



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA
EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DISEÑO Y DESARROLLO CON SOLIDWORKS
DE UN PIE PROTÉSICO

Autor: Álvaro Aragón Aragón

Director: María Ana Sáenz Nuño

Madrid

Agosto de 2020

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
DISEÑO Y DESARROLLO CON SOLIDWORKS DE UN PIE PROTÉSICO

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico ...2019/2020.... es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: **ÁLVARO ARAGÓN ARAGÓN**

Fecha: 19/ 08/ 2020

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: **MARÍA ANA SÁENZ NUÑO** Fecha: 19/ 08/ 2020



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA
EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO
DISEÑO Y DESARROLLO CON SOLIDWORKS
DE UN PIE PROTÉSICO

Autor: Álvaro Aragón Aragón

Director: María Ana Sáenz Nuño

Madrid

Agosto de 2020

RESUMEN DEL PROYECTO

DISEÑO Y DESARROLLO CON SOLIDWORKS DE UN PIE PROTÉSICO

Autor: Aragón Aragón, Álvaro.

Director: Sáenz Nuño, María Ana.

Entidad Colaboradora: ICAI - Universidad Pontificia Comillas.

Este trabajo se enmarca dentro del campo del diseño mecánico y la optimización. Nuestro objetivo es diseñar y desarrollar una prótesis de pie que optimice los modelos actuales. Para ello haremos uso de conocimientos y técnicas ya adquiridas en las asignaturas “Diseño 3D con Simulación Dinámica”, “Resistencia de Materiales” y “Tecnologías de Fabricación”.

Requerimos del manejo del programa *SolidWorks* para diseñar las prótesis y, en concreto, del módulo *SolidWorks Simulation* para simularlas en distintos materiales y comparar los diferentes modelos y comprobar así cuál es el mejor diseño y qué material es el más apropiado.

Pretendemos también que nuestra prótesis resulte útil para la población colombiana afectada por la explosión de las minas antipersonas, que por desgracia son bastante frecuentes en el país y que ésta pueda fabricarse empleando materiales reciclados o de bajo coste, contribuyendo así a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Introducción

En la actualidad hay muchos grupos de investigación dedicados al diseño y desarrollo de piezas mediante programas informáticos para su posterior aplicación a la impresión 3D. En particular, el diseño y la impresión de prótesis y piezas sanitarias están desarrollando una amplia y profunda área de investigación, dando solución a un número creciente de fenómenos relacionados con la salud de las personas. En ocasiones, enfermedades como un cáncer, una parada cardiorrespiratoria o simplemente un accidente, hacen que se deba extirpar una parte del cuerpo. En ese caso se puede usar una prótesis para ayudar a corregir o compensar las secuelas que ha ocasionado la enfermedad o el accidente. Así se puede ayudar a que una persona viva como si la parte del cuerpo nunca hubiera sido extirpada haciendo que el usuario se sienta mejor y la prótesis funcione lo más naturalmente posible.



Figura 1. Prótesis externa de pierna, [RTVE20].

Existen muchos tipos diferentes de prótesis, algunas se usan por fuera del cuerpo y pueden ponerse y quitarse (prótesis externas), véase Figura 1 y otras se insertan durante una cirugía (implantes), véase Figura 2.



Figura 2. Implante prótesis de cadera, [ORTH20].

A la hora de simular el comportamiento de una parte del organismo humano, toda su dinámica interna debe ser descrita mediante un análisis detallado de la dinámica del organismo en cuestión. Para ello, un estudio cuidadoso de la estructura geométrica del sistema aparece como un hecho fundamental para conseguir la dinámica deseada. En esta línea, ya hay muchos ejemplos en la literatura de grupos que han realizado este estudio cuidadosamente y han conseguido reproducir desde brazos y piernas humanas hasta un pequeño corazón que palpita, véase Figura 3.

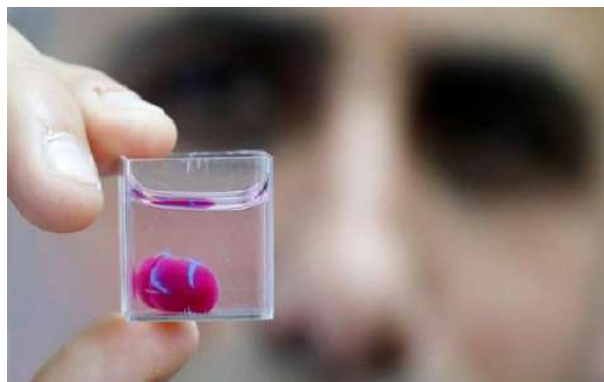


Figura 3. Corazón fabricado con tejido humano mediante impresión 3D, [ABC20].

Los dispositivos actuales se caracterizan por ser muy poco pesados, ya que son fabricados en aluminio, plástico y/o materiales compuestos, con el fin de proporcionar a los pacientes dispositivos mucho más funcionales. Más allá de tratarse de sistemas más ligeros, fabricados a la medida del paciente, el desarrollo de la electrónica y la robótica ha permitido la implementación de componentes electrónicos, mejorando así las prestaciones de los mismos. Además, gracias a la integración de fundas de silicona se ha conseguido aumentar el realismo de las piezas, renovando de esta manera tanto la estética como la funcionalidad de las mismas, hecho que se traduce en una notable mejoría de las condiciones de vida de los pacientes.

Por otro lado, hay una corriente que busca diseñar piezas *low cost* o de bajo coste de manera que se puedan utilizar para fines sociales. En esta línea también hay diversos grupos que están trabajando y utilizando plásticos y material reciclado para poder poner sus conocimientos al servicio de los más necesitados. Así consiguen ayudar a personas que económicamente no se lo pueden permitir, hasta el punto de poner fin a sus problemas de salud o por lo menos, hacerles la vida más fácil y cómoda.

Metodología y objetivos

En este trabajo pretendemos diseñar y desarrollar una prótesis de pie mediante el programa informático *SolidWorks* con el fin de que después dicho diseño lo puedan usar personas de países empobrecidos, como Colombia y puedan fabricarse ellos mismos dichas prótesis con materiales reciclados.

Para ello, reduciremos nuestra prótesis al caso de las personas que tengan una amputación únicamente del pie en cuestión. También queremos hacer un diseño que se pueda adaptar a distintas personas adultas en función de su peso y que dé funcionalidad para hacer las tareas de la vida cotidiana de una persona. Debido a que buscamos su posterior aplicación solidaria nuestra prótesis debe estar hecha con materiales básicos que se puedan conseguir en el país de origen tales como plásticos reciclados, gomas de neumáticos, etc. y que tenga una cierta elasticidad de manera que permita el máximo movimiento posible pero sin complicar demasiado su fabricación. Por ello, evitaremos todo tipo de mecanismos que incluyan tuercas, tornillos u otros apliques metálicos.

Hemos ordenado el texto con el objetivo de mostrar, paso a paso, el estudio que hemos seguido para diseñar nuestra prótesis y también introducir, sin prisas, las herramientas necesarias para el entendimiento de la elección final.

Plan del proyecto

Ahora pasemos a exponer brevemente los contenidos de cada capítulo. Nuestro trabajo está formado por tres documentos, el primero, Documento I Memoria, es el que ocupa la mayor parte del trabajo ya que en él exponemos muy detalladamente todo el estudio y el procedimiento seguido para diseñar la prótesis. También hay un segundo documento, Documento II Planos, en el que incluimos los planos de todos los modelos de prótesis analizados. Por último en el tercer documento, Documento III Anexos, se incluyen tres anexos uno relativo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, otro segundo en el que elaboramos un presupuesto del trabajo y el último que incluye toda la documentación elaborada con el programa *SolidWorks Simulation* como consecuencia de la simulación de las prótesis en distintos materiales. Una observación a tener en cuenta durante el trabajo es que todas nuestras simulaciones consisten en la realización de un análisis puramente estático de la misma, es decir, que vamos a analizar el efecto de la prótesis debido a la única acción del peso del usuario como si estuviera quieto.

Así pues, en el Documento I Memoria hemos incluido seis capítulos que nos ayudan a entender y dar forma a nuestro estudio. Comenzamos primero describiendo brevemente en el Capítulo 1 los diversos programas que hemos empleado para nuestro trabajo, en concreto, el más importante ha sido el programa *SolidWorks* y su paquete de simulación *SolidWorks Simulation*. Gracias a este *software* hemos podido diseñar y simular diversos modelos de prótesis y crear nuestro propio diseño, que también hemos simulado. Tras esto, en el Capítulo 2, entramos a hacer un estudio detallado sobre aspectos importantes a la hora de diseñar la prótesis de pie como son la fisonomía y anatomía del pie y del tobillo, el desarrollo de las prótesis, los tipos de prótesis, etc. Ya en el Capítulo 3, hacemos una breve parada antes de diseñar para marcar los objetivos de nuestro proyecto y detallar la metodología seguida para el mismo.

