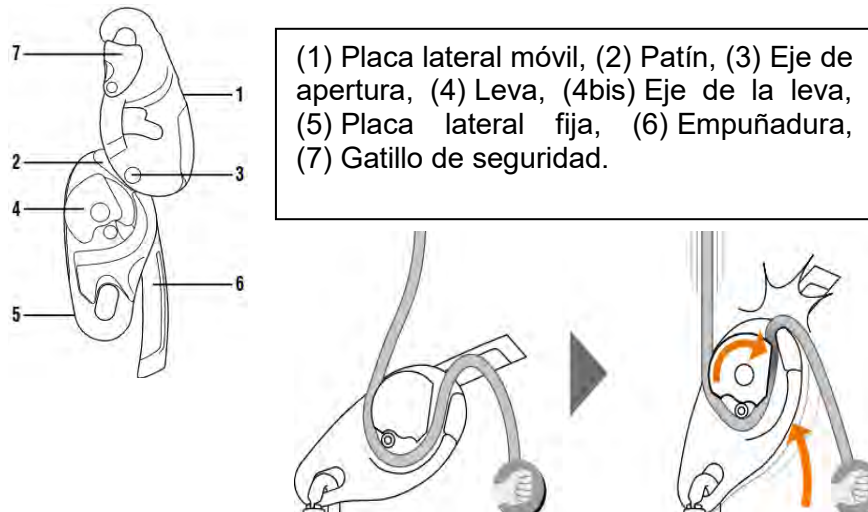


Figura 2.22. Descripción de Funcionamiento descendedor Rig

### 2.2.1 Descomposición funcional de sistemas comerciales

Con la finalidad de comprender de una manera más clara los sistemas de bloqueo de cuerda, se hizo la descomposición funcional de los diferentes tipos de dispositivos encontrados. Estos se clasifican como: bloqueadores, descendedores, aseguradores y poleas. A continuación, se presenta la descomposición funcional de estos.

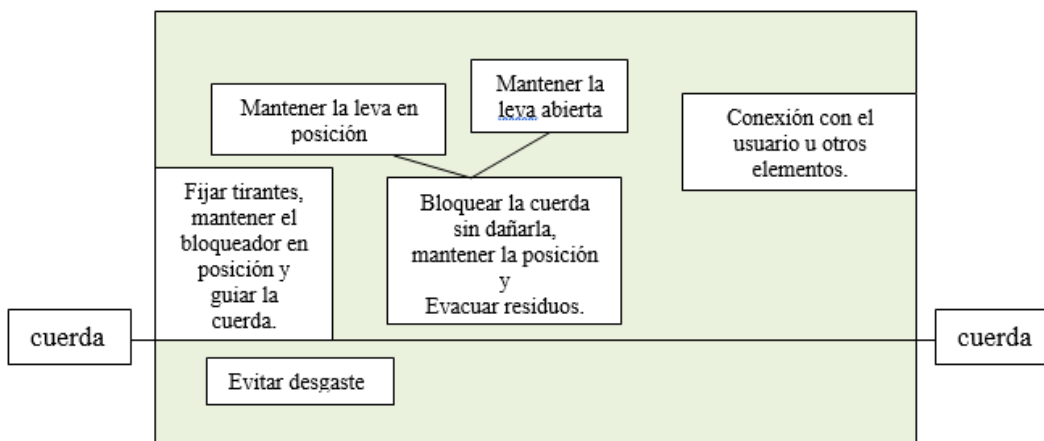


Figura 2.23 Descomposición funcional dispositivos bloqueadores



En la figura 2.23 se presenta la descomposición funcional de los bloqueadores de cuerda. En estos dispositivos se identificaron 6 funciones. Para realizar el bloqueo de cuerda estos utilizan una leva dentada, que incorpora un sistema de evacuación de residuos; esta leva solo permite que la cuerda se deslice en una dirección (ascenso), mientras que en la otra bloquea (descenso), el sistema estructural es el que permite la conexión con el usuario o anclaje, cuentan con un resorte que mantiene la leva en posición y además utiliza un sistema para abrir la leva y posicionar la cuerda.

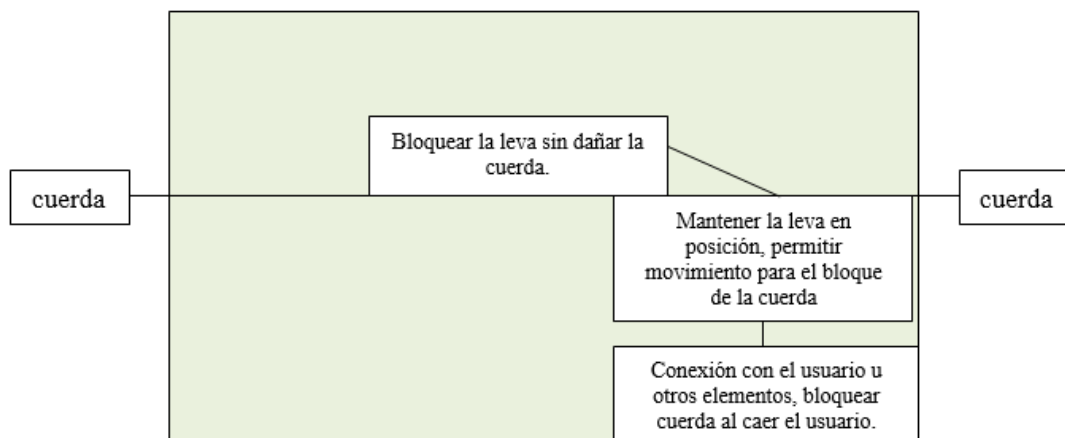


Figura 2.24 Descomposición funcional aseguradores

En la figura 2.24 se presenta la descomposición funcional de los aseguradores. En estos dispositivos se identificaron 4 funciones. Una leva lisa realiza el bloqueo, esta se acciona por la tensión que produce el usuario al caer, esta permite deslizamiento en ambas direcciones (ascenso y descenso); para el desbloqueo se utiliza una de las paredes del dispositivo que se encuentra conectada a la leva, y para desbloquear el usuario asegurador tiene que presionar la pared para permitir que la cuerda se deslice y poder brindar más cuerda al usuario que se encuentra escalando, el sistema estructural es el que permite la conexión o anclaje del usuario al dispositivo.



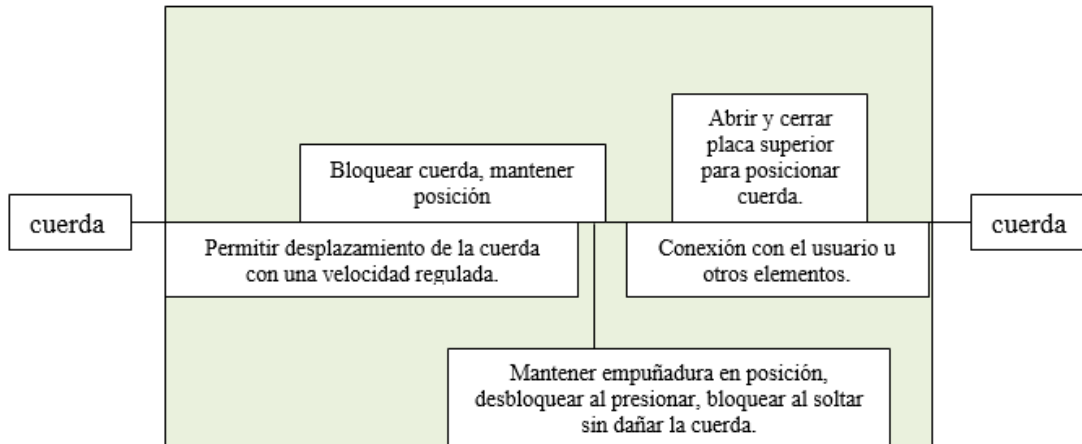


Figura 2.25 Descomposición funcional de descendedores

En la figura 2.25, se muestra la descomposición funcional de los dispositivos de descenso, en estos se pudieron identificar 5 funciones. El bloqueo se realiza con una leva lisa, esta permite el deslizamiento en ambas direcciones (acenso y descenso) aunque no de manera sencilla. Para el desbloqueo en algunos de estos dispositivos se utiliza una empuñadura que brinda mayor control al usuario al realizar el descenso; en otros casos no se utiliza una leva y el bloqueo se realiza mediante la acción de la fricción entre la cuerda y el bloqueador, requiriendo mayor destreza de parte del usuario. En este caso, el sistema estructural permite la conexión o anclaje del usuario, además esta cuenta con un sistema que permite abrir el sistema estructural para colocar la cuerda.

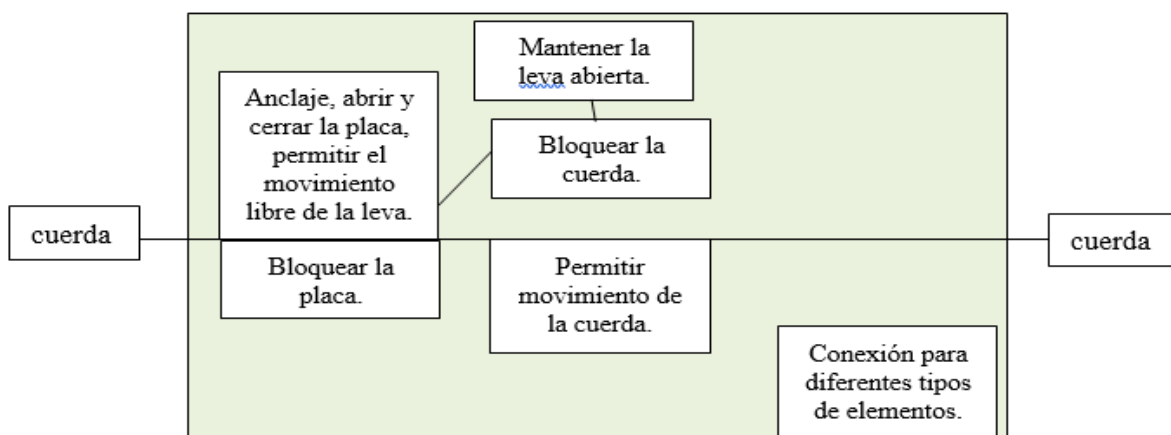


Figura 2.26 Descomposición funcional de poleas

La figura 2.26 se presenta la descomposición funcional de las poleas con bloqueador, en estas se identificaron 6 funciones principales. En este caso se usa una roldana para permitir el deslizamiento de la cuerda. Para el bloqueo de la cuerda se utiliza una leva dentada, permitiendo que la cuerda se deslice en una dirección y se bloquee en el otro. El sistema estructural permite el anclaje, la leva se posiciona por gravedad; además cuenta con un sistema para abrir la leva en caso de que no se desee bloquear.

La principal diferencia encontrada en los dispositivos es que, aunque algunos permiten el deslizamiento de la cuerda en ambos sentidos (como en el caso de los aseguradores como de los descendedores) esto no permite el ascenso del usuario a través de la cuerda. Motivo por lo cual, aunque se utilizan sistemas similares para el bloqueo, la función de los dispositivos es diferente; lo mismo ocurre con los bloqueadores y las poleas.

### **2.3 Análisis de sistemas de dispositivos comerciales**

Después de realizar la descomposición funcional de los dispositivos comerciales, a continuación, se presenta los sistemas identificados que realizan las funciones descritas en el apartado anterior. Se analizó cada dispositivo comercial y se enumeraron e identificaron los sistemas que los componen, de esta manera se permite identificar los sistemas empleados y la diferencias entre cada dispositivo.

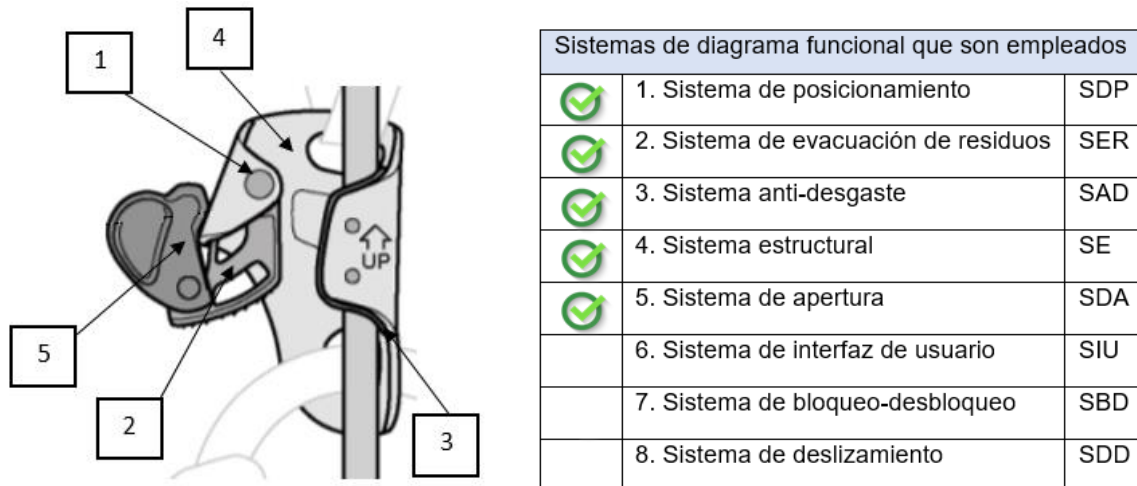


Figura 2.27 Identificación de sistemas croll

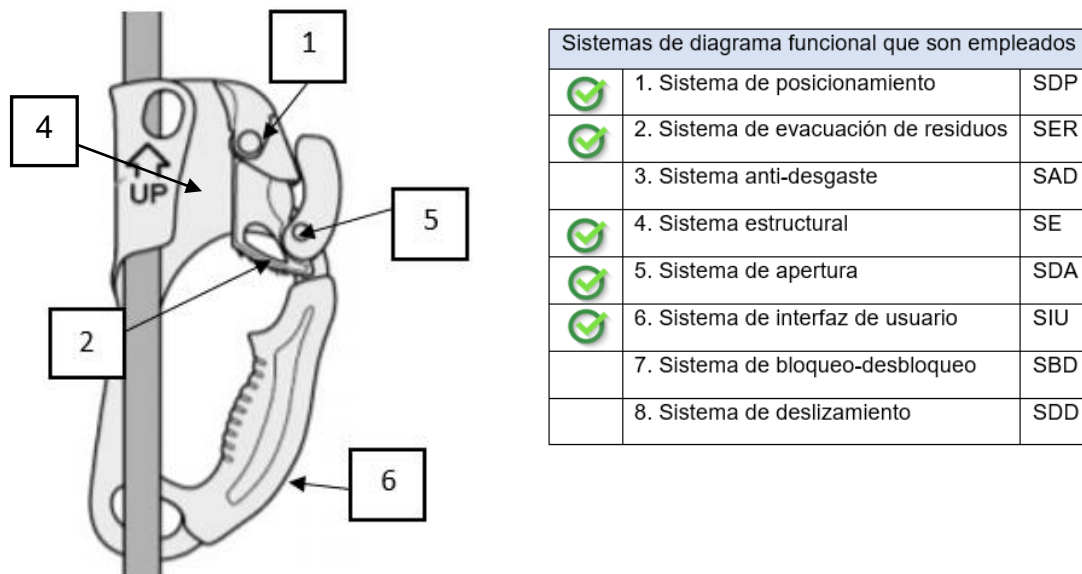


Figura 2.28 Identificación de sistemas bloqueador de mano

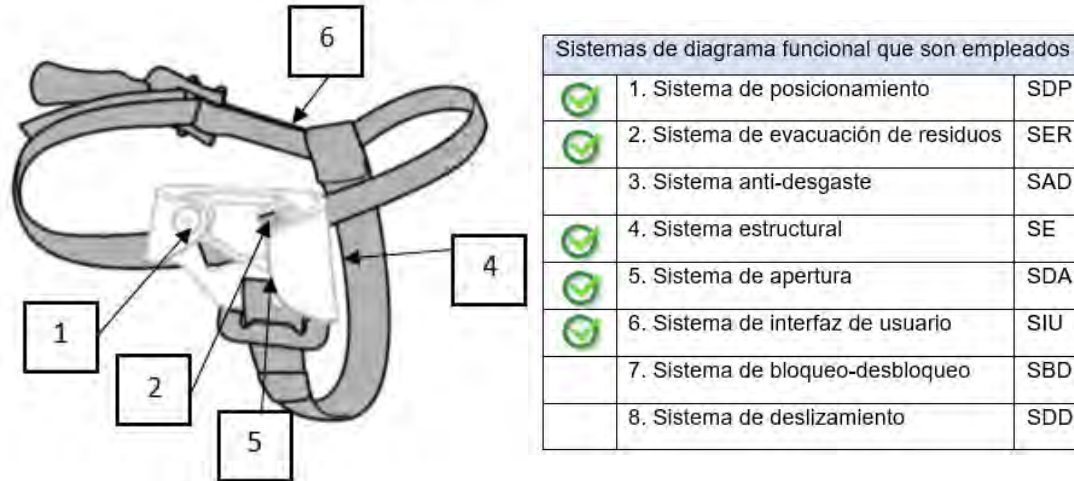


Figura 2.29 Identificación de sistemas bloqueador de pie

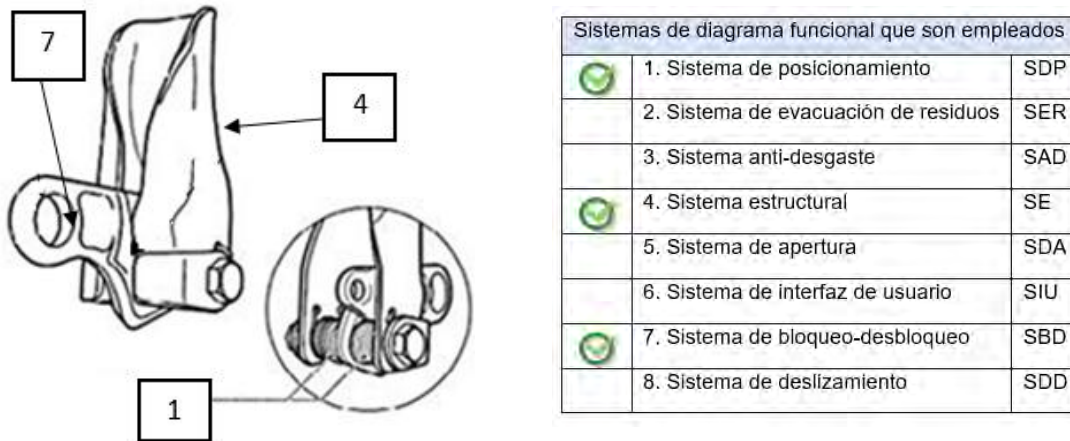
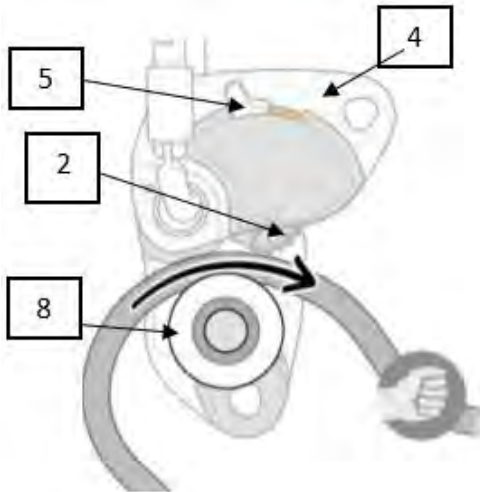


Figura 2.30 Identificación de sistemas bloqueador shunt

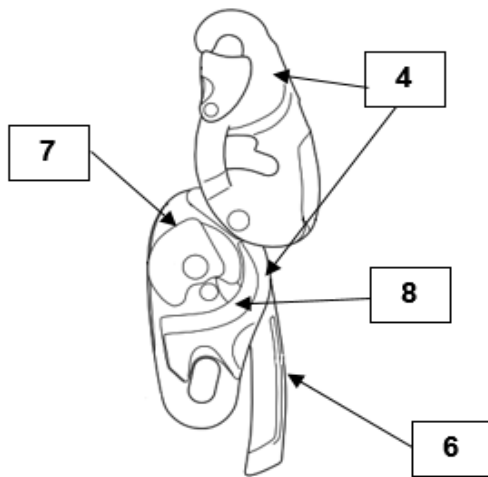


Figura 2.31 Identificación de sistemas descendedor stop



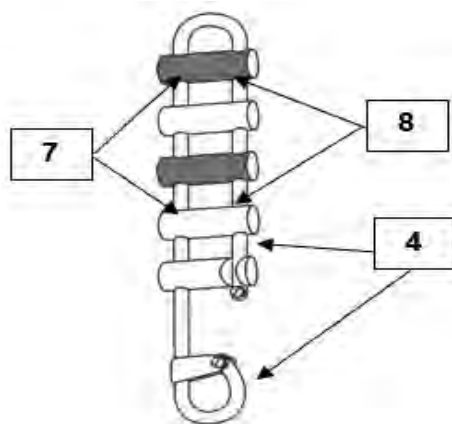
Sistemas de diagrama funcional que son empleados		
	1. Sistema de posicionamiento	SDP
✓	2. Sistema de evacuación de residuos	SER
	3. Sistema anti-desgaste	SAD
✓	4. Sistema estructural	SE
✓	5. Sistema de apertura	SDA
	6. Sistema de interfaz de usuario	SIU
	7. Sistema de bloqueo-desbloqueo	SBD
✓	8. Sistema de deslizamiento	SDD

Figura 2.32 Identificación de sistemas Pro traction



Sistemas de diagrama funcional que son empleados		
	1. Sistema de posicionamiento	SDP
	2. Sistema de evacuación de residuos	SER
	3. Sistema anti-desgaste	SAD
✓	4. Sistema estructural	SE
	5. Sistema de apertura	SDA
✓	6. Sistema de interfaz de usuario	SIU
✓	7. Sistema de bloqueo-desbloqueo	SBD
✓	8. Sistema de deslizamiento	SDD

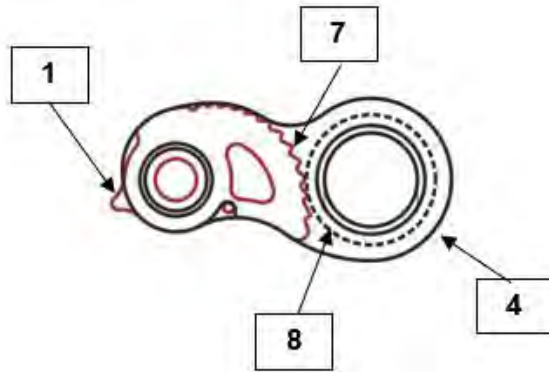
Figura 2.33 Identificación de sistemas Rig



Sistemas de diagrama funcional que son empleados		
	1. Sistema de posicionamiento	SDP
	2. Sistema de evacuación de residuos	SER
	3. Sistema anti-desgaste	SAD
✓	4. Sistema estructural	SE
	5. Sistema de apertura	SDA
	6. Sistema de interfaz de usuario	SIU
✓	7. Sistema de bloqueo-desbloqueo	SBD
✓	8. Sistema de deslizamiento	SDD

