



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo
de Producto**

Estudio sobre el diseño de un piolet

Autor:

Barriuso San Pedro, Álvaro

Tutor(es):

Magdaleno Martín, Jesús

Departamento:

**Construcciones Arquitectónicas, IT
y MMC y Teoría de Estructuras /
Mecánica de los Medios Continuos
y Teoría de Estructuras**

Valladolid, junio 2022

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE

En el presente proyecto, se muestra el estudio y análisis por el método de elementos finitos de un piolet de alpinismo invernal. En este proyecto se encontrarán, además, nociones básicas para comprender la metodología seguida y el criterio de elección de los estudios realizados, así como el criterio de selección de los materiales. Realizar este proyecto, ha supuesto poner a prueba los conocimientos adquiridos durante el Grado.

El resultado es satisfactorio pues se han integrado dichos conocimientos en el proyecto y se ha conseguido analizar con éxito el piolet así como optimizar sus materiales para hacerlo más resistente a los esfuerzos que sufre durante la práctica del alpinismo invernal.

PALABRAS CLAVE: Alpinismo, piolet, elementos finitos, materiales, resistencia.

ABSTRACT

In the present project, its present the study of an alpinism invernal piolet by the finite element method. This project also contains the basic knowledge to understand the methodology that has been used and the election criterion of the analysis as well as the material selection criterion. Developing this proyect, has been suposed the integration of all the acquire knowledge in the Grade.

The result is sucessfull because it has been an integration of these knowledge in adition to the achievement of analyse the piolet optimizing their materials in order to make it more resistant of the efforts in the practice of invernal alpinism.

KEYWORDS: Alpinism, piolet, finite elements, materials, resistant.

ÍNDICE

RESUMEN Y PALABRAS CLAVE.....	1
INDICE DE IMAGENES.....	5
1 OBJETIVO Y ALCANCE.....	9
2 ESTADO DE LA TÉCNICA.....	11
2.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	11
2.2 PARTES DEL PIOLET.....	13
2.3 NORMATIVA.....	14
2.4 DEFINICIONES REFERENTES AL ALPINISMO INVERNAL.....	15
2.5 TIPOS DE PIOLET.....	19
2.6 TIPOS DE HOJAS.....	21
2.7 TÉCNICAS DE ALPINISMO.....	22
2.8 TÉCNICAS DE AUTODETENCIÓN.....	25
3 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO.....	27
3.1 METODOLOGÍA APLICADA Y DEFINICIÓN DE GEOMETRÍA.....	27
4 PLANOS.....	29
4.1 PLANOS BLACK DIAMOND VENOM.....	29
5 MATERIALES.....	31
5.1 HOJA Y REGATÓN:.....	31
5.2 MANGO Y MAZA.....	32
6 ANÁLISIS TENSIONALES.....	34
6.1 METODOLOGÍA SEGUIDA.....	34
6.2 ANALISIS A REALIZAR.....	36
6.2.1 ESTUDIO MANGO.....	37
6.2.2 CONCLUSIONES MANGO.....	51
6.2.3 ESTUDIO HOJA.....	52
6.2.4 CONCLUSIONES HOJA.....	64
6.2.5 ESTUDIO PIOLET COMPLETO.....	64
6.3 ELECCIÓN FINAL DE MATERIALES.....	71
7 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	72
7.1 COSTO DE FABRICACIÓN (Cf).....	72

7.1.1	COSTO DE MATERIA PRIMA (Cm)	72
7.1.2	MANO DE OBRA DIRECTA (M.O.D).....	73
7.2	MANO DE OBRA INDIRECTA (M.O.I)	75
7.3	CARGAS SOCIALES (C.S.).....	75
7.4	GASTOS GENERALES (G.G.).....	76
7.5	COSTE TOTAL (Ct).....	76
7.6	BENEFICIO INDUSTRIAL (B.I.).....	76
7.7	PRECIO DE VENTA EN FÁBRICA (Pv)	77
8	CONCLUSIONES.....	79
9	BIBLIOGRAFÍA	81

INDICE DE IMAGENES

Ilustración 1: Pulaski actual (https://www.amazon.es/Pulaski-hacha-paisajismo-Glowing-vidrio/dp/B018YJ47SE).....	11
Ilustración 2: Evolución del piolet (http://blogfendetestas.blogspot.com/2007/09/piolets-i-historia.html)	12
Ilustración 3: Partes del piolet (https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10238/como-elegir-tus-piolets-montana)	14
Ilustración 4: Corredor invernial (https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-11160/indispensables-alpinismo-corredores-invernales-material).....	15
Ilustración 5: Escalador escalando hielo (https://es.wikipedia.org/wiki/Escalada_en_hielo)	16
Ilustración 6: Escalador practicando la disciplina del Dry Tooling (https://www.guidedelcervino.com/en/dry-tooling-with-the-mountain-guides/).....	16
Ilustración 7: Escalador practicando la disciplina del Dry Tooling (https://www.planetmountain.com/en/news/alpinism/generation-dry-discovering-the-world-of-dry-tooling.html)	17
Ilustración 8: Escalador practicando “Dry Tooling” (https://yamnuska.com/ice-climbing/drytooling-101/).....	17
Ilustración 9: Escalador escalando en mixto invernial (https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-6520/historia-libre-escalada-hielo-mixto).....	18
Ilustración 10: Piolet de travesía modelo Black Diamond Raven (https://www.campz.es/black-diamond-raven-piolet-M874947.html)..	19
Ilustración 11: Piolet técnico modelo Petzl Quark (https://adcsportshop.com/piolets-alpinismo-tecnico/4441-petzl-quark/10724.html).....	20
Ilustración 12: Tipos hoja según su pico (https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10238/como-elegir-tus-piolets-montana)	21
Ilustración 13: Montañero realizando la técnica de piolet bastón (https://montanasegura.com/tecnicas-de-progresion-para-montana-invernial/piolet-baston/)	22
Ilustración 14: Montañero realizando la técnica de piolet puñal (https://montanapegaso.es/tecnica/piolet_y_crampones/piolet_y_crampones.htm).....	23

Ilustración 15: Montañero realizando la técnica de piolet tracción (https://blog.os2o.com/herramientas-de-invierno-eleccion-y-mantenimiento/)	24
Ilustración 16: Piolet final ensamblado.....	27
Ilustración 17: Metodología aplicada para realizar el modelo CAD	28
Ilustración 18: Interfaz módulo Assembly Desing	34
Ilustración 19: Interfaz módulo Part Design en Catia V5	34
Ilustración 20: Interfaz módulo Generative Shape Design en CATIA V5	35
Ilustración 21: Interfaz Autodesk Inventor 2022.....	35
Ilustración 22: Ensayo normativo de resistencia del mango (Norma UNE-EN 13089:2011+A1).....	37
Ilustración 23: Propiedades físicas Aluminio 5052.....	38
Ilustración 24: Vista de malla mango con las restricciones y fuerza establecidas	39
Ilustración 25: Tensión Von Mises en mango de Aluminio 5052.....	40
Ilustración 26: Deformación en mango de Aluminio 5052.....	41
Ilustración 27: Tasa de convergencia en mango de Aluminio 5052 en desplazamiento	42
Ilustración 28: Tasa de convergencia en mango de Aluminio 5052 en tensión de Von Mises.....	42
Ilustración 29: Perfil mango	43
Ilustración 30: Propiedades perfil mango piolet.....	44
Ilustración 31: Propiedades físicas Titanio	45
Ilustración 32: Tensión Von Mises en mango de Titanio	46
Ilustración 33: Desplazamiento en mango de Titanio.....	46
Ilustración 34: Propiedades físicas Aluminio 7075.....	47
Ilustración 35: Tensión Von Mises en mango de Aluminio 7075.....	48
Ilustración 36: Desplazamiento en mango de Aluminio 7075	48
Ilustración 37: Propiedades físicas fibra de Carbono	49
Ilustración 38: Tensión Von Mises en mango de fibra de Carbono.....	50
Ilustración 39: Desplazamiento en mango de Fibra de Carbono	51
Ilustración 40: Cota posición mano escalador en el mango.....	53
Ilustración 41: Cota posición hoja empotrada	54
Ilustración 42: Condiciones ensayo hoja.....	54
Ilustración 43: Vista de malla hoja piolet.....	55
Ilustración 44: Propiedades físicas del Acero Inoxidable AISI 202	55
Ilustración 45: Convergencia tensión de Von Mises análisis hoja	56
Ilustración 46: Convergencia desplazamiento análisis hoja.....	56
Ilustración 47: Tensión de Von Mises en hoja de Acero Inoxidable AISI 202	57
Ilustración 48: Desplazamiento en hoja de acero inoxidable AISI 202 .	57
Ilustración 49: Propiedades físicas acero inoxidable AISI 440C	58

Ilustración 50: Tensión Von Mises en hoja de acero inoxidable AISI 440C	59
Ilustración 51: Desplazamiento en hoja de acero inoxidable AISI 440C.....	59
Ilustración 52: Propiedades físicas del Titanio	60
Ilustración 53: Tensión de Von Mises en hoja de Titanio	61
Ilustración 54: Desplazamiento en hoja de Titanio	61
Ilustración 55: Propiedades físicas Aluminio 7075.....	62
Ilustración 56: Tensión de Von Mises en hoja de Aluminio 7075.....	63
Ilustración 57: Desplazamiento en hoja de Aluminio 7075	63
Ilustración 58: Posición fuerzas análisis piolet completo	66
Ilustración 59: Vista de malla análisis piolet	67
Ilustración 60: Tensiones de Von Mises en análisis de piolet completo	68
Ilustración 61: Tasa de convergencia en tensión de Von Mises en análisis del piolet completo.....	68
Ilustración 62: Tasa de convergencia en desplazamiento en análisis del piolet completo.....	69
Ilustración 63: Tensiones de Von Mises en el bulón en análisis del piolet completo	70

1 OBJETIVO Y ALCANCE

Este proyecto y su desarrollo supone la integración de los conocimientos adquiridos durante el Grado, con este proyecto se pretende desarrollar el modelo CAD de un piolet real existente en el mercado (el Black Diamond Venom) y analizar los esfuerzos que sufre en su uso continuo en el alpinismo invernal utilizando las técnicas descritas en el apartado 2.7 *TÉCNICAS DE ALPINISMO* mediante el método de elementos finitos.

De este modo, se restringirá el estudio ajustándolo a la realidad en la medida de lo posible para así obtener resultados válidos y realistas que validen el estudio y sus resultados.

Se tratará de localizar los puntos críticos por los que el piolet erraría y provocaría una situación de riesgo, además se interpretarán estos resultados para establecer unas conclusiones que permitan determinar los límites mecánicos del piolet y sus materiales.

Asimismo, se buscarán alternativas materiales del piolet que permitan optimizar su uso y sus propiedades mecánicas además de convertirlo en un piolet más funcional.

Se estudiarán dichas alternativas por el método de elementos finitos, además, se elaborará una comparación exhaustiva entre las alternativas indagando en la resolución de los puntos críticos, comprobando así su importancia en el uso del piolet.

2 ESTADO DE LA TÉCNICA

2.1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El piolet es un instrumento utilizado en montaña invernal para ofrecer seguridad al montañero en terreno técnico con hielo o nieve. Es por ello que el piolet es una herramienta imprescindible para la progresión del montañero por terrenos invernales.

[1][2][3][4]

La historia del piolet se remonta al siglo XVI donde los pastores de los Alpes utilizaban diferentes herramientas para progresar por las montañas con nieve y hielo. Estas herramientas son las siguientes:

- Los "grappettes": pequeñas piezas artesanales de metal con tres o cuatro puntas que proporcionaban una mayor firmeza a los suelos deslizantes, estas piezas estaban unidas mediante correas a las botas, serían el antecedente de los crampones actuales.
- El hacha de hielo (ice axe del inglés): pequeña herramienta de mango corto en cuya cabeza había un hacha y una azada (similar al pulaski moderno), y se empleaba para tallar escalones.



Ilustración 1: Pulaski actual (<https://www.amazon.es/Pulaski-hacha-paisajismo-Glowing-vidrio/dp/B018YJ47SE>)

- El Alpenstock (o bastón alpino). Este consistía en una larga vara de unos dos metros aproximadamente, y poseía una punta de metal en uno de sus extremos para poder clavarse en la nieve dura o el hielo. Su longitud servía de ayuda como pértiga, para detectar grietas en los glaciares, para su uso como bastón, y como posibilidad de asidero para los demás en caso de ir acompañado.

Los usos de estas herramientas para alpinismo y aventura se remontan al año 1786 cuando Horace-Bénédict de Saussure, interesado en

desvelar los misterios del Montblanc (considerada hasta entonces la cumbre más alta de Europa), ofrece una recompensa a aquellos capaces de ascenderla. Se ofrecen para tal reto Jacques Balmat y Michael-Gabriel Paccard, coronando con éxito el Mont Blanc el 8 de agosto de 1786 ayudándose del alpenstock y el hacha de hielo demostrando así su utilidad.

El piolet nace como una unión entre el Alpenstock y el Ice Axe.

Con esta fusión, producida sobre 1840 se consigue en una sola herramienta las funciones de sus dos antecesores. Por una parte, el apoyo del bastón (que ya disponían de una punta metálica para que duraran más) y el hacha de hielo, una pequeña azada o hacha para tallar escalones en el hielo.

Con el tiempo, la forma del hacha se evolucionó para tallar mejor los escalones, pasando el filo del hacha de ser vertical a horizontal (la pala de hoy en día). También se fue recortando la longitud del mango, que originalmente medía más de un metro, hoy en día los piolets técnicos rondan los 50 cm.

[5]



Ilustración 2: Evolución del piolet (<http://blogfendetestas.blogspot.com/2007/09/piolets-i-historia.html>)

A mediados de los 60 se comenzaron a usar aleaciones metálicas para los mangos en vez de madera para reducir peso y mejorar su resistencia. A la vez, se comenzaron a producir mangos más cortos y manejables y se empezaron a usar hojas curvadas.

A principios de los 70 aparece el concepto de “Piolet Tracción” y sobre 1975 aparecieron los piolets con hojas modulares.

A mediados de los 80 aparecen los mangos curvados y se reduce considerablemente su tamaño.

Hoy en día hay modelos especializados para cada modalidad deportiva que implique el uso del piolet, como la escalada en hielo o el dry tooling.

2.2 PARTES DEL PIOLET

[6]

Hoja: que dependiendo de su forma podrá ser más o menos técnica y destinada para diferentes usos.

Cruz: que en el uso de piolet bastón aloja la mano sobre ella.

Pala: que en caso de alpinismo técnico con dos piolets uno de ellos llevará maza.

Dragonera: que garantiza la sujeción a la mano en caso de resbalarse de la misma, así como la ayuda para traccionar del piolet.

Mango: corresponde a la parte que une la empuñadura con la hoja.

Empuñadura: recomendable su recubrimiento con caucho, aloja a la mano en escaladas mas verticales y garantiza su sujeción al piolet.

Regatón: punta que en el uso de piolet bastón tomará gran importancia.

Pico: terminación de la hoja, afilada y diseñada para penetrar en la nieve y en el hielo con facilidad y optimizar el agarre del piolet al terreno.



Ilustración 3: Partes del piolet (<https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10238/como-elegir-tus-piolet-montana>)

2.3 NORMATIVA

Para este proyecto, se ha tenido en cuenta la normativa UNE-EN 13089:2011, la cual rige los requisitos de seguridad y métodos de ensayo de los piolets que se utilizan durante la práctica del alpinismo y la escalada, el “Black Diamond Venom” cuenta con esta certificación, esta norma, es una adaptación española de la EN 13089. Y en relación a este proyecto estipula lo siguiente:

Las especificaciones y normas de uso de este piolet son las siguientes.

“Todos los bordes del piolet con los que las manos del usuario puedan entrar en contacto estarán libres de asperezas. El mango del piolet debe estar libre de bordes cortantes” [7]

En el apartado de “Análisis” se harán diversas referencias a esta norma.

2.4 DEFINICIONES REFERENTES AL ALPINISMO INVERNAL

[8]

Corredor: un corredor se forma por acumulación y transformación de nieve en un terreno más o menos vertical, normalmente encajonado entre rocas y situado en la alta montaña. En estos terrenos se encuentra nieve dura que permite su correcta progresión con crampones y piolet/s. Su graduación, vendrá dada por su inclinación, su exposición y su longitud.



Ilustración 4: Corredor invernal (<https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-11160/indispensables-alpinismo-corredores-invernales-material>)

[9]

Escalada en hielo: la escalada en hielo consiste en una disciplina cuyo objetivo es progresar y alcanzar la cima de masas y cascadas de hielo muchas veces totalmente verticales con la ayuda de elementos técnicos del alpinismo invernal (crampones y piolets) introduciendo seguros en su ascensión y siguiendo una línea imaginaria que el escalador elige o repite de otros escaladores.

Esta disciplina requiere un conocimiento del estado del hielo y sus tipos muy preciso, así como una técnica y material muy específico para su práctica.



Ilustración 5: Escalador escalando hielo (https://es.wikipedia.org/wiki/Escalada_en_hielo)

[10]

Dry tooling: básicamente se trata de escalar en hielo sin hielo. En esta disciplina, estás equipado con crampones y piolets como si se escalara una pared de hielo, pero se escala una pared de roca, utilizando maniobras de escalada en hielo, pero en roca. Las vías destinadas a dry tooling muchas veces están “talladas”, es decir, con taladros se consigue realizar agujeros donde poder alojar las puntas de los piolets y crampones. Nunca se debe hacer dry tooling en zonas de escalada deportiva, pues las herramientas de invierno pueden dañar la roca.



Ilustración 6: Escalador practicando la disciplina del Dry Tooling (<https://www.guidedelcervino.com/en/dry-tooling-with-the-mountain-guides/>)



Ilustración 7: Escalador practicando la disciplina del Dry Tooling (<https://www.planetmountain.com/en/news/alpinism/generation-dry-discovering-the-world-of-dry-tooling.html>)



Ilustración 8: Escalador practicando "Dry Tooling" (<https://yamnuska.com/ice-climbing/drytooling-101/>)

[11]

Escalada en mixto: se entiende como escalada en mixto invernal aquella en la que durante su progresión se encuentran tanto tramos de hielo y nieve, como tramos de roca combinado. Esta disciplina es muy compleja pues requiere combinar las técnicas de la escalada en hielo con las del "dry tooling".