En el Capítulo 4 vemos los distintos materiales que hemos usado para simular las prótesis y sus propiedades mecánicas principales, en concreto hemos usado una aleación de acero, dos de aluminio (6061-T6 y 7025-T6), una aleación de titanio y dos termoplásticos (ABS y PA6); también para un amortiguador usamos SBR. Llegamos así al principal capítulo de nuestro proyecto, el Capítulo 5, en el que, una a una, vamos exponiendo diversos modelos de prótesis, algunos tomados de la bibliografía (como Prótesis 1, Prótesis 2, Prótesis 3 y Prótesis 4) y otros creados por nosotros mismos (como Prótesis 5(0), Prótesis 5(1) y Prótesis 5(2)). Para todos ellos hacemos una breve descripción y luego explicamos el proceso de simulación con el programa *SolidWorks* y los resultados obtenidos. Además hemos incluido dos prótesis más en las que adaptamos los modelos Prótesis 5(1) y Prótesis 5(2) con un amortiguador para ver qué resultados nuevos aporta, Prótesis 5(1)(2) y Prótesis 5(2)(2). Concluimos nuestro proyecto con un último capítulo, Capítulo 7, en el que exponemos los resultados finales, las conclusiones y líneas abiertas del trabajo.

Resultados

Una vez simuladas las distintas prótesis para cada material realizamos algunas tablas y gráficas comparativas, incluidas en el Capítulo 6, de las que podemos descartar el acero aleado por ser demasiado pesado y la aleación de titanio por ser demasiado costosa. Así posteriormente, obtenemos que lo ideal es fabricar la Prótesis 1 y 2 en cualquiera de las aleaciones de aluminio y el resto de prótesis en cualquiera de los termoplásticos.

Conclusiones

A la hora de tomar decisiones o sacar alguna conclusión de nuestro estudio realizado debemos tener en cuenta las condiciones y la aplicación que va a tener nuestro proyecto. En nuestro caso, como ya hemos mencionado, buscamos que sean prótesis “solidarias”, es decir, que la puedan llevar a cabo personas con bajos recursos. Por ello, una de nuestras grandes restricciones es que el material de fabricación debe ser *low cost* o reciclado, de ahí que descartemos los materiales que no son plásticos.

A la vista de las gráficas y tablas comparativas que realizamos en el trabajo, podemos concluir que la prótesis que mejor se adapta a nuestra situación es la Prótesis 5(2) y el mejor material para fabricarla es el termoplástico ABS, véase Figura 4. Esto es debido a que es el modelo que tiene los valores óptimos en cuanto a precio, tensión máxima de Von Mises y peso.

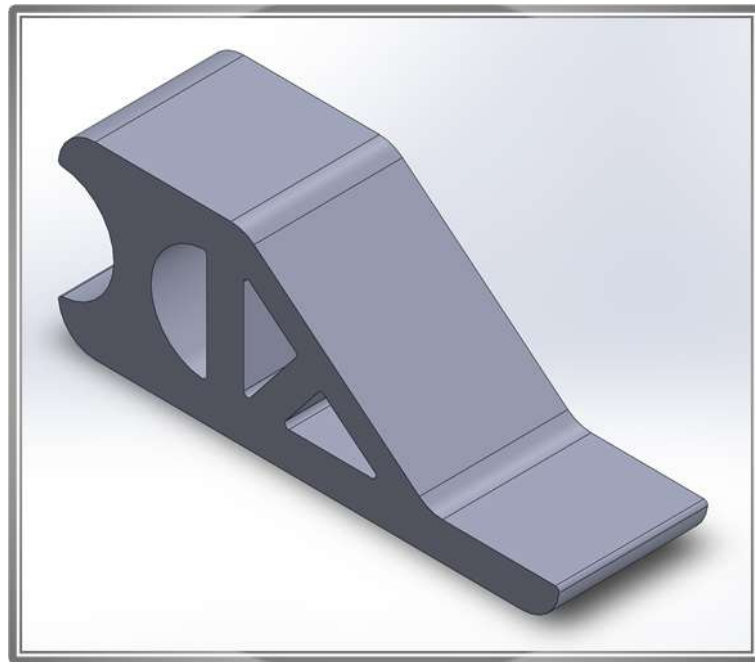


Figura 4. Prótesis 5(2).

Este trabajo sirve pues como una introducción al diseño y modelado de una prótesis de pie con materiales *low cost* y abre una línea de investigación para su posible fabricación con métodos de fabricación aditiva o impresión 3D o también mediante moldeo por inyección de plástico.

PROJECT SUMMARY

DESIGN AND DEVELOPMENT WITH SOLIDWORKS OF A PROSTHETIC FOOT

This work is framed within the field of mechanical design and optimization. Our goal is to design and develop a foot prosthesis that optimizes current models. To this purpose, we will use knowledge and techniques already acquired in the subjects “3D Engineering Design with Dynamic Simulation”, “Mechanics Materials” and “Manufacturing Technologies”.

We use the SolidWorks program to design the prosthesis and its SolidWorks Simulation package to simulate them in different materials and to compare the different models to check which is the best design and the best material.

We also expect our prosthesis to be useful for the Colombian population affected by the explosion of antipersonnel mines, unfortunately quite frequent in the country and that it could be manufactured with either recycled or low cost materials, contributing to achieve the Sustainable Development Goals.

Introduction

At present there are many research groups dedicated to the design and development of parts using computer programs for their subsequent application to 3D printing. In particular, the design and printing of prostheses and sanitary pieces are developing a wide and deep area of research, providing solutions to a growing number of phenomena related to people’s health. Sometimes diseases such as cancer, cardiorespiratory arrest or simply an accident, make a part of the body have to be removed. In this case, a prosthesis can be used to help correct or compensate for the consequences caused by the disease or accident. This can help a person live as if the body part had never been removed by making the user feel better and the prosthesis function as naturally as possible.



Figure 1. External leg prosthesis, [RTVE20].

There are many different types of prostheses, some are worn outside the body and can be put on and taken off (external prostheses), see Figure 1 and others are inserted during surgery (implants), see Figure 2.



Figure 2. Hip replacement implant, [ORTH20].

To simulate the behavior of a part of the human organism, all its internal dynamics must be described through a detailed analysis of the dynamics of the organism in question. For this, a careful study of the geometric structure of the system appears as a fundamental fact to achieve the desired dynamics. Along these lines, there are already many examples in the literature of groups that have carefully carried out this study and have managed to reproduce human arms and legs to a small beating heart, see Figure 3.



Figure 3. Heart made of human tissue using 3D printing, [ABC20].

Current devices are characterized by being very light, since they are made of aluminum, plastic and or composite materials, in order to provide patients with much more functional devices. Beyond being lighter systems, manufactured to suit the patient, the development of electronics and robotics has allowed the implementation of electronic components, thus improving their performance. In addition, thanks to the integration of silicone covers, it has been possible to increase the realism of the pieces, thus renewing both their aesthetics and functionality, a fact that translates into a notable improvement in the living conditions of patients. .

On the other hand, there is a trend that seeks to design low cost pieces so that they can be used for social purposes. In this line there are also various groups that are working and using plastics and recycled material to be able to put their knowledge at the service of those most in need. In this way, they are able to help people who cannot afford it financially, to the point of ending their health problems or at least making their lives easier and more comfortable.

Methodology and objectives

In this work we design and develop a foot prosthesis using the SolidWorks computer program so that later this design can be used by people from impoverished countries, such as Colombia and they can manufacture these prostheses themselves with recycled materials.

To do this, we will reduce our prosthesis to the case of people who have an amputation only of the foot in question. We also want to make a design that can be adapted to different adults depending on their weight and that gives functionality to do the tasks of a person's daily life. Because we seek its subsequent application in solidarity, our prosthesis must be made with basic materials that can be obtained in the country of origin, such as recycled plastics, tire rubbers, etc. and that it has a certain elasticity so that it allows the maximum possible movement but without complicating its manufacture too much. . Therefore, we will avoid all kinds of mechanisms that include nuts, bolts or other metallic inserts.

We have arranged the text with the aim of showing, step by step, the study that we have followed to design our prosthesis and also introducing, without haste, the necessary tools to understand the final choice.

Project plan

Now let us briefly present the contents of each chapter. Our work is made up of three documents, the first, Document I Memorandum, is the one that occupies most of the work since in it we expose in great detail all the study and the procedure followed to design the prosthesis.

There is also a second document, Document II Plans, in which we include the plans of all the prosthesis models analyzed. Finally, in the third document, Document III Annexes, there are three annexes, one related to the Sustainable Development Goals, a second in which we prepare a budget for the work and the last one that includes all the documentation prepared with the SolidWorks Simulation program as a consequence of simulating prostheses in different materials. An observation to take into account during the work is that all our simulations consist of carrying out a purely static analysis of it, that is, we are going to analyze the effect of the prosthesis due to the sole action of the user's weight as if be still.

Thus, in Document I Report we have included six chapters that help us understand and shape our study. We first begin by briefly describing in Chapter 1 the various programs that we have used for our work, specifically, the most important has been the SolidWorks program and its SolidWorks Simulation simulation package. Thanks to this software we have been able to design and simulate various prosthetic models and create our own design, which we have also simulated. After this, in Chapter 2, we go on to make a detailed study on important aspects when designing the foot prosthesis such as the physiognomy and anatomy of the foot and ankle, the development of prostheses, the types of prostheses, etc. . In Chapter 3, we make a brief stop before designing to set the objectives of our project and detail the methodology followed for it.