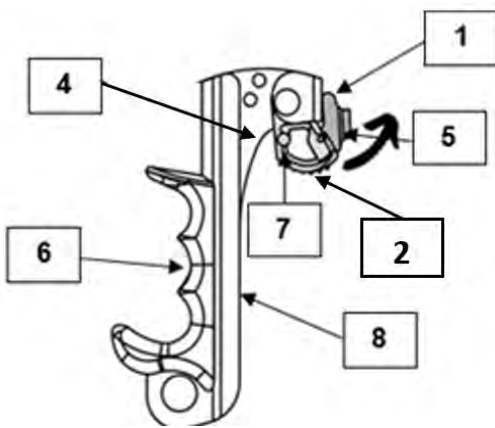
Figura 2.34 Identificación de sistemas Rack





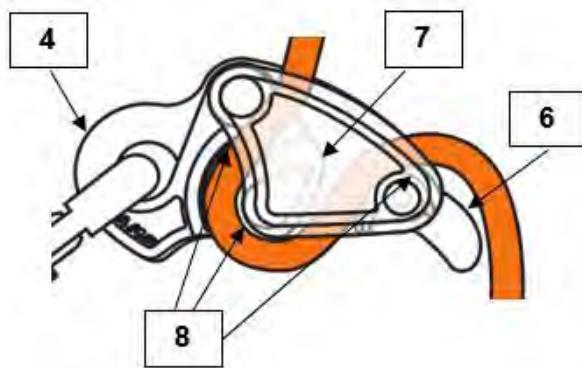
Sistemas de diagrama funcional que son empleados		
✓	1. Sistema de posicionamiento	SDP
	2. Sistema de evacuación de residuos	SER
	3. Sistema anti-desgaste	SAD
✓	4. Sistema estructural	SE
	5. Sistema de apertura	SDA
	6. Sistema de interfaz de usuario	SIU
✓	7. Sistema de bloqueo-desbloqueo	SBD
✓	8. Sistema de deslizamiento	SDD

Figura 2.35 Identificación de sistemas Duck



Sistemas de diagrama funcional que son empleados		
✓	1. Sistema de posicionamiento	SDP
✓	2. Sistema de evacuación de residuos	SER
	3. Sistema anti-desgaste	SAD
✓	4. Sistema estructural	SE
✓	5. Sistema de apertura	SDA
✓	6. Sistema de interfaz de usuario	SIU
✓	7. Sistema de bloqueo-desbloqueo	SBD
✓	8. Sistema de deslizamiento	SDD

Figura 2.36 Identificación de sistemas Future hand



Sistemas de diagrama funcional que son empleados		
	1. Sistema de posicionamiento	SDP
	2. Sistema de evacuación de residuos	SER
	3. Sistema anti-desgaste	SAD
✓	4. Sistema estructural	SE
	5. Sistema de apertura	SDA
✓	6. Sistema de interfaz de usuario	SIU
✓	7. Sistema de bloqueo-desbloqueo	SBD
✓	8. Sistema de deslizamiento	SDD

Figura 2.37 Identificación de sistemas Druid

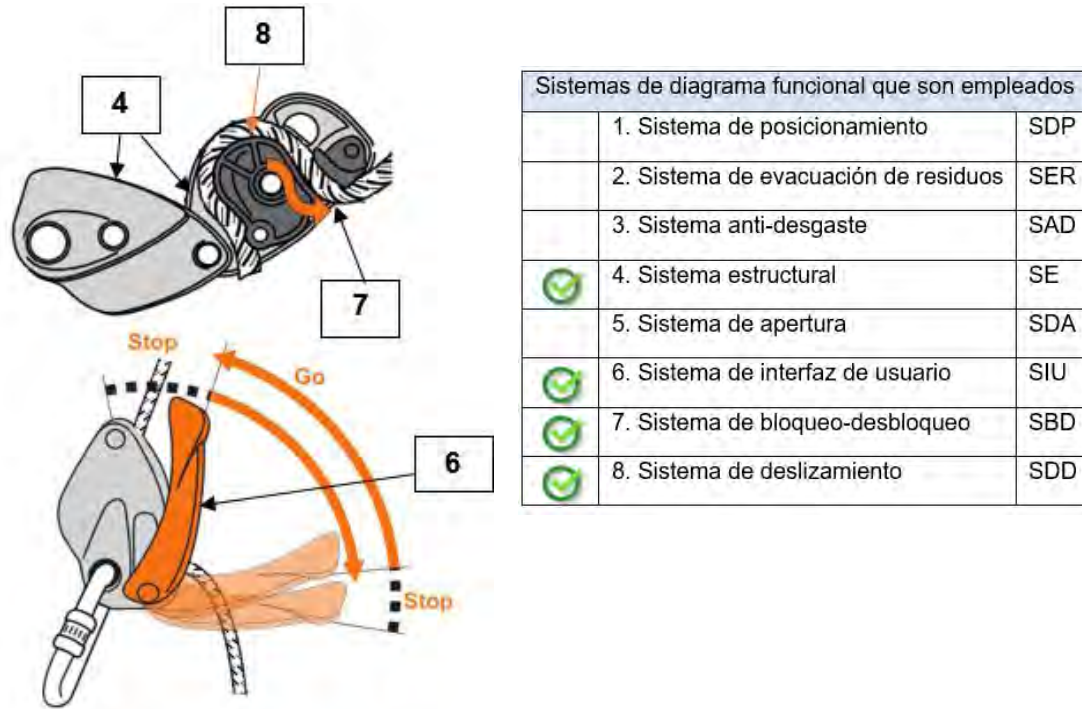


Figura 2.38 Identificación de sistemas Axel

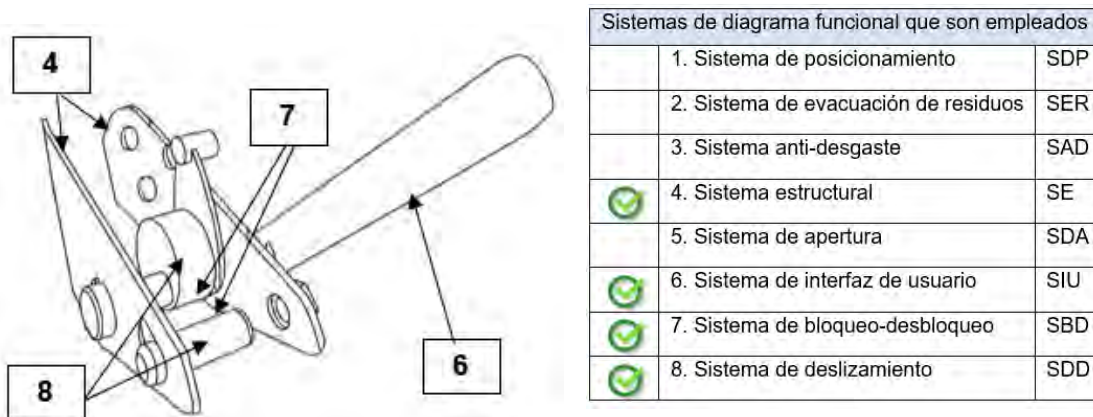


Figura 2.39 Identificación de sistemas Autobloqueante tipo C

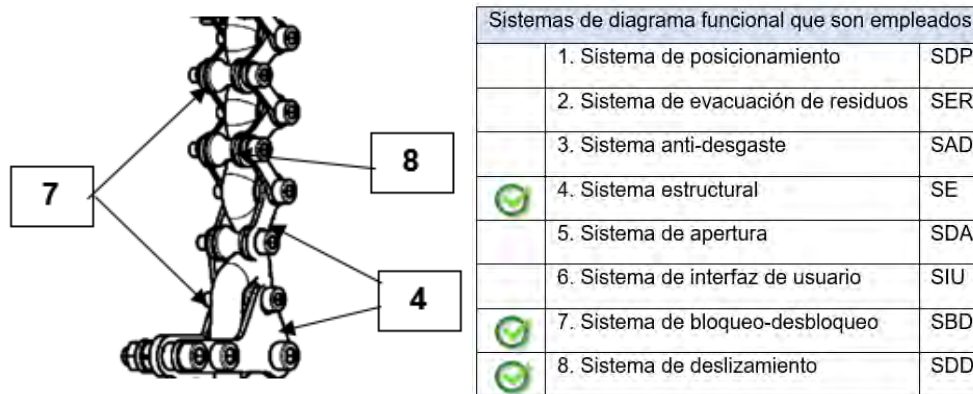


Figura 2.40 Identificación de sistemas Bloqueador para ascenso y descenso

### 2.3.1 Comparativo de sistemas utilizados en dispositivos comerciales

En las siguientes tablas (Tablas 2.6 y 2.7) se presentan la comparativa de sistemas utilizados en los dispositivos comerciales.

Tabla 2.6 Comparativa de sistemas en dispositivos comerciales

Dispositivo / Sistema	croll	Bloqueador de mano	<u>Patín</u>	Shunt	Stop	<u>Pro traxion</u>
1. SDP						
2. SER						
3. SAD						
4. SE						
5. SDA						
6. SIU						
7. SBD						
8. SDD						

Tabla 2.7 Comparativa de sistemas en dispositivos comerciales 2

Dispositivo / Sistema	<u>Rig</u>	Rack	<u>Duck</u>	<u>Futura hand</u>	<u>Druid</u>	Axel	Descendedor auto-bloqueante tipo c
1. SDP							
2. SER							
3. SAD							
4. SE							
5. SDA							
6. SIU							
7. SBD							
8. SDD							



Como se muestra en las Tablas 2.6 y 2.7 no todos los sistemas identificados en los dispositivos comerciales aplican para los diferentes tipos de dispositivos, estos varían dependiendo la función que el dispositivo realiza, ya sea ascender o descender.

### 2.3.2 Matriz morfológica

En la siguiente matriz (tabla 2.8) se presentan las alternativas a los sistemas empleados en los dispositivos comerciales.



















Alternativas Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
SDP					
SER					
SAD					
SE					
SDA					
SIU					
SBD					
SDD					

Tabla 2.8 Matriz morfológica de sistemas comerciales

## CAPÍTULO 3

### 3.1 Generación de conceptos

En esta etapa se presentan los conceptos que darán solución a los diferentes sistemas propuestos para que se componga el sistema de bloqueo de cuerdas, basados en la información recolectada; además de las áreas de oportunidad que se detecten.

#### 3.1.1 Radar de innovación Triz

Con la finalidad de encontrar áreas de oportunidad en el diseño de los sistemas de bloqueo de cuerdas, se utilizó una herramienta conocida como CREAM Innovation Suite, para identificar el nivel de desarrollo de los dispositivos comerciales donde se observó el nivel de evolución según las distintas tendencias de evolución seleccionadas. Solo se analizaron las tendencias evolutivas que más se ajustan a este tipo de dispositivos.



Figura 3.1 Radar Croll

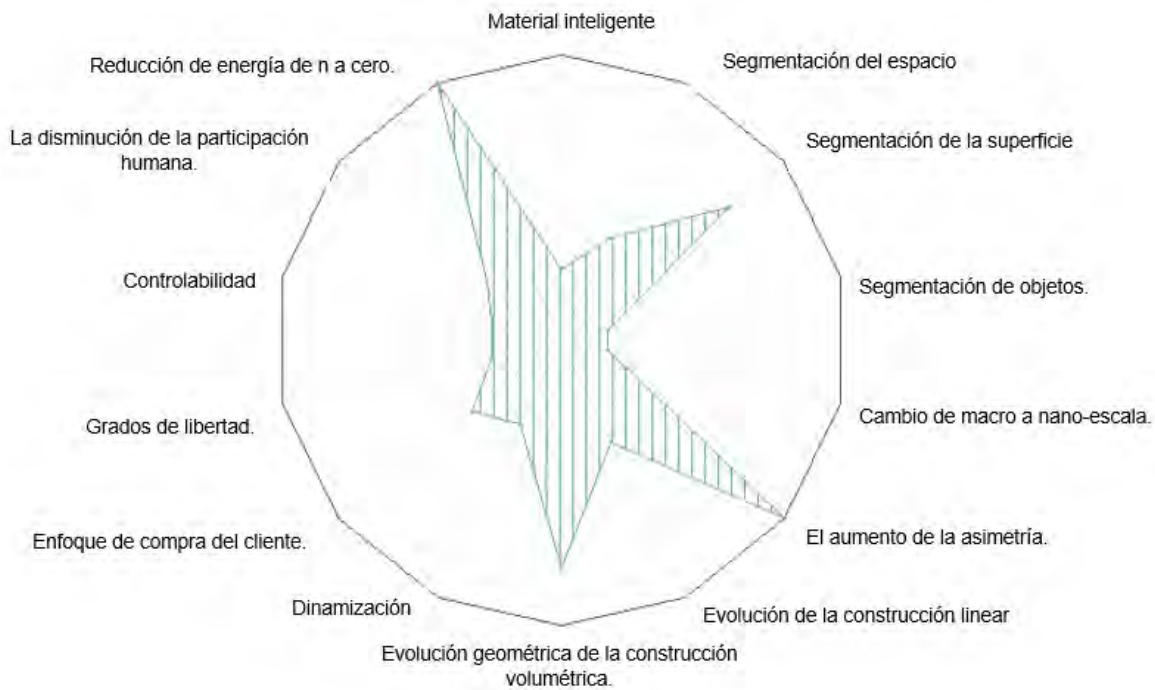


Figura 3.2 Radar Bloqueador de mano



Figura 3.3 Radar bloqueador de pie

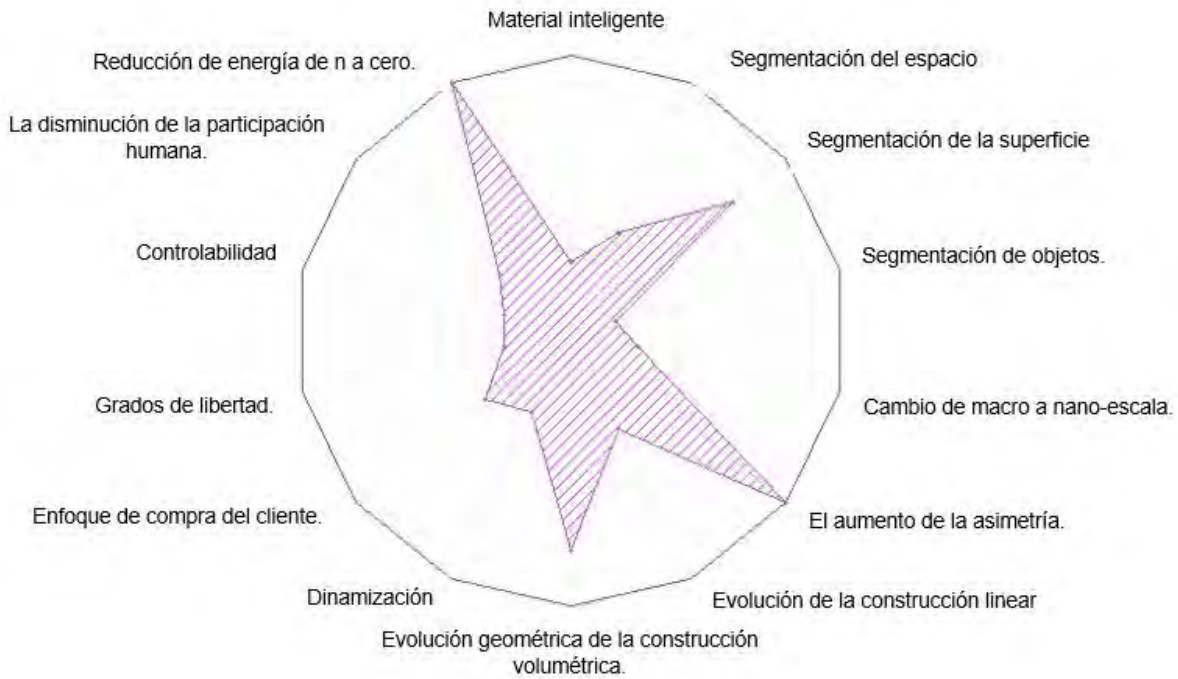


Figura 3.4 Radar bloqueador shunt



Figura 3.5 Radar stop

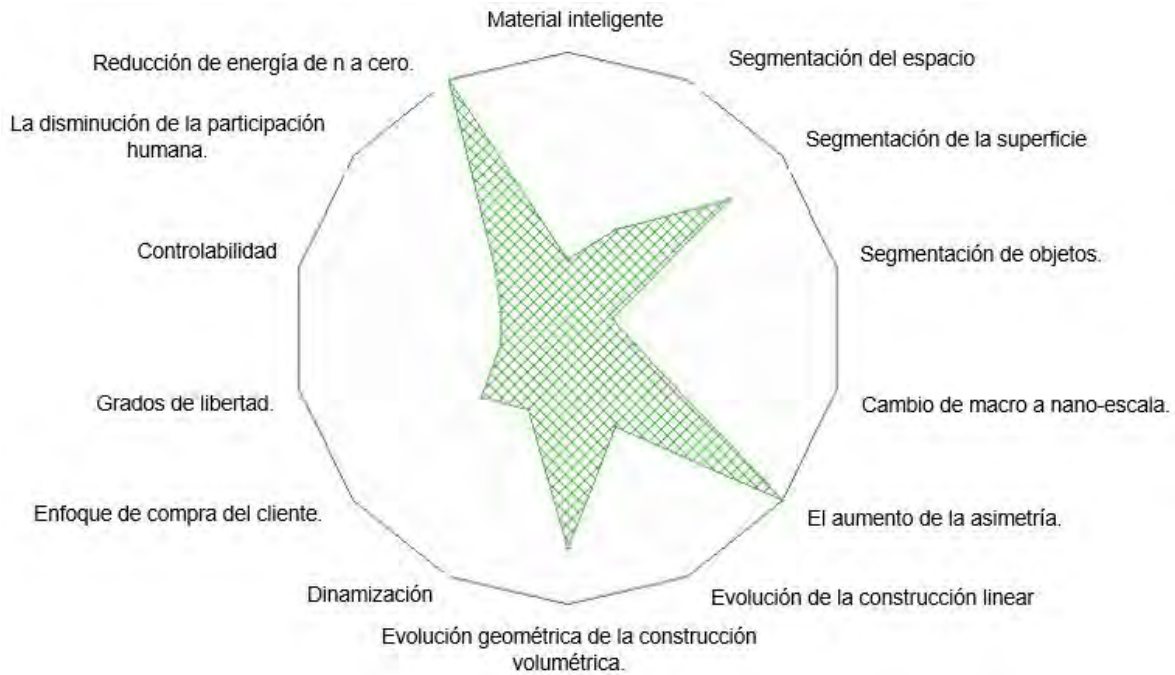


Figura 3.6 Radar polea



Figura 3.7 Radar Rig





Figura 3.8 Radar auto-bloqueante tipo C



Figura 3.9 Radar ocho



Figura 3.10 Radar Rack

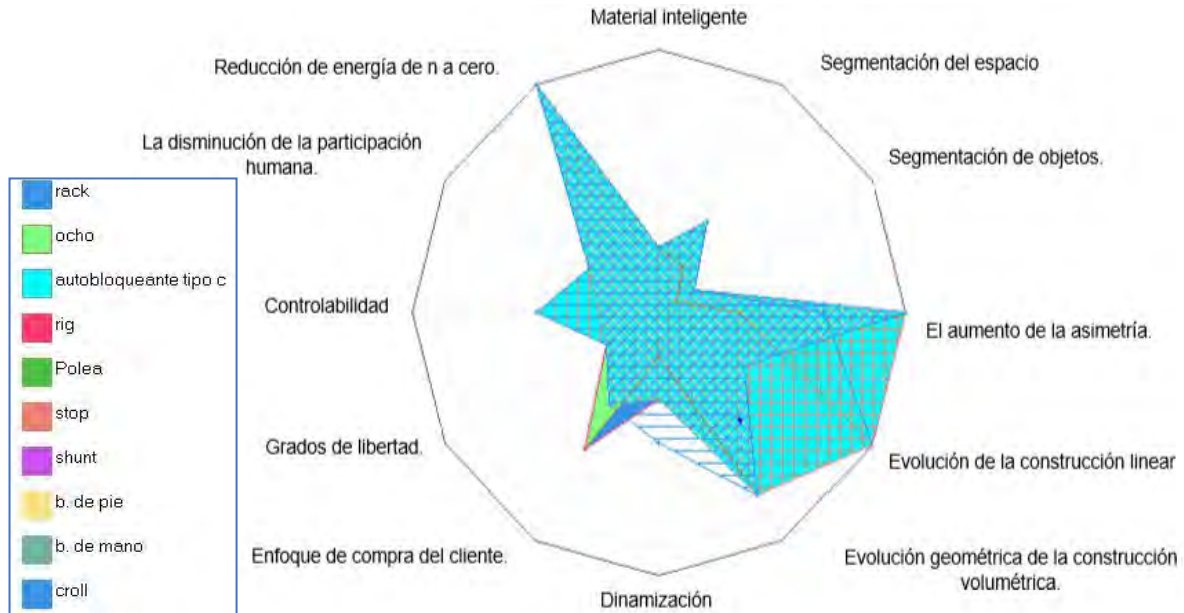


Figura 3.11 Radar comparativo

Al realizar la comparación de las tendencias evolutivas de los dispositivos se puede observar lo siguiente:

En las tendencias que tienen en común los dispositivos, se muestra que los puntos fuertes están en el desarrollo de uso eficiente de energía, segmentación de la superficie, el aumento de la simetría y la evolución geométrica de la construcción volumétrica. Los puntos débiles son el uso de materiales inteligentes, segmentación del dispositivo, dinamización, disminución de la participación humana y el enfoque de compra del cliente. En el caso del descensor, se puede observar que tiene mejor controlabilidad que los demás, debido a que tiene una empuñadura que da control al usuario al descender según lo requiera.

Esto nos indica oportunidades de innovación si se combinan los puntos fuertes de los dispositivos aquí evaluados. Se puede obtener un dispositivo con tendencias evolutivas más altas, lo que daría un dispositivo más completo que cubra las necesidades de diferentes posibles clientes haciéndolo más atractivo al usuario; por lo cual se busca hacer modular el dispositivo, buscando hacerlo más compacto, y que permita remover alguno de sus componentes o permita reemplazarlos con facilidad, además de buscar utilizar plásticos blandos en las áreas de contacto con el usuario.

### **3.1.2 Requerimientos y especificaciones**

En la tabla 3.1, se muestran los requerimientos y especificaciones para el sistema de bloqueo de cuerdas.