Ilustración 9: Escalador escalando en mixto invernal
(<https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-6520/historia-libre-escalada-hielo-mixto>)

2.5 TIPOS DE PIOLET

El piolet tiene diversos usos dependiendo de la pendiente de la ladera, de la tecnicidad del terreno y de, es por ello que podemos englobar los piolets en dos grupos según su mango y su hoja.

[12] [13] [14]

Piolet de travesía o piolet clásico: este piolet tiene mango recto de 55 a 65 cm con regatón de acero forjado de 3 a 5 cm y hoja curva pensada para su uso en la autodetención, utilizado para alpinismo clásico, progresión por glaciar y pendientes no muy pronunciadas.



Ilustración 10: Piolet de travesía modelo Black Diamond Raven (<https://www.campz.es/black-diamond-raven-piolet-M874947.html>)

Piolet técnico: mango curvo, regatón menos agresivo pues no tiene tanta importancia en este piolet, y hoja contracurva, mucho más técnica pensada para ser clavada en la nieve o hielo y protector de mano, diseñado para resguardar la mano del contacto con la nieve o hielo al realizar la pegada, utilizado para alpinismo más técnico, corredores o incluso escalada en hielo. Son los más polivalentes. Se combina el uso de la pala con el uso de la maza.



Ilustración 11: Piolet técnico modelo Petzl Quark (<https://adcshop.com/piolets-alpinismo-tecnico/4441-petzl-quark/10724.html>)

2.6 TIPOS DE HOJAS

[15]

En cuanto a las hojas, hay 3 tipos diferenciados, las de pico negativo, las de pico neutro, y pico positivo. Estos picos tienen vital importancia en la penetración en la nieve o hielo, de este modo un pico negativo dificulta su extracción del hielo, pero sin embargo esto ayuda a realizar autodetenciones con mayor facilidad. En cuanto al pico positivo facilita su extracción del hielo, factor que resulta de gran importancia para actividades más técnicas como la escalada en hielo, donde la prioridad recae en poder introducir y extraer el piolet sin demasiado esfuerzo, pues esta operación se repetirá a lo largo de toda la actividad. Además, al disponer de cuerda y seguros, la autodetención pasa a un segundo plano, sin olvidarnos nunca de ella. De manera que el pico neutro nos ofrece prestaciones aceptables tanto para un alpinismo sencillo sin demasiado compromiso como para actividades más técnicas que requieran el uso de piolet puñal o piolet tracción, las hojas con pico neutro son las más polivalentes.



Ilustración 12: Tipos hoja según su pico (<https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10238/como-elegir-tus-piolet-montana>)

2.7 TÉCNICAS DE ALPINISMO

[16]

En alpinismo invernal es necesario tener muy en cuenta las condiciones del terreno, la nieve y el hielo se encuentran en constante cambio.

Si bien las condiciones meteorológicas juegan un papel importante en montaña estival, son de vital importancia en la temporada invernal, pues cualquier cambio nos puede sorprender y conocer todas las técnicas usadas en invierno nos ayudarán a solventar cualquier posible percance o problema que pueda surgir.

De este modo, distinguimos entre tiene 3 usos muy diferenciados que son los siguientes:

[17]

-Piolet bastón: es la técnica más utilizada en alpinismo invernal, se utiliza para progresar por glaciares o pendientes nevadas nunca superiores a los 40° se sujeta el piolet por la cruz de forma que la hoja apunte hacia detrás nuestro, posición adecuada para realizar la autodetención en caso necesario. De este modo se sitúa el piolet en la mano que mira hacia la pendiente, no hacia el valle. Se va clavando el regatón del piolet a medida que se va progresando por el terreno. Si se realiza un cambio de dirección que implique un cambio en la mano que apunta a la cumbre, el piolet se cambia de mano.

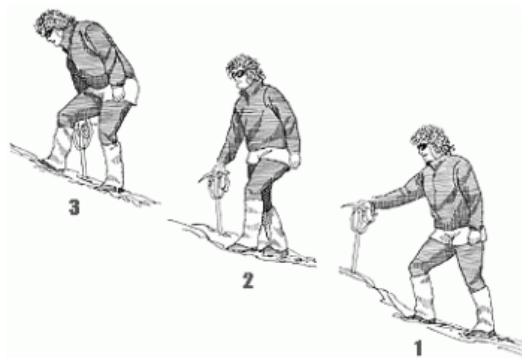


Ilustración 13: Montañero realizando la técnica de piolet bastón (<https://montanasegura.com/tecnicas-de-progresion-para-montana-invernal/piolet-baston/>)

[18]

-Piolet puñal: es una técnica utilizada en terrenos con mayor pendiente, 40-60°, en esta técnica se sujeta el piolet por el mango en su parte

superior, debajo de la cruz, se va clavando la hoja del piolet a medida que se va progresando por la pendiente. Esta técnica brinda al escalador una postura menos cómoda que el piolet bastón, pues la espalda sufre más cargas, pero mucho más segura y que ofrece mayor sensación de fijación a la pared, pues el cuerpo tiene una posición más cercana a la pared y dificulta la desestabilización.



Ilustración 14: Montañero realizando la técnica de piolet puñal (https://montanapegaso.es/tecnica/piolet_y_crampones/piolet_y_crampones.htm)

-Piolet tracción: esta técnica esta pensada para el alpinismo más vertical a partir de 65° , con nieves duras y hielo, en este caso es imprescindible el uso de dos piolets, se sujeta el piolet por la parte baja del mango, se carga la pegada del piolet y se golpea contra la pared de hielo, una vez clavados los piolets, se suben los pies clavando las puntas de los crampones y se repite esta operación por toda la pendiente hasta superarla. Esta técnica es muy recomendable combinarla con el uso de la cuerda y técnicas de autoprotección compleja, que quedan fuera del alcance de este proyecto, para proteger una posible caída. El uso del piolet tracción requiere de cierta experiencia en el alpinismo invernal y manejo con las herramientas, además, suele suponer un grado de riesgo mayor, por lo que contiene una mayor componente psicológica y gestión del miedo.



Ilustración 15: Montañero realizando la técnica de piolet tracción
(<https://blog.os2o.com/herramientas-de-invierno-eleccion-y-mantenimiento/>)

2.8 TÉCNICAS DE AUTODETENCIÓN

[19]

Una de las técnicas más importante en el alpinismo invernal es la denominada “Autodetención”. Tanto en las ascensiones como en los descensos, hay la posibilidad de una caída. El movimiento básico y general es levantar los pies del suelo, este paso es muy importante, pues en caso de que las puntas de los crampones entren en contacto con la nieve, harán de ancla y podrán provocar graves lesiones. Además deberemos llevar la mano que lleva la cruz del piolet al pecho, de forma que la hoja penetre a la pared, y la mano que queda libre, llevarla al mango de modo que garantice la sujeción del piolet al cuerpo y no se escape. Dependiendo de la caída, deberemos seguir unos pasos diferentes para detenerse de forma segura. Distinguiremos los siguientes tipos de caídas:

[20]

1-De espaldas con los pies hacia debajo de la pendiente: en este caso se seguirán las siguientes metodologías.

Realizaremos un giro, siempre con los pies levantados, para pegar el pecho a la pendiente, de este modo, según el movimiento básico, acompañamos este giro con el movimiento del piolet, que entrará en la nieve y parará la caída.

2-De espaldas y con los pies hacia arriba de la pendiente:

Clavaremos la hoja en la nieve hacia un lado de nuestro de cuerpo, de este modo, el cuerpo pivotará alrededor del piolet hasta colocar el cuerpo pegado a la pared.

3-De pecho y con los pies hacia debajo de la pendiente:

Nuestro cuerpo estará en la posición adecuada para realizar la maniobra, por lo que solo tendremos que levantar los pies, llevar el piolet al pecho y clavar la hoja contra la nieve.

4- De pecho y con la cabeza hacia abajo

Deberemos clavar la hoja del piolet a un lado de nuestro cuerpo, de este modo todo nuestro cuerpo pivotará alrededor suyo y nos pondrá en la posición de la autodetención.

Esta técnica es muy importante el alpinismo invernal, la habilidad en esta técnica evita multitud de accidentes y minimiza sus consecuencias cada temporada, es por ello que debe practicarse todos los años en varias ocasiones para garantizar que se conoce y aplica correctamente.

3 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

3.1 METODOLOGÍA APLICADA Y DEFINICIÓN DE GEOMETRÍA

Para su representación 3d, se ha utilizado el programa CATIA V5, utilizando los módulos “Generative Shape Design” y “Part Design”, con el cual mediante fotografías tomadas del piolet real se han sacado las curvas que configuran la geometría de este. Se añaden dichas fotografías al programa mediante el módulo “Sketcher”. De este modo, se ha realizado la geometría ajustándose a la realidad con alta precisión. Se adjuntan fotografías del proceso realizado. Una vez modelados los componentes que conforman el piolet, mediante el modulo “Assembly Design” se unen dichos componentes mediante restricciones que posicionan las partes que componen el piolet en su lugar correspondiente, de este modo conseguimos una geometría CAD que se ajusta a la del piolet “Black Diamond Venom”

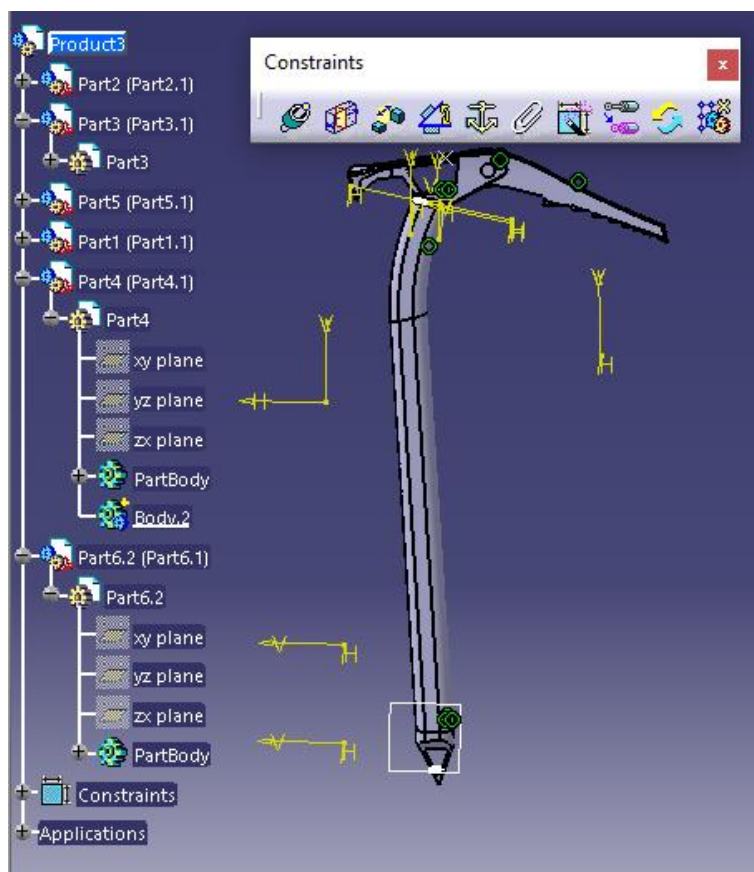


Ilustración 16: Piolet final ensamblado

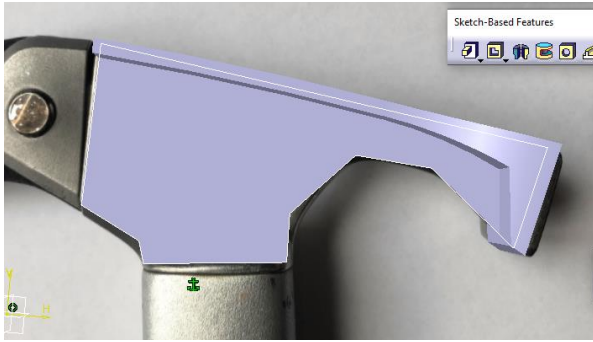
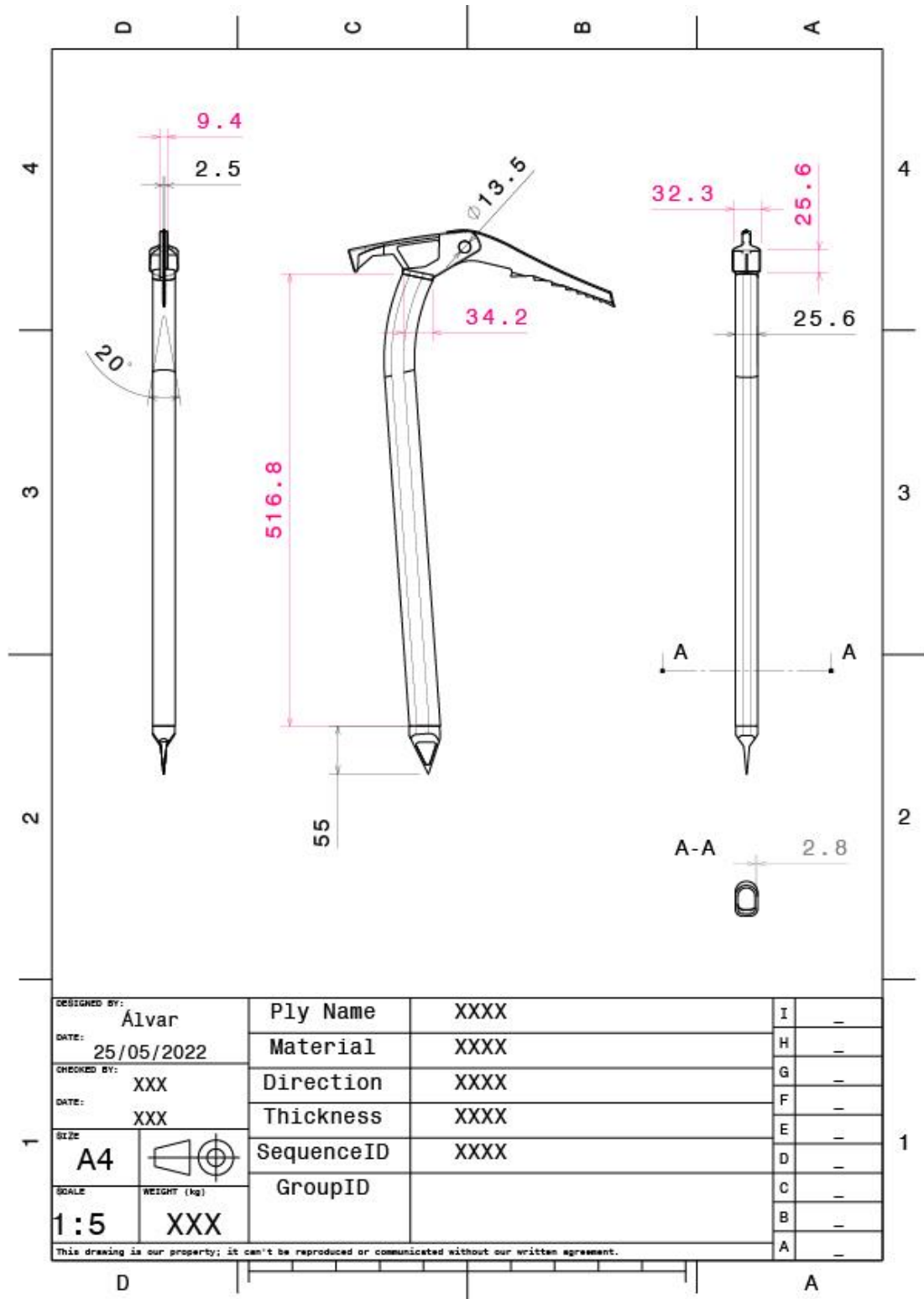
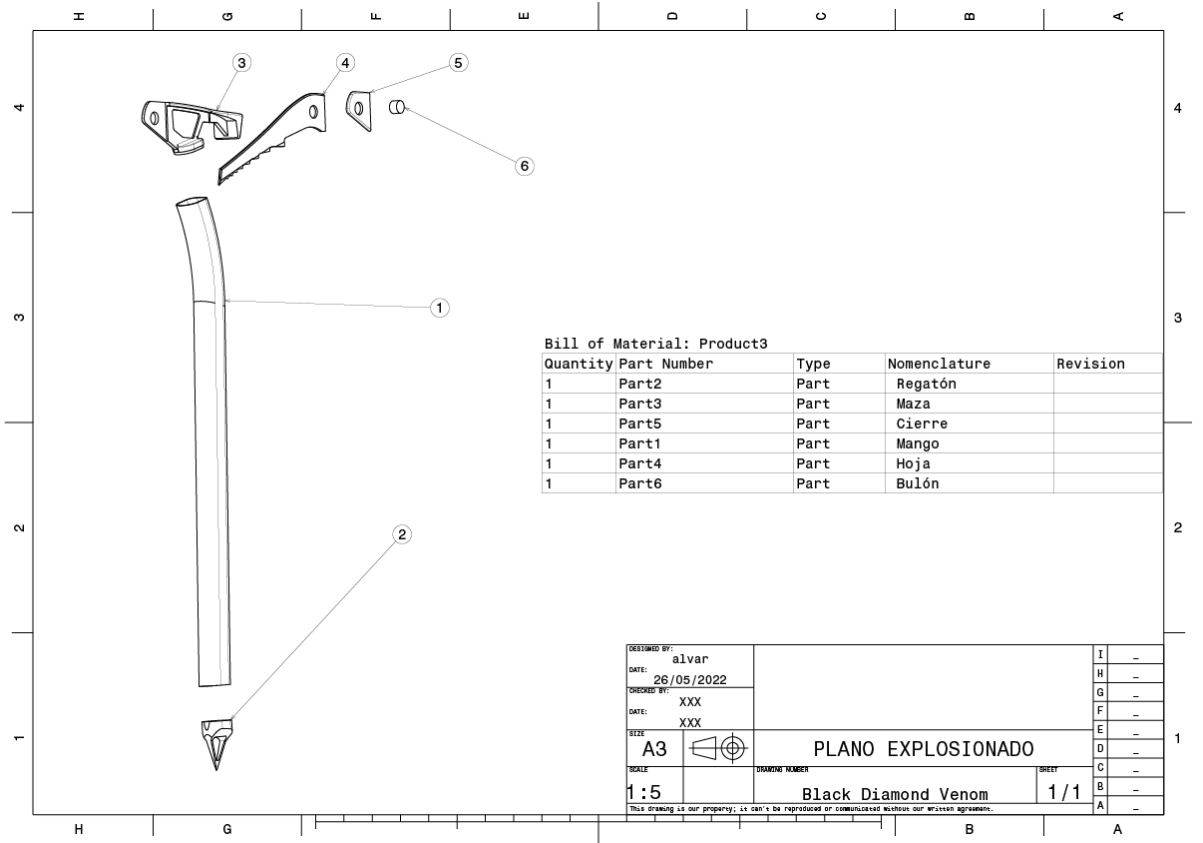


Ilustración 17: Metodología aplicada para realizar el modelo CAD

4 PLANOS

4.1 PLANOS BLACK DIAMOND VENOM





5 MATERIALES

Para estudiar que material sería la óptima en relación coste/prestaciones se establecerán diversas alternativas y se someterán a estudio diferentes tipos de materiales. Los materiales a probar en cada componente del piolet son los siguientes:

5.1 HOJA Y REGATÓN:

[21] [22]

Acero: suele ser el material destinado para fabricar la hoja y el regatón. Es el más duradero y el más barato, aunque también es un material pesado. Es altamente recomendable el uso de acero inoxidable para evitar la corrosión a la que el piolet está expuesta por su uso en condiciones meteorológicas extremas.