In Chapter 4 we see the different materials that we have used to simulate the prostheses and their main mechanical properties, specifically we have used a steel alloy, two aluminum (6061-T6 and 7025-T6), a titanium alloy and two thermoplastics (ABS and PA6); also for a damper we use SBR. Thus we come to the main chapter of our project, Chapter 5, in which, one by one, we are exposing various models of prostheses, some taken from the bibliography (such as Prosthesis 1, Prosthesis 2, Prosthesis 3 and Prosthesis 4) and others created by ourselves (such as Prosthesis 5(0), Prosthesis 5(1) and Prosthesis 5(2)). For all of them we make a brief description and then we explain the simulation process with the SolidWorks program and the results obtained. We have also included two more prostheses in which we adapt the Prosthesis 5(1) and Prosthesis 5(2) models with a shock absorber to see what new results it brings, Prosthesis 5(1)(2) and Prosthesis 5(2)(2) . We conclude our project with a final chapter, Chapter 7, in which we expose the final results, conclusions and open lines of work.

Results

Once the different prostheses for each material have been simulated, we make some comparative tables and graphs, included in Chapter 6, from which we can discard the alloy steel for being too heavy and the titanium alloy for being too expensive. Thus later, we obtain that the ideal is to manufacture Prosthesis 1 and 2 in any of the aluminum alloys and the rest of the prostheses in any of the thermoplastics.

Conclusions

When making decisions or drawing a conclusion from our study we must take into account the conditions and the application that our project is going to have. In our case, as we have already mentioned, we want them to be “solidarity” prostheses, that is, they can be carried out by people with low resources. Therefore, one of our great restrictions is that the manufacturing material must be low cost or recycled, hence we discard materials that are not plastic.

In view of the comparative graphs and tables that we carry out at work, we can conclude that the prosthesis that best suits our situation is Prosthesis 5(2) and the best material to manufacture

it is ABS thermoplastic, see Figure 4. This is because it is the model that has the optimal values in terms of price, Von Mises maximum tension and weight.

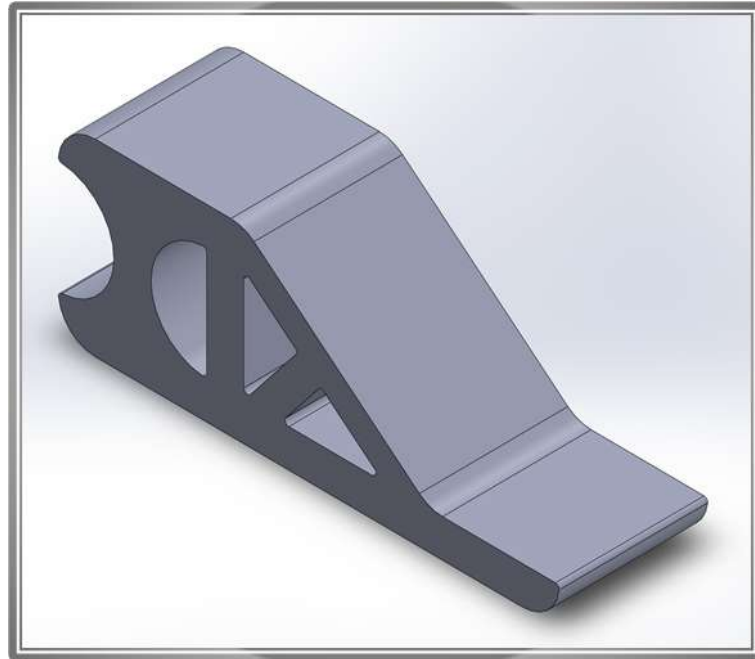


Figure 4. Prosthesis 5(2).

This work therefore serves as an introduction to the design and modeling of a foot prosthesis with low cost materials and opens a line of research for its possible manufacture with additive manufacturing methods or 3D printing or also by plastic injection molding .

Índice general

DOCUMENTO I. MEMORIA	1
1. Descripción de las tecnologías	12
1.1. LaTeX	12
1.2. <i>Microsoft Excel</i>	12
1.3. <i>SolidWorks</i>	12
2. Estado de la cuestión	15
2.1. Anatomía y fisiología del pie humano	15
2.1.1. Caracterización y anatomía del pie humano	15
2.1.2. Huesos del pie humano	18
2.1.3. Músculos del pie humano	19
2.1.4. Fisiología del pie humano: Las funciones estática y dinámica	20
2.2. Anatomía y fisiología del tobillo humano	20
2.2.1. Caracterización y anatomía del tobillo humano	20
2.2.2. Huesos del tobillo humano	21
2.2.3. Ligamentos y músculos del tobillo humano	21
2.2.4. Fisiología del tobillo humano. Los movimientos del pie	22
2.3. Las 4 fases de la marcha bípeda	24
2.4. Desarrollo y evolución de las prótesis de pierna y pie inclusive	25
2.4.1. El siglo XVI: Los orígenes	25
2.4.2. Del siglo XVII al siglo XIX: El desarrollo	26
2.4.3. Del siglo XIX a la actualidad: La evolución	28
2.5. Tipos de pies protésicos existentes en la actualidad	29
2.5.1. Pies protésicos básicos	29
2.5.2. Pies protésicos articulados	30
2.5.3. Pies de respuesta dinámica	31
2.6. Prótesis sociales	32
2.6.1. Proyecto <i>Ayúdame 3D</i>	32
2.6.2. <i>Million Waves Project</i>	33
3. Definición del trabajo	34
3.1. Objetivos	34
3.2. Metodología	35
3.3. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	36
4. Materiales protésicos	37
4.1. Aceros Aleados	37
4.2. Aleaciones de Titanio	39
4.2.1. Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	39
4.3. Aleaciones de Aluminio	40
4.3.1. 6061-T6	42

4.3.2.	7075-T6	42
4.4.	Termoplásticos	43
4.4.1.	Acrilonitrilo Butadieno Estireno	45
4.4.2.	Poliamida 6	46
4.5.	Elastómeros	46
4.5.1.	Caucho Butadieno Estireno	47
4.6.	Características y propiedades mecánicas de los materiales	48
5.	Diseño y desarrollo de las prótesis	49
5.1.	Prótesis 1	49
5.1.1.	Descripción	49
5.1.2.	Simulación	51
5.1.3.	Resultados	58
5.2.	Prótesis 2	61
5.2.1.	Descripción	61
5.2.2.	Simulación	62
5.2.3.	Resultados	69
5.3.	Prótesis 3	72
5.3.1.	Descripción	72
5.3.2.	Simulación	73
5.3.3.	Resultados	79
5.4.	Prótesis 4	82
5.4.1.	Descripción	82
5.4.2.	Simulación	84
5.4.3.	Resultados	90
5.5.	Prótesis 5(0)	93
5.5.1.	Descripción	93
5.5.2.	Simulación	94
5.5.3.	Resultados	100
5.6.	Prótesis 5(1)	103
5.6.1.	Descripción	103
5.6.2.	Simulación	104
5.6.3.	Resultados	110
5.7.	Prótesis 5(1)(2)	113
5.7.1.	Descripción	113
5.7.2.	Simulación	114
5.7.3.	Resultados	123
5.8.	Prótesis 5(2)	126
5.8.1.	Descripción	126
5.8.2.	Simulación	127
5.8.3.	Resultados	133
5.9.	Prótesis 5(2)(2)	136
5.9.1.	Descripción	136
5.9.2.	Simulación	137
5.9.3.	Resultados	146
6.	Resultados y conclusiones	149
6.1.	Resultados	149
6.2.	Conclusiones	168
6.2.1.	Líneas futuras	169

Bibliografía	170
DOCUMENTO II. PLANOS	1
1. Plano Prótesis 1	4
2. Plano Prótesis 2	5
3. Plano Prótesis 3	6
4. Plano Prótesis 4	7
5. Plano Prótesis 5(0)	8
6. Plano Prótesis 5(1)(2)	9
7. Plano Prótesis 5(1)	10
8. Plano Amortiguador Prótesis 5(1)	11
9. Plano Prótesis 5(2)(2)	12
10. Plano Prótesis 5(2)	13
11. Plano Amortiguador Prótesis 5(2)	14
DOCUMENTO III. ANEXOS	1
Anexo A: Objetivos de Desarrollo Sostenible	3
Anexo B: Presupuesto	5
Anexo C: Simulaciones <i>SolidWorks</i>	8

*Un poco de ciencia aleja de Dios,
pero mucha ciencia devuelve a Él.*

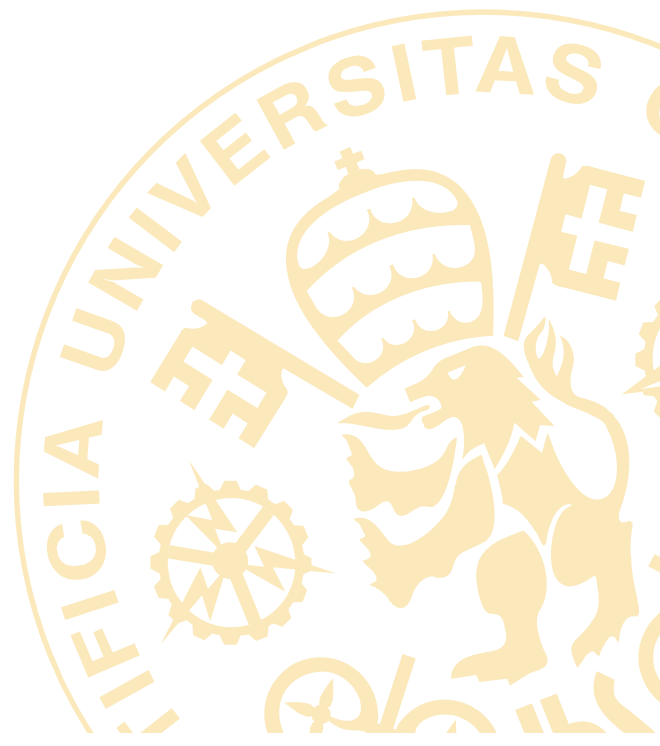
LOUIS PASTEUR

Agradecimientos

A mi madre, por guiarme desde Allí.
A mi padre, por estar siempre ahí.
A mi directora, por confiar en mí.
A mi novia, por darme lo mejor de sí.
A todos, por sacar lo mejor de mí.