Tabla 3.1 Requerimientos y especificaciones

Requerimientos	Especificaciones
Resistente	Resistencia mínima de trabajo en ascenso de 4 KN y en descenso de 3 KN
Ergonómico	Que se pueda accionar con una mano y usarse por al menos 1 hora sin que se canse el usuario
Ligero	700 gr o menos
Que sea pequeño	17x6x4 cm Max.
Fácil de usar	Que se pueda instalar en menos de 5 movimientos
Compatibilidad	Con cuerdas de 8 a 12 mm y mosquetones comerciales de 9.5 a 12.9 mm
Seguro a condiciones de trabajo diferentes	80 a - 40 °C
Que sea durable	3 años sin importar el uso
Sin mantenimiento	Sin necesidad de dar mantenimiento durante 3 años

### 3.1.3 Diagrama de caja negra

En la figura 3.12 se presenta el diagrama de caja negra para el sistema de bloqueo de cuerdas.

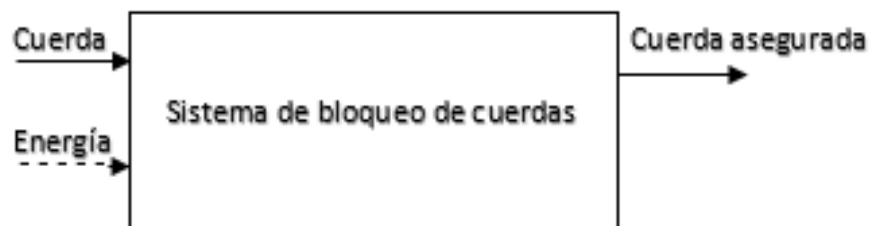


Figura 3.12 Diagrama de caja negra

### 3.1.4 Sistemas propuestos para el dispositivo

Basado en la búsqueda con la finalidad de enriquecer la información contenida en el estado de arte del presente proyecto, se encontraron más dispositivos además de patentes; que de igual manera se les hizo la descomposición funcional, arrojando más alternativas de solución para los sistemas propuestos. Además, tomando en cuenta lo aprendido en la clase de diseño comparativo, se buscó

como cumplir con la función de contenido, comparando las diferentes alternativas se llegó a generar un segundo diagrama funcional que a continuación se describe.

1. Sistema de bloqueo-desbloqueo (SBD)
2. Sistema de evacuación de residuos (SER)
3. Sistema de posicionamiento (SP)
4. Sistema estructural (SE)
5. Sistema de interfaz de usuario (SIU)

### 3.1.5 Diagrama de sistemas propuesto

En la figura 3.13 se presenta el diagrama funcional propuesto para el sistema de bloqueo de cuerdas.

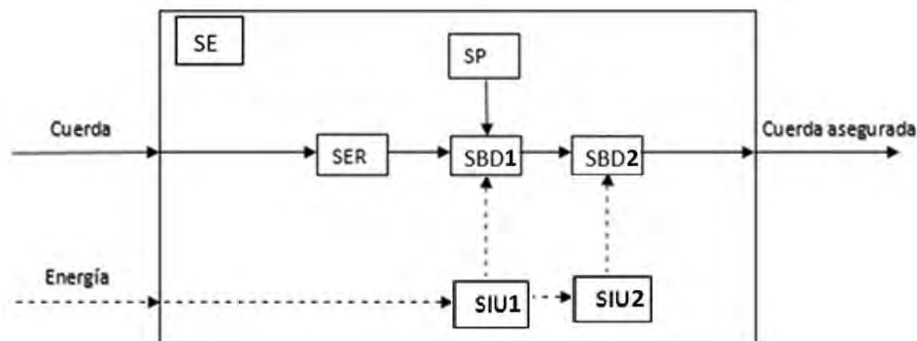



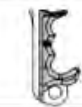









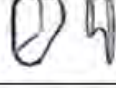



Figura 3.13 Diagrama de sistemas propuesto

### 3.1.6 Matriz de alternativas comerciales y sugeridas

Se procedió a proponer alternativas de solución para cada sistema, y se tomaron en cuenta las usadas en los dispositivos comerciales y se presentan a continuación en la tabla 3.2.

Tabla 3.2 Matriz de alternativas comerciales y propuestas

Alternativas Sistema	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
SIU1					
SIU2					
SDB1					
SDB2					
SER					
SP					
SE					

### 3.2 Selección de conceptos

Para poder determinar cuáles son las mejores alternativas de cada sistema, se recurrió a calcular el factor de peso y posteriormente la matriz de decisión que indica cual alternativa cumple de mejor manera los requerimientos para el dispositivo a diseñar; y de esta manera proponer una tercera propuesta de configuración. Se debe aclarar que esta metodología se aplicó para los sistemas en los que se tiene duda acerca de las alternativas a implementar.

#### 3.2.1 Requerimientos y su importancia

En la tabla 3.3 se muestran cada uno de los requerimientos y se explica brevemente la importancia de estos para el dispositivo a diseñar.

Tabla 3.3 Requerimientos y su importancia

Requerimientos	Especificaciones	Importancia	Siglas
Resistente	Resistencia mínima de trabajo en ascenso de 4 KN y en descenso de 3 KN.	5	RES
Ergonómico	Que se pueda accionar con una mano y usarse por al menos 1 hora sin que se canse el usuario.	3	ERG
Ligero	700 gr o menos	3	LIG
Que sea pequeño	17x6x4 cm Max.	2	QSP
Fácil de usar	Que se pueda instalar en menos de 5 movimientos	4	FAU
Compatibilidad	Con cuerdas de 8 a 12 mm y mosquetones comerciales de 9.5 a 12.9 mm	3	COM
Seguro a condiciones de trabajo diferentes	80 a - 40 °C	5	SCT
Que sea durable	3 años sin importar el uso	4	QSD
Sin mantenimiento	Sin necesidad de dar mantenimiento durante 3 años	2	SIM

### 3.2.2 Factor de peso

Se determinó el factor de peso para todos los requerimientos, para ser utilizados en la selección de las alternativas de solución. A continuación, se presentan, de la tabla 3.4 a la tabla 3.7, los factores de peso para cada sistema.

Tabla 3.4 Factor de peso para el sistema de interfaz de usuario

	RES	LIG	FAU	SCT	QSD	SIM	ECO	suma	Factor de peso
RES	1	1	0	1	1	1	1	5	0.2381
LIG	0	1	0	0	0	0	0	0	0.0000
FAU	0	1	1	0	1	0	0	2	0.0952
SCT	1	1	1	1	1	1	1	6	0.2857
QSD	0	1	0	0	1	0	1	2	0.0952
SIM	0	1	1	0	1	1	1	4	0.1905
ECO	0	1	1	0	0	0	1	2	0.0952
							Total	21	1

Tabla 3.5 Factor de peso para el sistema de bloqueo

	RES	LIG	QSP	FAU	COM	SCT	QSD	SIM	ECO	suma	Factor de peso
RES	1	1	1	1	1	0	1	1	1	7	0.1556
LIG	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0.0222
QSP	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0.0444
FAU	0	1	0	1	1	0	1	0	0	3	0.0667
COM	0	1	1	0	1	0	0	0	1	3	0.0667
SCT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0.1778
QSD	0	1	1	0	1	0	1	0	1	4	0.0889
SIM	0	1	0	1	1	0	1	1	1	5	0.1111
ECO	0	1	1	1	0	0	0	0	1	3	0.0667
Total										36	1

Tabla 3.6 Factor de peso para el sistema de posicionamiento

	RES	LIG	QSP	FAU	QSD	SIM	ECO	suma	Factor de peso	
RES	1	1	1	1	1	1	1	6	0.2857	
LIG	0	1	1	0	0	0	0	1	0.0476	
QSP	0	0	1	1	0	1	0	2	0.0952	
FAU	0	1	0	1	1	0	0	2	0.0952	
QSD	0	1	1	0	1	0	1	3	0.1429	
SIM	0	1	0	1	1	1	1	4	0.1905	
ECO	0	1	1	1	0	0	1	3	0.1429	
Total									21	1

En el caso de las tablas 3.4 a 3.6 el requerimiento que menor puntuación tuvo fue el que fuera ligero, por lo cual en estos casos es el requerimiento con menor importancia.

Tabla 3.7 Factor de peso para el sistema estructural

	RES	ERG	LIG	QSP	FAU	COM	SCT	QSD	SIM	ECO	suma	Factor de peso
RES	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	8	0.1778
ERG	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	2	0.0444
LIG	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	2	0.0444
QSP	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	2	0.0444
FAU	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	4	0.0889
COM	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	4	0.0889
SCT	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9	0.2000
QSD	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	5	0.1111
SIM	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	6	0.1333
ECO	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	3	0.0667
Total											45	1

En la tabla 3.7 tres de los requerimientos que sea pequeño, que sea ergonómico y que sea ligero, presentaron la misma puntuación la cual fue la más baja, por lo cual son los requerimientos con menor importancia en este sistema.

En las tablas 3.4 a 3.7 se presenta el factor de peso para los requerimientos en cada sistema, este factor fue utilizado para poder seleccionar la propuesta que

mejor cumple con los requerimientos, tomando en cuenta cuales son más importantes.

### 3.2.3 Matriz de decisión

A continuación, de la tabla 3.8 a la tabla 3.11, se presenta la matriz de decisión para las alternativas propuestas a cada sistema.





Tabla 3.8 Matriz de decisión para el sistema de interfaz de usuario

Factor de peso	Alternativa		
	Requerimiento		
0.2381	RES	1.904761905	0.952380952
0.0476	ERG	0.428571429	0.238095238
0.0952	FAU	0.952380952	0.952380952
0.2857	SCT	2	1.428571429
0.0952	QSD	0.857142857	0.571428571
0.1905	SIM	1.904761905	1.714285714
0.0476	ECO	0.19047619	0.476190476
1	Total	8.238095238	6.333333333

En el caso del sistema de interfaz de usuario la alternativa de solución que cumple de mejor manera con los requerimientos es la opción A, que consta de la empuñadura conectada a la leva de bloqueo.



Tabla 3.9 Matriz de decisión para el sistema de bloqueo

Factor de peso	Alternativa					
	Requerimiento					
0.1944	RES	1.555555556	1.361111111	1.3611111	1.75	
0.0278	LIG	0.138888889	0.083333333	0.1388889	0.25	
0.0556	QSP	0.166666667	0.166666667	0.2777778	0.5	
0.0833	COM	0.833333333	0.666666667	0.75	0.8333333	
0.2222	SCT	2	2	2	2	
0.1111	QSD	1.111111111	1.111111111	0.8888889	1.1111111	
0.1389	SIM	1.388888889	1.388888889	1.3888889	1.3888889	
0.0833	ECO	0.5	0.75	0.6666667	0.8333333	
1	Total	7.694444444	7.527777778	7.4722222	8.6666667	

Para el sistema de bloqueo se la alternativa de bloqueo que cumple de mejor manera con los requerimientos según su puntuación es la leva lisa que pincha la cuerda contra la pared del dispositivo.

Tabla 3.10 Matriz de decisión para el sistema de posicionamiento

Factor de peso	Alternativa			
	Requerimiento			
0.285714286	RES	1.714285714	2.857142857	
0.047619048	LIG	0.380952381	0.476190476	
0.095238095	QSP	0.857142857	0.952380952	
0.095238095	FAU	0.952380952	0.571428571	
0.142857143	QSD	1.142857143	1.428571429	
0.19047619	SIM	1.904761905	1.904761905	
0.142857143	ECO	1.142857143	1.428571429	
1	Total	8.095238095	9.619047619	

En el caso de las alternativas de solución que mejor cumplen con los requerimientos en el sistema de posicionamiento, la segunda opción de usar el peso de la leva para que se posicione por sí misma fue la que mejor puntuación obtuvo, sin embargo, no es compatible con la configuración propuesta, por lo cual se usara un resorte de torsión.

Tabla 3.11 Matriz de decisión para el sistema estructural

Factor de peso	Alternativa		Requerimiento	
				
0.177777778	RES	1.777777778	1.6	
0.044444444	ERG	0.4	0.355555556	
0.044444444	LIG	0.355555556	0.266666667	
0.044444444	QSP	0.311111111	0.311111111	
0.088888889	FAU	0.711111111	0.888888889	
0.088888889	COM	0.888888889	0.888888889	
0.2	SCT	2	2	
0.111111111	QSD	0.555555556	1.111111111	
0.133333333	SIM	1.066666667	1.333333333	
0.066666667	ECO	0.466666667	0.533333333	
1	Total	8.533333333	9.288888889	

Con base en los resultados obtenidos en las tablas anteriores, se seleccionan las alternativas de solución que se considera cumplen de mejor manera con los requerimientos. Sin embargo, cabe mencionar que para la selección del sistema desbloqueo se requieren dos alternativas; se seleccionó la opción con mayor puntaje, que es una leva lisa que pincha la cuerda utilizando el sistema estructural, además de la que cuenta con el tercer mejor puntaje que es la leva dentada, ya que en el caso de la segunda mejor alternativa resultaría incompatible con la opción seleccionada, debido a la manera en que se buscaría realizar el pinzamiento. El caso del sistema de posicionamiento se optó por elegir la opción de el resorte de torsión, debido a que se requiere se mantenga la leva en una posición que facilite la fricción entre los dientes de la leva y la cuerda para producir el pinzamiento, y de esta manera lograr un correcto funcionamiento.

### 3.3 Propuestas de configuración

En este apartado se presentan las propuestas de configuración para el dispositivo de bloqueo de cuerdas, basado en las alternativas seleccionadas en las matrices de decisión mostradas en el apartado anterior.



### 3.3.1 Primera propuesta de configuración

En la figura 3.14 se muestra el diagrama funcional de la primera propuesta de configuración para el sistema de bloqueo de cuerdas.

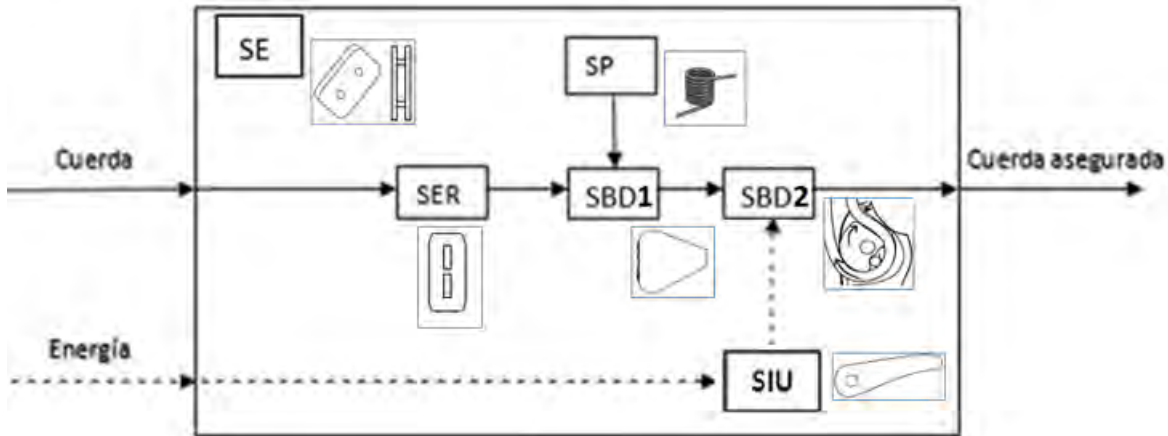


Figura 3.14 Diagrama de primera propuesta de configuración de sistemas

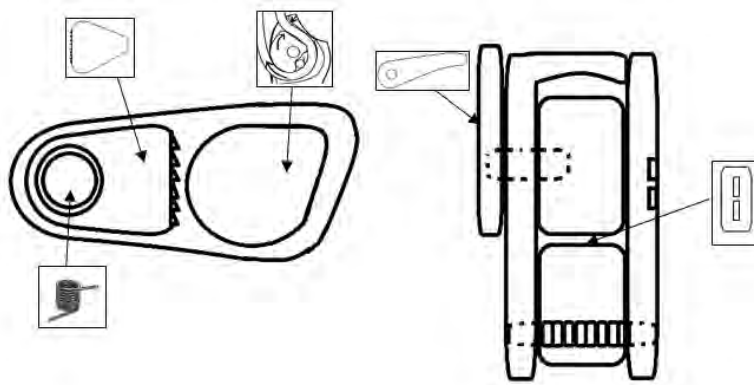


Figura 3.15 Primera propuesta de configuración

De esta primera propuesta se realizó un modelo CAD que fue pensado para la elaboración de un prototipo cuyo material principal fuera el MDF, con la finalidad de hacer pruebas de funcionamiento y comprobar la viabilidad de la configuración.

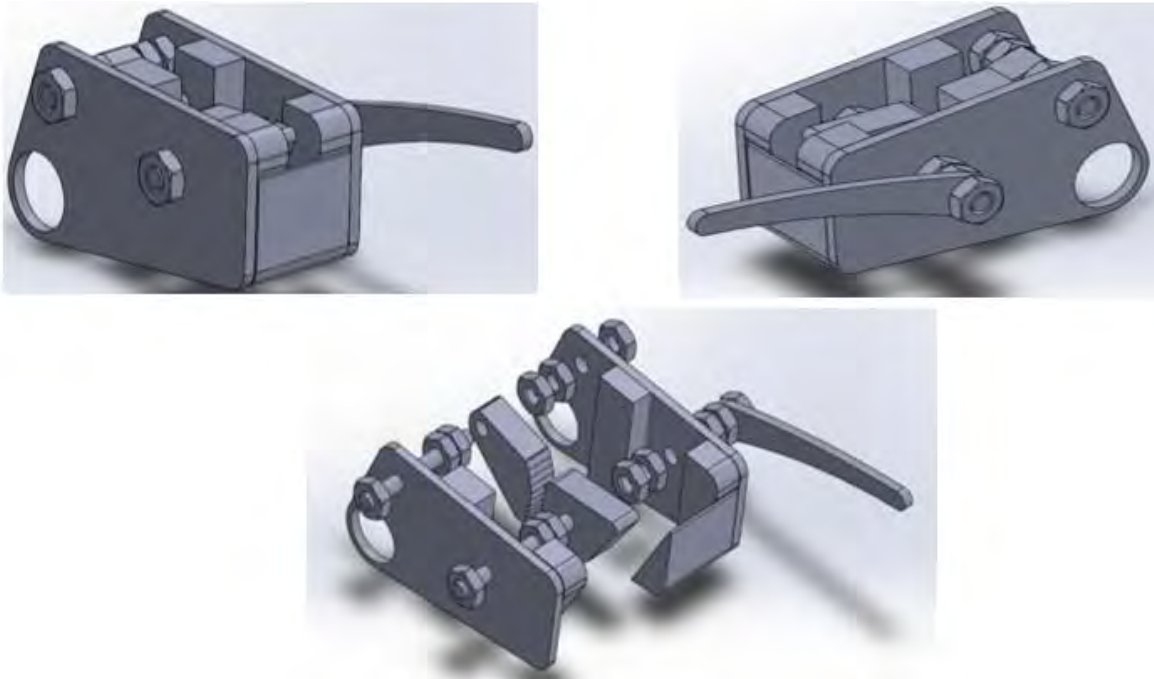


Figura 3.16 Primera propuesta CAD

Del modelo CAD antes presentado se realizó un modelo que fue fabricado con MDF. Este fue cortado con láser para realizar las piezas necesarias y fue utilizada una prensa y pegamento para conformar algunas de las partes. Estos prototipos fueron de utilidad para comprobar las alternativas seleccionadas para cada función del dispositivo, de esta manera se muestran en las figuras 3.19 y 3.20.



Figura 3.17 Manufactura de modelo MDF



Figura 3.18 Primer modelo MDF

El prototipo fue diseñado para bloquear cuerdas con diámetros de 4 a 7 mm, en sustitución del resorte se utilizó una liga que funciona como sistema de posicionamiento. Se probaron dos diámetros de cuerda, el primero 4 mm y el segundo de 6.4 mm. Con el cordón de 4 mm se pudo lograr el bloqueo de la cuerda con ambas levas; sin embargo, con la leva dentada al utilizar la cuerda de 6 mm no se pudo bloquear satisfactoriamente. Con la leva lisa si fue posible, por lo cual para el segundo modelo se propone hacer una modificación para lograr realizar la función correctamente.

Basado en la primera propuesta CAD (figura 3.16), y considerando que se busca diseñar un dispositivo que pueda ser utilizado tanto para ascender como para descender, se propuso un segundo modelo CAD (figura 3.17). En la elaboración del primer modelo CAD se identificó un sistema más que debe ser considerado, este fue nombrado sistema de bloqueo de leva (SDL), el cual tiene como función mantener la leva lisa en posición para realizar el pinzamiento cuando se está ascendiendo a través de la cuerda. Este tiene que soportar la presión de la carga del usuario e impedir que la leva gire, para que se realice la actividad de manera satisfactoria.

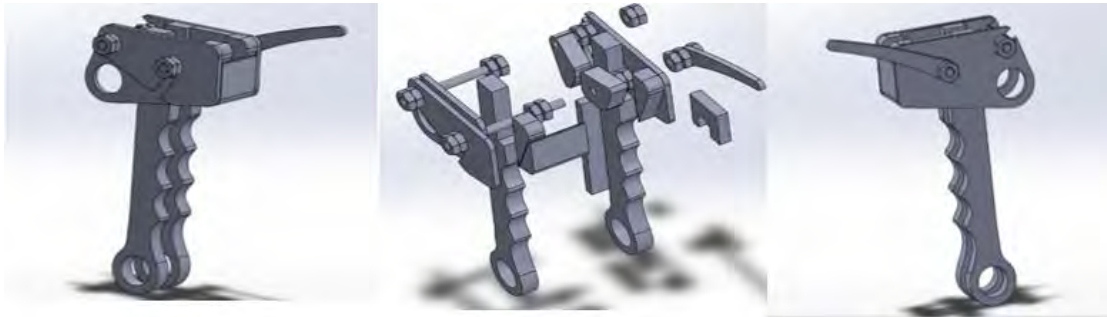


Figura 3.19 Segunda propuesta CAD

### 3.3.2 Segunda propuesta de configuración

Con base en a el nuevo sistema identificado para dispositivo, se proponen los siguientes sistemas:

1. Sistema de bloqueo-desbloqueo (SBD)
2. Sistema de evacuación de residuos (SER)
3. Sistema de posicionamiento (SP)
4. Sistema estructural (SE)
5. Sistema de interfaz de usuario (SIU)
6. Sistema de Bloqueo de leva (SBL)

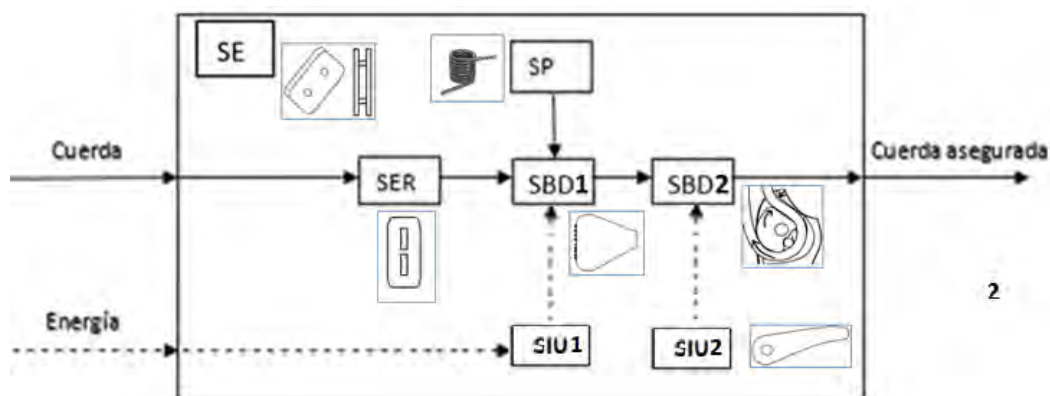


Figura 3.20 Diagrama de segunda propuesta de configuración de sistemas

Se realizó un segundo modelo MDF basado en la segunda propuesta de configuración el cual se presenta a continuación:



Figura 3.21 Segundo modelo MDF

El modelo mostrado en la figura 3.21 funcionó adecuadamente con ambas levas, tanto la leva dentada que es utilizada para ascenso, como la leva lisa utilizada para descenso. Además, se le incorporó una pared móvil que se abre para facilitar el uso del dispositivo y poder colocar la cuerda de manera que se puede realizar la función de ascenso o descenso. A continuación, en la figura 3.22 se muestra el dispositivo probado con la cuerda de 6 mm.