[23]

Acero inoxidable austenítico: constituyen la familia con el mayor número de aleaciones disponibles, integra las series 200 y 300 AISI. Su popularidad se debe a su excelente formabilidad y superior resistencia a la corrosión, este acero está endurecido por trabajo frío en vez de tratamiento térmico, de este modo, dota al material de una excelente soldabilidad, así como de un buen factor de higiene y limpieza. Endurecidos por trabajo en frío y no por tratamiento térmico. Además, tienen la capacidad de ser muy funcionales a temperaturas extremas y son no magnéticos. En concreto se tomará el acero inoxidable AISI 202.

[24] [25]

Acero inoxidable martensítico: estos aceros son aleaciones de hierro cromo y carbono. Estos aceros sufren cambios estructurales con la temperatura, por lo que suelen ser tratados térmicamente mediante temple y revenido. Tras estos procesos obtienen buenas propiedades mecánicas y una adecuada resistencia a la corrosión, además, son duros y magnéticos. Concretamente, se tomará como alternativa el acero AISI INOX 440C.

[26]

Aluminio: En algunos modelos ultraligeros la hoja también es de aluminio, pero pierde resistencia respecto al acero, se tomará un aluminio de la serie 7000, son aleaciones Al-Zn-Mg-Cu muy resistentes a bajas temperaturas, así como altamente resistentes a tracción, en concreto se tomará la aleación 7075, esta aleación consigue alta resistencia a la corrosión, alta resistencia a fatiga, así como tenacidad a la fractura.

Titanio: muy resistente y ligero (aunque pesa algo más que el aluminio, es mucho más resistente que el mismo). El titanio es un material más caro que el aluminio, es por ello que su uso queda algo más restringido.

5.2 MANGO Y MAZA

Aluminio: en los piolets clásicos o de travesía el mango acostumbra a estar fabricado en aluminio para reducir peso. Su uso más extendido es para trekking poco técnico como herramienta que evite un accidente, básicamente se usa para realizar la autodetención en caso necesario.
[27]

Serie 5000, concretamente el 5052 es decir, aluminio aleado con magnesio, se gana en resistencia a la corrosión frente al aluminio convencional, lo cual es muy positivo teniendo en cuenta que el piolet estará sometido a nieve, agua, hielo viento y frío.

[28]

Serie 7000, son aleaciones Al-Zn-Mg-Cu muy resistentes a bajas temperaturas, así como altamente resistentes a tracción, en concreto se tomará la aleación 7075, esta aleación consigue alta resistencia a la corrosión, alta resistencia a fatiga así como tenacidad a la fractura.

Titanio: no es muy común su uso en mangos, pues su peso es considerablemente superior al aluminio, sin embargo, sus excelentes propiedades mecánicas hacen que se tenga en cuenta como alternativa para el mango.

Fibra de carbono: esta reservado exclusivamente a piolets muy técnicos, en los que sul mango está fabricado con fibra de carbono, la fibra reduce

enormemente su peso a la vez que mantiene su resistencia, pero a su vez la fibra de carbono encarece enormemente el precio de estos piolets. Se utiliza en piolets muy técnicos donde prima la ligereza y están especializados para disciplinas más complejas como dry tooling, escalada en hielo o mixto invernal.

Tanto el titanio como la fibra de carbono pese a quedar fuera del alcance de este piolet al encarecer de manera significativa el proceso de producción del piolet, se tomarán como alternativas para valorar su implantación y dotar a este piolet de una mayor tecnicidad.

6 ANÁLISIS TENSIONALES

6.1 METODOLOGÍA SEGUIDA

Para generar el modelo CAD se utilizaron los módulos de CATIA V5 mencionados anteriormente en el capítulo

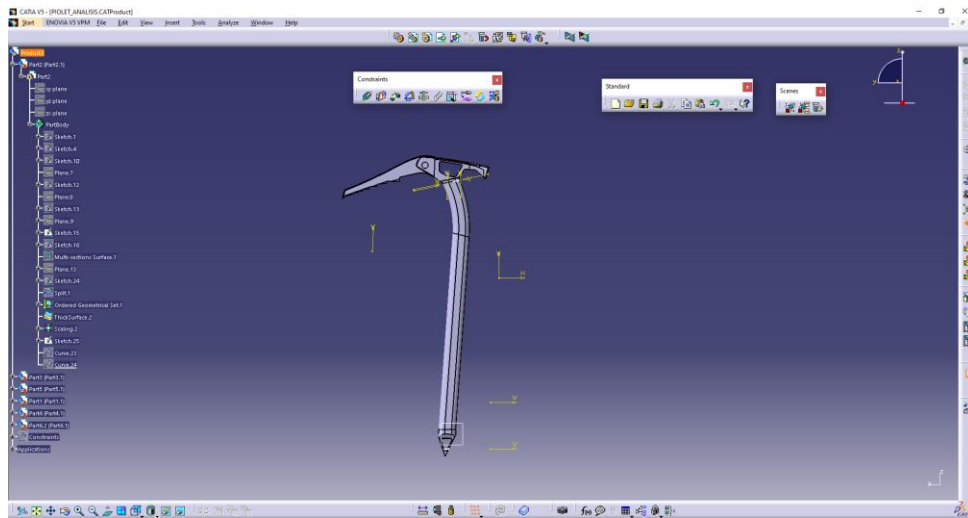


Ilustración 18: Interfaz módulo Assembly Desing

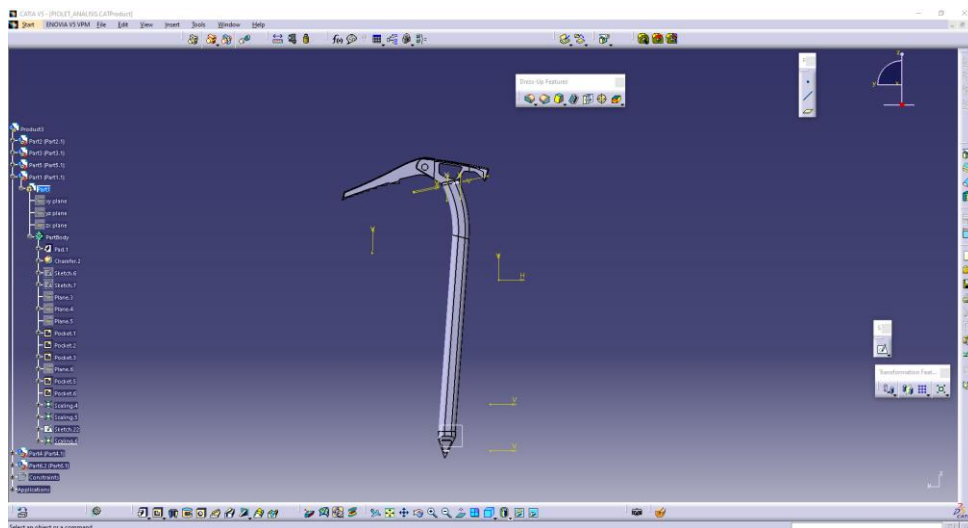


Ilustración 19: Interfaz módulo Part Design en Catia V5

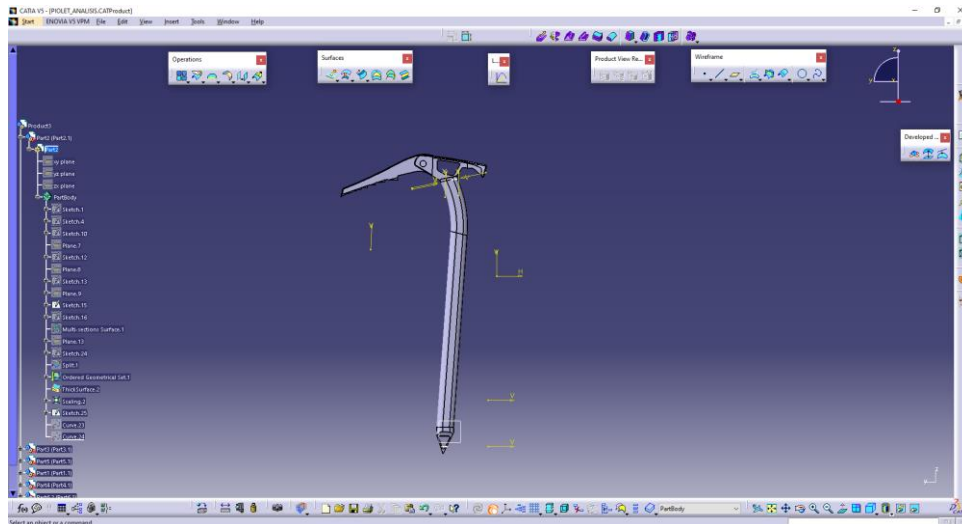


Ilustración 20: Interfaz módulo Generative Shape Design en CATIA V5

A la hora de realizar los análisis que comprobarán la resistencia del piolet y sus elementos, se ha seguido el método de elementos finitos, mediante el programa Autodesk Inventor Professional 2022, este método, simula el comportamiento del modelo deseado, con unas condiciones de partida como son la asignación de materiales imposición de las fuerzas y/o presiones y restricciones que actúan en el modelo para ajustarlo a la realidad de la manera suficientemente precisa.

De este modo, se obtienen resultados muy cercanos a los que un ensayo real revelaría, además con un porcentaje de ajuste a la realidad, lo que llamamos convergencia, la cual buscaremos siempre aproximar a 0 lo suficiente.

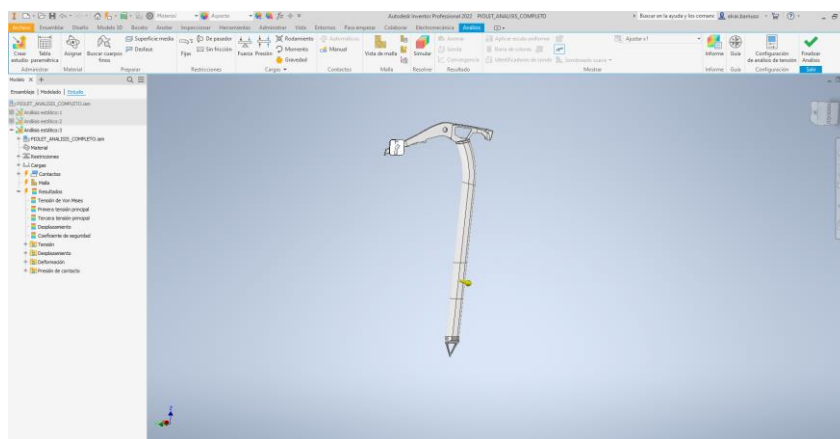


Ilustración 21: Interfaz Autodesk Inventor 2022

“El proceso seguido en el análisis estructural discreto, en forma reducida, es el siguiente:

1. Definición del problema en unas coordenadas globales.
2. Segmentación de la estructura en componentes simples.
3. Definición del comportamiento de cada componente simple en unos ejes adecuados.
4. Ensamblaje de los diversos comportamientos elementales para obtener el comportamiento global de la estructura.
5. Imposición de las condiciones de contorno.
6. Cálculo de los desplazamientos nodales incógnitas.
7. Cálculo de las reacciones incógnitas.”.

[29]

6.2 ANALISIS A REALIZAR

Los análisis que se exponen a continuación son los que se consideran más interesantes a nivel de probar el piolet, entre ellos se encuentra uno estipulado por la norma mencionada anteriormente, además de algunos a mayores que se consideran necesarios para comprobar las propiedades mecánicas del piolet.

6.2.1 ESTUDIO MANGO

[7]

De este modo, realizamos un 1er estudio en el que comprobaremos la resistencia del mango, sujetando el mango horizontalmente y cargándolo en el sentido xx como se muestra en la siguiente figura.

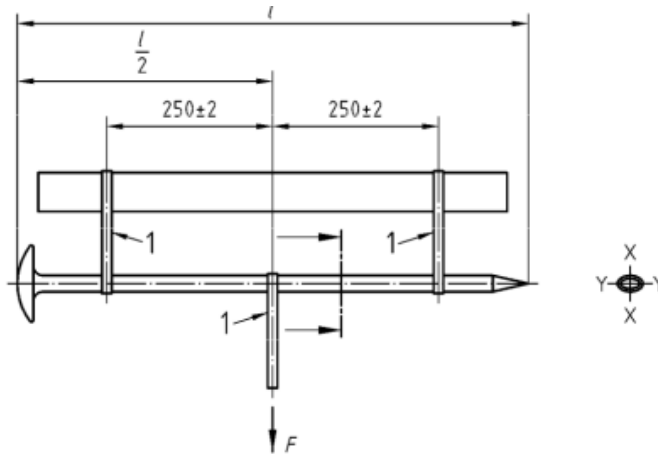


Ilustración 22: Ensayo normativo de resistencia del mango (Norma UNE-EN 13089:2011+A1)

En este ensayo la norma estipula que cumplirá la certificación en caso de que cumpla las siguientes condiciones:

Se aplica una fuerza de $F = (2\,500^{+125}_0)$ N sin impacto, y se mantiene durante (60 ± 5) s.

Si el piolet no es lo suficientemente largo, se reducen los 250 mm a " l_k ". l_k debe ser la mayor longitud posible en etapas de reducción de 10 mm. Después se calcula la fuerza F_k , que se debe aplicar del siguiente modo:

$$F_k = F \times 250 / l_k \quad (1)$$

Se calcula la deformación permanente máxima admisible f_k del siguiente modo:

$$f_k = 3 \times (l_k / 250)^2 \quad (2)$$

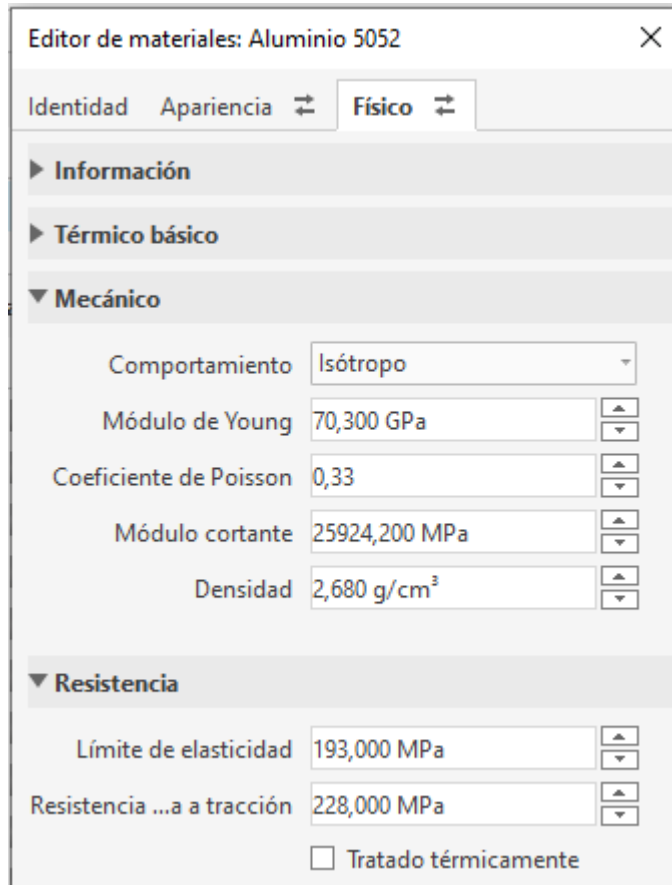
En este caso, l_k se reduce de 250mm a 200mm, por lo que la fuerza a aplicar es la siguiente:

$$F_k = F \times 250 / l_k$$

$$F_k = 2500 \times \frac{250}{200} = 3125 \text{ N}$$

Aluminio 5052

Las especificaciones del Aluminio 5052 son las siguientes. Una vez establecido el material, se restringe el movimiento de las zonas del mango del piolet que dictamina la norma.



The image shows a software window titled "Editor de materiales: Aluminio 5052". It has three tabs: "Identidad", "Apariencia", and "Físico". The "Físico" tab is selected. The window is organized into sections: "Información", "Térmico básico", "Mecánico", and "Resistencia".

Categoría	Propiedad	Valor
Mecánico	Comportamiento	Isótropo
	Módulo de Young	70,300 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33
	Módulo cortante	25924,200 MPa
	Densidad	2,680 g/cm ³
Resistencia	Límite de elasticidad	193,000 MPa
	Resistencia ...a a tracción	228,000 MPa

There is also an unchecked checkbox labeled "Tratado térmicamente".