DOCUMENTO I

MEMORIA



Índice

1. Descripción de las tecnologías	12
1.1. LaTeX	12
1.2. <i>Microsoft Excel</i>	12
1.3. <i>SolidWorks</i>	12
2. Estado de la cuestión	15
2.1. Anatomía y fisiología del pie humano	15
2.1.1. Caracterización y anatomía del pie humano	15
2.1.2. Huesos del pie humano	18
2.1.3. Músculos del pie humano	19
2.1.4. Fisiología del pie humano: Las funciones estática y dinámica	20
2.2. Anatomía y fisiología del tobillo humano	20
2.2.1. Caracterización y anatomía del tobillo humano	20
2.2.2. Huesos del tobillo humano	21
2.2.3. Ligamentos y músculos del tobillo humano	21
2.2.4. Fisiología del tobillo humano. Los movimientos del pie	22
2.3. Las 4 fases de la marcha bípeda	24
2.4. Desarrollo y evolución de las prótesis de pierna y pie inclusive	25
2.4.1. El siglo XVI: Los orígenes	25
2.4.2. Del siglo XVII al siglo XIX: El desarrollo	26
2.4.3. Del siglo XIX a la actualidad: La evolución	28
2.5. Tipos de pies protésicos existentes en la actualidad	29
2.5.1. Pies protésicos básicos	29
2.5.2. Pies protésicos articulados	30
2.5.3. Pies de respuesta dinámica	31
2.6. Prótesis sociales	32
2.6.1. Proyecto <i>Ayúdame 3D</i>	32
2.6.2. <i>Million Waves Project</i>	33
3. Definición del trabajo	34
3.1. Objetivos	34
3.2. Metodología	35
3.3. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	36
4. Materiales protésicos	37
4.1. Aceros Aleados	37
4.2. Aleaciones de Titanio	39
4.2.1. Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si	39
4.3. Aleaciones de Aluminio	40
4.3.1. 6061-T6	42
4.3.2. 7075-T6	42

4.4. Termoplásticos	43
4.4.1. Acrilonitrilo Butadieno Estireno	45
4.4.2. Poliamida 6	46
4.5. Elastómeros	46
4.5.1. Caucho Butadieno Estireno	47
4.6. Características y propiedades mecánicas de los materiales	48
5. Diseño y desarrollo de las prótesis	49
5.1. Prótesis 1	49
5.1.1. Descripción	49
5.1.2. Simulación	51
5.1.3. Resultados	58
5.2. Prótesis 2	61
5.2.1. Descripción	61
5.2.2. Simulación	62
5.2.3. Resultados	69
5.3. Prótesis 3	72
5.3.1. Descripción	72
5.3.2. Simulación	73
5.3.3. Resultados	79
5.4. Prótesis 4	82
5.4.1. Descripción	82
5.4.2. Simulación	84
5.4.3. Resultados	90
5.5. Prótesis 5(0)	93
5.5.1. Descripción	93
5.5.2. Simulación	94
5.5.3. Resultados	100
5.6. Prótesis 5(1)	103
5.6.1. Descripción	103
5.6.2. Simulación	104
5.6.3. Resultados	110
5.7. Prótesis 5(1)(2)	113
5.7.1. Descripción	113
5.7.2. Simulación	114
5.7.3. Resultados	123
5.8. Prótesis 5(2)	126
5.8.1. Descripción	126
5.8.2. Simulación	127
5.8.3. Resultados	133
5.9. Prótesis 5(2)(2)	136
5.9.1. Descripción	136
5.9.2. Simulación	137
5.9.3. Resultados	146
6. Resultados y conclusiones	149
6.1. Resultados	149
6.2. Conclusiones	168
6.2.1. Líneas futuras	169
Bibliografía	170

Índice de figuras

1.	Logotipo del programa <i>SolidWorks</i>	12
2.	Logotipo del paquete Simulations del programa <i>SolidWorks</i>	13
3.	Anatomía del pie humano.	16
4.	Arcos del pie humano.	17
5.	Partes y huesos del pie humano.	18
6.	Huesos del pie humano.	18
7.	Músculos del pie humano.	19
8.	Huesos de la articulación del tobillo humano.	21
9.	Ligamentos del tobillo humano.	21
10.	Principales músculos de la pierna, pie y tobillo humanos.	22
11.	Movimientos del pie humano.	23
12.	Fases de la marcha humana.	24
13.	Ambroise Paré y el diseño de su prótesis.	25
14.	Marqués de Anglesey y el diseño de su prótesis.	26
15.	Plano de la “Pierna Palmer”.	27
16.	Plano de la “Pierna Bly”.	27
17.	Plano de la “Pierna Parmlee”.	28
18.	Prototipo de aluminio de la “Pierna Desoutter”.	28
19.	Pie SACH.	30
20.	Pie articulado de eje sencillo.	31
21.	Pie articulado de eje múltiple.	31
22.	Pie de respuesta dinámica.	32
23.	Prótesis Ayúdame 3D.	32
24.	Million Waves Project.	33
25.	Objetivos relacionados con nuestro trabajo.	36
26.	Barras de acero aleado.	37
27.	Barras de Ti 6-2-2-2-2.	40
28.	Bloque de aleación de aluminio 6061-T6.	42
29.	Bloque de aleación de aluminio 7075-T6.	43
30.	<i>Pellets</i> de ABS para impresión 3D.	45
31.	<i>Pellets</i> de PA6 para impresión 3D.	46
32.	<i>Pellets</i> de caucho.	47
33.	Imagen Prótesis 1.	49
34.	Modelo 3D <i>SolidWorks</i> Prótesis 1.	50
35.	Asignación material Prótesis 1.	51
36.	Aplicación material Prótesis 1.	52
37.	Adición sujeción Prótesis 1.	52

38.	Aplicación sujeción Prótesis 1.	53
39.	Definición carga(s) externa(s) Prótesis 1.	53
40.	Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 1.	54
41.	Creación malla Prótesis 1.	54
42.	Configuración malla Prótesis 1.	55
43.	Malla Prótesis 1.	55
44.	Ejecución análisis Prótesis 1.	56
45.	Opción grandes desplazamientos solucionador Prótesis 1.	56
46.	Generación informe resultados Prótesis 1.	57
47.	Desplazamientos Prótesis 1.	58
48.	Deformaciones unitarias Prótesis 1.	58
49.	Tensiones de Von Mises Prótesis 1.	59
50.	Imagen Prótesis 2.	61
51.	Modelo 3D <i>SolidWorks</i> Prótesis 2.	62
52.	Asignación material Prótesis 2.	62
53.	Aplicación material Prótesis 2.	63
54.	Adición sujeción Prótesis 2.	63
55.	Aplicación sujeción Prótesis 2.	64
56.	Definición carga(s) externa(s) Prótesis 2.	64
57.	Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 2.	65
58.	Creación malla Prótesis 2.	65
59.	Configuración malla Prótesis 2.	66
60.	Malla Prótesis 2.	66
61.	Ejecución análisis Prótesis 2.	67
62.	Opción grandes desplazamientos solucionador Prótesis 2.	67
63.	Generación informe resultados Prótesis 2.	68
64.	Desplazamientos Prótesis 2.	69
65.	Deformaciones unitarias Prótesis 2.	69
66.	Tensiones de Von Mises Prótesis 2.	70
67.	Imagen Prótesis 3.	72
68.	Modelo 3D <i>SolidWorks</i> Prótesis 3.	73
69.	Asignación material Prótesis 3.	73
70.	Aplicación material Prótesis 3.	74
71.	Adición sujeción Prótesis 3.	74
72.	Aplicación sujeción Prótesis 3.	75
73.	Definición carga(s) externa(s) Prótesis 3.	75
74.	Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 3.	76
75.	Creación malla Prótesis 3.	76
76.	Configuración malla Prótesis 3.	77
77.	Malla Prótesis 3.	77
78.	Ejecución análisis Prótesis 3.	78
79.	Generación informe resultados Prótesis 3.	78
80.	Desplazamientos Prótesis 3.	79
81.	Deformaciones unitarias Prótesis 3.	79
82.	Tensiones de Von Mises Prótesis 3.	80
83.	Alzado modelo 3D base diseño Prótesis 4.	82
84.	Planta modelo 3D base diseño Prótesis 4.	82
85.	Modelo 3D <i>SolidWorks</i> Prótesis 4.	83
86.	Asignación material Prótesis 4.	84