Figura 3.22 Pruebas de funcionamiento modelo MDF



### 3.3.3 Acercamiento con usuarios

Para poder entender mejor el funcionamiento de los bloqueadores de cuerda, se optó por buscar usuarios con la finalidad de obtener información con respecto a su experiencia en la utilización de los mismos. Se tuvo la oportunidad de acompañar a un grupo de personas que practican la escalada deportiva, uno de los sectores a los cuales se planea el dispositivo a diseñar pueda ser de utilidad. En este caso el dispositivo de bloqueo que se suele utilizar es el gigri, el cual es un asegurador para el descenso; el cual hacen de dos maneras, una asistido por el asegurador, y la segunda usando un ocho o wingman para practicar rapel.



Figura 3.23 Dispositivos utilizados en escalada deportiva

Se visitó una zona de escalada llamado **las peñas de dexcani alto** en Jilotepec, Estado de México, una zona donde se puede acampar y existen múltiples rutas de escalada. El sitio es visitado por una gran cantidad de escaladores, lo cual dio la oportunidad de hablar con escaladores de diferentes partes del país, así pudiendo tener su opinión sobre el dispositivo propuesto.



Figura 3.24 Interacción con usuarios

Además de tener un acercamiento con los dispositivos de bloqueo al estar presente y utilizar el asegurador durante el desarrollo de la actividad, generó una idea más clara de cómo debe funcionar el dispositivo, además de entender mejor las necesidades de los usuarios enfocados a la escalada deportiva.

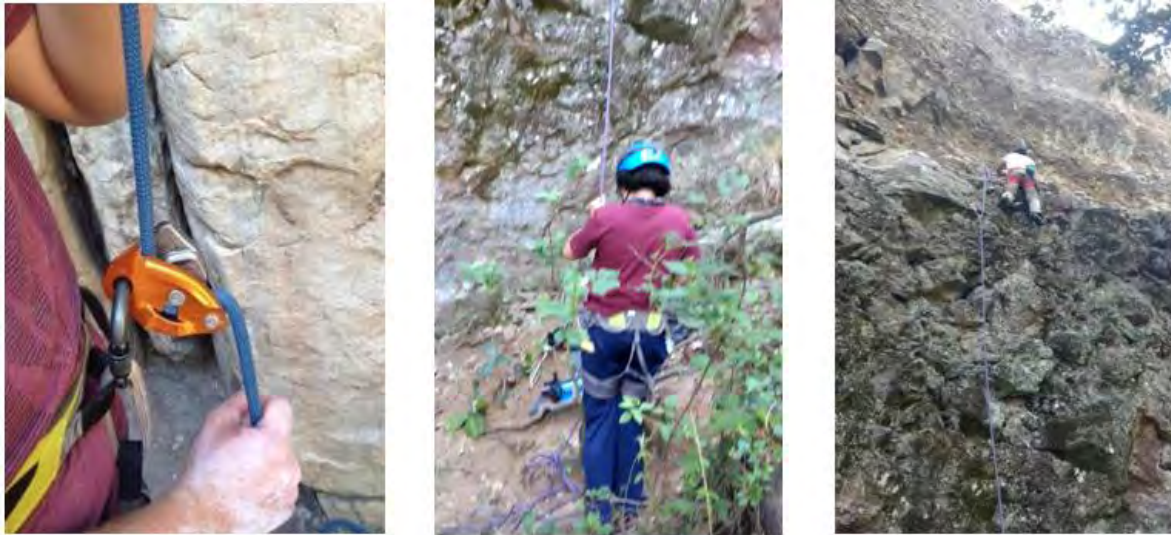


Figura 3.25 Interacción en actividades de escalada

Las personas quienes extendieron la invitación para visitar esta zona y realizar esta actividad, formaron parte del grupo alpino de alta montaña y escalada en roca La Salle, donde comenzaron su aprendizaje acerca de esta disciplina. Actualmente no pertenecen más a este grupo y practican de manera independiente la escalada deportiva (figura 3.25), su experiencia oscila entre año y medio a dos años, practican de manera regular, cada fin de semana en diferentes zonas de escalada.

Después de haber realizado la actividad, y de hablar con cerca de 15 escaladores; donde 11 practican solo escalada y 4 practican además otras disciplinas como espeleología, se pudo observar que el dispositivo propuesto en el presente trabajo tiene un funcionamiento similar al gigri que funge como asegurador. La necesidad de quienes practican escalada deportiva, es el contar con un asegurador; para ellos no es necesario un ascensor, aunque en ocasiones realizan descenso esto

se cumple con el dispositivo denominado ocho. Esto debido a que, como deporte, los escaladores buscan mejorar su técnica, y buscan tener más control e interacción con los dispositivos. Motivo por el cual la oportunidad de que el dispositivo propuesto sea considerado, no es alta como se quisiera; sin embargo, algunos de los escaladores con los que se habló practican otras disciplinas como espeleología, por lo cual esta propuesta les resulto bastante atractiva. Señalaron que este les ahorraría espacio en sus maletas, y además de que necesitarían menos equipo al realizar la actividad, y pudiendo ser utilizado como asegurador en la escalada deportiva, este representaría una buena inversión.

Los escaladores presentaron observaciones acerca del diseño del dispositivo propuesto. Para quienes solo practican escalada la empuñadura resulta irrelevante, y en algunos casos mencionaron que podría estorbar a quien está asegurando, para quienes practican otras disciplinas no les molestaba la empuñadura. Sin embargo, algunos externaron que les parecía buena idea el poder separar en módulos el dispositivo para tener la posibilidad de solo utilizar lo que sea conveniente en la actividad que se realizara.

El dispositivo propuesto resulto ser funcional para los escaladores entrevistados, sin embargo, no todos consideraron del todo adecuado el diseño actual propuesto, por lo cual se propone realizar cambios en el diseño que pueda hacer más fácil el uso del dispositivo para quienes solo practican escalada y pueda funcionar correctamente como asegurador. Además, se pudo apreciar la importancia de la colocación de la cuerda ya que el diseño actual no permite su colocación adecuada, pues solo tiene una ranura para colocar la cuerda en modo de descenso, pero el área de ascenso donde se encuentra la leva dentada no tiene ranura que permita el posicionamiento de la cuerda, y ya que las cuerdas miden al menos 70 metros, esto representa una dificultad a la hora de colocar la cuerda.



## CAPÍTULO 4

### 4.1 Diseño de detalle

En la etapa de diseño de detalle se definen cada uno de los componentes que componen el sistema de bloqueo de cuerdas, así como sus dimensiones, y los componentes comerciales que cumplen con las especificaciones requeridas para el correcto funcionamiento del dispositivo,

Además, en esta etapa se lleva a cabo la selección del material a utilizar en el dispositivo, y se realizan simulaciones para determinar el comportamiento de cada uno de los componentes, para determinar su resistencia. También se realizan los planos para la manufactura de los componentes y la propuesta de los procesos de manufactura.

### 4.2 Configuración

En la figura 4.1 se presenta el diagrama funcional del sistema de bloqueo de cuerdas.

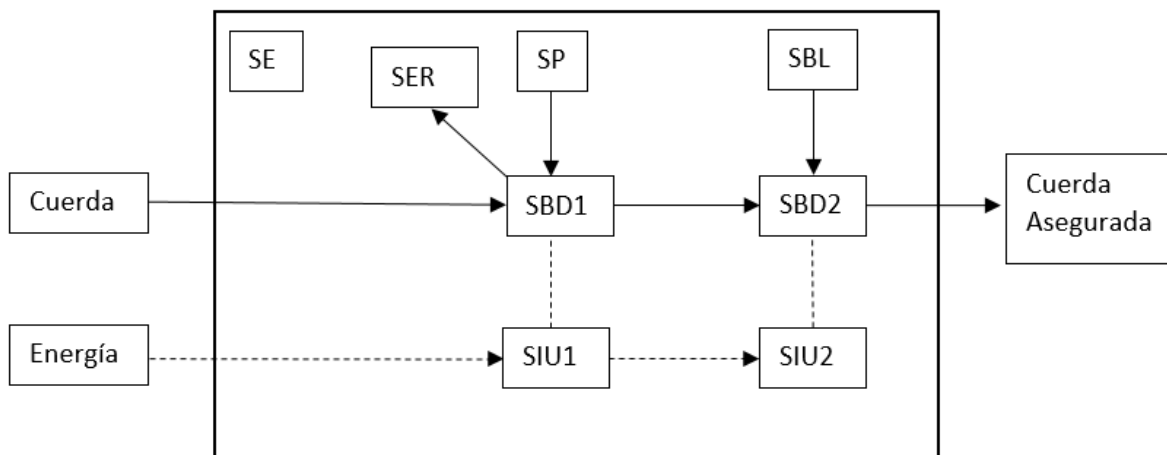


Figura 4.1 Diagrama de sistemas que componen el sistema de bloqueo de cuerdas

### 4.2.1 Sistemas

Para los sistemas que integran el SBC se consideran las observaciones que se obtuvieron al realizar los modelos CAD, y el segundo modelo MDF mostrado en la figura 3.22 en el capítulo 3, por lo cual se concluyó utilizar los siguientes sistemas:

1. Sistema de bloqueo-desbloqueo (SBD)
2. Sistema de evacuación de residuos (SER)
3. Sistema de posicionamiento (SP)
4. Sistema estructural (SE)
5. Sistema de interfaz de usuario (SIU)
6. Sistema de Bloqueo de leva (SBL)

A continuación, se muestra en la figura 4.2 el modelo CAD completo con la configuración de sistemas, esto como resultado del seguimiento de la metodología establecida. En el diseño presentado a continuación, se contemplan los puntos de mejora detectados en el modelo de prueba presentado en el capítulo 3; así como la retroalimentación como resultado de la consulta con los usuarios y pláticas con compañeros y profesores del área de diseño mecánico. Por lo cual se espera que como resultado se obtenga un dispositivo funcional que cumpla sus funciones adecuadamente, que sirva como base para la manufactura y el desarrollo de un dispositivo que pueda ser utilizado en actividades de altura de manera adecuada en condiciones reales.

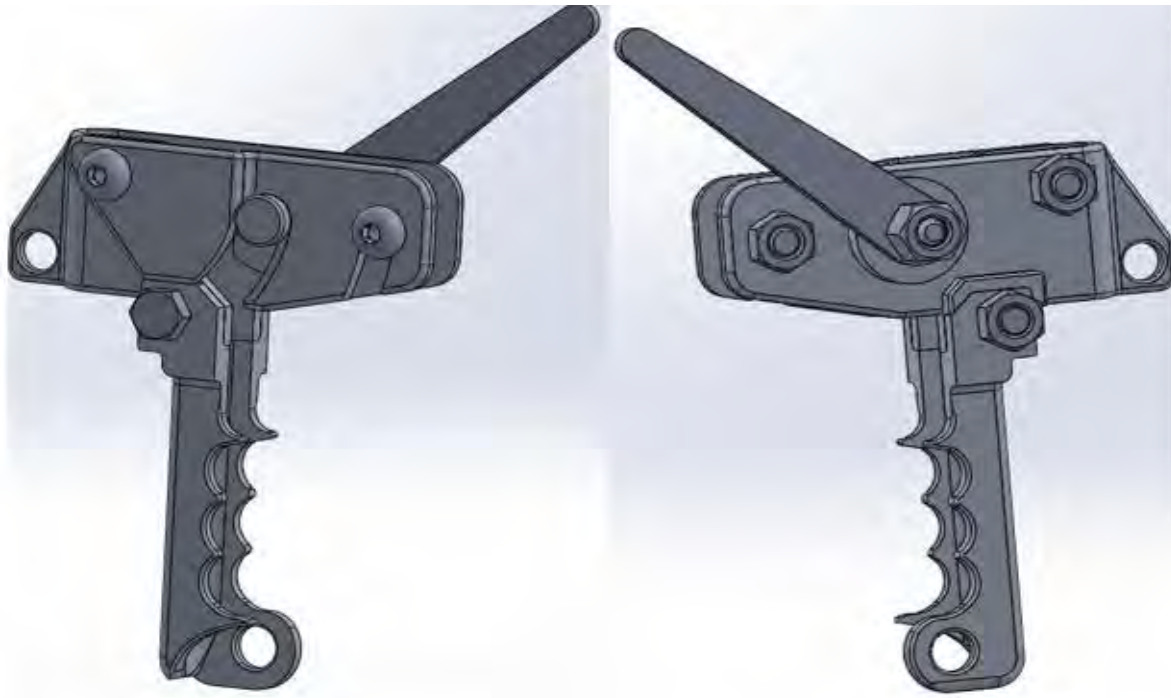


Figura 4.2 Modelo CAD 3D del sistema de bloqueo de cuerdas

En la figura 4.3 se identifican los sistemas que conforman el SBC, y de esta manera se pretende mostrar de manera clara cuál es su función en el SBC.

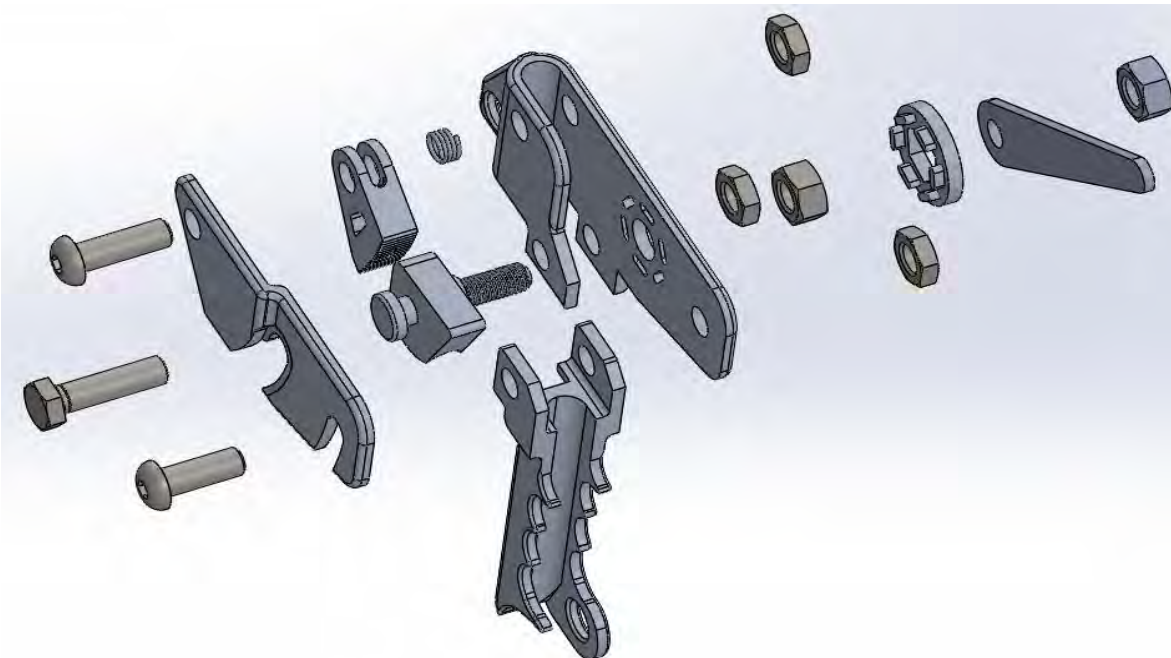


Figura 4.3 Modelo CAD 3D SBC vista explosionada con sistemas

### 4.3 Descripción de sistemas

En este apartado se presenta los sistemas que conforman al sistema de bloqueo de cuerdas. Se presenta y describe el funcionamiento, así como las partes que componen cada sistema.

#### 4.3.1 Sistema de bloqueo-desbloqueo

Es el sistema encargado de pinchar la cuerda para evitar la progresión del SBC y, cuando el usuario lo requiera nuevamente, permitir la progresión ya sea para el ascenso o el descenso a través de la cuerda. Esto debe realizarse tomando en cuenta que la función no debe dañar la cuerda cuando esta se deslice sobre las levas; y en el caso de descenso se considera un descenso controlado, que permita al usuario poder detenerse en el punto que lo requiera. Este sistema es compatible con cuerdas de 8 a 12 mm.

Para este sistema se utilizan dos levas, una dentada y una lisa. La primera pincha la cuerda contra la sección trasera de la leva lisa como se muestra en la figura 4.4; mientras la leva lisa pincha la cuerda contra un tornillo colocado en parte frontal del dispositivo, esto se muestra en la figura 4.5.

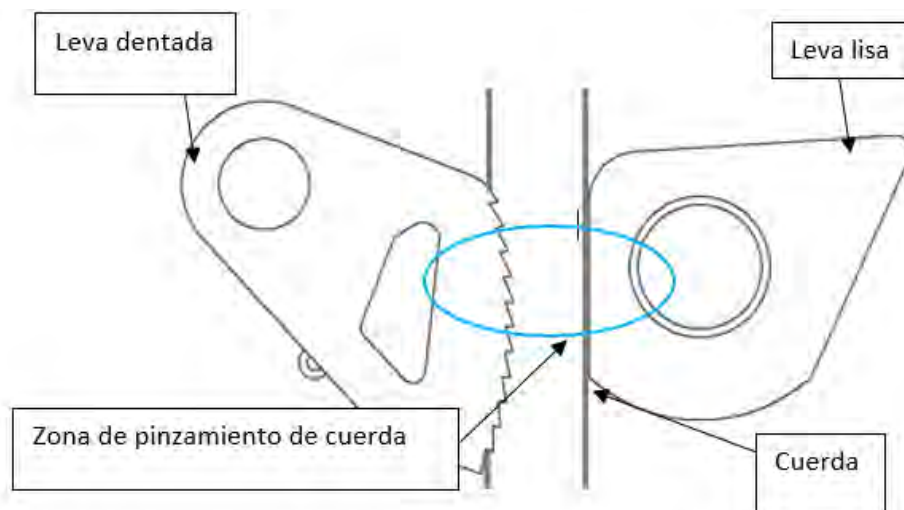


Figura 4.4 Funcionamiento bloqueo para el ascenso

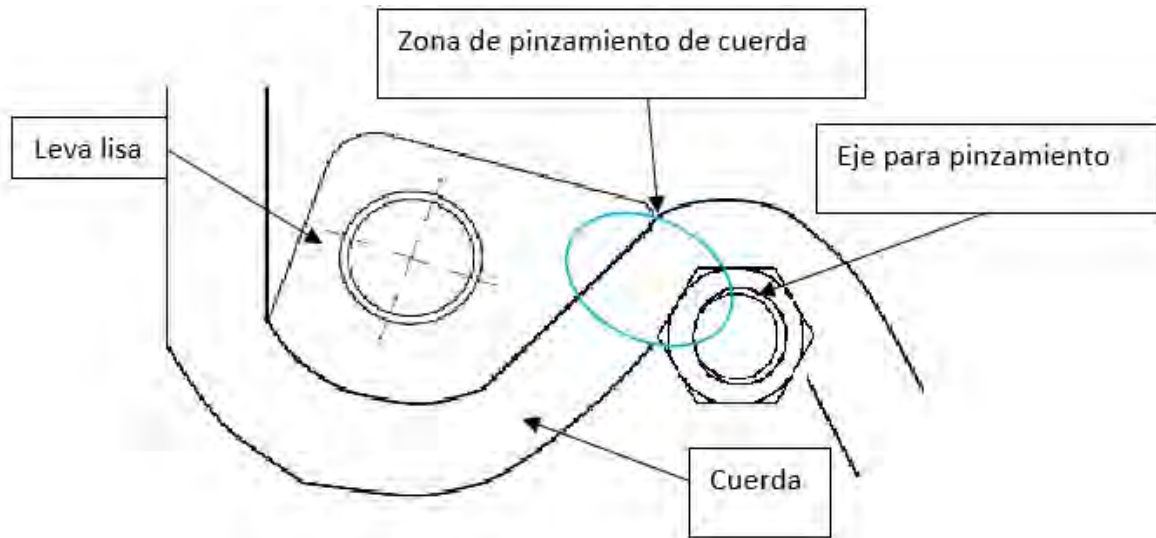


Figura 4.5 Funcionamiento para bloqueo en descenso

Para dar mayor estabilidad al sistema estructural se agregó un cople en el eje de pinzamiento. Con esta configuración se aprovechó el espacio disponible y la geometría de la leva lisa para poder diseñar un SDBC que tuviera un tamaño adecuado para el usuario, y de esta manera sea más atractivo.

#### 4.3.2 Sistema de evacuación de residuos

El sistema de evacuación de residuos tiene como finalidad el limpiar la cuerda de residuos de lodo, hielo, etc., y de esta manera el funcionamiento del sistema de bloqueo sea más eficiente; ya que los residuos pueden causar que la cuerda deslice más fácilmente, evitando que la leva dentada pueda pinzarla. Al estar limpia la cuerda, habrá mayor fricción entre la leva y la cuerda, y esto permitirá un correcto funcionamiento del SDBC.

En este caso, el SER se implementó en la leva dentada, ya que los dientes de la leva limpiarán las impurezas en la cuerda, haciendo que estas pasen a través de una ranura que se encuentra en la parte frontal entre los dientes de la leva, como se muestra en la figura 4.6.

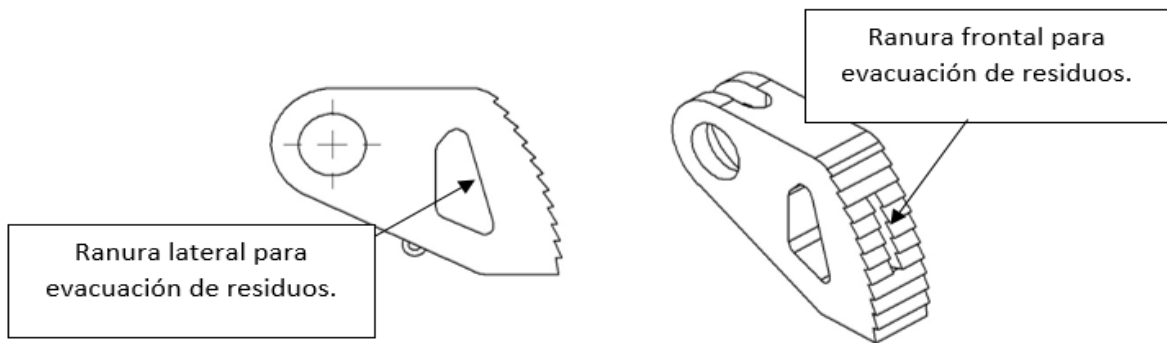


Figura 4.6 Descripción de sistema de evacuación de residuos

La finalidad de implementar este sistema, es que el SDBC sea más seguro al ser utilizado en condiciones de trabajo complicadas que impliquen que la cuerda se vea comprometida y pueda afectar el funcionamiento del SDBC.