Ilustración 23: Propiedades físicas Aluminio 5052

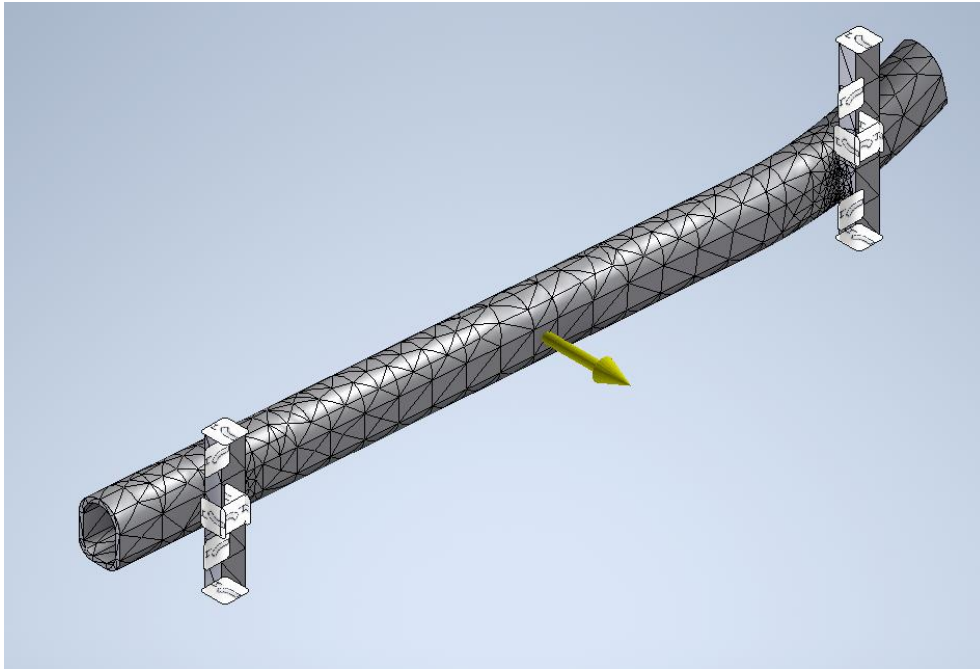


Ilustración 24: Vista de malla mango con las restricciones y fuerza establecidas

Realizamos el análisis con los siguientes resultados:

Tensión de Von Mises: observamos que el valor máximo se encuentra en las restricciones fijas impuestas, en estas áreas se produce una concentración de tensiones que en la realidad no se produciría debido a que la carga se repartiría en un zona geoméricamente mayor se establece este valor máximo como resultado no válido, pues no refleja un resultado real. Esta hipótesis se tomará en todos los ensayos del mango.

De esta manera, observamos que la tensión de Von Mises en la zona donde se aplica la carga, es de 134 MPa, lejos del límite elástico del Aluminio 5052, 193 MPa. De este modo validamos en primera instancia en ensayo.

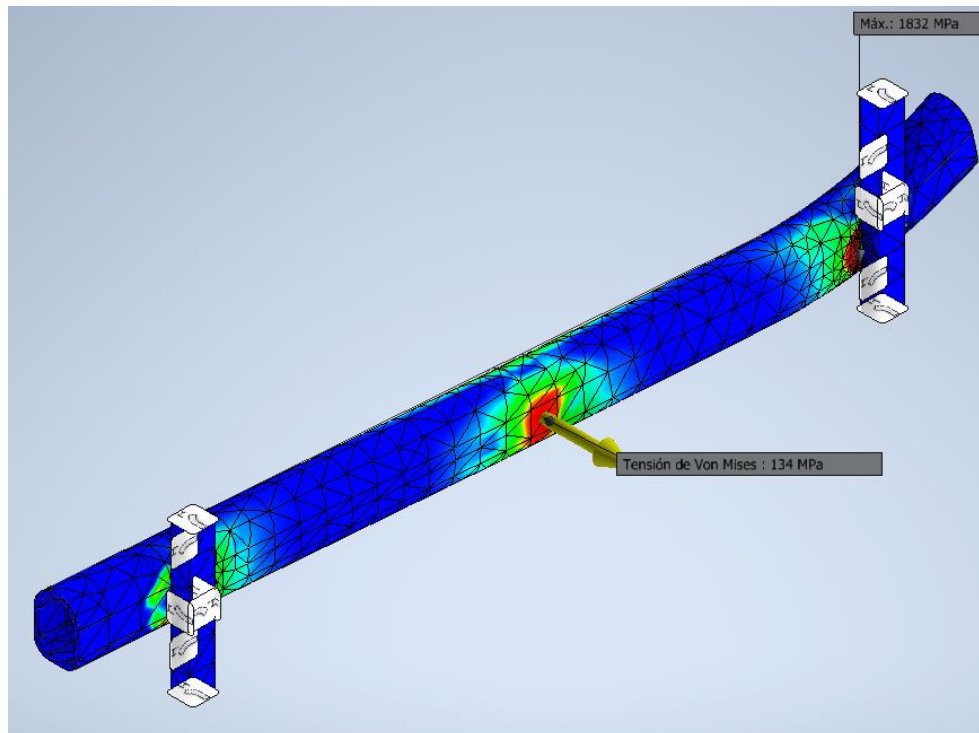


Ilustración 25: Tensión Von Mises en mango de Aluminio 5052

En cuanto a la deformación permanente admisible, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$f_k = 3 \times (250/l_k)^2$$
$$f_k = 3 \times (250/200)^2 = 1,92 \text{ mm}$$

El software de Autodesk Inventor no nos permite calcular la deformación permanente admisible, por ello nos basaremos en el resultado de desplazamiento máximo, la norma especifica que la deformación permanente máxima admisible es de 1,92 mm, esta deformación es permanente, mientras que el desplazamiento es la deformación máxima antes de que se produzca la plastificación del material, es decir, el ensayo quedaría validado con creces, debido a que el material se deforma sin plastificar un valor menor a la deformación máxima permanente.

Por lo tanto, tomaremos el valor de desplazamiento como referencia para valorar este segundo criterio de la deformación del material.

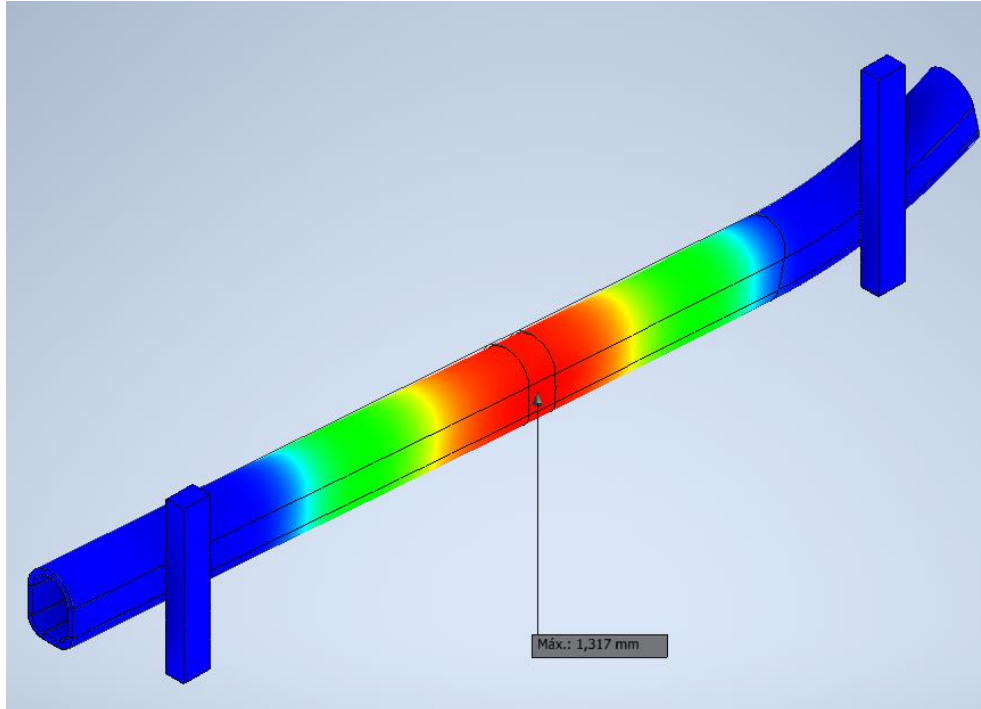


Ilustración 26: Deformación en mango de Aluminio 5052

En este caso, el desplazamiento es de 1,317 mm por lo tanto, teniendo en cuenta la deformación permanente máxima, el desplazamiento sería menor que la deformación permanente máxima admitida por la norma.

Trazado de convergencia

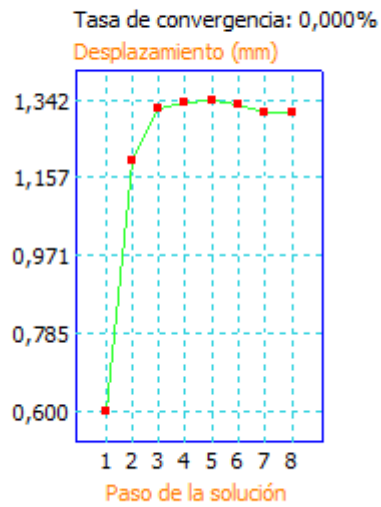


Ilustración 27: Tasa de convergencia en mango de Aluminio 5052 en desplazamiento

Trazado de convergencia

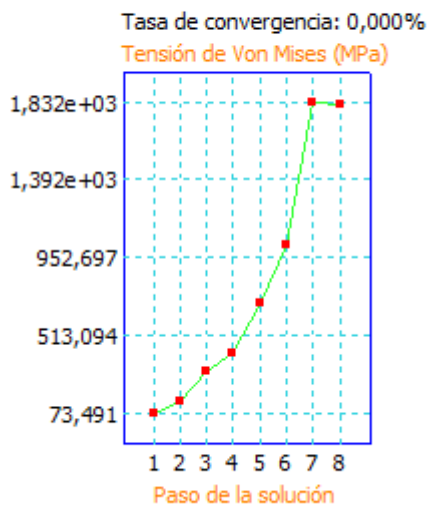


Ilustración 28: Tasa de convergencia en mango de Aluminio 5052 en tensión de Von Mises

Para la validación de datos, se observa que la convergencia no llega a converger, es por ello que se realiza una aproximación.

Se tiene en cuenta que este estudio es muy similar al estudio de una viga bi-apoyada cargada en la mitad de su longitud, de la cual se conocen los esfuerzos sufridos, interesa conocer su desplazamiento máximo, es el siguiente.

$$EI_z \times U_y = \frac{F \times L^3}{48} \text{ se despeja } U_y \text{ (desplazamiento)} \quad U_y = \frac{F \times L^3}{48 \times EI_z}$$

De esta ecuación, es conocido el módulo de Young, la fuerza, la distancia entre apoyo, falta conocer el momento de inercia del perfil del piolet, que el software de Inventor es capaz de proporcionar.

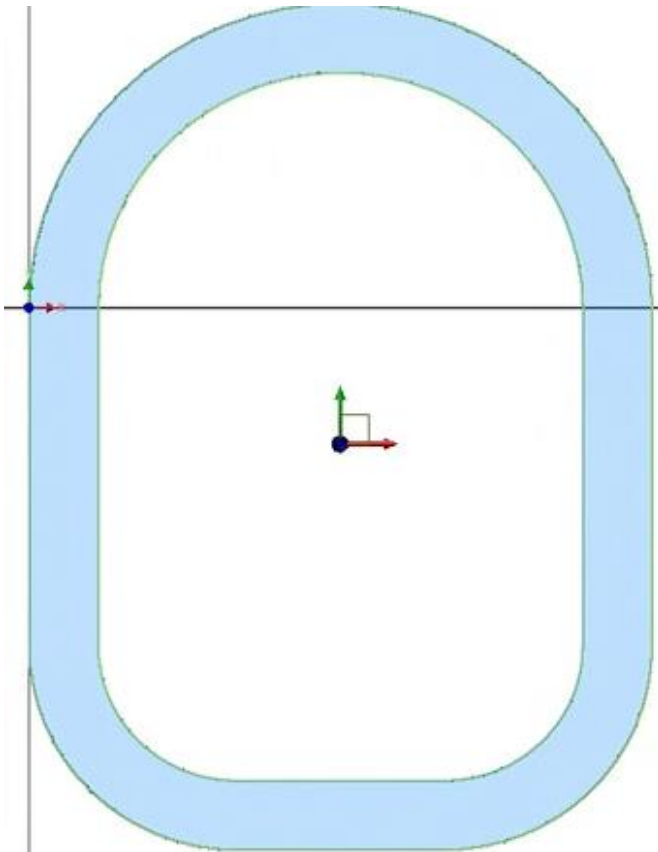


Ilustración 29: Perfil mango

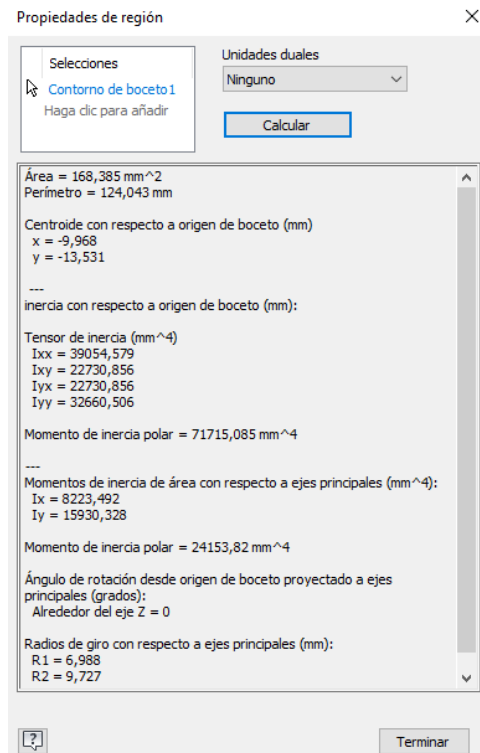


Ilustración 30: Propiedades perfil mango piolet

$$U_y = \frac{3125 \times 200^3}{48 \times 71700 \times 8223,492} = 0,88333 \text{ mm}$$

De este modo, quedaría validado el estudio, pues el resultado de desplazamiento es de un orden similar, esta hipótesis se amplía a todo el estudio.

Titanio

Se realiza el estudio de nuevo con la siguiente alternativa de material, el titanio, con los siguientes resultados.

Editor de materiales: Titanio ×

Identidad Apariencia \rightleftarrows **Físico** \rightleftarrows

► Información

► Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	102,810 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,36	▲▼
Módulo cortante	44000,000 MPa	▲▼
Densidad	4,510 g/cm ³	▲▼

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	275,600 MPa	▲▼
Resistencia ...a a tracción	344,500 MPa	▲▼

Tratado térmicamente

Ilustración 31: Propiedades físicas Titanio

De nuevo y como cabía esperar con un material como el titanio, la tensión Von Mises no supera el límite de elasticidad del material, por lo que el mango no sufriría deformaciones permanentes.

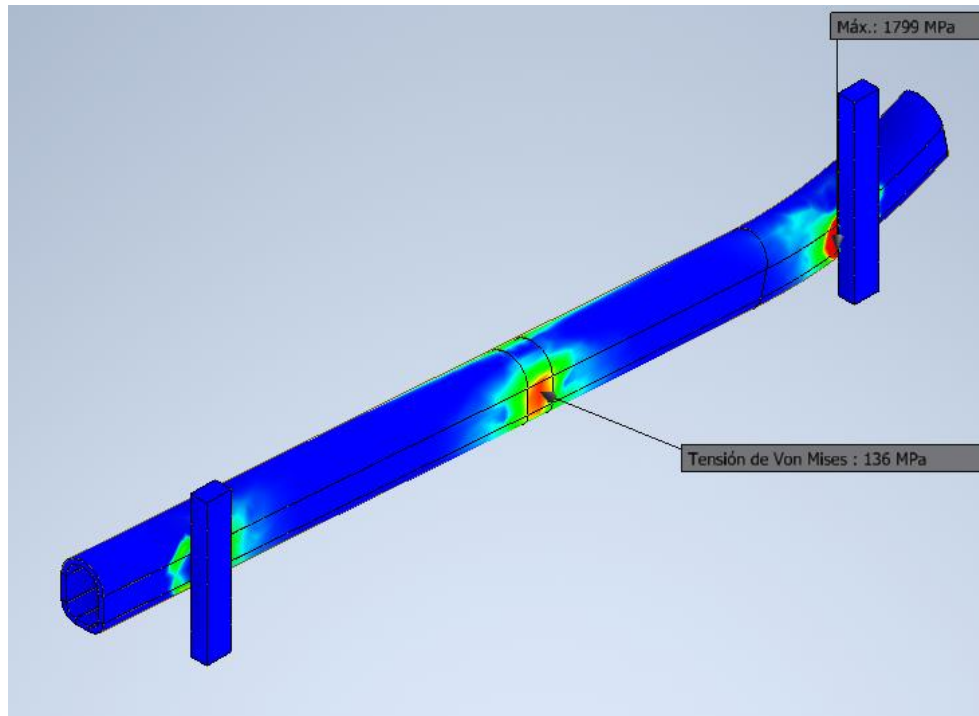


Ilustración 32: Tensión Von Mises en mango de Titanio

En cuanto al desplazamiento, observamos que baja del mm, lo cual es un resultado muy satisfactorio teniendo en cuenta que el límite de deformación permanente que estipula la norma es de 1,92 mm

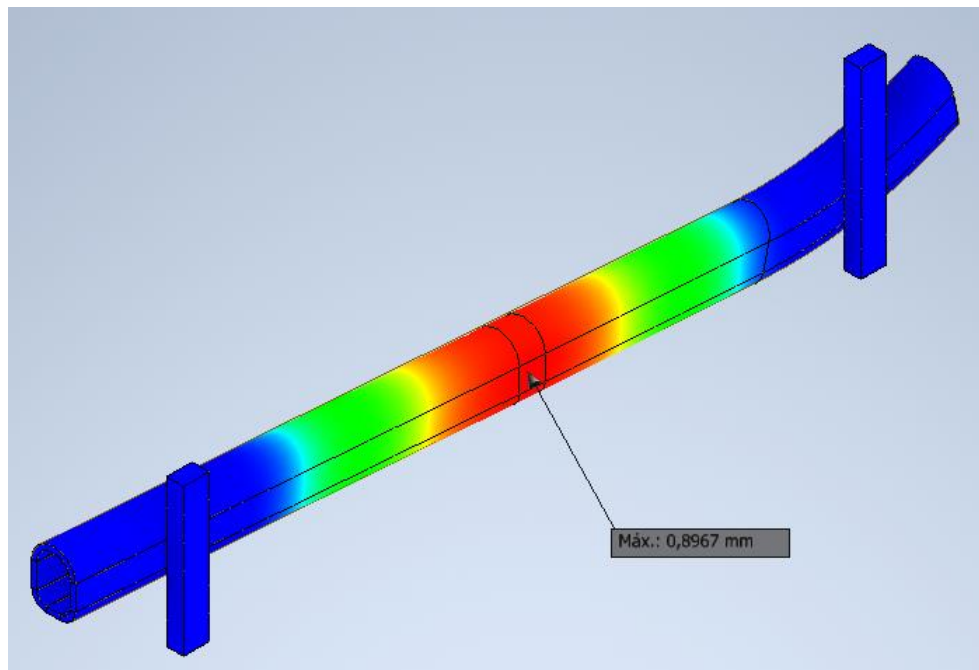


Ilustración 33: Desplazamiento en mango de Titanio

Aluminio 7075

A continuación, se realiza el mismo estudio aplicando Aluminio 7075 al mango. Este aluminio posee las siguientes propiedades físicas.