87.	Aplicación material Prótesis 4.	85
88.	Adición sujeción Prótesis 4.	85
89.	Aplicación sujeción Prótesis 4.	86
90.	Definición carga(s) externa(s) Prótesis 4.	86
91.	Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 4.	87
92.	Creación malla Prótesis 4.	87
93.	Configuración malla Prótesis 4.	88
94.	Malla Prótesis 4.	88
95.	Ejecución análisis Prótesis 4.	89
96.	Generación informe resultados Prótesis 4.	89
97.	Desplazamientos Prótesis 4.	90
98.	Deformaciones unitarias Prótesis 4.	91
99.	Tensiones de Von Mises Prótesis 4.	91
100.	Imagen Prótesis 5(0).	93
101.	Asignación material Prótesis 5(0).	94
102.	Aplicación material Prótesis 5(0).	94
103.	Adición sujeción Prótesis 5(0).	95
104.	Aplicación sujeción Prótesis 5(0).	95
105.	Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(0).	96
106.	Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(0).	96
107.	Creación malla Prótesis 5(0).	97
108.	Configuración malla Prótesis 5(0).	97
109.	Malla Prótesis 5(0).	98
110.	Ejecución análisis Prótesis 5(0).	98
111.	Generación informe resultados Prótesis 5(0).	99
112.	Desplazamientos Prótesis 5(0).	100
113.	Deformaciones unitarias Prótesis 5(0).	100
114.	Tensiones de Von Mises Prótesis 5(0).	101
115.	Imagen Prótesis 5(1).	103
116.	Asignación material Prótesis 5(1).	104
117.	Aplicación material Prótesis 5(1).	104
118.	Adición sujeción Prótesis 5(1).	105
119.	Aplicación sujeción Prótesis 5(1).	105
120.	Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(1).	106
121.	Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(1).	106
122.	Creación malla Prótesis 5(1).	107
123.	Configuración malla Prótesis 5(1).	107
124.	Malla Prótesis 5(1).	108
125.	Ejecución análisis Prótesis 5(1).	108
126.	Generación informe resultados Prótesis 5(1).	109
127.	Desplazamientos Prótesis 5(1).	110
128.	Deformaciones unitarias Prótesis 5(1).	110
129.	Tensiones de Von Mises Prótesis 5(1).	111
130.	Imagen Prótesis 5(1)(2).	113
131.	Asignación material amortiguador Prótesis 5(1).	114
132.	Aplicación material amortiguador Prótesis 5(1).	114
133.	Asignación material Prótesis 5(1) ensamblaje Prótesis 5(1)(2).	115
134.	Aplicación material Prótesis 5(1) ensamblaje Prótesis 5(1)(2).	115
135.	Asesor de conexiones Prótesis 5(1)(2).	116

136. Selección tipo de conexión Prótesis 5(1)(2).	116
137. Selección tipo de adhesivo Prótesis 5(1)(2).	117
138. Asignación de conexiones Prótesis 5(1)(2).	117
139. Adición sujeción Prótesis 5(1)(2).	118
140. Aplicación sujeción Prótesis 5(1)(2).	118
141. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(1)(2).	119
142. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(1)(2).	119
143. Creación malla Prótesis 5(1)(2).	120
144. Configuración malla Prótesis 5(1)(2).	120
145. Malla Prótesis 5(1)(2).	121
146. Ejecución análisis Prótesis 5(1)(2).	121
147. Generación informe resultados Prótesis 5(1)(2).	122
148. Desplazamientos Prótesis 5(1)(2).	123
149. Deformaciones unitarias Prótesis 5(1)(2).	123
150. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(1)(2).	124
151. Imagen Prótesis 5(2).	126
152. Asignación material Prótesis 5(2).	127
153. Aplicación material Prótesis 5(2).	127
154. Adición sujeción Prótesis 5(2).	128
155. Aplicación sujeción Prótesis 5(2).	128
156. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(2).	129
157. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(2).	129
158. Creación malla Prótesis 5(2).	130
159. Configuración malla Prótesis 5(2).	130
160. Malla Prótesis 5(2).	131
161. Ejecución análisis Prótesis 5(2).	131
162. Generación informe resultados Prótesis 5(2).	132
163. Desplazamientos Prótesis 5(2).	133
164. Deformaciones unitarias Prótesis 5(2).	133
165. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(2).	134
166. Imagen Prótesis 5(2)(2).	136
167. Asignación material amortiguador Prótesis 5(2).	137
168. Aplicación material amortiguador Prótesis 5(2).	137
169. Asignación material Prótesis 5(2) ensamblaje Prótesis 5(2)(2).	138
170. Aplicación material Prótesis 5(2) ensamblaje Prótesis 5(2)(2).	138
171. Asesor de conexiones Prótesis 5(2)(2).	139
172. Selección tipo de conexión Prótesis 5(2)(2).	139
173. Selección tipo de adhesivo Prótesis 5(2)(2).	140
174. Asignación de conexiones Prótesis 5(2)(2).	140
175. Adición sujeción Prótesis 5(2)(2).	141
176. Aplicación sujeción Prótesis 5(2)(2).	141
177. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(2)(2).	142
178. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(2)(2).	142
179. Creación malla Prótesis 5(2)(2).	143
180. Configuración malla Prótesis 5(2)(2).	143
181. Malla Prótesis 5(2)(2).	144
182. Ejecución análisis Prótesis 5(2)(2).	144
183. Generación informe resultados Prótesis 5(2)(2).	145
184. Desplazamientos Prótesis 5(2)(2).	146

185. Deformaciones unitarias Prótesis 5(2)(2).	147
186. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(2)(2).	147
187. Coste material Prótesis 1.	150
188. Masa Prótesis 1.	151
189. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 1.	151
190. Coste material Prótesis 2.	152
191. Masa Prótesis 2.	152
192. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 2.	153
193. Coste material Prótesis 3.	153
194. Masa Prótesis 3.	154
195. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 3.	154
196. Coste material Prótesis 4.	155
197. Masa Prótesis 4.	155
198. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 4.	156
199. Coste material Prótesis 5(0).	156
200. Masa Prótesis 5(0).	157
201. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(0).	158
202. Coste material Prótesis 5(1).	158
203. Masa Prótesis 5(1).	159
204. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(1).	159
205. Coste material Prótesis 5(1)(2).	160
206. Masa Prótesis 5(1)(2).	160
207. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(1)(2).	161
208. Coste material Prótesis 5(2).	161
209. Masa Prótesis 5(2).	162
210. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(2).	162
211. Coste material Prótesis 5(2)(2).	163
212. Masa Prótesis 5(2)(2).	163
213. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(2)(2).	164
214. Comparativa prótesis aleación de aluminio 6061-T6.	164
215. Comparativa prótesis aleación de aluminio 7075-T6.	165
216. Comparativa prótesis ABS.	166
217. Comparativa prótesis PA6.	167

Índice de tablas

1.	Características y propiedades mecánicas de los materiales.	48
2.	Resultados simulaciones Prótesis 1.	60
3.	Resultados simulaciones Prótesis 2.	70
4.	Resultados simulaciones Prótesis 3.	80
5.	Resultados simulaciones Prótesis 4.	92
6.	Resultados simulaciones Prótesis 5(0).	101
7.	Resultados simulaciones Prótesis 5(1).	112
8.	Resultados simulaciones Prótesis 5(1)(2).	124
9.	Resultados simulaciones Prótesis 5(2).	135
10.	Resultados simulaciones Prótesis 5(2)(2).	148

Acrónimos

3D	3 Dimensiones o tridimensional, del inglés <i>3 Dimensions o three-dimensional</i>
ABS	Acrilonitrilo Butadieno Estireno, del inglés <i>Acrylonitrile Butadiene Styrene</i>
CAD	Diseño Asistido por Computadora, del inglés <i>Computer-Aided Design</i>
CNC	Control Numérico por Computadora, del inglés <i>Computer Numerical Control</i>
DMLS	Sinterización Directa por Láser de Metal, del inglés <i>Direct Metal Laser Sintering</i>
FDM	Modelado por Deposición Fundida, del inglés <i>Fused Deposition Modeling</i>
HDPE	Polietileno de Alta Densidad, del inglés <i>High Density PolyEthylene</i>
ICAI	Instituto Católico de Artes e Industrias
LDPE	Polietileno de Baja Densidad, del inglés <i>Low Density PolyEthylene</i>
MJF	Fusión por Chorro Múltiple, del inglés <i>Multi Jet Fusion</i>
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
PA6	Poliamida 6, del inglés <i>PolyAmide 6</i>
PB	Polibutileno, del inglés <i>PolyButylene</i>
PET	Tereftalato de Polietileno, del inglés <i>PolyEthylene Terephthalate</i>
PMMA	Polimetil-Metacrilato, del inglés <i>PolyMethyl-MethAcrylate</i>
PP	Polipropileno, del inglés <i>PolyPropylene</i>
PS	Poliestireno, del inglés <i>PolyStyrene</i>
PTFE	Politetrafluoroetileno, del inglés <i>PolyTetraFluoroEthylene</i>
PVC	Policloruro de Vinilo, del inglés <i>PolyVinyl Chloride</i>
RAE	Real Academia Española
SACH	Tobillo Firme con Talón Almohadillado, del inglés <i>Solid Ankle Cushion Heel</i>
SBR	Caucho Estireno Butadieno, del inglés <i>Styrene Butadiene Rubber</i>
TFG	Trabajo Fin de Grado

Capítulo 1

Descripción de las tecnologías

ANTES de empezar a desarrollar propiamente el tema de nuestro trabajo queremos introducir en este capítulo una breve explicación de los tres programas informáticos que hemos usado: \LaTeX , *Microsoft Excel* y *SolidWorks*.