### 4.3.3 Sistema de posicionamiento

El sistema de posicionamiento es el encargado de mantener la leva dentada en posición de bloqueo o en posición de apertura. Esto permitirá que cuando sea necesario la leva este en posición y pueda pinchar la cuerda, o en todo caso la mantenga abierta para evitar interacción en el descenso. Para el caso de mantener la leva en posición de bloqueo se pensó en usar un resorte de torsión de  $120^\circ$ , que funcionara poniendo un extremo del resorte contra la pared detrás de la leva y el otro extremo colocado en la leva. En el caso de la posición de apertura se optó por añadir a la leva un orificio para la colocación de una cuerda que pueda anclar la leva, como se muestra en la figura 4.7.

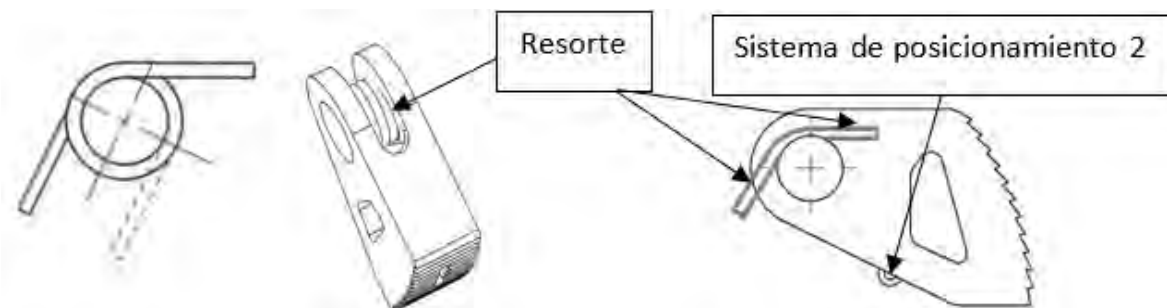


Figura 4.7 Descripción de sistema de posicionamiento

#### 4.3.4 Sistema estructural

Después de las pruebas de funcionamiento con el modelo hecho con MDF, y tomando en cuenta que se requería poder posicionar la cuerda de una manera sencilla, se concluyó que se usarían las dos alternativas presentadas en la generación de conceptos. Por un lado, en la mayoría de los dispositivos para aseguramiento y los dispositivos de ascenso se utiliza una pared, mientras que para los de descenso se usan dos paredes. En este caso una de las paredes servirá para mantener las levas en posición, y la segunda, además de ayudar a mantener la leva lisa en posición, servirá como apoyo cuando la leva sea requerida para descenso. A su vez, servirán de apoyo y como compuerta para permitir la colocación de la cuerda tanto en posición de ascenso como en posición de descenso, como se muestra a continuación en la figura 4.8.

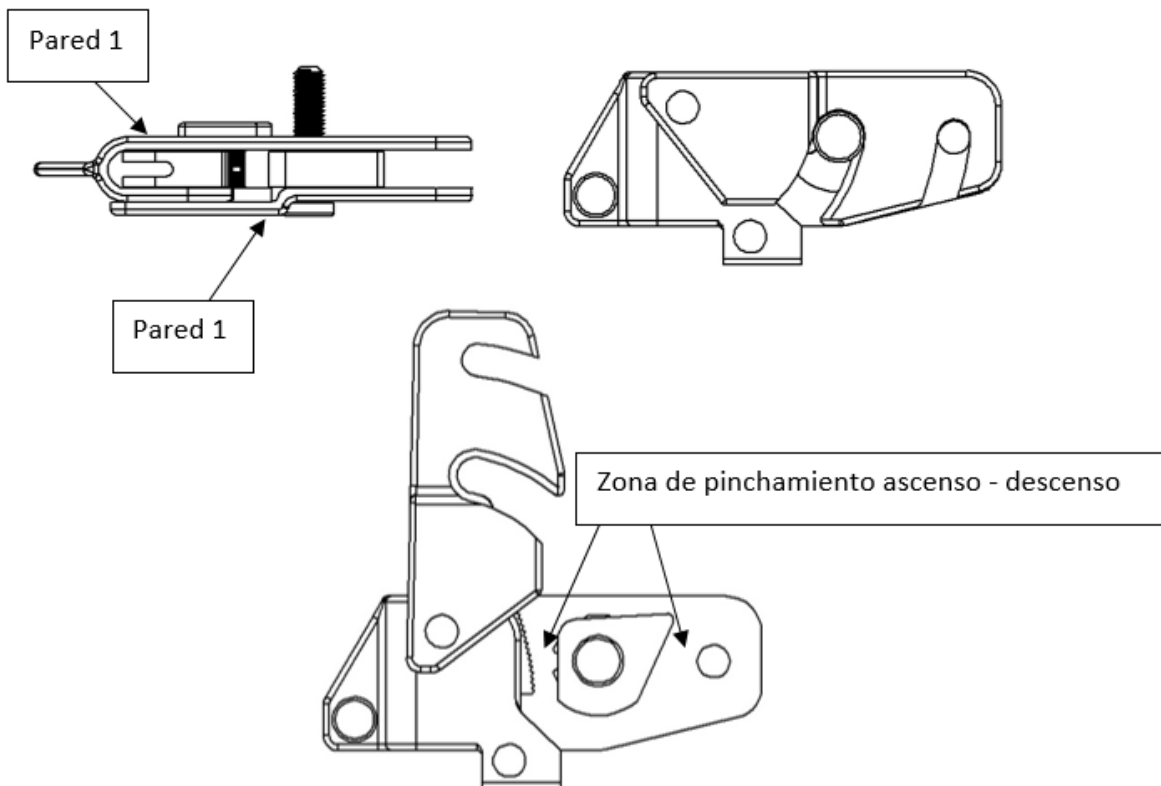


Figura 4.8 Descripción de sistema estructural



El sistema estructural facilita el posicionamiento de la cuerda, y hace más fácil para el usuario el operar el dispositivo. Además, hace posible hacer más práctico al SDBC, debido a que la empuñadura para ascenso se podrá montar o desmontar según se requiera.

#### 4.3.5 Sistema de interfaz con el usuario

Para el sistema de interfaz con el usuario se consideraron dos aspectos. Primero, que para el ascenso se requiere una empuñadura que pueda facilitar la progresión del dispositivo y que sea cómoda para el usuario para lograr esto se las medidas empleadas fueron tomadas en la norma DIN 33 402 segunda parte; y la segunda, una palanca que permita desbloquear la leva lisa cuando se está descendiendo. De este modo el sistema de interfaz con el usuario se compone un arreglo como se muestra en la figura 4.9.

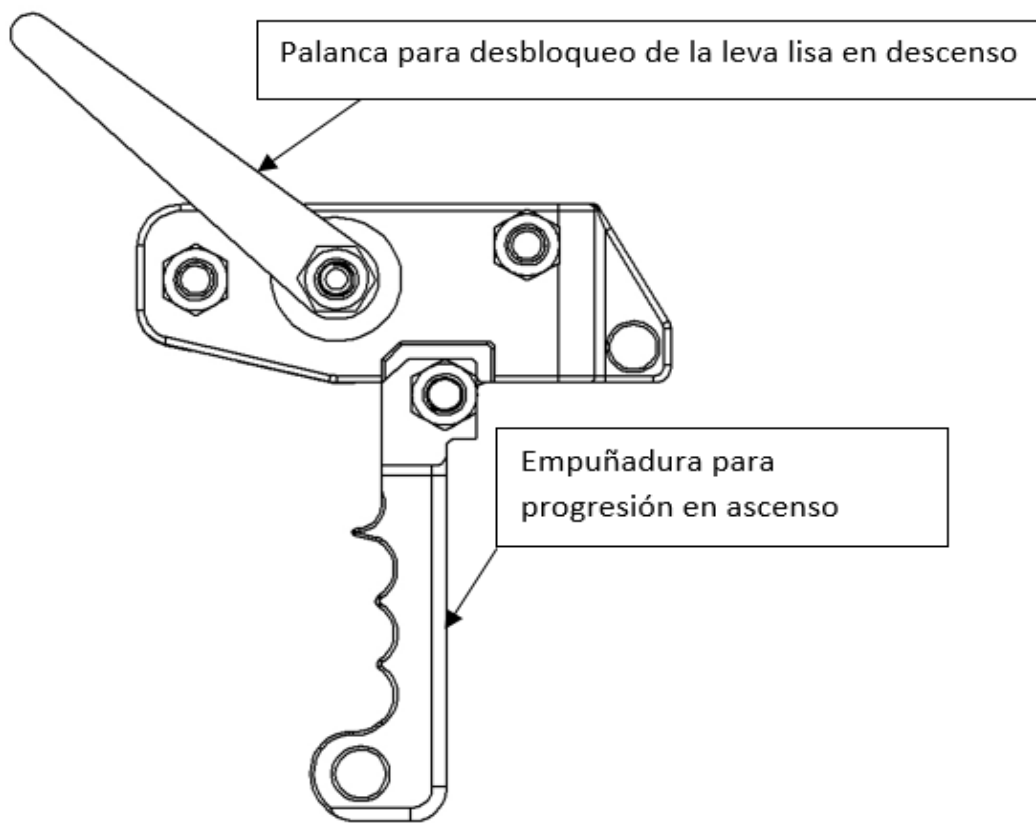


Figura 4.9 Descripción del sistema de interfaz de usuario



El sistema de interfaz con el usuario, en específico la empuñadura para progresión en ascenso, tiene la ventaja de ser desmontable; en caso de solo requerir utilizar el SDBC para descenso, restarle peso y hacer más cómodo el manejo del dispositivo.

#### 4.3.6 Sistema de bloqueo de leva

El sistema de bloqueo de leva sirve para mantener la leva lisa en posición y así usar su pared trasera para pinchar la cuerda junto con la leva dentada cuando se está usando el dispositivo para ascender.

Para el sistema de bloqueo de leva se diseñó una pieza como elemento de acople que se incrusta en la pared uno del sistema estructural, además esta pieza se coloca alrededor de las tuercas que conectan la empuñadura con la leva lisa, y el acople se desliza sobre ellas impidiendo que estas giren cuando esta incrustado el acople a la pared, permitiendo que giren cuando se encuentra fuera de la pared como se muestra en la figura 4.10.

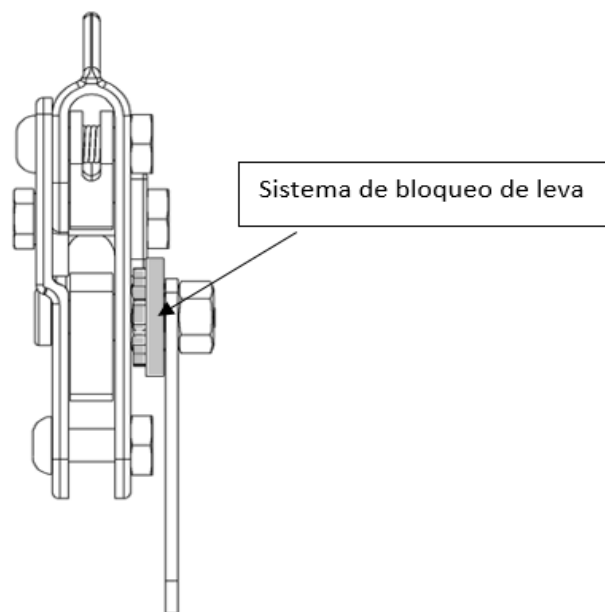


Figura 4.10 Descripción de sistema de bloqueo de leva

#### 4.4 Diseño de los sistemas

Para el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas se utilizó la norma UNE-EN 12841:2006 como referencia para los requisitos que debe satisfacer el SDBC, ya que es la única norma técnica de aplicación específica para trabajos verticales. A continuación, se enumeran algunos requisitos relevantes para el diseño de los sistemas.

En este caso, dentro de esta norma, el SDBC clasifica dentro de los dispositivos del tipo B y C, de los cuales la norma indica lo siguiente:

- Como requisito general del dispositivo de regulación de cuerda debe tener, al menos, una carga nominal máxima de 100kg para un dispositivo de regulación de cuerda de una persona y, al menos, 200kg para un dispositivo de 2 personas.

Para dispositivo tipo B se presentan los siguientes requisitos a cumplir para ser certificados:

- Para los dispositivos de regulación de cuerda tipo B como resistencia mínima de trabajo sobre una línea de anclaje deben soportar una fuerza de  $(4 \pm 0.1)$  KN durante 3 minutos.

Para los dispositivos de tipo C se precisa cumplir con los siguientes requisitos para ser certificados.

- Para los dispositivos de regulación de cuerda tipo C como resistencia mínima de trabajo, con el elemento de bloqueo manos-libres activado, deben soportar una fuerza de  $(3 \pm 0,1)$  KN durante 3 minutos.

- Para la resistencia estática mínima que los dispositivos de regulación de cuerda tipo C deben soportar 12 KN durante 3 minutos cuando se ensayen sobre una línea de anclaje.

Estos requisitos se tomaron en cuenta para el diseño del SDBC, esto agrega valor al dispositivo diseñado, y sienta una base sobre la cual desarrollar de manera satisfactoria un dispositivo que pueda ser comercializado.

#### 4.4.1 Cálculo de fuerzas y factor de seguridad

Para el diseño de bloqueo de cuerdas se compararon los dispositivos existentes, de esta manera se pudo observar las diferentes geometrías usadas en las levas. Como ya se mencionó anteriormente, se optó por usar dos levas, una dentada para el ascenso y otra lisa para el descenso.

En este caso la sección para ascenso se contempló para una persona y según la norma para estos casos la carga nominal máxima debe ser de 100 kg, por lo tanto, la fuerza que una persona suspendida ejercerá sobre el dispositivo es de:

$$F = (100kg)(9.8 \frac{m}{s^2}) = 982 \text{ N}$$

$$F = .982KN$$

Como se menciona en la norma la resistencia mínima de trabajo para los dispositivos del tipo B, será de 4 KN, por lo tanto, el factor de seguridad en este caso es de:

$$F.S = \frac{4}{.982} = 4.07$$

En el caso de la sección de descenso se contempló para dos personas y según la norma para estos casos la carga nominal mínima debe ser de 200 kg, por lo tanto, la fuerza que una persona suspendida ejercerá sobre el dispositivo es de:

$$F = (200kg)(9.82 \frac{m}{s^2}) = 1962 \text{ N}$$

$$F = 1.962 \text{ KN}$$

Para los dispositivos de tipo C deben tener una resistencia mínima de trabajo de 3 KN, por lo tanto, el factor de seguridad es:

$$F.S = \frac{3}{1.962} = 1.52$$

En el caso de los dispositivos de tipo C contemplan de igual manera la resistencia estática mínima de 12 KN, por lo cual en este caso el factor de seguridad es:

$$F.S = \frac{12}{1.962} = 6.11$$

El sistema de bloqueo de cuerdas debe ser compatible con cuerdas entre 8 y 12 mm por lo cual se debe calcular el espacio entre las levas además del posicionamiento de los dientes de la leva dentada.

#### 4.4.2 Selección de materiales

Para la selección de materiales se tomó en cuenta la información encontrada al realizar el estado de arte de los dispositivos de bloqueo en el mercado. Como resultado de la investigación se identificaron que los materiales comúnmente utilizados son el acero inoxidable y las aleaciones de aluminio.

El material seleccionado debe cumplir algunas características como lo son:

- Debe ser ligero, baja densidad.
- Fácil de maquinar.
- Buena resistencia a la corrosión, debido a que para la certificación deberá ser sometido a un ensayo de resistencia a la corrosión por periodos de 24 h.
- Limite elástico alto.
- Alta carga de rotura.

Para esto se analizaron una gran variedad de materiales, se buscaron y se compararon diferentes materiales que podían ser de utilidad para su aplicación en el SDBC, después de la investigación se decidió recomendar el uso de la aleación de aluminio 7075 T6.

El aluminio 7075 es uno de los aluminios más fuertes con excelentes propiedades mecánicas. Superior en estabilidad, dureza y uniformidad. Se puede comparar con el acero 1045/4140, ya que tiene excelente maquinabilidad, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste, 60% más ligero en peso que el acero, buena soldabilidad por resistencia, alta conductividad térmica, reduce tiempo de ciclo y potencia consumida reduciendo la energía eléctrica, puede maquinarse en el proceso de electro erosión en 1/3 del tiempo del acero, reducción en tiempos de maquinado 70% a 80% y es bueno para tratamientos superficiales como el anodizado, cromado y niquelado.

Debido a su elevado límite elástico es una aleación muy adecuada para piezas sometidas a grandes fatigas. Se utiliza para la construcción de troqueles, moldes de soplado, matrices, maquinaria, herramientas, armamento, blindajes, industria del automóvil, piezas estampadas, tornillería, bastones de esquí, accesorios ortopédicos, cañas de pesca, arcos y flechas, raquetas de tenis, remaches, aplicaciones nucleares y en la industria de la bicicleta. A continuación, se presentan algunas características mecánicas del aluminio 7075 T6.

- Densidad de masa 2810 kg/m<sup>3</sup>
- Módulo elástico 72000 N/mm<sup>2</sup>
- Límite de tracción 530 N/mm<sup>2</sup>
- Límite elástico 390 N/mm<sup>2</sup>

Al seleccionar este material, el peso del SDBC (debido a su baja densidad), logra reducir las dimensiones de las piezas que componen el dispositivo y mantener las propiedades necesarias para que se pueda realizar las funciones del SDBC adecuadamente.

Para las piezas que tendrán interacción con el usuario, se propone el uso de un elastómero termo plástico (TPE), debido a que presentan una sensación suave al tacto, además, estos compuestos plásticos pueden reciclarse. Estos compuestos son ampliamente utilizados como empuñaduras por que el TPE suave puede ser fácilmente moldeado o extruido.

#### **4.4.3 Análisis por elementos finitos**

Para el diseño de las levas y el sistema estructural del dispositivo cuyo material es aluminio 7075 T6, se utilizó como apoyo el software *Solidworks*, con el cual se hizo análisis por elemento finito a las diferentes piezas y de esta manera definir geometrías, esperando cumplir con lo que la norma pide como requisito.

##### **4.4.3.1 Análisis del sistema de bloqueo-desbloqueo**

Para el análisis del SDBC, primeramente, se procedió a analizar la leva dentada. Esta pieza estará sometida a carga en diferentes posiciones dependiendo el diámetro de la cuerda. Se debe recordar que, para la sección de ascenso, que califica en la norma como dispositivo del tipo B, debe trabajar con una resistencia de trabajo mínima de 4KN.

A continuación, se muestran en la figura 4.11 la primera posición en la que se está aplicando la carga; suponiendo que una cuerda de 8 mm está siendo utilizada por el usuario. En este caso se está considerando un análisis estático en el momento del bloqueo, por ese motivo se planteó una sujeción en el agujero para el eje.

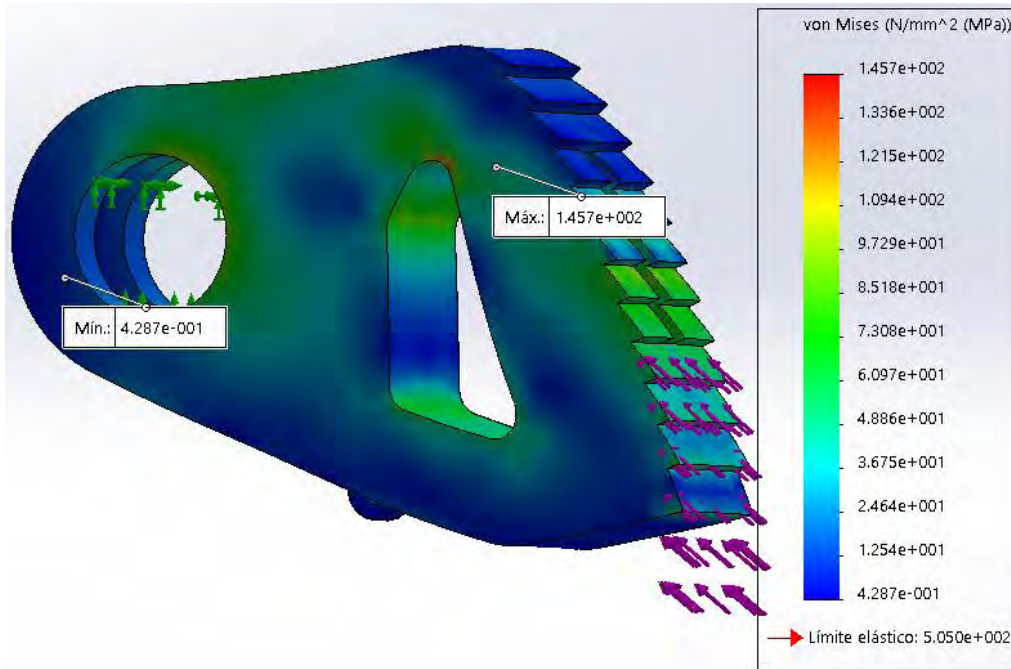


Figura 4.11 Análisis por elementos finitos de la leva dentada, posición 1

Cabe recordar que, los desplazamientos en las imágenes son exagerados con fines ilustrativos. En el caso de la leva en esta posición el desplazamiento máximo fue de 0.07 mm, sin embargo, es el que presenta mayor desplazamiento, por lo cual en esta posición puede haber mayor desgaste. Como se puede observar, el esfuerzo máximo de von mises se encuentra en la parte superior del denominado sistema de evacuación de residuos como se muestra en la figura 4.11. La pieza se sometió a una fuerza de 4KN, el factor de seguridad mínimo calculado por el software alcanzó el 2.6, por lo tanto, en esta posición la leva dentada resiste satisfactoriamente la carga empleada sin fallar.