Editor de materiales: Aluminio 7075

Identidad Apariencia ↔ **Físico** ↔

▶ Información

▶ Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	71,700 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,33	▲▼
Módulo cortante	26900,000 MPa	▲▼
Densidad	2,810 g/cm ³	▲▼

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	145,000 MPa	▲▼
Resistencia ...a tracción	276,000 MPa	▲▼

Tratado térmicamente

Ilustración 34: Propiedades físicas Aluminio 7075

En cuanto a la tensión de Von Mises, se mantiene muy similar a los materiales anteriormente analizados, en este caso, 125 MPa, con la diferencia de que este material posee menor límite elástico por lo que, superado el análisis satisfactoriamente, la tensión Von Mises se aproxima al límite elástico.

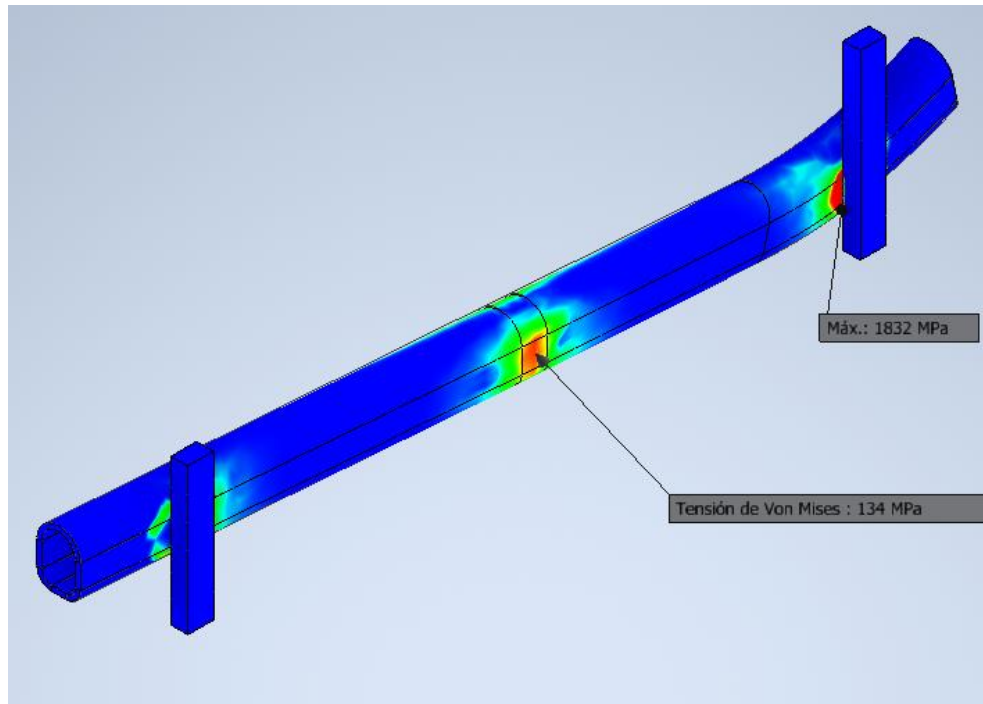


Ilustración 35: Tensión Von Mises en mango de Aluminio 7075

En cuanto al desplazamiento de 1,292 mm, es un resultado que se considera aceptable.

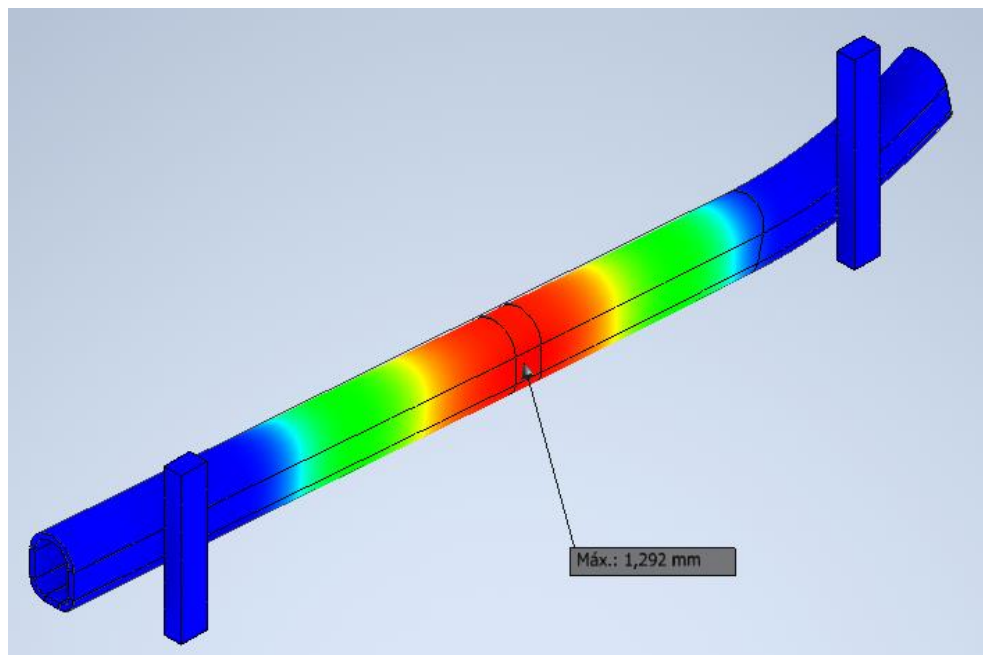


Ilustración 36: Desplazamiento en mango de Aluminio 7075

Fibra de carbono

[31] [32] [33]

La galería de materiales de Autodesk no posee el material de fibra de carbono predeterminado, por lo tanto, se supone una fibra de carbono estándar y se introducen sus propiedades físicas en el software, interesa conocer su Modulo de Young, su coeficiente de Poisson, su límite elástico y su densidad. Estas propiedades son las que se muestran en la siguiente ilustración.

Editor de materiales: Fibra de carbono

Identidad Apariencia ⇌ **Físico** ⇌

► Información

► Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	500,000 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,27	▲▼
Módulo cortante	80000,000 MPa	▲▼
Densidad	1,750 g/cm ³	▲▼

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	2500,000 MPa	▲▼
Resistencia ...a a tracción	505,000 MPa	▲▼

Tratado térmicamente

Ilustración 37: Propiedades físicas fibra de Carbono

La tensión de Von Mises sigue manteniéndose muy pareja a los anteriores análisis, en este caso 128 MPa, inmensamente lejana de los 2500 MPa de límite elástico que posee la fibra de carbono.

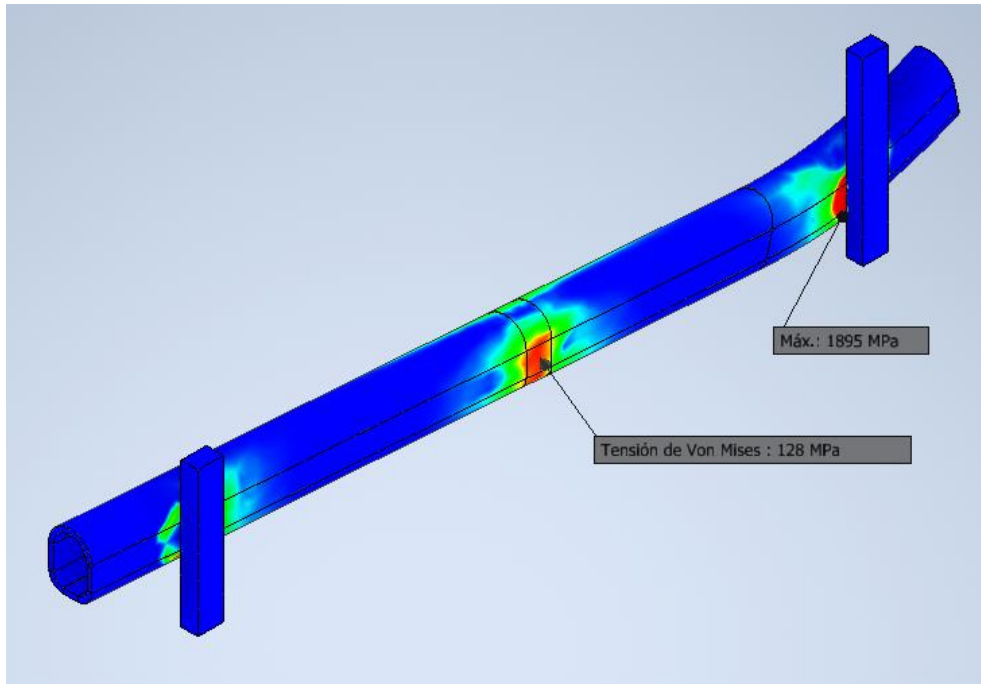


Ilustración 38: Tensión Von Mises en mango de fibra de Carbono

En cuanto a su desplazamiento, en este caso la fibra de Carbono se comporta de una excelente modo, ofreciendo un desplazamiento máximo de 0,1866 mm, alrededor de 9 veces menos que los aluminios y 4 veces menos que el titanio.

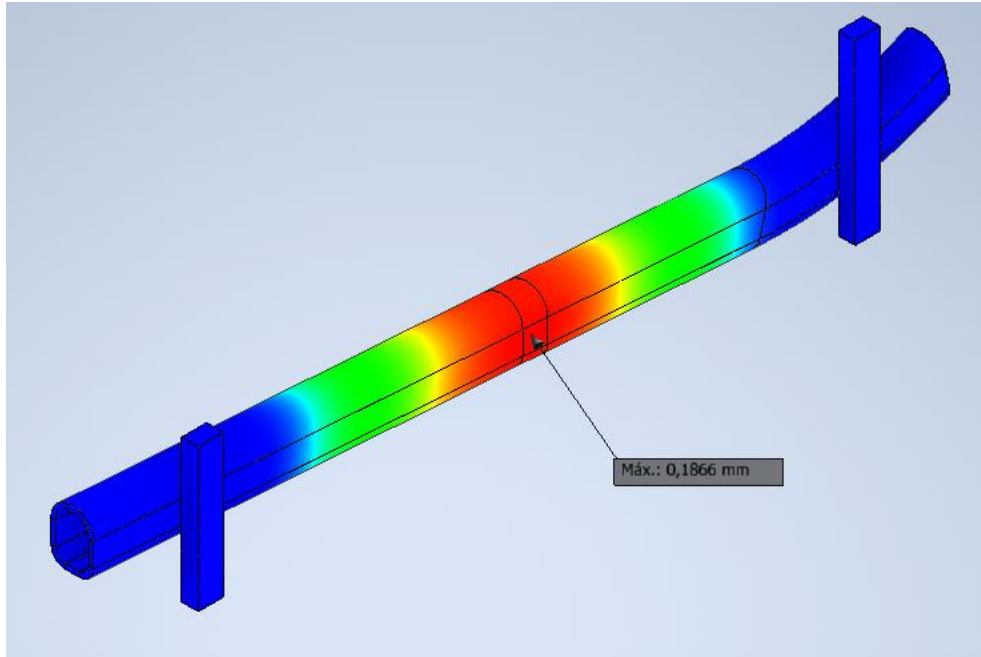


Ilustración 39: Desplazamiento en mango de Fibra de Carbono

6.2.2 CONCLUSIONES MANGO

Tras tener recopilados todos los resultados de los ensayos, se llega a la toma de decisiones, para ello se tiene en cuenta la siguiente tabla, de este modo, habiendo superado con éxito el ensayo todos los materiales, cabe destacar que la tensión de Von Mises no sufre apenas cambios entre ellos, por lo que no influirá en la decisión, tanto el titanio como la fibra de carbono, si bien se comportan de un modo excelente y reducen el peso frente al aluminio, encarecen enormemente el mango, por lo que quedan descartado.

Entre el Aluminio 5052 y el Aluminio 7075, sus comportamientos y masas son muy similares, si bien el límite elástico del Aluminio 7075 es algo menor, no es un criterio determinante pues este ensayo es muy restrictivo

y por lo tanto la tensión de Von Mises sufrida es un caso extremo, nunca se debería llegar a superar ese valor.

Por lo que será el criterio económico y propiedades quienes decidan cuál es el material óptimo. En cuanto al precio, encontramos un coste medio por kg muy similar, por lo que de nuevo este criterio no descartaría ningún material. Por lo tanto, se realiza una búsqueda sobre la resistencia a tracción, valor que interesa sea lo más alto posible, en este caso, el Aluminio 7075 con una resistencia de 241 MPa, supera al Aluminio 5052, con una resistencia de 228 MPa, por lo que se decide que el material más apropiado para el mango será el **Aluminio 7075**.

[34]

MATERIAL	LIMITE ELÁSTICO (MPa)	TENSION VM (MPa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	PESO (kg)	RESISTENCIA A TRACCIÓN (MPa)
Aluminio 5052	193	134	1,317	0,371	228
Titanio	276	136	0,8967	0,624	-----
Aluminio 7075	145	134	1,292	0,388	241
Fibra de carbono	2500	128	0,1866	0,242	-----

6.2.3 ESTUDIO HOJA

2º estudio: este estudio verificará la resistencia de la hoja cuando esta se encuentra alojada fija en una fisura o hielo y se realizan movimientos laterales o torsiones para empotrar o desempotrar la hoja del piolet. En este estudio se tendrá en cuenta mango y maza de Aluminio 7075.

Para determinar esta fuerza que realizará el escalador, debemos tener en cuenta ciertas consideraciones.

De este modo, consideraremos un varón de 25 años de edad, cuyo peso es de 81 kg, su estatura es de 178 cm (valores medios de la población europea).

Este varón, para realizar la actividad que desea, se supone que ejercerá una fuerza de 10 kg. Es decir, de 98,1 N

Por lo tanto, establecemos las restricciones en la hoja suponiendo una entrada en la roca de 100 mm y la fuerza en la empuñadura suponiendo un agarre de 95 mm a 100 mm del regatón.