1.1. \LaTeX

\LaTeX es un programa de composición de textos, orientado a la creación de documentos escritos que presenten una alta calidad tipográfica. Por sus características y posibilidades, se usa para escribir artículos y libros científicos que incluyen, entre otros elementos, expresiones matemáticas.

En nuestro caso lo hemos usado para componer el texto del trabajo. Nos hemos decantado por usar \LaTeX en vez de cualquier otro programa de composición de texto, como *Microsoft Word*, ya que \LaTeX funciona muy bien a la hora de hacer referencias y crear índices de cualquier tipo.

1.2. *Microsoft Excel*

Microsoft Excel es un programa de hojas de cálculo y una herramienta avanzada de análisis y visualización de datos. Por todos es conocida su gran utilidad a la hora de hacer grandes tablas y gráficas. Por ello, nosotros lo hemos usado para hacer comparaciones entre los distintos materiales y entre las distintas prótesis, véase por ejemplo las Tablas del Capítulo 4.

1.3. *SolidWorks*

SolidWorks es un *software CAD* para modelado mecánico en 2D y 3D. El programa permite diseñar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción.



Figura 1. Logotipo del programa *SolidWorks*.

Además, el *software* incluye varios módulos con los que se pueden configurar entornos virtuales del mundo real para probar los diseños de los productos antes de fabricarlos. También se pueden realizar pruebas con una amplia variedad de parámetros (durabilidad, respuesta dinámica y estática, movimiento del ensamblaje, transferencia de calor, dinámica de fluidos y moldeo de plásticos por inyección) durante el proceso de diseño.

En nuestro caso este programa lo hemos usado en su versión estándar para diseñar y hacer los planos de las distintas prótesis. Además hemos utilizado el paquete Simulation *SolidWorks* análisis estático lineal para simular las prótesis en los distintos materiales.

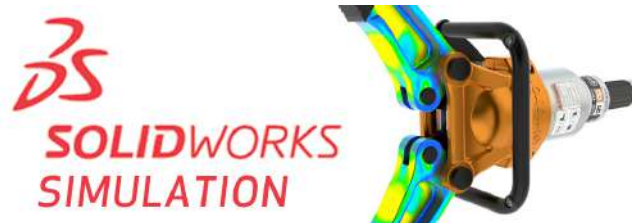


Figura 2. Logotipo del paquete Simulations del programa *SolidWorks*.

Cuando se aplican cargas a un sólido, el sólido se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través de él. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones del sólido a un estado de equilibrio. Así el análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas. Este estudio se realiza bajo las siguientes suposiciones:

Suposición estática. Todas las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. A continuación, las cargas permanecen constantes (sin variación en el tiempo). Esta suposición nos permite ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguación debido a pequeñas aceleraciones y velocidades poco significativas. Las cargas que varían con el tiempo y que inducen fuerzas inerciales y/o de amortiguación significativas pueden garantizar el análisis dinámico. Las cargas dinámicas cambian con el tiempo y en muchos casos inducen fuerzas inerciales y de amortiguación considerables que no pueden ser despreciadas.

Es importante verificar la suposición estática ya que una carga dinámica puede generar tensiones de hasta $1/(2x)$ veces las tensiones generadas por las cargas estáticas de la misma magnitud, donde x es la tasa de amortiguación viscosa. En el caso de una estructura ligeramente amortiguada con un 5 % de amortiguación, las tensiones dinámicas son 10 veces mayores que las tensiones estáticas. El peor de los escenarios de casos se presenta en la resonancia, véase ayudasolid.

Se puede utilizar el análisis estático para calcular la respuesta estructural de los sólidos que giran a velocidades constantes o se trasladan con aceleraciones constantes, ya que las cargas generadas no cambian con el tiempo.

Los estudios dinámicos lineales o no lineales se utilizan para calcular la respuesta estructural provocada por cargas dinámicas. Las cargas dinámicas incluyen cargas oscilatorias, impactos, colisiones y cargas aleatorias.

Suposición de linealidad. En este caso la relación entre cargas y respuestas inducidas es lineal. Por ejemplo, si duplica las cargas, la respuesta del modelo (desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones) también se duplica. Esta suposición se puede realizar si: todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hook, esto es, la tensión es directamente proporcional a la deformación unitaria, los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para ignorar el cambio en la rigidez causado por la carga y también si las condiciones de contorno no varían durante la aplicación de las cargas. Las cargas deben ser

constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución. No deben cambiar mientras se deforma el modelo.

En nuestro trabajo empezamos haciendo análisis estáticos con el módulo de SimulationXpress que es una versión reducida del paquete Simulation *SolidWorks*, pero tuvimos que cambiar al paquete completo porque SimulationXpress no trabaja bien con materiales plásticos por tener una estructura amorfa.

Capítulo 2

Estado de la cuestión

EN este capítulo pretendemos hacer un primer estudio sobre el campo de las prótesis de pie. Así comenzaremos analizando, desde el punto de vista médico, cómo es y cómo funciona el pie humano. También haremos una revisión histórica sobre la evolución de las prótesis de pie desde sus orígenes hasta la actualidad y terminaremos presentando los principales modelos de prótesis que hay actualmente en el mercado.

Por otra parte, como deseamos que nuestro proyecto tenga un fin social hemos añadido una última sección en la que hacemos un estudio sobre los proyectos sociales que se realizan hoy en día para diseñar y llevar prótesis a las personas sin recursos.

2.1. Anatomía y fisiología del pie humano

Empecemos nuestro estudio intentando ver qué respuestas nos da la Medicina a preguntas tan simples como: ¿qué es el pie humano?, ¿para qué sirve?, ¿cómo funciona?, ¿qué componentes lo forman?, ¿cómo caminamos?,...

2.1.1. Caracterización y anatomía del pie humano

De acuerdo con la RAE, se define el pie como la porción terminal de la extremidad de cada uno de los dos miembros inferiores del cuerpo humano. (véase [DRAE19]). Se trata, por tanto, de la estructura anatómica que soporta el peso del cuerpo humano y permite la locomoción bípeda, haciendo viable la posición vertical así como la independencia de los miembros superiores. En su concepto, constituye la bisagra del resto del cuerpo humano con el suelo, si bien es cierto que como estructura inferior a menudo resulta ser infravalorado pese a su vital importancia. Desde el punto de vista anatómico, el pie humano, junto con el tobillo, constituye una de las estructuras mecánicas más complejas del cuerpo humano, conteniendo 26 huesos, 33 articulaciones y más de 100 ligamentos, músculos y tendones (véase Figura 3). Esta complejidad crea uno de los grandes retos con el que nos encontramos a la hora de diseñar una prótesis del pie.

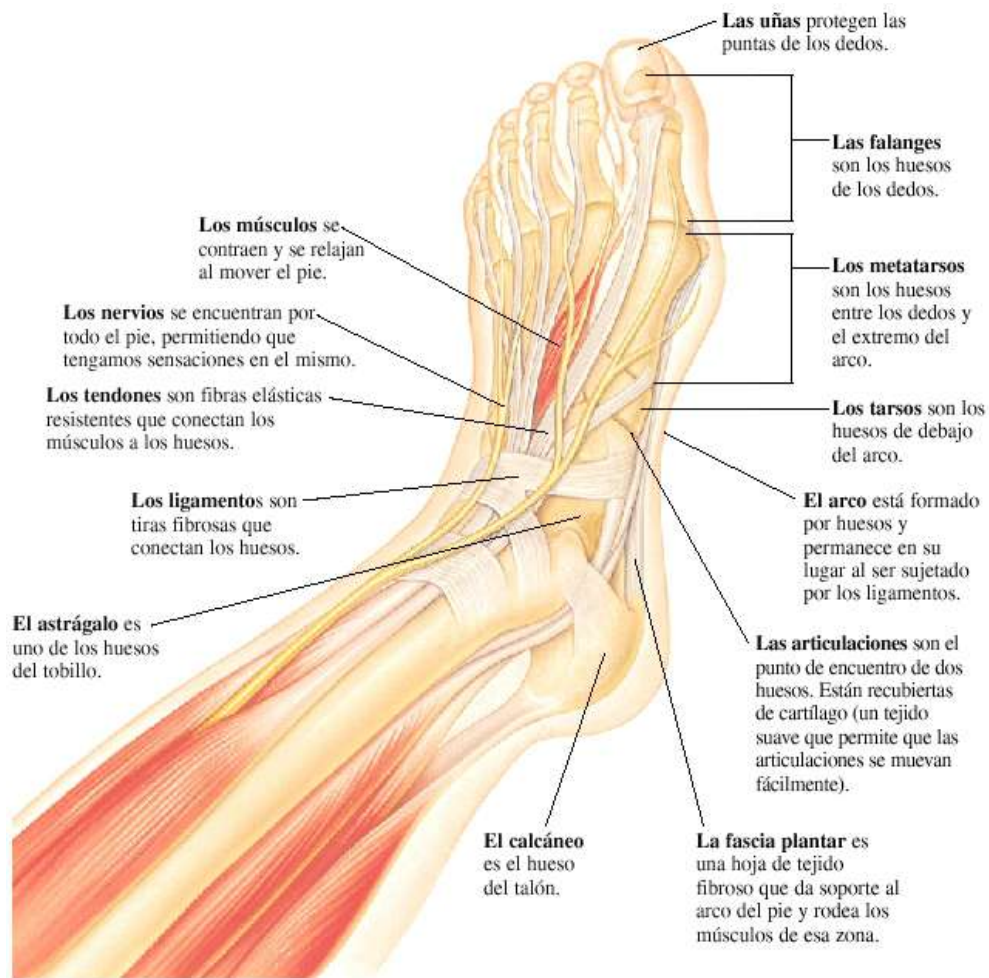


Figura 3. Anatomía del pie humano, [PATI19].