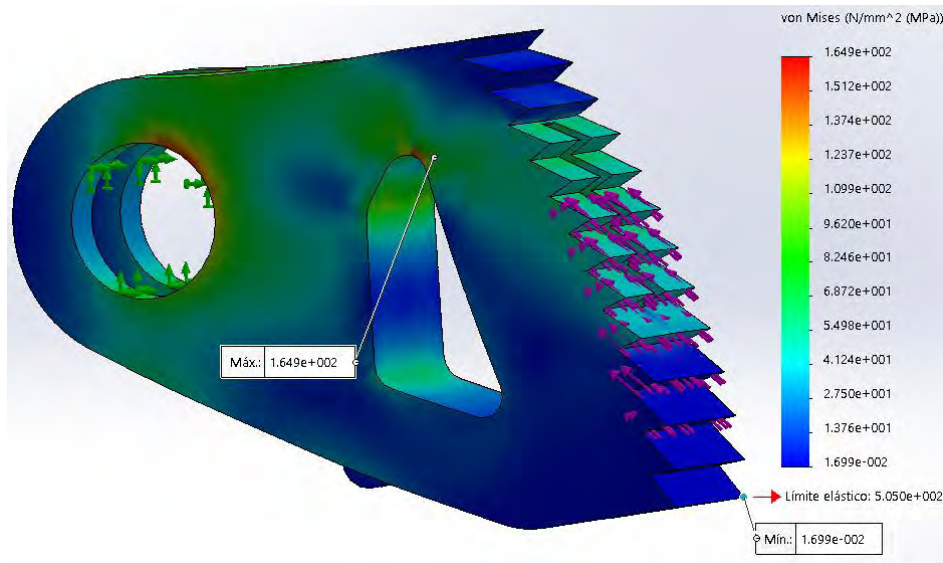


Figura 4.12 Análisis por elementos finitos leva dentada, posición 2

En este segundo análisis, se realizó suponiendo el uso de una cuerda de 10mm. Se puede observar que esta ocasión el esfuerzo máximo de von mises se encuentra en el agujero correspondiente al eje, como se muestra en la figura 4.12. Este es un concentrador de esfuerzos, el desplazamiento máximo calculado es de 0.01 mm, por lo cual este no es significativo. El software igualmente calculo el factor de seguridad para esta posición de carga que es 3.1, por lo cual cumple con la norma.

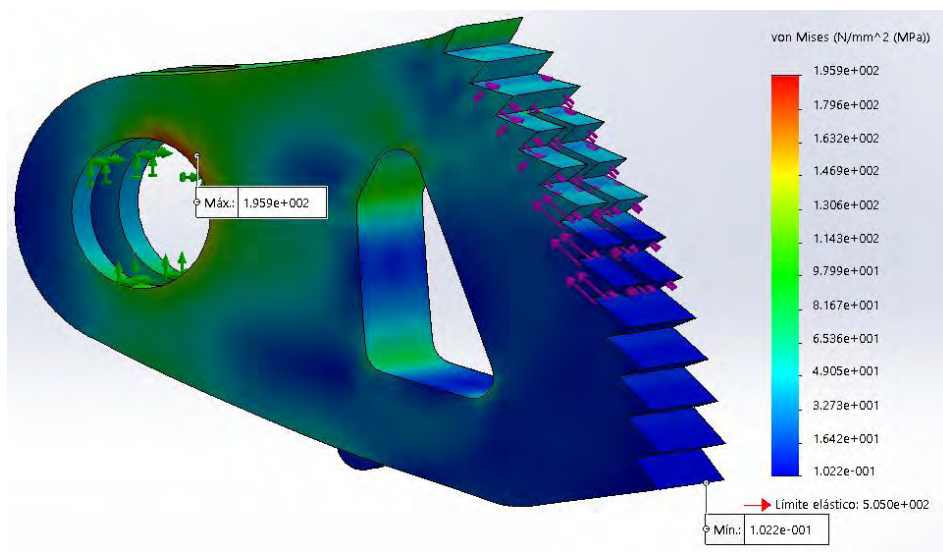


Figura 4.13 Análisis por elementos finitos leva dentada, posición 3



En el análisis de la posición 3, se realizó suponiendo el uso de cuerdas de 12 mm, como se muestra en la figura 4.13. El factor de seguridad mínimo calculado por el software es de 2.6, nuevamente se ve reflejado el esfuerzo máximo en el concentrador de esfuerzos, para esta posición de bloqueo el desplazamiento máximo calculado es de 0.01 mm, aún es muy pequeño este desplazamiento.

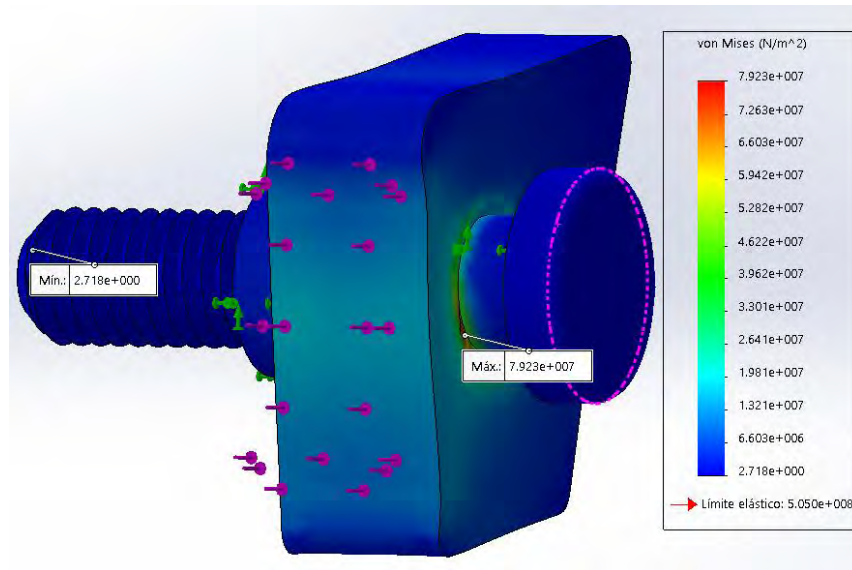


Figura 4.14 Análisis de leva lisa en posición de ascenso

La leva lisa también fue analizada en posición de ascenso, donde será afectada por la parte posterior al pinzar la cuerda. La tensión máxima de von mises se presenta en las uniones de las paredes con las secciones circulares, como se muestra en la figura 4.14. La leva se presume estática, por lo cual se aplicó como sujeción las secciones que servirán para apoyar la leva en el sistema estructural. Los desplazamientos fueron mínimos, pues el desplazamiento máximo en esta posición fue de 0.008 mm, por lo cual es aceptable y se calculó un factor de seguridad de 6.4 por lo cual se cumple con la norma de manera sobresaliente.

Para el sistema de bloqueo en posición de descenso, se analizó la leva lisa. Recordemos que para la sección de descenso se considera dentro de la norma como un dispositivo de Tipo C, por lo cual la resistencia mínima de trabajo es de 3KN, por lo cual se procedió a realizar el análisis conforme a la norma.

En este caso se optó por agregar a los apoyos, en lugar de poner un eje independiente debido a que se busca de esta manera poder conectar la leva a la empuñadura, para de esta manera desbloquear la cuerda y permitir el descenso.

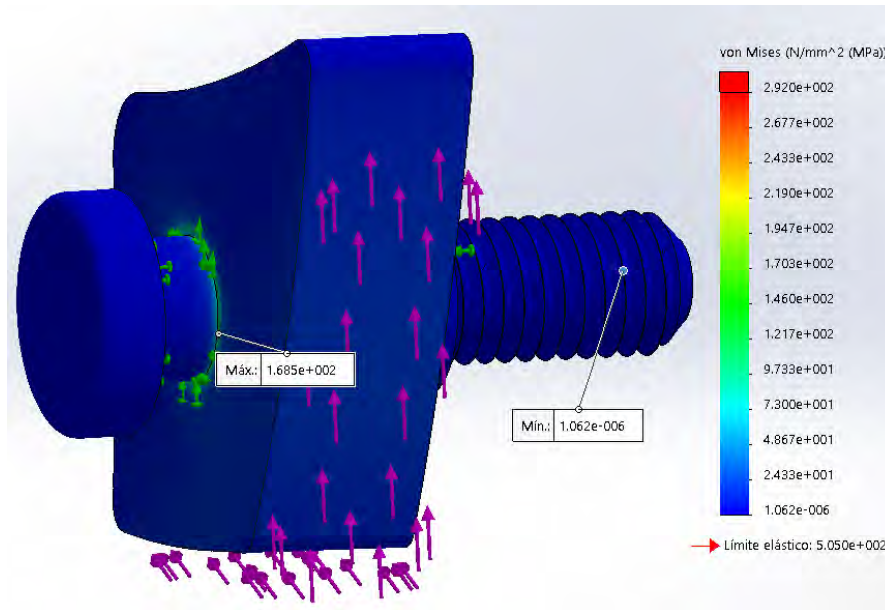


Figura 4.15 Análisis por elementos finitos de la leva lisa

En este caso los esfuerzos máximos se encuentran en la unión de la sección circular a la pared de la leva, como se muestra en la figura 4.15. El desplazamiento máximo fue de 0.01 mm, por lo cual es aceptable y no causara problema alguno. Se calculó el factor de seguridad mínimo para esta pieza, que es de 3, por lo cual cumple con el requisito de la resistencia mínima de trabajo adecuadamente.

Para el sistema de bloqueo-desbloqueo, el uso del software ayudo para definir dimensiones y geometrías adecuadas para poder diseñar un dispositivo que pudiera cumplir con las normas, así como reducir las dimensiones del sistema de bloqueo de cuerdas.

Además de las levas, se buscó determinar el diámetro de los ejes que pudieran soportar las cargas a las cuales estará sometido el sistema de bloqueo de

cuerdas, por lo cual se hizo un análisis como se muestra a continuación en la figura 4.16.

En la figura 4.17 se puede mostrar el análisis de un eje sometido a carga con la cual, el material comúnmente utilizado en los tornillos que se usaran como eje son acero inoxidable AISI 304, se colocaron las sujeciones en los extremos para poder realizar la simulación.

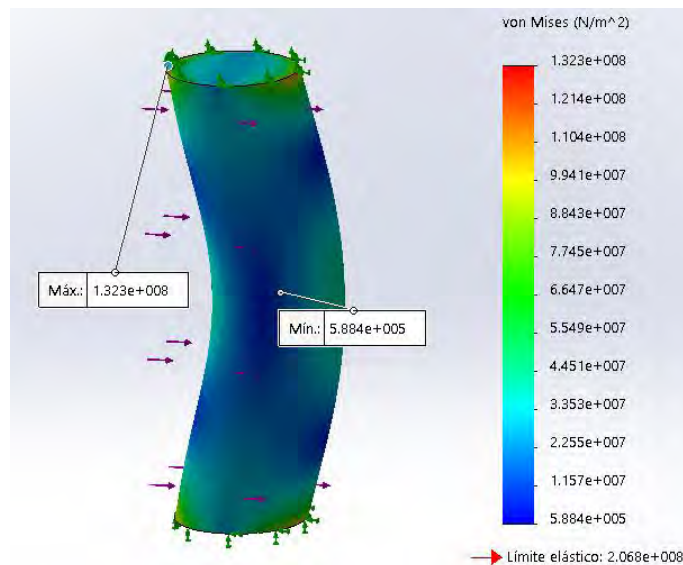


Figura 4.16 Análisis por elemento finito del eje para pinchamiento de la sección de descenso

Se decidió simular la carga para la sección de ascenso debido a que se considera que esta sección se utiliza para el pinzamiento de la cuerda.

La tensión máxima, como se puede observar, se produce en los extremos donde encuentran las sujeciones. El desplazamiento máximo calculado fue de 0.003 mm el cual es aceptable, está sometido a una carga de 4KN. para que el eje soportara esta carga sin problema, lo cual hizo satisfactoriamente, dando como resultado un diámetro de 10mm. Por lo cual se recomienda usar tornillos de acero inoxidable 10M-1.5 L-35 y 30.

#### 4.4.3.2 Análisis del sistema estructural

Debido a que se busca que el dispositivo pueda soportar la carga en cada una de sus partes, se decidió analizar cada uno de sus componentes. En este caso compete el sistema estructural que se compone de 2 paredes de aluminio 70705 T6, primeramente, se analizara la pared 1 uno como se muestra en la figura 4.17.

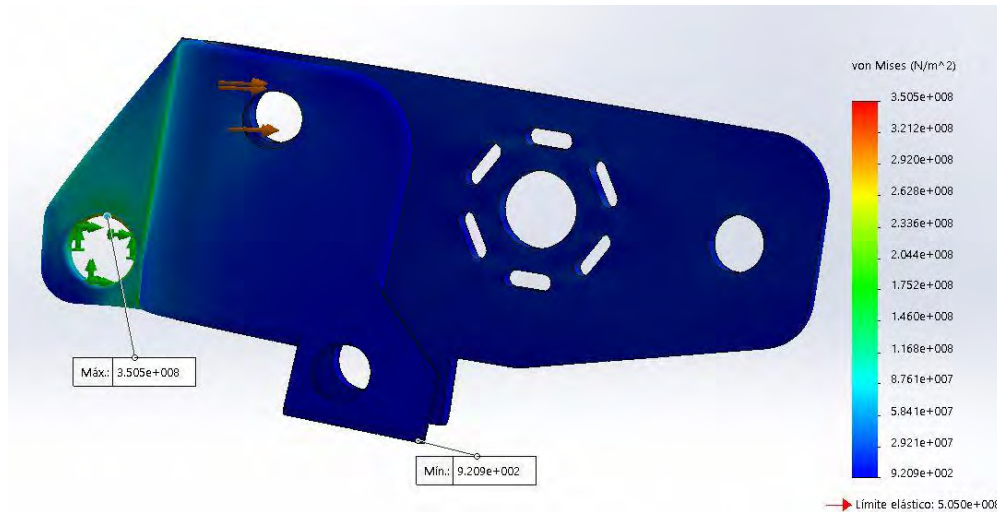


Figura 4.17 Análisis por elementos finitos a pared 1 descenso

Se realizó el análisis por elementos finitos a la pared 1; como se puede observar, la tensión máxima se encuentra en la zona de anclaje donde el usuario se asegurará a través de un mosquetón. Este análisis consideró que se está usando en posición de descenso, los desplazamientos máximos calculados son de 0.4 mm. Cabe mencionar que el desplazamiento mostrado en la imagen es exagerado con fines ilustrativos. El análisis se realizó con una carga de 4KN, el factor de seguridad mínimo calculado en este caso es de 1.4, por lo cual la pared puede soportar 4KN sin problema.

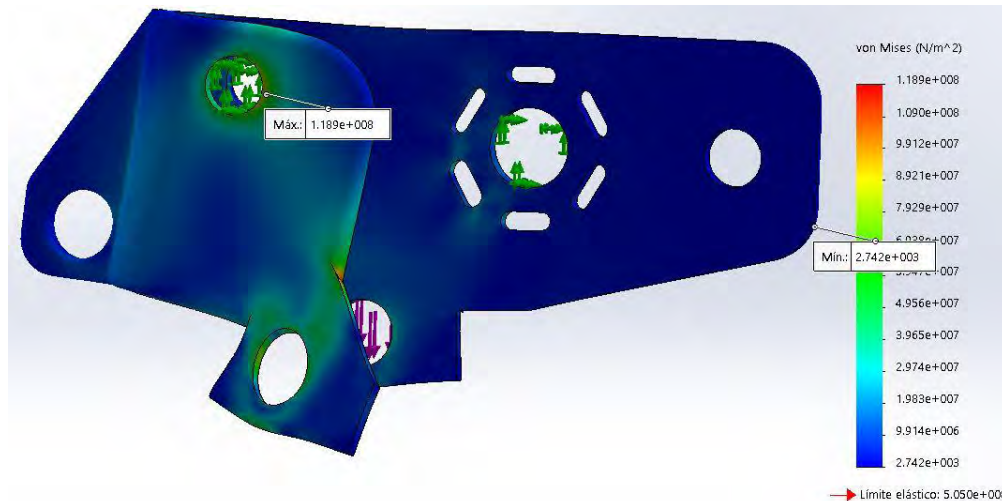


Figura 4.18 Análisis por elementos finitos a pared 1, ascenso

Se realizó el análisis para una carga de 4KN simulando una posición de ascenso, como se puede observar en la figura 4.18, los esfuerzos máximos se encuentran en la zona donde se conecta el sistema de interfaz de usuario 1. El desplazamiento máximo calculado es de 0.1 mm, es un desplazamiento aceptable, y el factor de seguridad mínimo calculado en este caso es de 4.1, por lo cual este soporta sin problemas la carga aplicada.

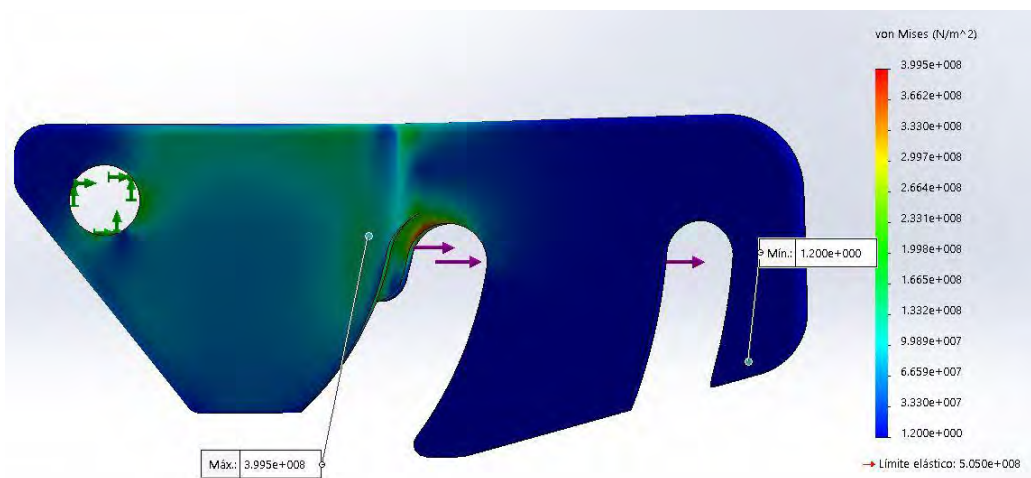


Figura 4.19 Análisis por elementos finitos a pared 2

En el caso de la pared 2, esta solo se ve afectada de igual manera tanto en la posición de ascenso del dispositivo como en la de descenso. Se aplicó, como en



los casos anteriores, una carga de 4KN. Las tensiones máximas, como se puede observar en la figura 4.19, se encuentra en la parte frontal de la pared. El desplazamiento máximo calculado es de 1mm. En este caso puede decirse que, a comparación de las piezas anteriores, este desplazamiento puede ser perceptible; sin embargo, en este caso se está aplicando la carga máxima, y aunque habrá deformación, este no fallara. La norma permite estos desplazamientos, el factor mínimo de seguridad calculado es de 1.3, por lo cual la pared puede soportar sin problema los 4KN, sin embargo, habrá deformaciones en la misma.

#### 4.4.3.3 Análisis del sistema de sujeción

Se analizará en este caso el sistema de sujeción 1, ya que este será utilizado para el ascenso será hecho de aluminio 7075 T6, por lo cual se analizó con una carga de 4KN para determinar si este es capaz de soportar la carga mínima de trabajo.

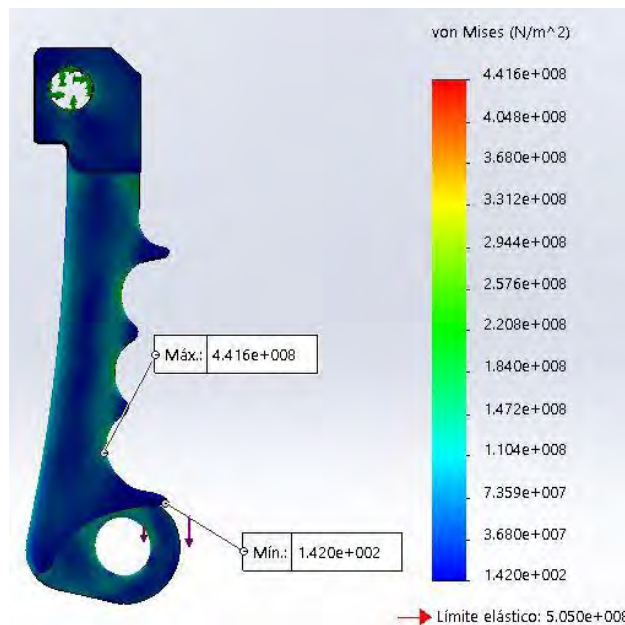


Figura 4.20 Análisis por elementos finitos a sujeción 1

Como se puede observar en la figura 4.20, las tensiones máximas de von mises se encuentran en la zona de anclaje que el usuario usara para ascender. El desplazamiento máximo calculado es de 1 mm, este es un desplazamiento

perceptible y se presentara en este caso con la carga máxima y sin fallar, por lo cual podría haber deformación bajo la carga máxima. El factor de seguridad mínimo calculado es de 1.1 por lo cual, la sujeción 1 podrá soportar la carga mínima de trabajo de 4KN sin fallar, aunque podría deformarse.

El análisis por elementos finitos resulto de gran utilidad en el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas, ya que permitió el simular condiciones reales de carga para estimar las dimensiones de cada pieza.

#### 4.4.4 Análisis de fatiga a los ejes

Uno de los componentes críticos son los ejes, los cuales se definieron sus diámetros con el uso de análisis por elemento finito en *Solidworks*, y se busca saber cuál será el número de ciclos de vida de este componente; principalmente del que sea utilizado como pared en la posición de descenso.

En este caso cambia el material usado, debido a que se usaran tornillos comerciales. En este caso se recomendó usar un tornillo 10M-1.5, estos se pueden encontrar hechos de acero inoxidable, y las características de este acero AISI 304, tiene una limite a la tracción de 700Mpa =101 Kpsi, con la ecuación 4.1 (Shigley, 2008) podemos calcular  $S'_e$ :

$$S'_e = 0.5S_{ut} \quad (4.1)$$

$$S'_e = 0.5(101\text{kpsi}) = 50.5 \text{ kpsi}$$

Para calcular el limite de resistencia a la fatiga en la geometría y condición, usando la ecuación 4.2 (Shigley, 2008) podemos calcular  $S_e$ :

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e S'_e \quad (4.2)$$



Donde:

$k_a$  = factor de modificación de la condición superficial

$k_b$  = factor de modificación del tamaño

$k_c$  = factor de modificación de la carga

$k_d$  = factor de modificación de la temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$S'_e$  = Límite de resistencia a la fatiga teórico

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en la geometría y condición en uso.