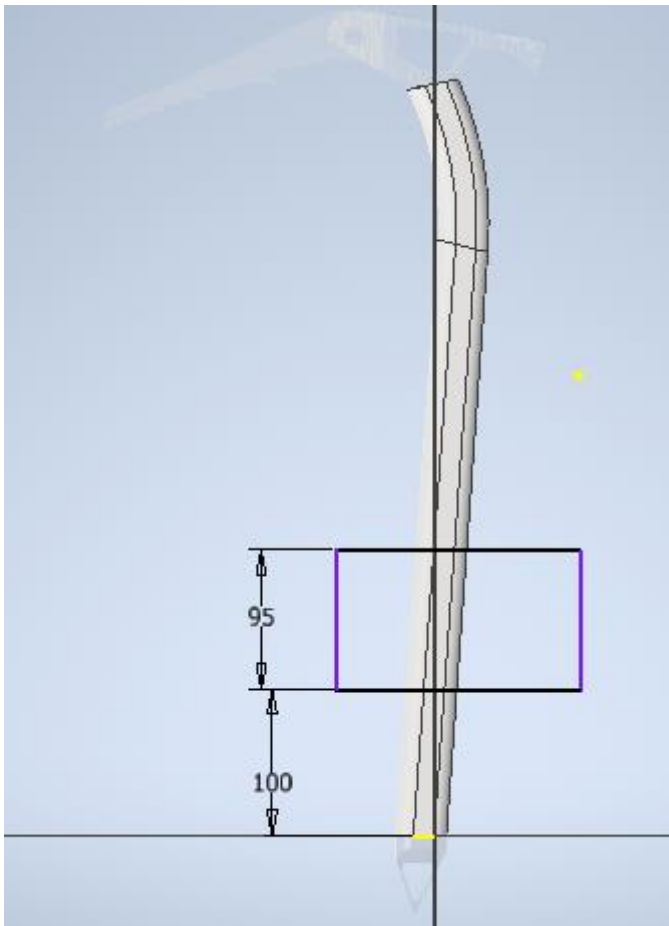


Ilustración 40: Cota posición mano escalador en el mango

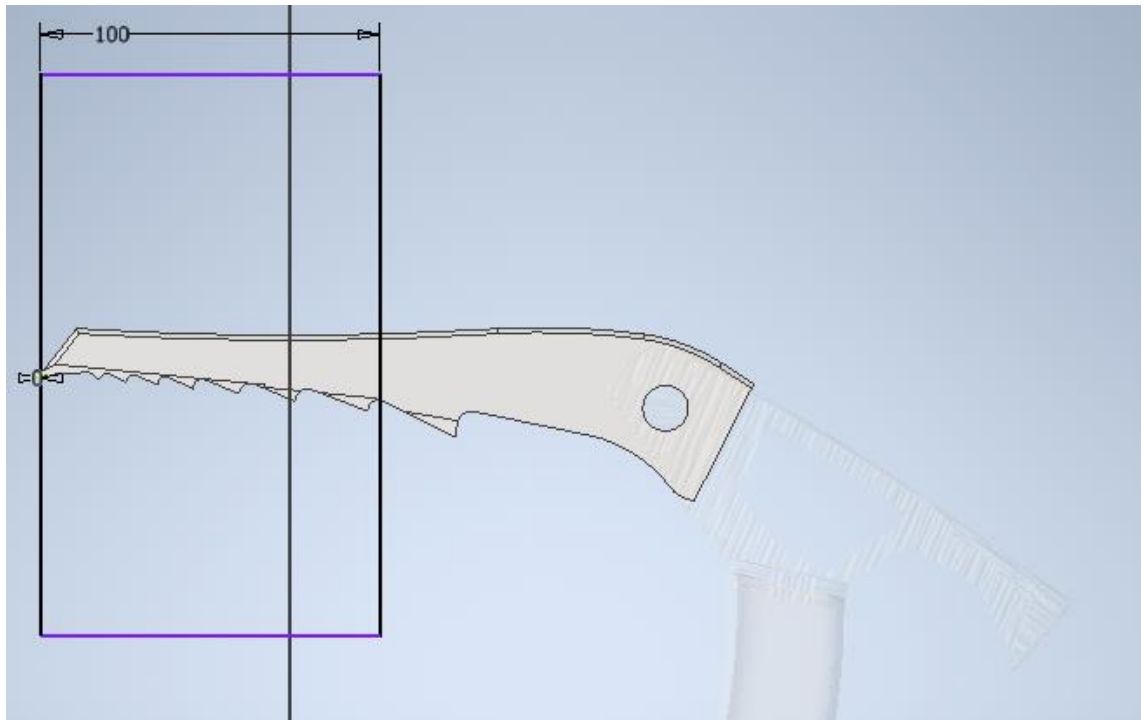


Ilustración 41: Cota posición hoja empotrada

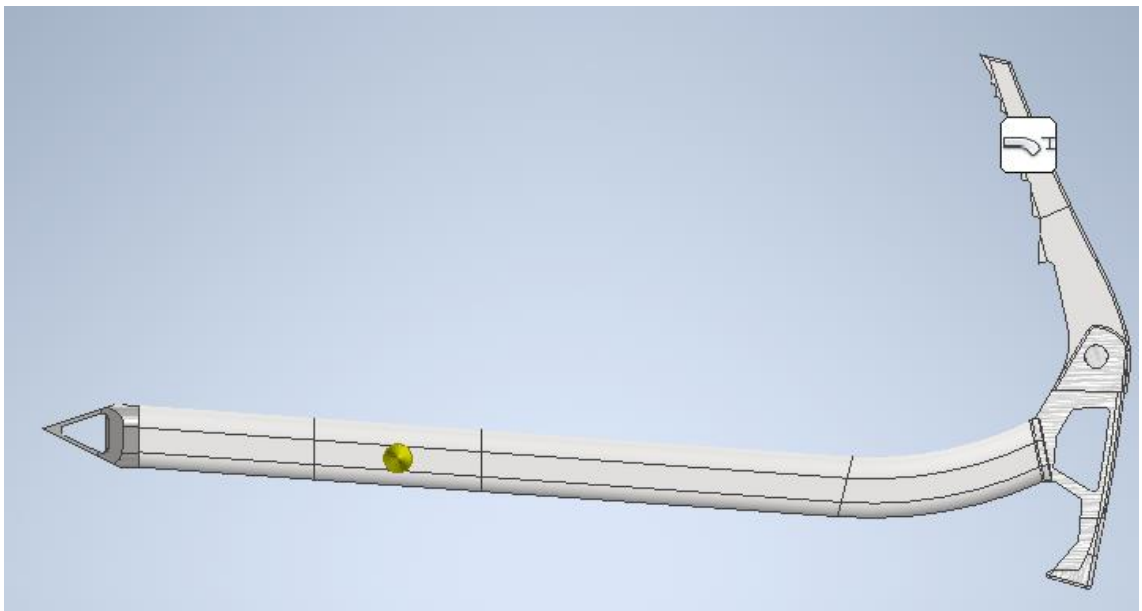


Ilustración 42: Condiciones ensayo hoja

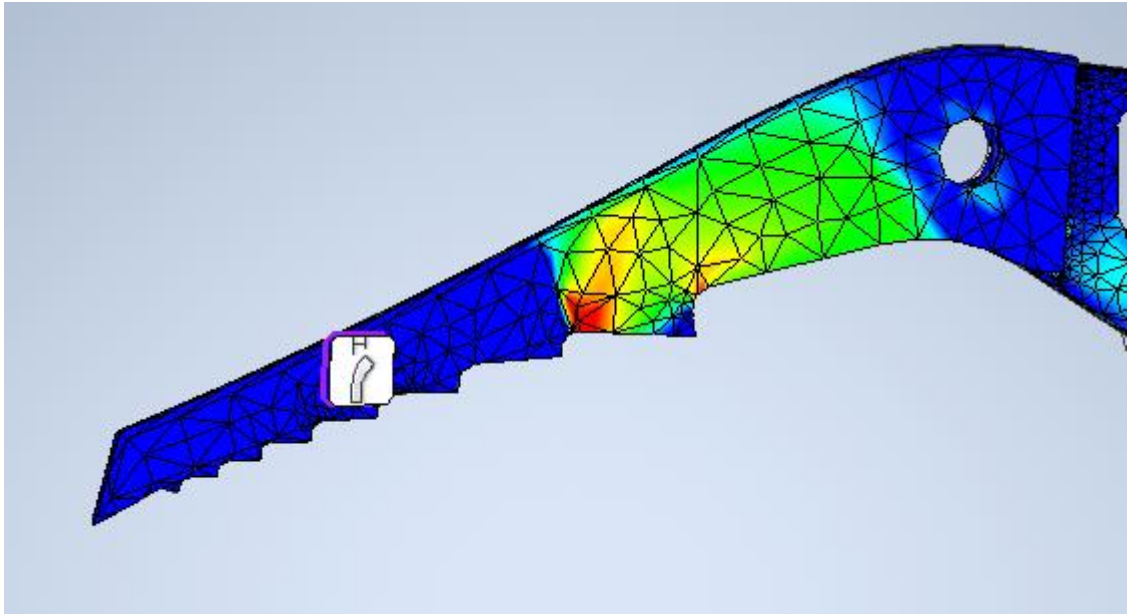


Ilustración 43: Vista de malla hoja piolet

Acero inoxidable AISI 202

Editor de materiales: Acero inoxidable AISI 202 >

Identidad	Apariencia	Físico
▶ Información		
▶ Térmico básico		
▼ Mecánico		
Comportamiento	Isótropo	
Módulo de Young	204,773 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,29	▲▼
Módulo cortante	79978,800 MPa	▲▼
Densidad	7,855 g/cm ³	▲▼
▼ Resistencia		
Límite de elasticidad	412,304 MPa	▲▼
Resistencia ...a tracción	667,409 MPa	▲▼
<input type="checkbox"/> Tratado térmicamente		

Ilustración 44: Propiedades físicas del Acero Inoxidable AISI 202

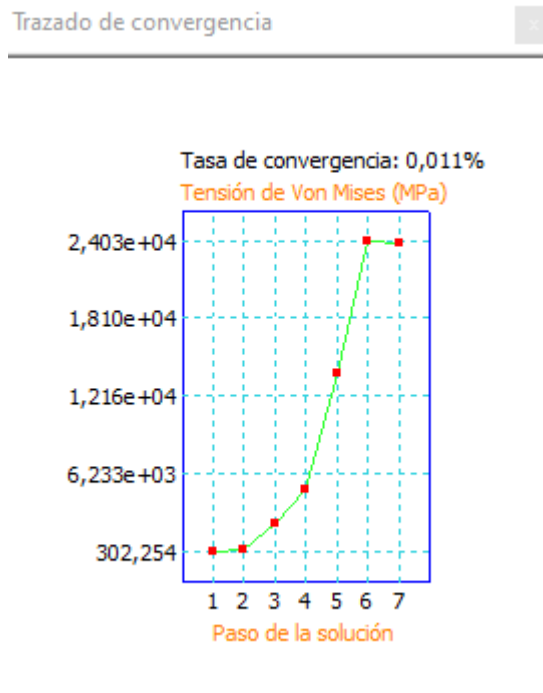


Ilustración 45: Convergencia tensión de Von Mises análisis hoja

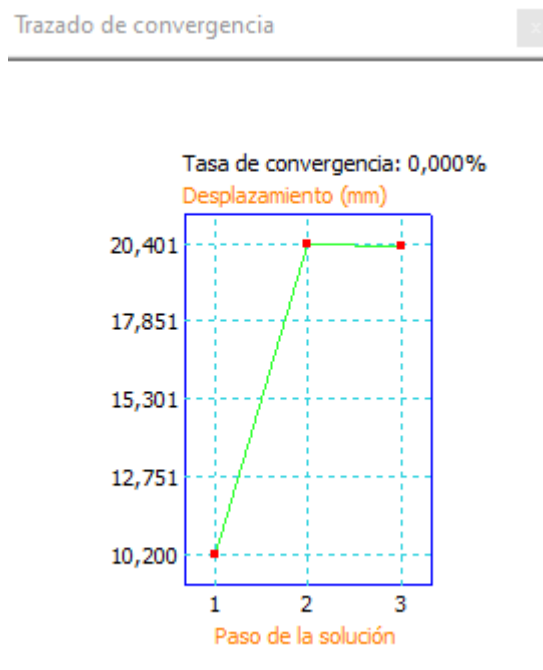


Ilustración 46: Convergencia desplazamiento análisis hoja

La tensión de Von Mises en la hoja es de 347 MPa, el límite elástico del Acero Inoxidable AISI 202 es de 412,3 MPa. Por lo tanto, la hoja quedaría cerca de llegar a sufrir deformaciones permanentes.

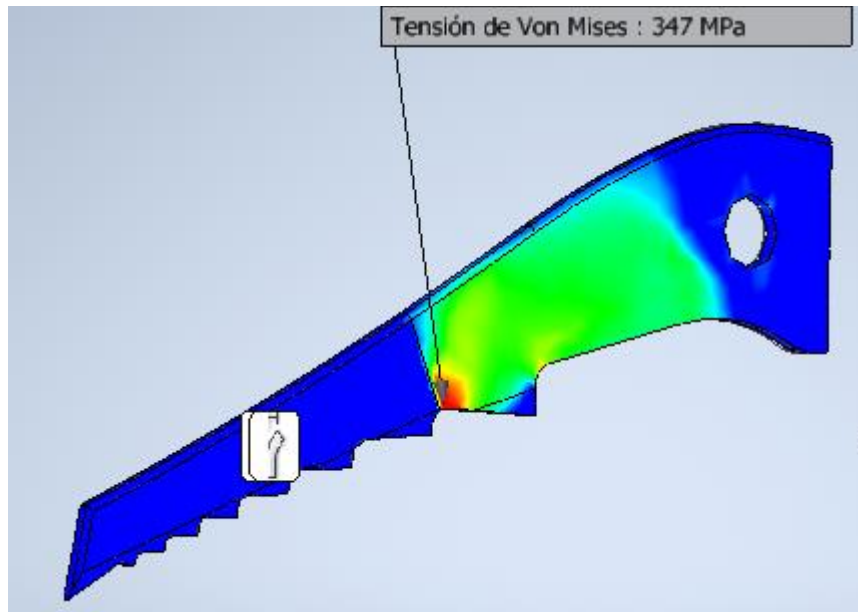


Ilustración 47: Tensión de Von Mises en hoja de Acero Inoxidable AISI 202

En cuanto al desplazamiento, interesa observar la parte de la hoja mas lejana a la restricción. En este punto, obtenemos un desplazamiento de 1,39 mm. Damos por aceptable este valor, teniendo en cuenta el grosor de la hoja de 2,5 mm.

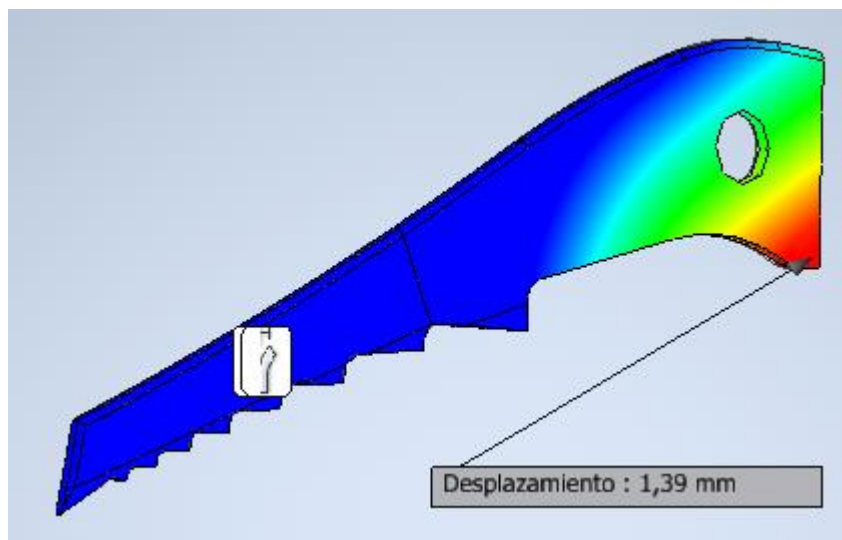


Ilustración 48: Desplazamiento en hoja de acero inoxidable AISI 202

Acero inoxidable AISI 404C

Se analiza de nuevo con acero inoxidable AISI 440C

Editor de materiales: Acero inoxidable, 440C ×

Identidad Apariencia ↔ **Físico** ↔

▶ Información

▶ Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	206,700 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,27	▲▼
Módulo cortante	83900,000 MPa	▲▼
Densidad	7,750 g/cm ³	▲▼

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	689,000 MPa	▲▼
Resistencia ...a a tracción	861,250 MPa	▲▼

Tratado térmicamente

Ilustración 49: Propiedades físicas acero inoxidable AISI 440C

En este nuevo estudio, observamos una tensión de Von Mises de 269 MPa, en contraste con los 689 MPa de límite de elasticidad que posee este material, válida con creces la tensión Von Mises sufrida.

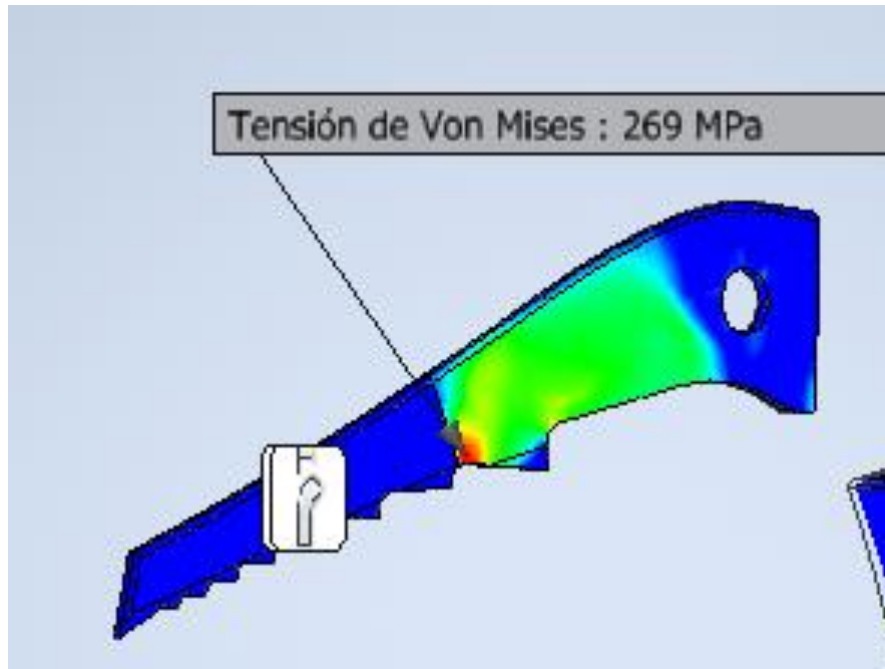


Ilustración 50: Tensión Von Mises en hoja de acero inoxidable AISI 440C

En cuanto al desplazamiento, observamos un desplazamiento de 1,35 mm, el cual resulta un valor aceptable.

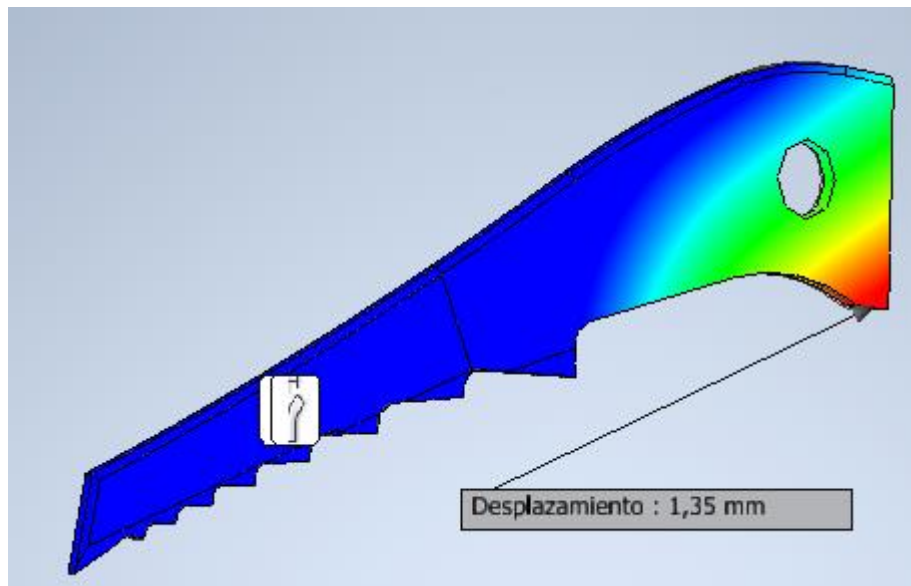


Ilustración 51: Desplazamiento en hoja de acero inoxidable AISI 440C

Titanio

Se repite el estudio con mismas restricciones y cargas con Titanio.