El pie es lo que nos permite desplazarnos con libertad, interactuar con nuestro medio,? Crecemos gracias a los sitios a donde nuestros pies nos llevan. Es más, la forma de nuestros pies nos ha permitido evolucionar: el ser humano es distinto del resto de los animales, ya que gracias a la posición que adoptamos erguida dejamos de ver al suelo y ampliamos nuestro horizonte, dándonos la ventaja de tener 2 extremidades libres (las manos) para manipular objetos y modificar hasta nuestro cerebro.

La parte superior o dorsal del pie se llama empeine y la inferior planta. El pie se mueve en correspondencia a la pierna con el auxilio de músculos extensores y flexores. Existen, además, músculos elevadores que hacen girar el pie hacia fuera o hacia dentro. Además, está formado por tres arcos que constituyen una bóveda, dos arcos longitudinales y un arco transversal que están mantenidos por las formas entrelazadas de los huesos del pie, los ligamentos y los músculos, véase Figura 4. La ligera movilidad de los arcos cuando el peso se aplica y se retira del pie hace que el caminar y el correr sean más económicos en términos de energía. Esta forma de nuestro pie con arcos, a pesar de que no nos damos cuenta, determina hasta nuestra postura: la forma en que se colocan nuestras rodillas, la forma en que se ubican nuestras caderas, hasta la forma en que tenemos la espalda (véase [ROUV05]).

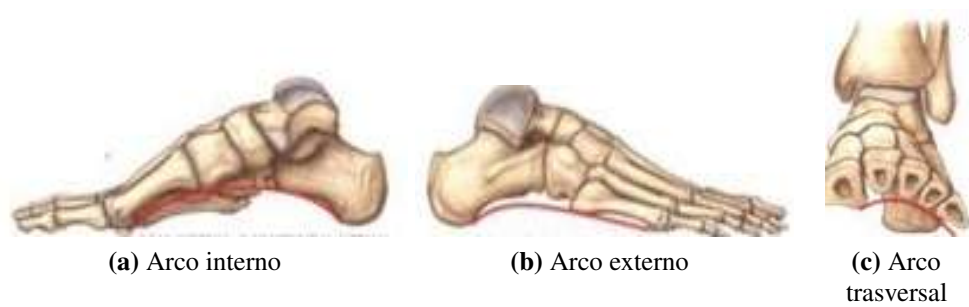


Figura 4. Arcos del pie humano, [FISI19].

Los arcos del pie están diseñados para cumplir varias funciones como la de amortiguación, estabilidad, distribución de la carga, ... En primer lugar, los arcos permiten que exista el espacio suficiente para que haya tejidos blandos, tejidos necesarios para amortiguar los impactos a los que sometemos a nuestros pies. Por otro lado, un arco permite una estabilidad mucho mayor a la hora de ponernos de pie, caminar o correr, haciendo estos movimientos lo más regulares, armónicos y equilibrados posibles. Otra de función de los arcos es la de hacer que se distribuya uniformemente la carga de nuestro propio cuerpo, de manera que podamos mantenernos de forma erguida. También, representan estructuras a modo de resorte para músculos, fascias y ligamentos. Por último lugar, pero no por ello menos importante, los arcos dan una forma perfecta al pie para que pueda adaptarse a todo tipo de terrenos y no perder eficiencia a la hora de movernos sobre las distintas superficies en nuestro planeta. Ya sea sobre roca, césped, arena, pavimento,... (véase [FION19])

En sentido longitudinal, el pie humano se puede dividir en tres partes bien diferenciadas: el antepié, la parte media y el retropié (véase Figura 5). Además, la parte superior o dorsal del pie se denomina empeine, mientras que la parte inferior recibe el nombre de planta. El antepié está compuesto por los cinco metatarsianos que forman el metatarso y las falanges del pie, de modo que el dedo pulgar lo componen dos falanges, proximal y distal, mientras que el resto de los dedos los forman tres falanges. Las articulaciones entre las diferentes falanges reciben el nombre de interfalángicas y las que existen entre el metatarso y las falanges se denominan metatarsofalángicas, desarrollando éstas una función dinámica (véase Figura 5). La parte media está formada por cinco huesos irregulares, cuboides, navicular, y tres huesos cuneiformes, los cuales constituyen los arcos del pie, cuya función es la de amortiguar la pisada. Está conectada con el antepié y el retropié mediante la fascia plantar y varios músculos, desempeñando así una función rítmica, ya que los huesos que la constituyen actúan de manera sincrónica (véase Figura 5). El retropié está formado por el astrágalo, con cuya parte superior se enlazan la tibia y el peroné para conformar el tobillo, y el calcáneo o talón, que dotan al pie de su función estabilizadora (véase Figura 5).

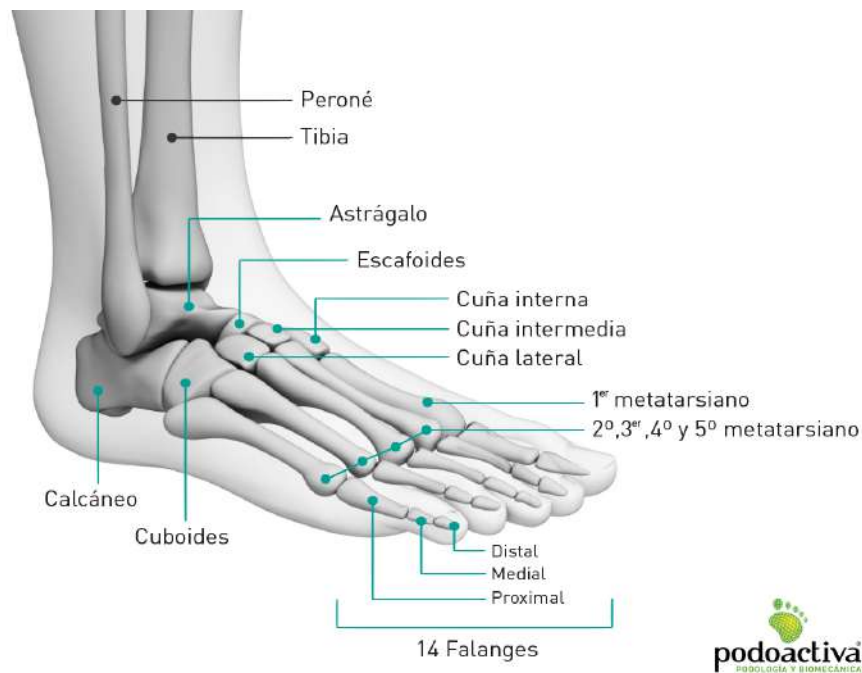


Figura 5. Partes y huesos del pie humano, [PODO19].

2.1.2. Huesos del pie humano

Los huesos del pie no se disponen en un plano horizontal, sino que forman unos arcos longitudinales y transversales respecto del suelo. El pie humano está conformado por tres arcos que constituyen una bóveda: dos arcos longitudinales y un arco transversal que son mantenidos por las formas entrelazadas de los huesos del pie, los ligamentos y los músculos. El arco interno formado por astrágalo, escafoides, primer cuneiforme, primer metatarsiano y falange del primer dedo es el más largo y alto, mientras que el arco externo está compuesto por calcáneo, cuboides, quinto metatarsiano y falange del quinto dedo, y tiene una longitud y altura menor a las del arco interno. Además de los arcos interno y externo se haya el arco anterior, cuyos puntos de apoyo son la cabeza del primer y quinto metatarsiano (véase Figura 6).

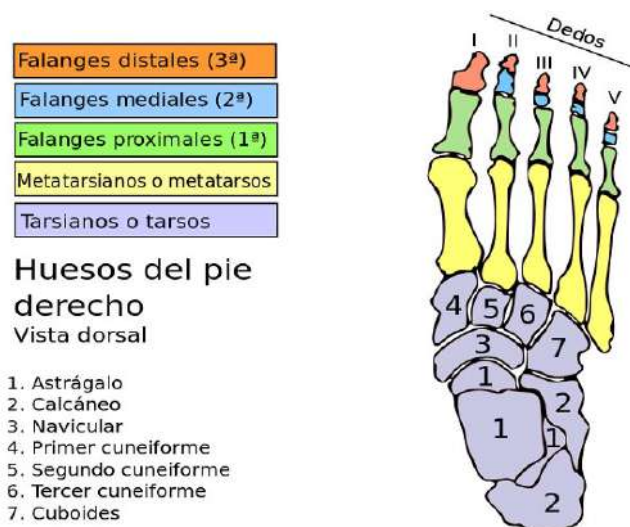


Figura 6. Huesos del pie humano, [VIDA19].