Para estimar el número de ciclos para la leva lisa se usará el mismo método, para el cálculo de factor de modificación de la condición superficial, usando la ecuación 4.3 (Shigley, 2008)  $k_a$ :

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (4.3)$$

Las constantes  $a$  y  $b$  son:

$$a = 2.7 \text{ y } b = -0.265$$

Por lo tanto:

$$k_a = (2.7)(101)^{-0.265} = .794$$

Para el factor de modificación de tamaño, usando la ecuación 4.4 (Shigley, 2008) obtenemos  $k_b$ :

$$k_b = \left(\frac{d_e}{7.62}\right)^{-0.107} \quad (4.4)$$

Para obtener  $d_e$  se utiliza la ecuación 4.5 (Shigley, 2008):

$$d_e = 0.370d = 3.7 \text{ mm} \quad (4.5)$$

Por lo tanto:

$$k_b = 1.8$$

Para el factor de modificación de carga:

$$k_c = 1$$

Para el factor de modificación a la temperatura:

$$k_d = 1$$

Para el factor de modificación a la confiabilidad:

$$k_e = 0.753$$

Como resultado de la resistencia a la fatiga del acero AISI 304:

$$S_e = (.794)(1.08)(1)(1)(0.753)(50.5) = 30.39 \text{ Psi}$$

Alisando la ecuación 4.6 (Shigley, 2008) obtenemos  $S_f$  para vida finita:

$$S_f = \frac{\sigma_a}{1 - \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad (4.6)$$

Debemos calcular  $\sigma_a$  con la ecuación 4.7 (Shigley, 2008) y  $\sigma_m$  con la ecuación 4.8 (Shigley, 2008), tenemos que:

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (4.7)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \quad (4.8)$$

$$\sigma_{max} = 29.8Ksi \quad y \quad \sigma_{min} = 0.085Ksi$$

$$\sigma_m = \frac{29.8 + 0.085}{2} = 14.94 \quad y \quad \sigma_a = \frac{29.8 - 0.085}{2} = 14.85$$

Entonces para la resistencia a la fatiga:

$$S_f = \frac{14.85}{1 - \frac{14.94}{101}} = 17.45Kpsi$$

Para calcular  $a$  se usa la ecuación 4.9 y  $b$  se calcula con la ecuación 4.10 (Shigley, 2008):

$$a = \frac{(fS_{ut})^2}{s_e} \quad (4.9)$$

$$b = -\frac{1}{3} \log \left( \frac{fS_{ut}}{s_e} \right) \quad (4.10)$$

Donde para determinar se utiliza la figura 4.11 gráfica de fracción de resistencia con  $S_{ut} = 101kpsi$ . Donde  $f = .84$  por lo tanto:

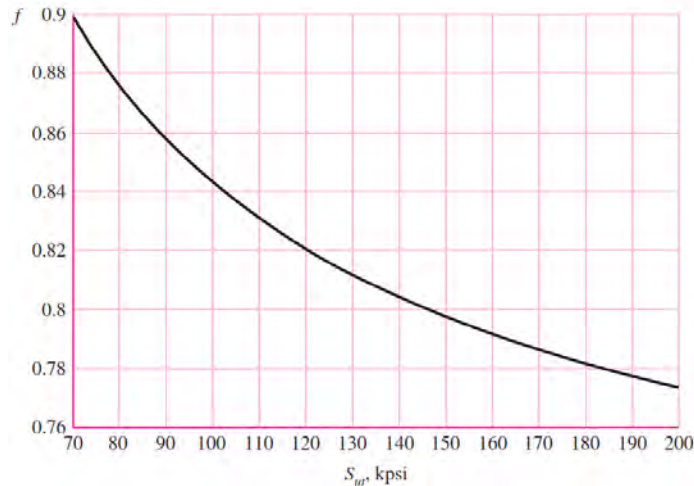


Figura 4.21 Gráfica fracción de resistencia (Shigley, 2008)

$$a = \frac{[(.84)(101)]^2}{30.39} = 236.84 \text{ kpsi} \quad \text{y} \quad b = -\frac{1}{3} \log \left[ \frac{(.84)(101)}{30.39} \right] = -.148$$

De esta manera se puede estimar el número de ciclos al que podría fallar la leva dentada:

$$N = \left( \frac{17.45}{236.84} \right)^{-1/0.148} = 1.1 \times 10^9 \text{ ciclos}$$

Como se puede observar, el número de ciclos que se necesitan para que la pieza falle está muy por encima de lo que podría ser la realidad. Esto debido a que la carga a la que está sometido el eje es fluctuante y para este tipo de casos se considera el impacto de la tensión media sobre el eje. Esta estimación se realizó usando el método de Goodman, modificado para vida finita del elemento.

#### 4.4.5 Selección de resorte helicoidal de torsión para el sistema de posicionamiento

Se debe calcular las dimensiones del resorte que se usara para el sistema de posicionamiento de la leva dentada; por lo cual se debe considerar la fuerza que ejercerá el resorte, pues se requiere que este permita que la leva gire cuando se busca ascender. Razón por lo cual esta debe mantener la leva en posición y al mismo tiempo debe ejercer la fuerza o troque suficiente para que el usuario pueda hacer girar la leva sin la necesidad de un esfuerzo excesivo.

$$F = \frac{562}{1000} (9.81) \frac{m}{s^2} = 5.51 N$$

Se deberá aplicar una fuerza de  $5.51 N$  ( $0.561 kgf$ ) para levantar el sistema de bloqueo al ascender. Se busca que el resorte no genere mayor resistencia al usuario, por lo cual se buscara que la fuerza máxima necesaria para mover el sistema de bloqueo con el resorte instalado sea  $7.47 N$  ( $0.761 kgf$ ). El espacio aproximado que se tiene para los extremos del resorte es de  $R = 14 mm$  para mantener en posición la leva, por lo cual con la ecuación 4.11 (Norton, 2011) se calcula primero el momento aplicado:

$$M = FR \tag{4.11}$$

$$M_{min} = 0.561 kgf * 1.4 = 0.785 kgf - cm$$

$$M_{máx} = 0.761kgf * 1.4 = 1.064kgf - cm$$

Entonces se debe proponer un diámetro de alambre, y como se sabe, el eje sobre el cual deberá encontrarse el resorte tiene un diámetro de 10mm, por esta razón se proponen las siguientes dimensiones:

$$d = 1 mm$$

$$D = 12 mm$$

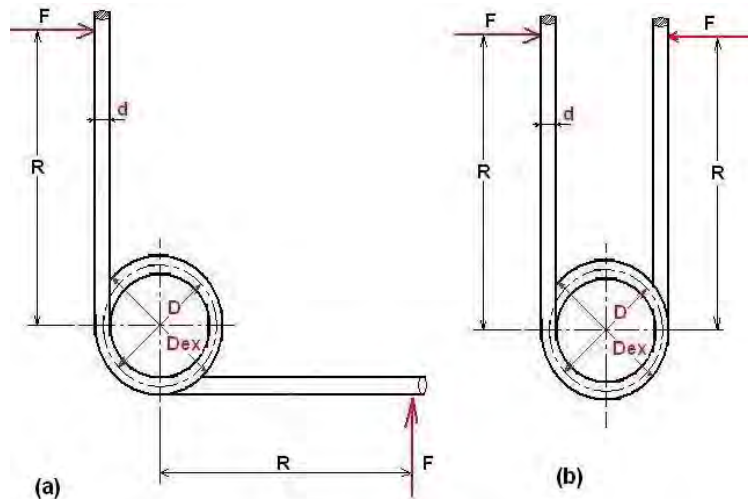


Figura 4.22 Componentes para calcular las características del resorte

Posteriormente se tiene que determinar el índice de wahl para lo cual se divide el diámetro interior entre el diámetro del alambre:

$$C = \frac{D}{d} = 12$$

Se calculará el factor de flexión de wahl  $k_b$  utilizando la ecuación 4.12 (Norton, 2011), para la superficie interior; luego se usará para calcular el esfuerzo de compresión máximo en la superficie interior de la espira.

$$K_{b_i} = \frac{4C^2 - C - 1}{4C(C - 1)} \quad (4.12)$$

$$= \frac{4(12)^2 - 12 - 1}{4(12)(12 - 1)} = 1.06$$

$$\sigma_{i_{\max}} = K_{b_i} \frac{32M_{\max}}{\pi d^3} = 1.06 \frac{32(1.064 \text{ kgf} \cdot \text{cm})}{\pi (0.10 \text{ cm})^3} = 11,445 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} (1122.37 \text{ Mpa})$$

Se debe calcular con la ecuación 4.13 el factor de flexión de Wahl  $K_{b_o}$  (Norton, 2011) para la superficie exterior y se calcularán los esfuerzos máximo, mínimo, alternante y medio de tensión en la superficie exterior de la espira.

$$K_{b_0} = \frac{4C^2 + C - 1}{4C(C + 1)} \quad (4.13)$$

$$= \frac{4(12)^2 + 12 - 1}{4(12)(12 + 1)} = 0.94$$

$$\sigma_{o_{min}} = K_{b_0} \frac{32M_{min}}{\pi d^3} = 0.94 \frac{32(.785kgf - cm)}{\pi(.10cm)^3} = 7,468 \frac{kgf}{cm^2} (732.36 Mpa)$$

$$\sigma_{o_{m\acute{a}x}} = K_{b_0} \frac{32M_{m\acute{a}x}}{\pi d^3} = 0.94 \frac{32(1.064kgf - cm)}{\pi(.10cm)^3} = 10,149 \frac{kgf}{cm^2} (995.27Mpa)$$

$$\sigma_{o_{medio}} = \frac{\sigma_{o_{m\acute{a}x}} + \sigma_{o_{min}}}{2} = \frac{10,149 + 7,468}{2} = 8,808.5 \frac{kgf}{cm^2} (863.82Mpa)$$

$$\sigma_{o_{alt}} = \frac{\sigma_{o_{m\acute{a}x}} - \sigma_{o_{min}}}{2} = \frac{10,149 - 7,468}{2} = 1,340.5 \frac{kgf}{cm^2} (131.46Mpa)$$

Se debe obtener la resistencia ultima a la tensión de este alambre musical  $S_{ut}$ , usando la ecuación 4.14 y la tabla 4.1 (Norton, 2011), y luego se usará para obtener la resistencia de fluencia con la ecuación 4.15 (Norton, 2011), Suponiendo que no se han mitigado esfuerzos.

Tabla 4.15 Valores para A y b para diferentes diámetros y materiales de alambre

ASTM #	Material	Intervalo		Exponente b	Coeficiente A		Factor de correlación
		mm	in		MPa	psi	
A227	Forjado en frío	0.5-16	0.020-0.625	-0.182 2	1 753.3	141 040	0.998
A228	Alambre musical	0.3-6	0.010-0.250	-0.162 5	2 153.5	184 649	0.9997
A229	Revenido en aceite	0.5-16	0.020-0.625	-0.183 3	1 831.2	146 780	0.999
A232	Cromo-v.	0.5-12	0.020-0.500	-0.145 3	1 909.9	173 128	0.998
A401	Cromo-s.	0.8-11	0.031-0.437	-0.093 4	2 059.2	220 779	0.991

$$S_{ut} = Ad^b \quad (4.14)$$



$$= 2153.5(.10)^{-0.1625} = 3,130\text{Mpa}$$

$$S_y = 1.0S_{ut} = 3,130\text{Mpa} \quad (4.15)$$

A continuación, se determinará la resistencia límite a la fatiga por flexión del alambre para resortes no granallados con partículas, usando la ecuación 4.16 (Norton, 2011) y se convertirá a resistencia la fatiga por flexión totalmente invertido, con la ecuación 4.17 (Norton, 2011):

$$S_{ewb} \cong \frac{45.0}{0.577} = 78 \text{ kpsi} (537 \text{ Mpa}) \quad (4.16)$$

$$S_e = 0.5 \frac{S_{ewb} S_{ut}}{S_{ut} - 0.5 S_{ewb}} \quad (4.17)$$

$$= 0.5 \frac{(537)(3,130)}{(3,130) - 0.5(537)} = 268.5\text{Mpa}$$

El factor de seguridad contra la fatiga para las espiras en flexión se calcula con la ecuación 4.18 (Norton, 2011):

$$N_{fb} = \frac{S_e(S_{ut} - \sigma_{o_{min}})}{S_e(\sigma_{o_{medio}} - \sigma_{o_{min}}) + S_{ut}\sigma_{o_{alt}}} \quad (4.18)$$

$$= \frac{268.5(3,130 - 732.36)}{268.5(863.82 - 732.36) + 3,130(131.46)} = 1.4$$

Este factor de seguridad es aceptable, por lo cual las dimensiones propuestas son adecuadas. La sección donde se encontrará colocado el resorte tiene una longitud de 5mm, por lo cual tomando en cuenta el diámetro propuesto para el alambre  $d = 1 \text{ mm}$  el número de espiras del resorte será  $N < 5$ , para que de esta manera

no interfiera con el funcionamiento de la leva. Se propone que  $N = 3.5$ , de esta manera se tendrá 1.5 mm de tolerancia para el correcto funcionamiento de la leva.

Cuando un resorte de torsión se carga para cerrar las espiras, el diámetro de la espiral decrece y su longitud se incrementa conforme la espira se “enrolla”. El diámetro interior mínimo de la espira se calcula con la ecuación 4.17 (Norton, 2011) Por lo tanto:

$$D_{i_{min}} = \frac{DN_b}{N_b + \theta_{rev}} - d \quad (4.19)$$

$$= \frac{(12)(3.5)}{3.5 + 0.33} - 1 = 11.33 \text{ mm}$$

Este diámetro brinda un margen para la disminución del diámetro interior con carga. Habiendo calculado los valores, se puede consultar el catalogo como se muestra en la tabla 4.2, donde se puede encontrar los resortes helicoidales que se acercan más a los valores calculados en este apartado. Además, las empresas que se dedican a la manufactura de resortes cuentan con pedido a medida, de esta manera se puede adquirir un resorte con características muy específicas que cumplan con las necesidades.

NÚMERO DE PARTE LEE	DIÁMETRO EXTERIOR		DIÁMETRO DEL ALAMBRE		TORQUE @ 120° DEFLEXÓN (T)		RADIO (R)		TAMAÑO MANDRIL SUGERIDO		LONGITUD DE LAS PATAS (A)		LONGITUD APROX. DEL CUERPO (L)		NÚMERO DE ESPIRALES
	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.LBS	KG-MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	PULG.	MM	
LTL016A 10 LTR016A 10	.190	4.83	.016	.41	.110	1.27	.375	9.53	1/8 (.125)	3.18	0.750	19.05	0.067	1.70	3.17
LTL020B 10 LTR020B 10	.273	6.93	.020	.51	.180	2.07	.500	12.70	3/16 (.188)	4.76	1.000	25.40	0.083	2.11	3.17
LTL024C 10 LTR024C 10	.362	9.19	.024	.61	.280	3.23	.500	12.70	1/4 (.250)	6.35	1.000	25.40	0.100	2.54	3.17
LTL029C 10 LTR029C 10	.365	9.27	.029	.74	.470	5.42	.500	12.70			1.000	25.40	0.150	3.81	4.17
LTL026C 10 LTR026C 10	.366	9.30	.026	.66	.380	4.38	.500	12.70			1.000	25.40	0.108	2.74	3.17
LTL032C 10 LTR032C 10	.371	9.42	.032	.81	.690	7.95	.500	12.70			1.000	25.40	0.165	4.19	4.17
LTL035C 10 LTR035C 10	.377	9.58	.035	.89	.960	11.06	.625	15.88	5/16 (.313)	7.94	1.250	31.75	0.181	4.60	4.17
LTL042D 10 LTR042D 10	.467	11.86	.042	1.07	1.550	17.86	1.000	25.40			2.000	50.80	0.217	5.51	4.17
LTL045D 10 LTR045D 10	.474	12.04	.045	1.14	2.030	23.39	1.000	25.40			2.000	50.80	0.233	5.92	4.17
LTL038E 10 LTR038E 10	.547	13.89	.038	.97	1.210	13.94	.625	15.88			1.250	31.75	0.158	4.01	3.17

Tabla 4.2 Selección de resorte

## CAPÍTULO 5

En esta sección se analizaron los resultados derivados de pruebas con los prototipos, así como también se presentan conclusiones y recomendaciones a trabajo futuro.

### 5.1 Pruebas y refinamiento

Se realizaron pruebas al sistema de bloqueo de cuerdas, con la finalidad de comprobar la viabilidad del diseño, así como identificar puntos de oportunidades de mejora.

#### 5.1.1 Prueba 1

En esta sección se presentarán los resultados derivados de la manufactura del prototipo impreso en 3D cuyo material es PLA, como se puede apreciar en la figura 5.1.



Figura 5.1 Prototipo de PLA

Se realizaron pruebas de funcionamiento, para dichas pruebas se utilizaron cuerdas de 8, 10 y 12 mm, para poder determinar si el dispositivo es compatible

con los diámetros establecidos. Las pruebas se realizaron agregando peso en las áreas de anclaje, simulando el accionar del dispositivo en uso, para esto se colocó una prensa simulando ser el mosquetón agregando peso al dispositivo, y de esta manera simular la condición de uso en la posición de descenso, buscando producir el pinchamiento de la cuerda. Primero se probó la facilidad para colocar la cuerda, como se aprecia en la figura 5.2.



Figura 5.2 Colocación de cuerda

Tanto en posición de ascenso como descenso, se pudo observar que la cuerda se coloca con facilidad debido a que la segunda pared puede abrirse. En este caso las 3 cuerdas pudieron colocarse sin problema. A continuación, en la figura 5.3 se puede observar las pruebas realizadas de bloqueo tanto en posición de ascenso como de descenso.



Figura 5.3 Pruebas de funcionamiento en posición de descenso

En las pruebas de descenso, el sistema de bloqueo de cuerdas funcionó correctamente, se pudo desbloquear con la empuñadura, sin embargo, esta se deslizaba cuando se requería usar más fuerza para desbloquear. Se considera que esto era debido al material utilizado, ya que el PLA resultaba algo resbaladizo, lo cual no permite que las tuercas presionen correctamente la empuñadura; sin embargo, con poco peso funcionó bien, y se pudo bloquear correctamente dos de las cuerdas. La cuerda de 8 mm presentó algunas dificultades, se piensa que el acabado del material usado influye y esto no permite tener la fricción adecuada para el bloqueo de la cuerda de menor diámetro.

A continuación, se presentan los resultados de las pruebas de funcionamiento en la posición de ascenso, en la figura 5.4 se puede apreciar la realización de las pruebas.



Figura 5.4 Pruebas de bloqueo en posición de ascenso



Figura 5.5 Sistema de posicionamiento



Como resultado de las pruebas de funcionamiento de bloqueo en la posición de ascenso, se realizaron 3 pruebas en cada posición; es decir tanto en ascenso como en descenso para cada cuerda, y el dispositivo funcionó correctamente usando cuerdas de 10 y 12 mm. Sin embargo, con la cuerda de 8mm de las 3 pruebas realizadas en ascenso funcionó en 1 y en las pruebas realizadas en descenso funcionó en 2 ocasiones. El resorte de torsión encargado del posicionamiento de la leva dentada permitió la progresión del dispositivo a través de la cuerda en dirección de ascenso, se pudo bloquear las tres cuerdas, por lo que el dispositivo funciona como se planteó.

#### 5.1.1.1 Observaciones prueba 1

Después de realizar las pruebas se pudieron detectar algunas áreas que se deben mejorar. En primer lugar, debido al material usado, la zona donde debe colocarse el sistema de interfaz con usuario uno (empuñadura 1) figura 5.6, se debió colocar un cople en el tornillo debido a que la presión de la tuerca flexiona las paredes y reduce el espacio impidiendo a la leva dentada girar; esto se atribuye a el tipo de material utilizado para realizar el prototipo, pero es una consideración que se debe tomar en cuenta, pues este cople impide a la leva dentada girar libremente.



Figura 5.6 Problema con cople

También se debe revisar la dificultad al bloquear la cuerda de 8 mm en la posición de descenso y descartar que se deba al material y no a la geometría de la leva.

### 5.1.2 Prueba 2

Tomando en cuenta las observaciones realizadas en la prueba 1, se buscó mejorar el funcionamiento del dispositivo; por lo cual en primer lugar se modificó el sistema de interfaz con usuario uno (empuñadura 1), de tal manera que impidiera que las paredes del sistema estructural se flexionaran y obstruyeran el movimiento de la leva dentada. La solución empleada a este problema fue colocar un cople en el tornillo que fungía como separador, pero para esta segunda prueba se modificó la empuñadura 1, agregando una sección rectangular que realiza la función del cople impidiendo la flexión de las paredes, tal modificación se ilustra en la Figura 5.7.

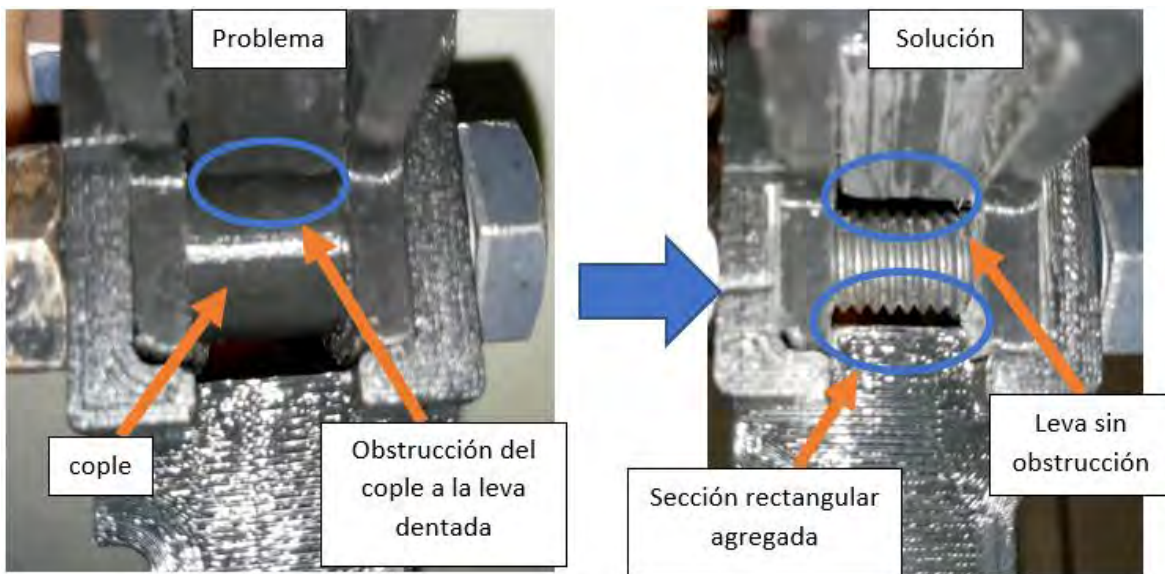


Figura 5.7 Problema y solución a obstrucción del cople

La solución empleada sirvió en su propósito de separador para las paredes del sistema estructural, evitando que estas se flexionen y permitió que la leva gire adecuadamente sin obstrucción; por lo cual el cople ya no es necesario, quedando resuelto el problema con el correcto funcionamiento del dispositivo.



Además de solucionar el problema con el cople, se procedió a modificar la leva lisa; para buscar que se genere mayor fricción cuando entre en contacto con la cuerda y de esta manera se produzca el pinchamiento de una manera adecuada. Recordemos que se tenía problemas al usar la cuerda de 8 mm, se buscó una forma más rectangular, como se muestra en la figura 5.8.