Editor de materiales: Titanio ×

Identidad Apariencia \leftrightarrow **Físico** \leftrightarrow

► Información

► Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	102,810 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,36	▲▼
Módulo cortante	44000,000 MPa	▲▼
Densidad	4,510 g/cm ³	▲▼

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	275,600 MPa	▲▼
Resistencia ...a a tracción	344,500 MPa	▲▼

Tratado térmicamente

Ilustración 52: Propiedades físicas del Titanio

En cuanto a la tensión de Von Mises, el análisis refleja un valor de 263 MPa

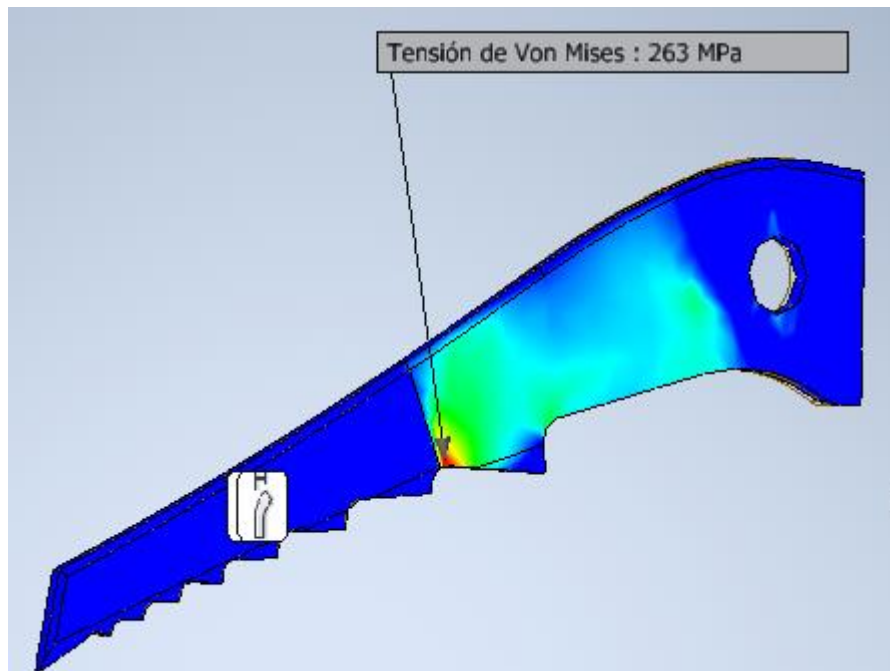


Ilustración 53: Tensión de Von Mises en hoja de Titanio

En cuanto a su desplazamiento,

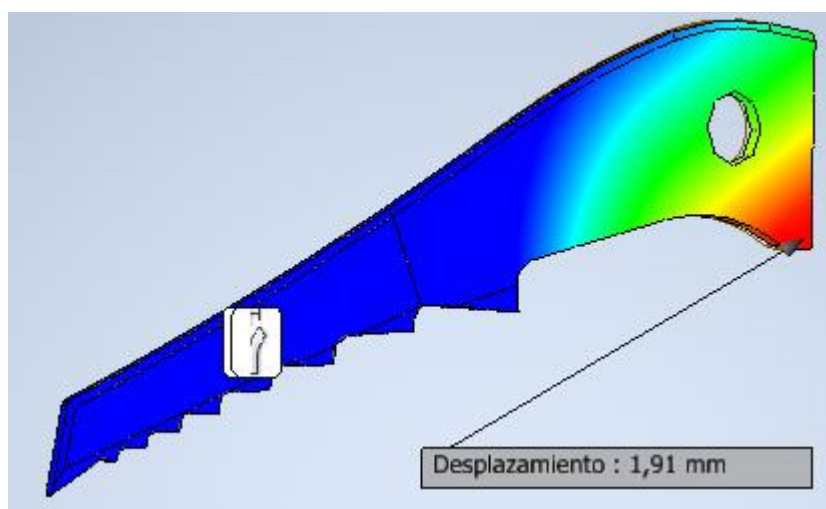


Ilustración 54: Desplazamiento en hoja de Titanio

A continuación, se analiza la hoja de Aluminio 7075.

Editor de materiales: Aluminio 7075 >

Identidad Apariencia ↔ Físico ↔

► Información

► Térmico básico

▼ Mecánico

Comportamiento	Isótropo	▼
Módulo de Young	71,700 GPa	▲▼
Coefficiente de Poisson	0,33	▲▼
Módulo cortante	26900,000 MPa	▲▼
Densidad	2,810 g/cm ³	▲▼

▼ Resistencia

Límite de elasticidad	145,000 MPa	▲▼
Resistencia ...a a tracción	276,000 MPa	▲▼

Tratado térmicamente

Ilustración 55: Propiedades físicas Aluminio 7075

La tensión de Von Mises de 210 MPa es superior al límite elástico del Aluminio 7075, con lo que la que hoja sufriría deformaciones permanentes, por lo tanto la hoja de Aluminio 7075 no supera el ensayo, aún así, se comprueba el desplazamiento en la hoja, observando un desplazamiento de 2,33 mm, valor que se aproxima a los 2,5 mm de espesor de la hoja que se toman de referencia. Por lo tanto, se desecha la idea de conformar la hoja con Aluminio 7075, al no cumplir la primera condición y quedar cerca de no cumplir la segunda.

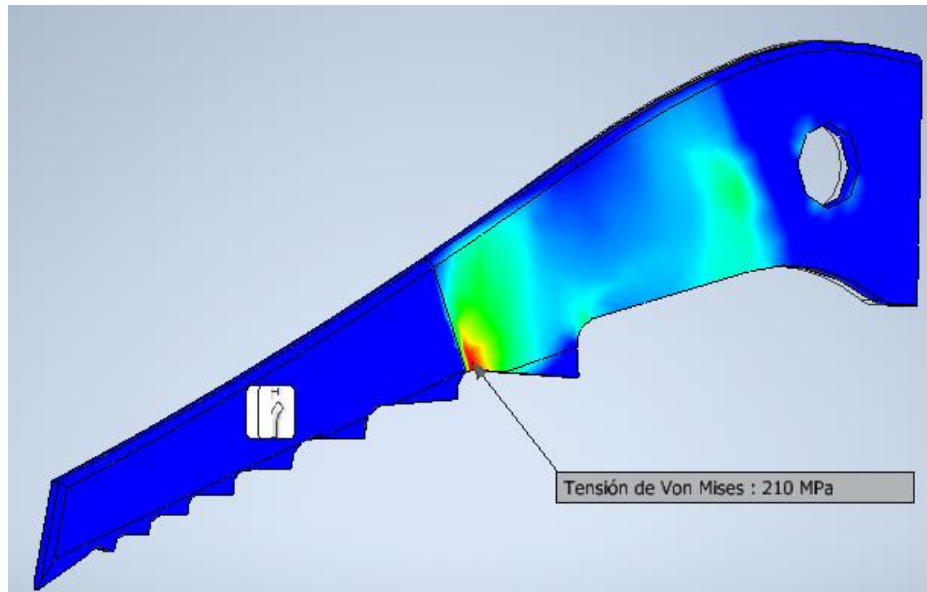


Ilustración 56: Tensión de Von Mises en hoja de Aluminio 7075

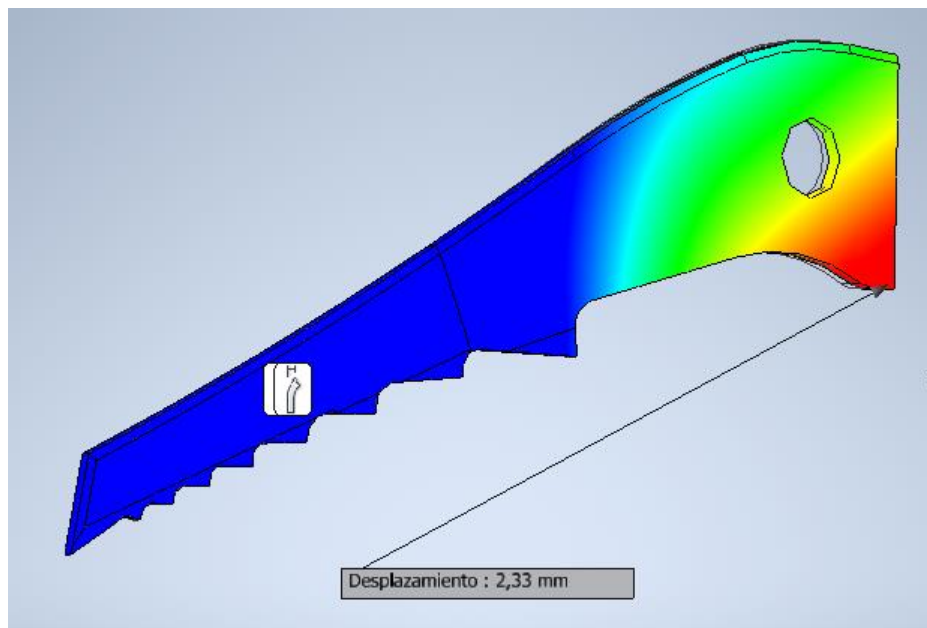


Ilustración 57: Desplazamiento en hoja de Aluminio 7075

6.2.4 CONCLUSIONES HOJA

Descartado en primera instancia el aluminio 7075 y dejado a un lado el Titanio, se realiza una primera decisión entre el acero inoxidable AISI 440 C y el AISI 202, observando que el AISI 440 C mejora con creces la tensión sufrida además de ofrecer un notable mejor límite elástico, de este modo, se escoge el AISI 440 C y se somete a examen frente al titanio, al ser una pieza relativamente ligera, hablamos de centésimas de kg, su coste no variará significativamente entre el AISI 440 C y el titanio, de modo que el precio no será una condición restrictiva, si que lo será la tensión de Von Mises en comparación con el límite elástico, pues en el caso del titanio, soporta una tensión de Von Mises de 263 MPa mientras que su límite para comenzar a sufrir deformaciones permanentes es de 275,6 MPa, por lo que se escoge el Acero Inoxidable 440 C como la mejor alterativa para conformar la hoja.

MATERIAL	LIMITE ELASTICO (Mpa)	TENSION VON MISES (Mpa)	DESPLAZAMIENTO (mm)	PESO (kg)
AISI 202	412,3	347	1,39	0,088
Titanio	275,6	263	1,91	0,051
AISI 440C	689	269	1,35	0,087
Aluminio 7075	145	210	2,26	0,032

6.2.5 ESTUDIO PIOLET COMPLETO

En este estudio se verificará el piolet en conjunto en una escalada en la que suponemos un escalador de 80 kg. Este estudio recrea las condiciones de la técnica básica de la escalada en hielo, subir y clavar ambos piolets por encima de la cabeza y levantar el peso de su cuerpo con los brazos. Se supone que el escalador debe levantar la mitad de su peso con los brazos, pues los pies clavados a la pared se encargan de sostener el resto. De este modo, la fuerza que realiza el escalador al

levantar su peso se reparte entre los dos piolets y resulta una fuerza a aplicar de 196 N.

$$f = \frac{80 \times 9,8}{2 \times 2} = 196 \text{ N}$$

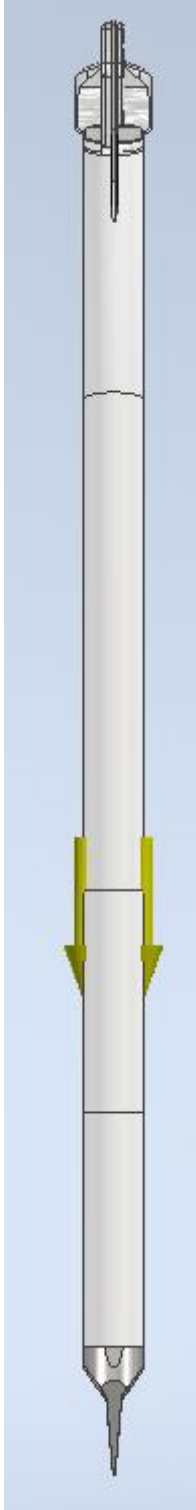


Ilustración 58: Posición fuerzas análisis piolet completo

Se disponen dos fuerzas de 98 N en cada cara, de este modo se carga el piolet con los 196 N totales.

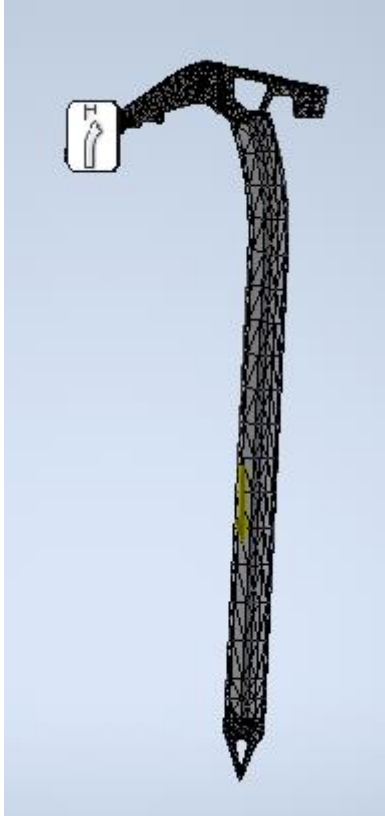


Ilustración 59: Vista de malla análisis piolet

En cuanto a la tensión de Von Mises, observamos un valor máximo de 223,4 MPa, este valor se encuentra en la parte inferior de la hoja, en la parte superior de la hoja observamos una tensión 117,7 MPa. La hoja está fabricada en acero inoxidable AISI 440 C, este acero tiene un límite elástico resistencia de 689 MPa, por lo que se validaría en primera instancia este estudio.

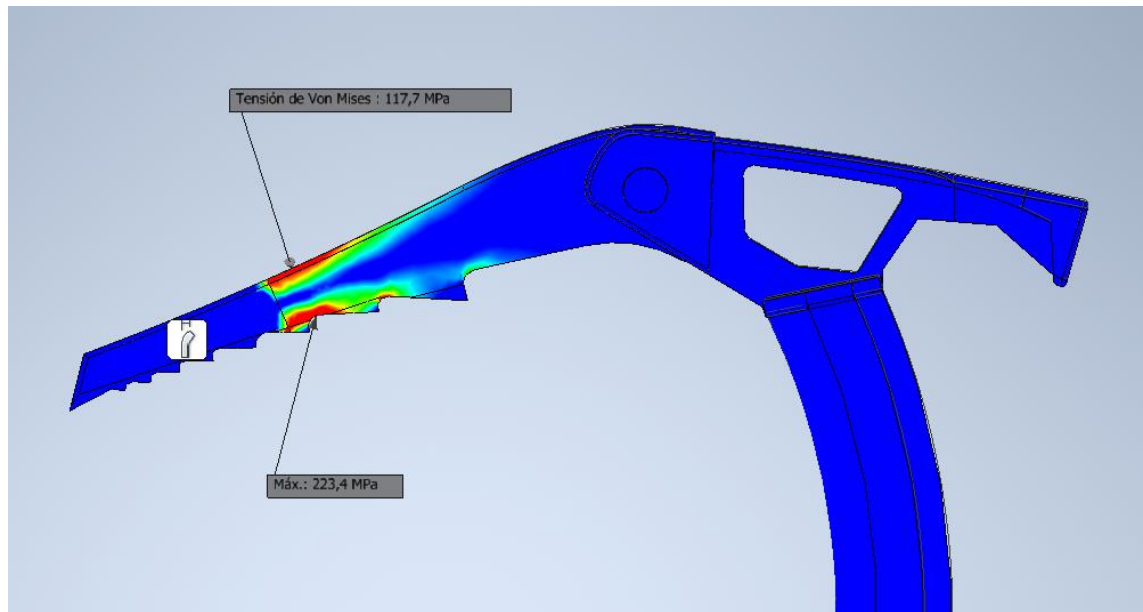


Ilustración 60: Tensiones de Von Mises en análisis de piolet completo

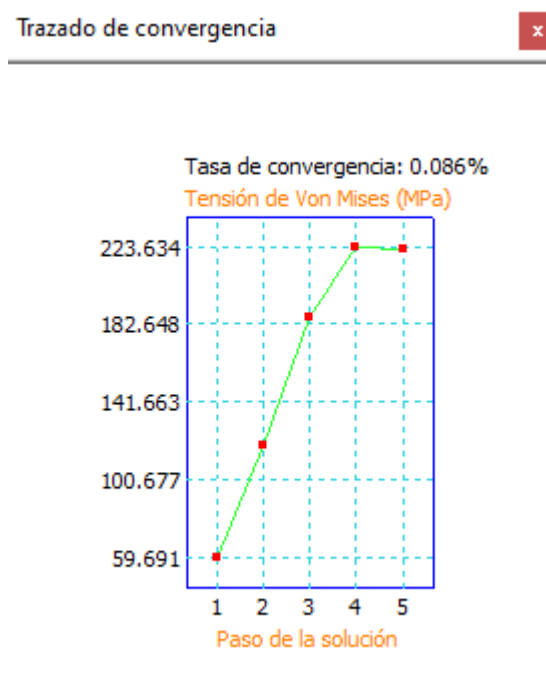


Ilustración 61: Tasa de convergencia en tensión de Von Mises en análisis del piolet completo

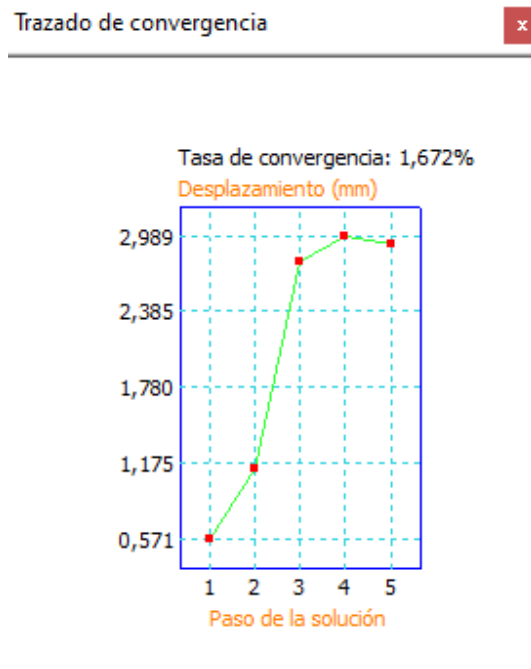


Ilustración 62: Tasa de convergencia en desplazamiento en análisis del piolet completo

Por otro lado, observamos el comportamiento y las tensiones sufridas en las uniones

En el bulón, la parte central del mismo es la que se soporta las mayores tensiones, resulta razonable que esta zona soporte mayor carga, pues es en la parte central en la que se produce un efecto de palanca y transmite el movimiento del mango y la maza a la hoja del piolet. Estas tensiones en torno a los 75 MPa, son un resultado que se da como aceptable, teniendo en cuenta que el límite elástico del aluminio 7075 es de 145 MPa.