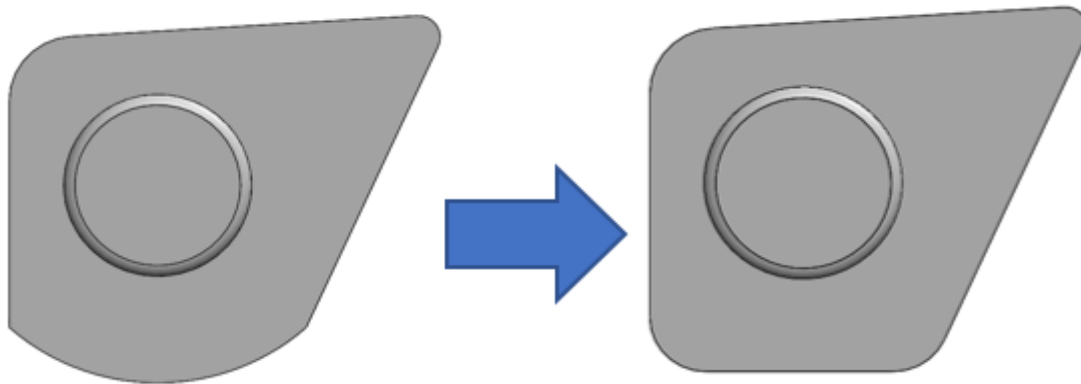


Figura 5.8 Cambio de geometría en sección inferior de la leva lisa

Después de realizados estos cambios, se procedió a aplicar el método por elementos finitos en la pieza modificada para determinar su comportamiento bajo las cargas a la cual será sometida.

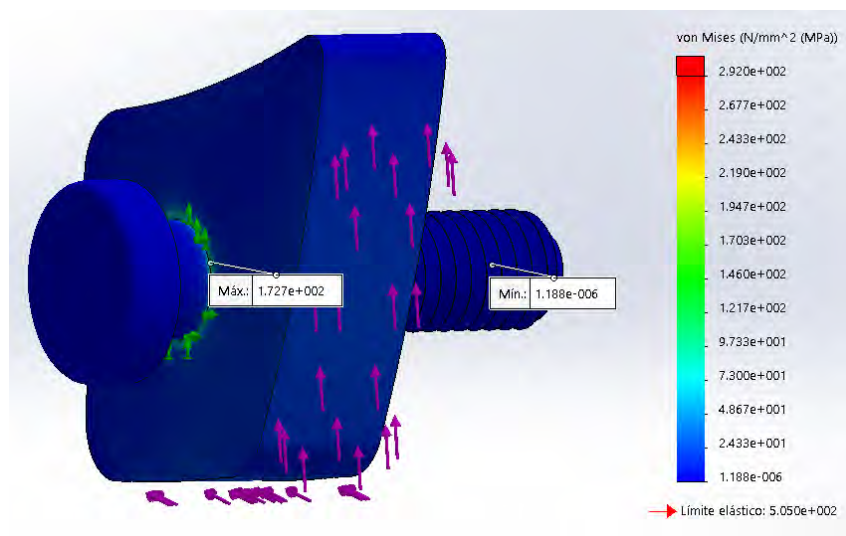


Figura 5.9 Análisis de leva lisa modificada en posición de descenso

Como en el análisis anterior, los esfuerzos máximos se encuentran en la unión de la sección circular a la pared de la leva como se muestra en la figura 5.9. El desplazamiento máximo fue de 0.01 mm por lo cual es aceptable, y no causara problema alguno. El factor de seguridad mínimo calculado para esta pieza es de 2.9, por lo cual cumple con el requisito de la resistencia mínima de trabajo adecuadamente.

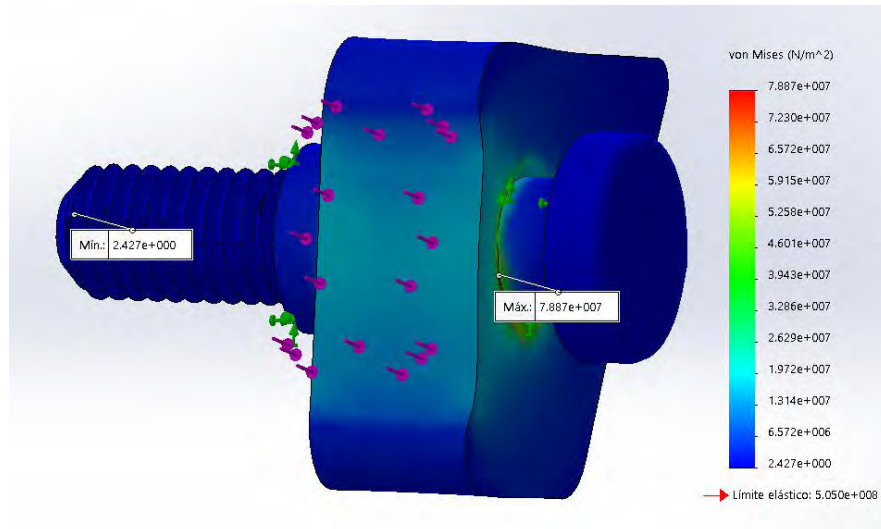


Figura 5.10 Análisis de leva lisa modificada en posición de ascenso

La leva lisa también se analizó nuevamente en posición de ascenso, donde será afectada por la parte posterior al pinzar la cuerda. La tensión máxima de von mises se presenta en las uniones de las paredes con las secciones circulares como se muestra en la figura 5.10. La leva se presume estática, por lo cual se aplicó como sujeción las secciones que servirán para apoyar la leva al sistema estructural. Los desplazamientos fueron mínimos, pues el desplazamiento máximo en esta posición fue de 0.005 mm por lo cual es aceptable. El factor de seguridad para la leva modificada fue de 6, mejoro con respecto a la leva sin modificar, y cumple con la norma sin problema.

Después de realizar el análisis con FEM se realizaron las pruebas con las cuerdas en las diferentes posiciones de descenso como se muestra en la figura 5.11.



Figura 5.11 Prueba 2 de funcionamiento en posición de descenso

Los cambios realizados en la leva dentada ayudaron a que se realizara de mejor manera el bloqueo de la cuerda, por lo cual el cambio en la geometría de la leva lisa ayuda a que el contacto con la cuerda genere mayor fricción y se produzca el pinchamiento de mejor manera, con este cambio el bloqueo de la cuerda de 8 mm se realizó de manera correcta.

Se realizó de igual manera pruebas en la posición de ascenso como se muestra en la figura 5.12.



Figura 5.12 Prueba 2 de funcionamiento en posición de ascenso

Se pudo realizar el pinchamiento de manera correcta en la posición de ascenso con las 3 cuerdas, por lo cual el cambio de geometría no afectó el funcionamiento del dispositivo en esta posición.

## 5.2 Propuesta del sistema de bloqueo de cuerdas

En este apartado se presenta el diseño propuesto como resultado de la implementación de la metodología presentada en el primer apartado del presente trabajo. Una vez realizadas las pruebas y el refinamiento, se busca mostrar de manera gráfica la apariencia que tendrá el dispositivo una vez realizado el prototipo con los materiales seleccionados.



Figura 5.13 Sistema de bloqueo de cuerdas

En el render presentado en la figura 5.13 se presenta el diseño con la inclusión de los materiales plásticos propuestos para mejorar la ergonomía de las piezas que tendrán interacción directa con el usuario.

Una de las principales características del sistema de bloqueo de cuerdas es que se puede desmontar la empuñadura 1, como se muestra en la figura 5.14;

reduciendo las dimensiones del dispositivo, para de esta manera hacer que sea más cómodo su manejo en descenso, incluso para ser transportado esta característica ahorraría espacio.



Figura 5.14 Sistema de bloqueo de cuerdas, empuñadura desmontada

Se logró comprobar algunas especificaciones como lo son la facilidad de uso, las dimensiones  $16 \times 5.2 \times 2.3$ , la compatibilidad con diferentes cuerdas de 8 a 12 mm, y con mosquetones de 9.5 a 12.9 mm, las demás especificaciones se comprobaron con simulaciones como lo es la resistencia de 4kn o el peso del dispositivo 540 gr, pero es necesario realizar un prototipo con los materiales propuestos y realizar la comprobación, de igual manera se debe hacer para determinar el peso real del dispositivo.

### 5.3 Conclusiones

El desarrollo del presente trabajo se realizó siguiendo la metodología planteada en el primer capítulo, esta permitió atacar el problema desde distintos ángulos y presentar múltiples alternativas para la solución de problemas. Además, se usaron diferentes herramientas aprendidas durante las clases, lo cual amplió el abanico de posibilidades, y permitió un correcto desarrollo del diseño propuesto, el cual plantea un sistema de bloqueo de cuerdas con diferentes enfoques que lo hacen particularmente atractivo frente a sus principales rivales comerciales.

La inclusión de diferentes enfoques de diseño, así como el uso de diferentes herramientas permitió identificar áreas de oportunidad, utilizando el radar de tendencia evolutiva de triz. En el caso de este tipo de dispositivos se pudo observar que, dependiendo su clasificación, estos presentan características muy similares; en muchos de ellos no se utilizan materiales inteligentes como lo son los plásticos suaves que ayudan en la ergonomía del dispositivo permitiendo un mejor agarre y provee una sensación más suave al tacto. Además, aunque existen dispositivos de progresión bidireccionales, estos no necesariamente se pueden utilizar para realizar las dos funciones: ascenso y descenso, solo se utilizan para una, ascenso o descenso.

Otro de los puntos importantes que nos permitió identificar la metodología empleada, fue el diseño dirigido al usuario y a cada actividad en altura que pueda requerir un dispositivo con las características del sistema de bloqueo de cuerdas propuesto en el presente trabajo, por lo cual fue de suma importancia el poder entender las necesidades de los posibles usuarios y el perfil de estos dependiendo de la actividad que realizan, en este caso el dispositivo se puede utilizar, en actividades como:

- Rappel
- Escalada deportiva
- Rescate
- Trabajo en altura
- Espeleología

Entre otras actividades, el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas permite reducir el número de dispositivos a emplear, además del dispositivo de seguridad adicional recomendado, el sistema de bloqueo de cuerdas propuesto será ligero, fácil de transportar, y tendrá múltiples funciones.

Los usos de herramientas de diseño en la metodología propuesta resultaron ser fundamentales, como es el caso de las herramientas CAD. En este caso el uso del software *Solidworks* permitió modelar las diferentes propuestas de diseño, además el software cuenta con complementos de simulación que presenta información acerca del comportamiento del dispositivo bajo las condiciones de trabajo, esto brinda la oportunidad de modificar parámetros como la geometría, y saber cómo se comportarían las piezas en función de las propiedades del material a usar; y como resultado el diseño propuesto cumple con los requerimientos de la norma UNE-EN 12841:2006.

Las principales ventajas identificadas en el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas propuesto, se presentan a continuación:

- Es un dispositivo de progresión bidireccional.
- La empuñadura para ascenso se puede desmontar reduciendo el tamaño y peso del dispositivo.
- Se puede usar como descensor auto-bloqueante, como asegurador, como bloqueador de mano y como bloqueador ventral.
- Su peso es de 540 gr, completo con la empuñadura acoplada.
- Es fácil de usar, reduce el número de dispositivos que deben usarse.
- Es compatible con cuerdas de 8 a 12 mm.
- Sus partes son intercambiables, incluso se puede cambiar las levas para buscar compatibilidad con otros diámetros de cuerdas.

Aún se presentan puntos a mejorar tomando en cuenta los resultados de las pruebas de funcionamiento, sin embargo, la propuesta de diseño plantea una base funcional para el desarrollo a futuro del sistema de bloqueo de cuerdas.

Finalmente se puede concluir que la metodología empleada permitió el correcto desarrollo del diseño del dispositivo y cumplir con los objetivos planteados, concluyendo con la propuesta de un sistema de bloqueo de cuerdas fácil de usar,



ergonómico, que puede ser utilizado en situaciones de rescate y auto rescate, además de contribuir a identificar características que puedan darle ventaja frente a los principales competidores del mercado.

#### **5.4 Trabajo a futuro**

Como se pudo observar, se presentaron diferentes observaciones derivadas de las pruebas de funcionamiento del dispositivo. Además, considerando las conclusiones, se debe plantear el desarrollo de actividades a futuro que contribuyan al desarrollo del diseño propuesto.

Primeramente, se recomienda dar solución a las observaciones derivadas de las pruebas de funcionamiento, contemplando el cople y el funcionamiento de la leva lisa con la cuerda de 8 mm.

Realizar un segundo prototipo a base de PLA, ya que resulta económico y permite el poder contemplar el sistema de bloqueo de cuerdas con dimensiones reales, no a escala, teniendo un mejor entendimiento del uso, así como de los detalles que pudieran presentarse.

Se deben considerar los procesos de manufactura, en el diseño del sistema de bloqueo de cuerdas se propone realizar el modelo con los materiales seleccionados o con materiales que presenten características similares, usando el proceso de maquinado, sin embargo, se deben estudiar las geometrías que pueden incrementar el costo de manufactura.

Finalmente, una vez realizado el prototipo con materiales seleccionados, se pueden hacer pruebas basándose en la norma UNE-EN 1241:2006, para determinar si se cumple con la norma y posteriormente buscar la certificación con miras a la comercialización del sistema de bloqueo de cuerdas.

## REFERENCIAS

1. Karl T. Ulrich, Steven D. Eppinger (2013). Diseño y desarrollo de nuevos productos, quinta edición.
2. George E. Dieter, Linda C. Schmidt (2009), Engineering Desing, quinta edición.
3. Gerhard Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, Karl-Heinrich Grote (2017), Springer Engineering Design: A Systematic Approach, tercera edición.
4. Michael f. Ashby, Butterworth-Heinemann, (2007) Materials selection in mechanical design.
5. Joseph Edward Shigley (2008). Diseño en ingeniería mecánica de Shigley octava edición.
6. Robert L. Mott, P.E. (2006). Diseño de elementos de máquinas cuarta edición.
7. Robert L. Norton (2009). Diseño de maquinaria, cuarta edición.
8. Robert L. Norton (2011). Diseño de máquinas, un enfoque integrado, cuarta edición.
9. AENOR (2006). Norma española EN-12841 Equipos de protección individual contra caídas, sistemas de acceso mediante cuerdas, dispositivos de regulación de cuerda.
10. Jorge E. Salazar (2007). Resistencia de materiales básica para estudiantes de ingeniería, primera edición.
11. Academia Nacional de Bomberos Voluntarios de la República Argentina (ANBVRA), (2009). Manual de rescate con cuerdas nivel 1.
12. Gran vertical (2015) [en línea]. Factor de caída y fuerza de choque en trabajos de altura. <http://www.granvertical.com/2015/08/24/factor-de-caida-y-fuerza-de-choque-en-trabajos-en-altura/>
13. Gran vertical (2015) [en línea]. Sistemas de protección contra caídas, guía técnica. <http://www.granvertical.com/2015/12/12/sistemas-anticaidas/>

14. Gran vertical (2015) [en línea]. En 12841 dispositivos de regulación de cuerda para trabajos verticales. <http://www.granvertical.com/2015/07/20/en-12841-dispositivos-de-regulacion-de-cuerda-para-trabajos-verticales/>
15. Montañismo (sin fecha). En Wikipedia. Recuperado el día 25 de noviembre del 2016. <https://es.wikipedia.org/wiki/Montañismo>
16. Trabajo vertical (sin fecha). En Wikipedia. Recuperado el día 20 de noviembre del 2016.
17. Syslaboral (2012) [En línea] Manual de rescate vertical. [http://www.syslaboral.com/web/files/manual\\_rescate\\_vertical.pdf](http://www.syslaboral.com/web/files/manual_rescate_vertical.pdf)
18. Gran vertical (2016). [En línea] Auto rescate en trabajos verticales: 5 maniobras de descenso. <https://www.granvertical.com/2016/03/28/autorrescate-en-trabajos-verticales/>
19. Ecured (sin fecha) [En línea]. Espeleología. Recuperado el día 25 de noviembre del 2016.  
<https://www.ecured.cu/Espeleolog%C3%ADa>
20. Rosalío Ávila Chaurand, Lilia Roselia Prado León, Elvia Luz González Muñoz (2007). Dimensiones antropométricas de la población latinoamericana: México, Cuba, Colombia, Chile. Segunda edición.
21. J.A. Oteoa, P. Benaventea y M. Garzónb (2015) “Valores normativos de la fuerza de puño en la población española en edad laboral. Influencia de las variables antropométricas de la mano y el antebrazo” en revista Iberoamericana de Cirugía de la Mano. Vol. 43, No. 6, pp. 104-110.
22. Franz Konstantin Fuss & Günther Niegl (2011) “Design and mechanics of belay devices and rope brakes” en revista Sports Technology. Vol. 3, No. 2, pp. 68-87.
23. Tom Moyer (2006) “A simulation of climbing and rescue belays” en International Technical Rescue Symposium.
24. Stephen W. Attaway, Ph.D. (1999) “The mechanics of friction in rope rescue” en International Technical Rescue Symposium.
25. Curro Martínez (2013) “¿Es seguro? el grigri 2 al microscopio” en revista Escalar. No 88.

26. Jaime A. Aguilar-Zambrano, Manuel V. Valencia, Manuel F. Martínez, Carlos A. Quicén, Claudia M. Sandoval (2011) “Uso de la Teoría de Solución de Problemas Inventivos (TRIZ) en el análisis de productos de apoyo a la movilidad para detectar oportunidades de innovación” en revista Ingeniería y Competitividad, Volumen 14, No. 1, p. 137 - 151
27. Darrell Mann (2001) “An introduction to TRIZ: The Theory of Inventive Problem Solving” en revista Creativity and Innovation Management. Vol. 10, No 2. Pp. 123-125.

## ANEXO A

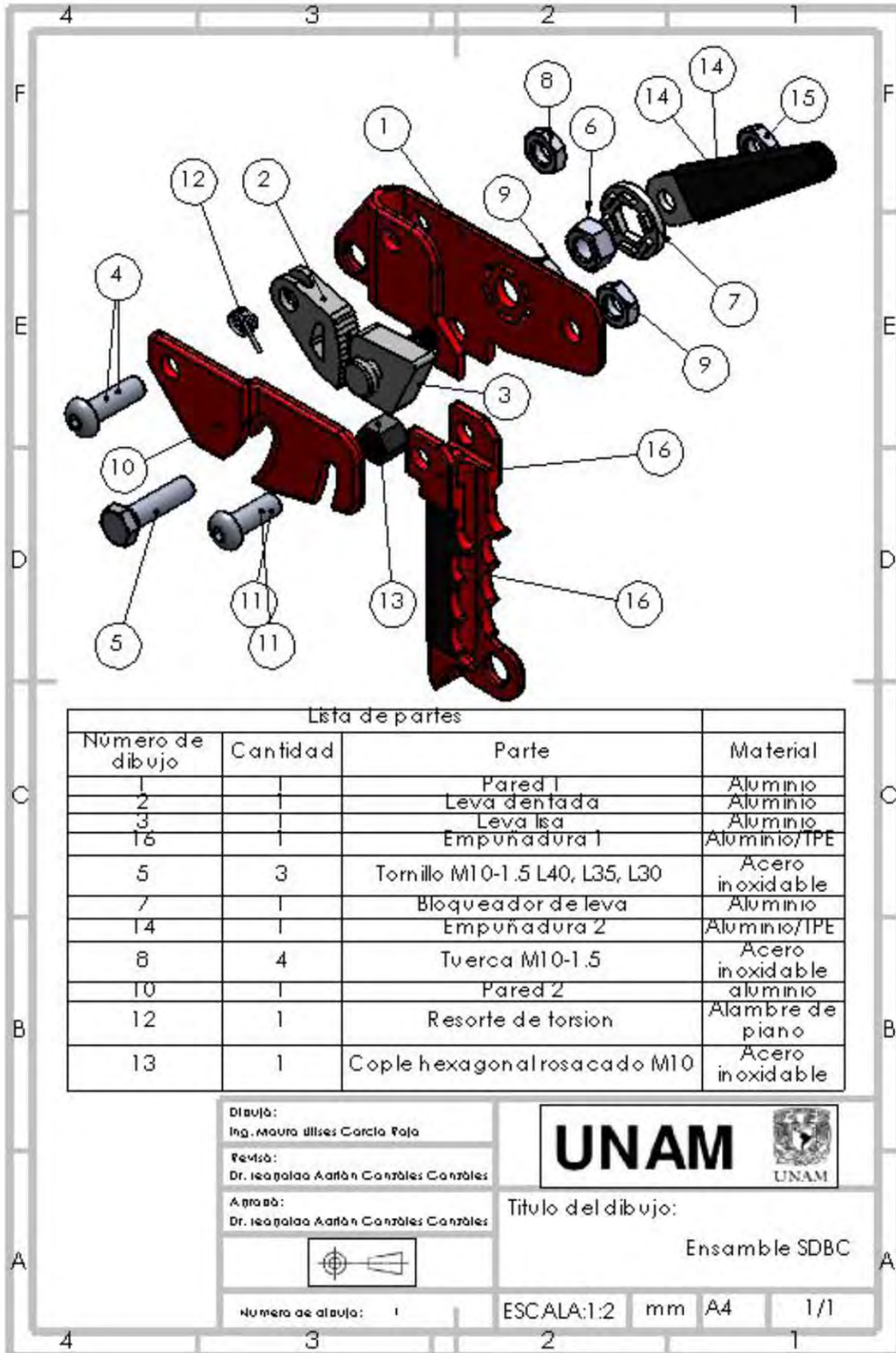
## Encuesta a usuarios

Nombre: \_\_\_\_\_

1. ¿Qué actividades de altura con cuerda realiza? ¿Con que frecuencia?
2. ¿Qué dispositivos de bloqueo de cuerdas utiliza para estas actividades?
3. ¿Qué precio tiene el dispositivo más caro que ha adquirido?
4. ¿Qué aspectos del dispositivo influyeron para que tomara la decisión de adquirirlo?
5. ¿Cuáles considera que son los requerimientos más importantes?
6. Con respecto a la propuesta de diseño ¿Considera que aporta alguna característica nueva al mercado? ¿Cuál?
7. ¿Qué es lo que le gusta más acerca del dispositivo?
8. ¿Qué cambios mejorarían el dispositivo?
9. ¿Qué característica haría más probable que use el nuevo dispositivo?
10. ¿Consideraría adquirir el dispositivo propuesto?

## ANEXO B





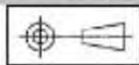
Lista de partes

Número de dibujo	Cantidad	Parte	Material
1	1	Pared 1	Aluminio
2	1	Leva dentada	Aluminio
3	1	Leva lisa	Aluminio
16	1	Empuñadura 1	Aluminio/TPE
5	3	Tornillo M10-1.5 L40, L35, L30	Acero inoxidable
7	1	Bloqueador de leva	Aluminio
14	1	Empuñadura 2	Aluminio/TPE
8	4	Tuerca M10-1.5	Acero inoxidable
10	1	Pared 2	aluminio
12	1	Resorte de torsion	Alambre de piano
13	1	Cople hexagonal rosacado M10	Acero inoxidable

Dibujó:  
 Ing. Mauro Ulises Cortés Rojas  
 Revisó:  
 Dr. Ismael Aarón Contreras Contreras  
 Aprobó:  
 Dr. Ismael Aarón Contreras Contreras



Titulo del dibujo:  
 Ensamble SDBC



Número de dibujo: 1 ESCALA: 1:2 mm A4 1/1