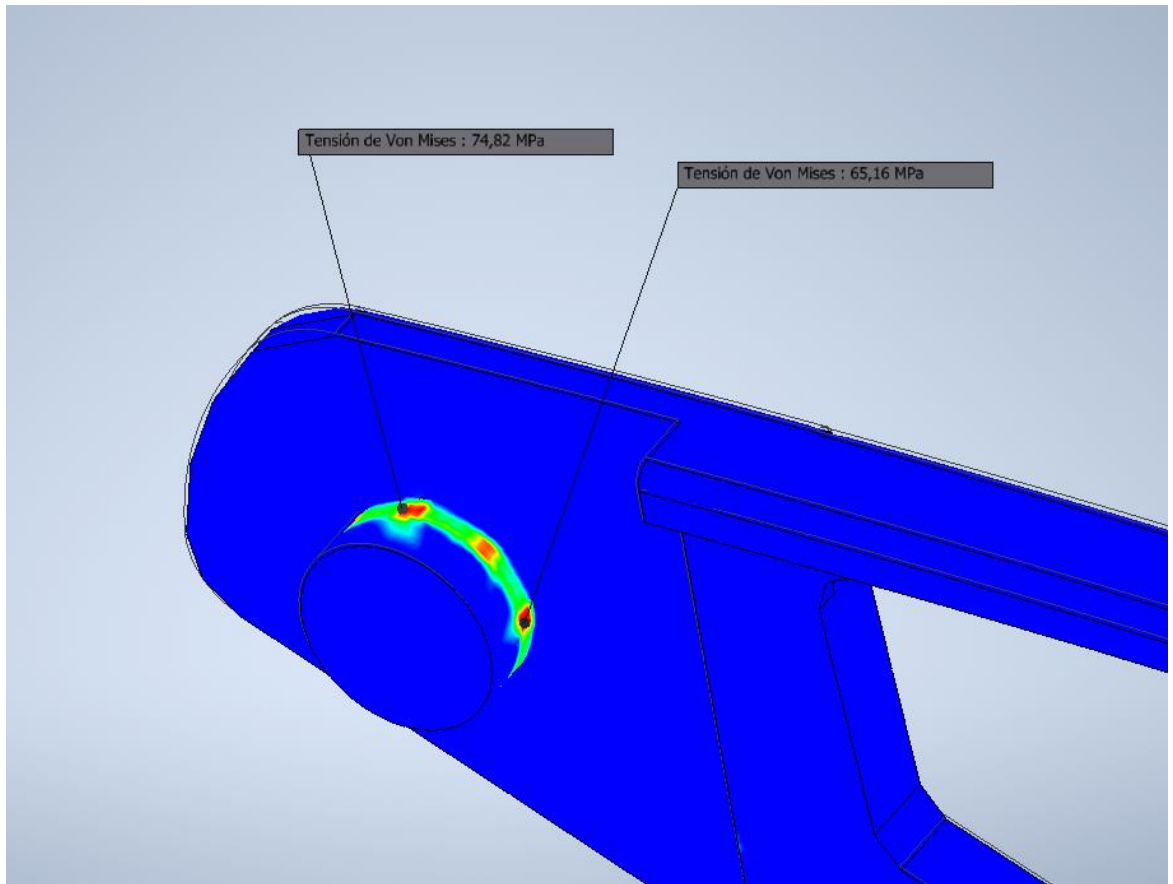


Ilustración 63: Tensiones de Von Mises en el bulón en análisis del piolet completo

6.3 ELECCIÓN FINAL DE MATERIALES

A modo de recopilación, se muestran en la siguiente tabla, los materiales y masas finales de cada pieza que compone el piolet.

PIEZA	MATERIAL	MASA
MANGO	ALUMINIO 7075	0,389 KG
MAZA	ALUMINIO 7075	0,078 KG
HOJA	ACERO INOXIDABLE 440 C	0,087 KG
REGATÓN	ACERO INOXIDABLE 440 C	0,134 KG
BULÓN	ALUMINIO 7075	0,004 KG
CIERRE	ALUMINIO 7075	0,008 KG
		0,700 KG

7 ANÁLISIS ECONÓMICO

[35]

En este apartado se muestra un análisis económico del piolet final, para ello se realiza un presupuesto aproximado que da un precio total de producción del piolet.

7.1 COSTO DE FABRICACIÓN (Cf)

Para calcular el costo de fabricación, debemos tener en cuenta 3 variables: material, la mano de obra directa (m.o.d) y el puesto de trabajo.

El coste de material y m.o.d. son costes variables pues van en función del número de piezas fabricadas.

7.1.1 COSTO DE MATERIA PRIMA (Cm)

[36]

Para la fabricación del piolet se utilizan dos materiales, acero inoxidable 440 C y aluminio 7075. El precio medio del acero inoxidable 440 C y el del aluminio 7075 es de 18 euros/kg. En este caso, se usarán 0,221 kg de acero inoxidable 440 C y 0,479 kg de aluminio 7075. Además, se suma el precio del bulón que se importa de una empresa externa dedicada a elementos normalizados, en este caso el bulón supone 11,92

$$C_m = (0,221 \times 8) + (0,479 \times 14) = 1,768 + 6,706 + 11,81 = 20,284 \text{ €}$$

Al precio del material se le suman el precio de los moldes y de los utillajes.

MATERIAL	PESO (KG)	PRECIO (€/KG)	PRECIO TOTAL (€)
ACERO 440 C	0,221	8	1,768
ALUMINIO 7075	0,479	14	6,706

7.1.2 MANO DE OBRA DIRECTA (M.O.D)

[37]

Para calcular el coste de la mano de obra directa, se necesita conocer los días y horas de trabajo. Para ello se excluyen los días festivos, los fines de semana y las vacaciones.

Días naturales	365
Domingos	52
Sábados	52
Vacaciones	20
Festivos	8
Días reales	233
Horas efectivas / año	1864

Además, hace falta conocer el coste de los trabajadores, que es el siguiente.

Concepto	Oficial	Especialista	Peón	Aprendiz	Pinche
Salario base día Sbd	18,08	15,84	15,10	11,18	10,25
Plus día Pd	23,00	20,16	19,21	14,23	13,04
Salario día Sd	41,08	36,00	34,31	25,41	23,29
Remuneración anual Ra	17,460	15,300	14,580	10,800	99,00
Salari/hora S	9,70	8,50	8,10	6,00	5,50

Con ello, se pasa a calcular el coste de la mano de obra directa del siguiente modo.

OPERACIÓN	TIEMPO(MIN)	TIEMPO(H)	OPERARIO	JORNAL(€/H)	COSTE(€)
Doblado mango	1	0,0167	Peón	8,10	0,135
Prensa	2	0,0334	Especialista	8,5	0,2839
Mecanizado	30	0,5	Especialista	8,5	4,25
Tratamiento superficial	10	0,1	Peón	8,1	0,81
Forja hoja	10	0,1	Especialista	8,5	0,85
Cortes	30	0,5	Peón	8,10	4,05
OPERACIÓN	TIEMPO(MIN)	TIEMPO(H)	OPERARIO	JORNAL(€/H)	COSTE(€)
Doblado mango	1	0,0167	Peón	8,1	0,135
Prensa	2	0,0334	Especialista	8,5	0,2839
Mecanizado	30	0,5	Especialista	8,5	4,25
Tratamiento superficial	10	0,1	Peón	8,1	0,81
Forja hoja	10	0,1	Especialista	8,5	0,85
Cortes	30	0,5	Peón	8,1	4,05
Mecanizado	20	0,3333	Especialista	8,5	2,83
Tratamiento superficial	10	0,1	Peón	8,1	0,81
Fundición maza	45	0,75	Peón	8,1	6,075
Mecanizado	30	0,5	Especialista	8,5	4,25
Fundición cierre	15	0,25	Peón	8,1	2,025
Mecanizado	10	0,1	Especialista	8,5	0,85
Fundición regatón	20	0,3333	Peón	8,1	2,7
Mecanizado	10	0,1	Especialista	8,5	0,85
Inspección general	2	0,0333	Oficial	9,70	0,323
Inspección montaje	5	0,0833	Oficial	9,70	0,808
TOTAL					31,8999

Por lo tanto, se obtendría el resultado de mano de obra directa, que sería de 31,8999 €.

$$M.O.I = 31,8999 \text{ €}$$

Con ello, calculamos el costo de fabricación.

$$Cf = 31,8999 + 20,284 = 52,1839 \text{ €}$$

7.2 MANO DE OBRA INDIRECTA (M.O.I)

Entran en este apartado el conjunto de operarios que, estando directamente relacionados con la producción, no tienen responsabilidad sobre el puesto de trabajo. Este coste, se representa con un porcentaje que determina la empresa cada año, teniendo en cuenta al conjuntos de operarios de ambas plantillas en este caso, se supone un porcentaje M.O.I. del 30%. Y se aplica sobre el M.O.D.

$$M.O.I. = \% M.O.I. \times M.O.D. = 0,3 \times 31,8999 = 9,5699 \text{ €}$$

7.3 CARGAS SOCIALES (C.S.)

Suponen el conjunto de aportaciones de la empresa a diversos Departamentos y Organismos Oficiales, estas aportaciones, se fijan por la empresa cada año como un porcentaje que representan las Cargas

Sociales para el conjunto de operarios de ambas plantillas. En este caso, se supone un porcentaje de Cargas Sociales del 30%

$$C.S. = \% C.S. \times (M.O.D. + M.O.I.) = 0,30 \times (31,8999 + 9,5699) \\ = 12,4409 \text{ €}$$

7.4 GASTOS GENERALES (G.G.)

En cuanto a los Gastos generales, se define como el costo necesario para el funcionamiento de la empresa, excluidos los costos ya analizados anteriormente. Se fija cada año por la empresa, que determina el porcentaje que representan los Gastos Generales de la mano de obra indirecta. En este caso, se supone un porcentaje del 30%.

$$G.G. = \% G.G. \times M.O.D. = 0,3 \times 31,8999 = 9,5699 \text{ €}$$

7.5 COSTE TOTAL (Ct)

$$Ct = Cf + M.O.I. + C.S. + G.G. \\ = 52,1839 + 9,5699 + 12,4409 + 9,5699 = 83,7646 \text{ €}$$

7.6 BENEFICIO INDUSTRIAL (B.I.)

Beneficio industrial: Es el porcentaje de beneficio que obtiene la empresa con la venta del producto. El beneficio fijado es de un 20%

$$B.I. = \% B.I. \times C.T. = 0,20 \times 83,7646 = 16,7529 \text{ €}$$

7.7 PRECIO DE VENTA EN FÁBRICA (Pv)

$$Pv = B.I. + C.T. = 100,52 \text{ €}$$

8 CONCLUSIONES

Se da por concluido el presente proyecto, con ello, se realiza una valoración del cumplimiento de objetivos durante el desarrollo del proyecto.

En primer lugar, se dan por cumplidos con éxito los objetivos principales: unificar los conocimientos adquiridos durante el grado, más en profundidad en las áreas de resistencia de materiales y diseño mecánico, así como diseño CAD.

Durante el transcurso del proyecto, se encontraron distintos problemas como el modelaje de la maza en CAD o problemas al importar los modelos del software de CATIA al de Autodesk Inventor, estos contratiempos y el proceso de toma de decisiones y resolución de problemas también forman parte del ejercicio de realizar este proyecto, estos problemas se resolvieron con éxito con la ayuda del tutor.

Se pasa a comentar las conclusiones del estudio en sí mismo. Los análisis arrojan resultados satisfactorios, se escogen los materiales óptimos para mejorar sus propiedades mecánicas durante el uso continuado del piolet.

Se da por satisfactorio el resultado general de los análisis de materiales, incluyendo el proceso de toma de decisiones, concluyendo con un piolet resistente, ligero y funcional.

El resultado del proyecto en general es exitoso, se ha seguido una correcta metodología que ha permitido cumplir los objetivos establecidos con el nivel de detalle deseado.

9 BIBLIOGRAFÍA

[1] MELENDO SOLER, Javier A. *Manual de técnicas de montaña e interpretación de la naturaleza*. 2002

[2] GIL ELORRI, Ángel. *Análisis estático y a fatiga de un piolet de escalada*. Dirigido por Mikel Abasolo Bilbao. Universidad del País Vasco. Junio 2018. Trabajo fin de grado.

[3] CABEZUDO GARZÓN, Cinthya. *Diseño de línea de productos de tecnificación de deportes de escalada y travesía en hielo y nieve*. Dirigido por Fernando Blaya Haro. Universidad Politécnica de Madrid. Junio 2018. Trabajo fin de máster.

[4] Einsame Wolf (web online) - <http://einsamewolf.blogspot.com/2009/09/historia-del-piolet.html>
(Consultada el 16-03-2022)

[5] Blog fen de testas (web online) - <http://blogfendetestas.blogspot.com/2007/09/piolets-i-historia.html>.
[s.f.](#) (Consultada el 16-03-2022)

[6] Barrabes (web online) - <https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10238/como-elegir-tus-piolets-montana> (Consultada el 20-03-2022)

[7] ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. UNE-EN 13089:2011. *Equipos de alpinismo y escalada. Piolets. Requisitos de seguridad y métodos de ensayo*. Madrid: AENOR, 2015

[8] Barrabes (web online) - <https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-11160/indispensables-alpinismo-corredores-invernales-material>
(Consultada el 20-03-2022)

[9] LOWE, Jeff. *El mundo del hielo*. Editorial. Desnivel. 1996

[10] Wikipedia (web online) - <https://en.wikipedia.org/wiki/Dry-tooling>
(Consultada el 20-03-2022)

[11] La crux (web online) -
<https://www.lacrux.com/es/escalar/herramientas-secas-que-es-que-se-necesita/> (Consultada el 20-03-2022)

[12] Rocjumper (web online) -
<https://www.rocjumper.com/material/piolet-elegir-talla-comprar/>
(Consultada el 16-03-2022)

[13] El piolet de madera (web online) -
<http://elpioletdemadera.blogspot.com/2012/02/> (Consultada el 20-03-2022)

[14] De escalada (web online) - <https://deescalada.com/tipos-de-piolet-segun-uso> (Consultada el 20-03-2022)

[15] Barrabes (web online) -
<https://www.barrabes.com/blog/consejos/2-10238/como-elegir-tus-piolet-montana> (Consultada el 16-03-2022)

[16] Montaña segura (web online) -
<https://montanasegura.com/tecnicas-de-progresion-para-montana-invernal/piolet-baston/> (Consultada el 16-03-2022)

[17] Montañapegaso (web online) -
https://montanapegaso.es/tecnica/piolet_y_crampones/piolet_y_crampones.htm (Consultada el 16-03-2022)

[18] Montaña pegaso (web online) -

<https://montanapegaso.es/tecnica/autodetencion/autodetencion.htm>

(Consultada el 18-03-2022)

[19] Montaña segura (web online) -

<https://montanasegura.com/tecnicas-de-progresion-para-montana-invernal/,s.f.> (Consultada el 18-03-2022)

[20] Planeta Azul (web online) -

<http://www.planetazul.es/CONSEJOS/piolet.html> (Consultada el 28-03-2022)

[21] Rocjumper (web online) -

<https://www.rocjumper.com/material/piolet-elegir-talla-comprar/>

(Consultada el 20-03-2022)

[22] Black Diamond (web online) -

https://www.blackdiamondequipment.com/en_ES/content/doc/

(Consultada el 21-03-2022)

[23] Bonnet (web online) -

<https://www.bonnet.es/clasificacionacerinox.pdf> (Consultada el 15-06-2022)

[24] Cedinox (web online) - [https://www.cedinox.es/es/acero-](https://www.cedinox.es/es/acero-inoxidable/tipos-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-martensitico/)

[inoxidable/tipos-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-martensitico/](https://www.cedinox.es/es/acero-inoxidable/tipos-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-martensitico/)

(Consultada el 15-06-2022)

[25] Material properties (web online) - [https://material-](https://material-properties.org/es/que-es-el-acero-inoxidable-martensitico-definicion/)

[properties.org/es/que-es-el-acero-inoxidable-martensitico-definicion/](https://material-properties.org/es/que-es-el-acero-inoxidable-martensitico-definicion/)

(Consultada el 15-06-2022)

- [26] Planeta Azul (web online) - <http://www.planetazul.es/CONSEJOS/piolet.html> (Consultada el 15-06-2022)
- [27] Aluminio perfile (web online) - <http://gx-aluminioperfile.com/7-al-magnesium-zinc-copper/> (Consultada el 15-06-2022)
- [28] UPV (web online) - https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/fcm13_4.html (Consultada el 15-06-2022)
- [29] Makeitfrom (web online) - <https://www.makeitfrom.com/compare/5052-O-Aluminum/7075-O-Aluminum> (Consultada el 18-06-2022)
- [30] MAGDALENO MARTÍN, Jesús. *APLICACIÓN PRÁCTICA DEL MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS*. Curso 2021-2022.
- [31] Material properties (web online) - <https://material-properties.org/es/fibra-de-carbono-tabla-de-materiales-aplicacion-precio/> (Consultada el 15-06-2022)
- [32] Materiales gelsonluz (web online) - <https://www.materiales.gelsonluz.com/2022/04/coeficiente-de-poisson-de-fibra-de.html> (Consultada el 16-06-2022)
- [33] Wikipedia (web online) - https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_carbono#:~:text=La%20densidad%20de%20la%20fibra,y%20de%20baja%20conductividad%20t%C3%A9rmica. (Consultada el 16-06-2022)
- [34] Czyindustry (web online) - <http://www.czyindustry.com/info/5052-aluminum-properties-strength-and-uses-58083755.html>

[35] ZULUETA PEREZ, Patricia. *PRESUPUESTO INDUSTRIAL*. Curso2021-2022.

[36] Online metals (web online) -

<https://www.onlinemetals.com/en/buy/7075> (Consultada 21-06-2022)

[37] Norelem (web online) - <https://norelem.es/es/> (Consultada el 21-06-2022)