Asimismo, la estructura ósea del pie se subdivide también en tres partes: las falanges, el metatarso y el tarso (véase Figura 6 y [VIDA19]). Las falanges son los catorce huesos que conforman el esqueleto de los cinco dedos del pie, habiendo tres en cada dedo excepto en el dedo pulgar que lo forman sólo dos falanges. Dichas falanges se conocen con los nombres de primera o proximal, segunda o media y tercera o distal/ungueal (véase Figura 6). El tarso lo forman siete huesos, denominados tarsianos, dispuestos en dos hileras, de manera que el astrágalo y el calcáneo se encuentran en la primera de ellas, y el escafoides o navicular, el cuboides y los tres huesos cuneiformes, también conocidos como cuñas (primero o medial, segundo o intermedio y tercero o lateral) se hayan en la segunda hilera (véase Figura 6).

El metatarso consta de cinco huesos largos conocidos como metatarsianos, que se disponen de dentro afuera con los nombres de primero, segundo, tercero, cuarto y quinto, enumerados desde la cara interna o medial del pie (véase Figura 6).

2.1.3. Músculos del pie humano

Los músculos que actúan sobre el pie se clasifican en músculos extrínsecos, aquellos que se originan en la cara anterior, posterior o lateral de la pierna, y en músculos intrínsecos, aquellos que se originan en la cara dorsal o plantar del pie (véase Figura 7).

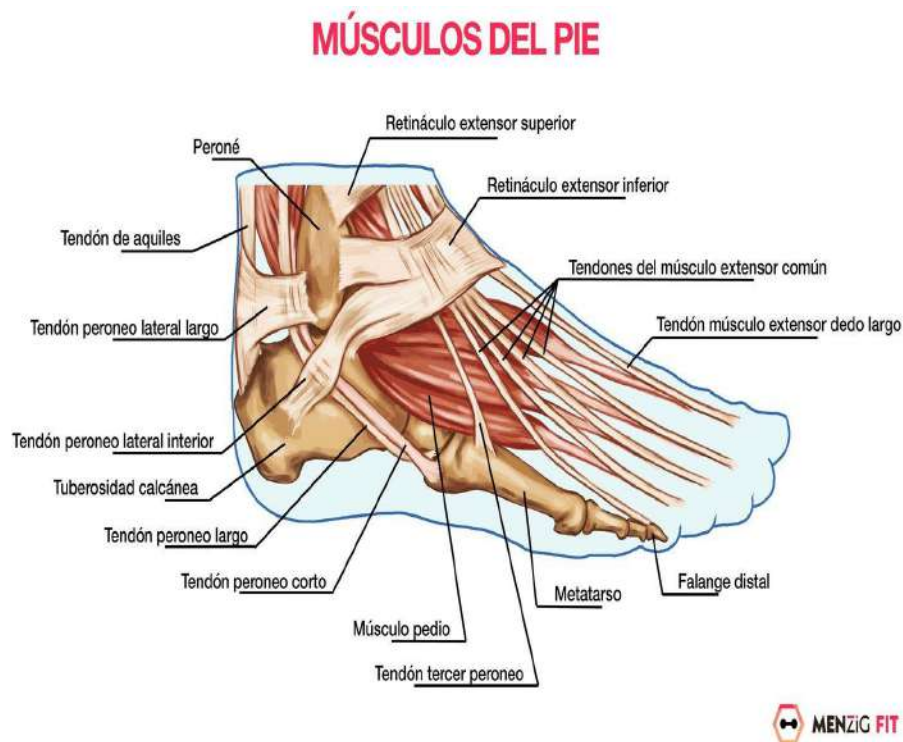


Figura 7. Músculos del pie humano, [UNPR19].

Así el pie se mueve en correspondencia a la pierna con la ayuda de músculos extensores y flexores. Los primeros, que constituyen la pantorrilla, se insertan en la extremidad posterior del calcáneo por medio del tendón de Aquiles. Los segundos están situados en la parte delantera de la pierna. También existen músculos elevadores que hacen girar el pie hacia fuera o hacia dentro (véase Figura 7).

2.1.4. Fisiología del pie humano: Las funciones estática y dinámica

Desde una perspectiva fisiológica, el pie humano cumple al mismo tiempo sendas funciones estática y dinámica, de modo que la función estática garantiza plasticidad y estabilidad/firmeza, estando la función dinámica estrechamente relacionada con el proceso de la marcha, que a su vez consta, desde un punto de vista energético, de las fases de recepción y propulsión.

En lo que a la función estática se refiere, la plasticidad se define como la necesidad de adaptación del pie al relieve del suelo para que éste pueda amoldarse a una superficie desigual o no horizontal, mientras que la estabilidad o firmeza tiene que ver con la calidad que debe conferir el pie a su estabilización, una vez se apoya éste en el suelo de manera suficiente, para mantener el apoyo anteriormente establecido.

En cuanto a la función dinámica, la recepción se define como la capacidad del pie para responder a la amortiguación del suelo cuando éste llega a apoyarse; en contrapartida, la propulsión es el proceso de restitución de la energía acumulada en el momento de la recepción o de una determinada aceleración mediante un impulso motriz.

2.2. Anatomía y fisiología del tobillo humano

2.2.1. Caracterización y anatomía del tobillo humano

Según la RAE, se define el tobillo como la articulación del cuerpo humano en donde se une el pie y la pierna. El tobillo humano se clasifica como una articulación sinovial (su superficie interna está tapizada por una membrana sinovial, además de albergar una cavidad llena de líquido sinovial) elipsoidal o condiloidea (se forma donde dos huesos se encuentran unidos de forma irregular, siendo uno de ellos cóncavo y el otro convexo) y diartrosis (que permite una gran libertad de movimiento, presentando una gran movilidad).

La articulación del tobillo o supra-astragalina se encuentra altamente coaptada, es decir, todos sus componentes están muy unidos entre sí, de manera que, a pesar de ser independientes unos de otros, éstos logran funcionar como si de una sola estructura se tratase gracias a la mortaja tibioperoneoastragalina y a la red de ligamentos que la envuelven.

El tobillo humano constituye una unidad funcional en sí misma integrada a su vez por dos articulaciones morfológicamente independientes: la articulación tibioperonea inferior y la articulación tibioperoneoastragalina (véase Figura 8).

La articulación tibioperoneoastragalina es la principal de las dos que conforman el tobillo. Pertenece al género de las articulaciones sinoviales en polea o trocleares.. Está formada por las extremidades distales de los huesos de la pierna que constituyen la mortaja tibioperonea, la cual se articula con el hueso astrágalo del pie. Su cometido es poner en contacto los segmentos inferiores de la tibia y el peroné, la cara inferior del maléolo tibial y la cara interna del maléolo peroneo, con la cara superior del astrágalo (véase Figura 8).

La articulación tibioperonea inferior tiene como cometido poner en contacto los segmentos inferiores de la tibia y el peroné. Se encuentra reforzada por dos ligamentos, uno anterior y otro posterior. Se trata de una articulación de gran relevancia funcional, puesto que permite cierto grado de separación entre la tibia y el peroné durante los movimientos de flexión y extensión del pie, al mismo tiempo que hace posible el movimiento de rotación del peroné (véase Figura 8).

Existe, además, una tercera articulación de menor relevancia denominada articulación subastragalina. Ésta, a su vez, consta de otras dos articulaciones: las astragalocalcáneas anterior y posterior.

2.2.2. Huesos del tobillo humano

El tobillo humano está constituido por tres huesos: la tibia y el peroné, que pertenecen a la pierna, y el astrágalo, que forma parte del pie. La tibia y el peroné forman conjuntamente en su parte inferior una cúpula o mortaja articular sobre la que encaja la tróclea o polea del astrágalo (véase Figura 8).

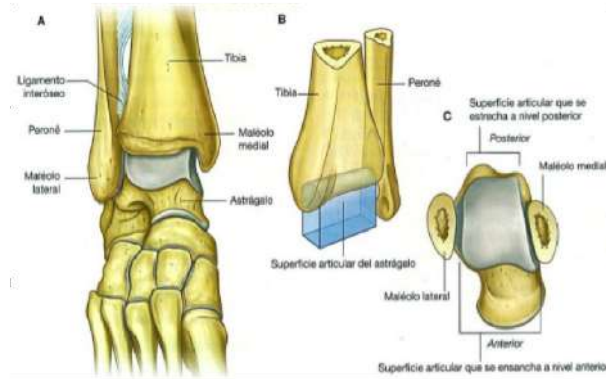


Figura 8. Huesos de la articulación del tobillo humano, [WIKI19].

Dicha estructura ósea está recubierta por una cápsula fibrosa, esto es, un conjunto de ligamentos, músculos y tendones que contribuyen a la solidez de la articulación, haciendo posible el movimiento de la misma.

2.2.3. Ligamentos y músculos del tobillo humano

Dos sistemas de ligamentos integran la articulación del tobillo. El primero está compuesto por los ligamentos laterales externo e interno; el segundo, por los ligamentos de la sindesmosis o ligamentos tibioperoneos (véase Figura 9).

Mientras que el ligamento lateral interno o ligamento deltoideo se encuentra en la zona interna del tobillo y su cometido es unir los huesos astrágalo (ligamento tibioastragalino) y calcáneo (ligamento tibiocalcáneo) con la tibia, el ligamento lateral externo se localiza en la zona lateral de la articulación del tobillo y su función es unir los huesos astrágalo (ligamento peroneoastragalino, anterior y posterior) y calcáneo (ligamento calcáneooperoneo) con el peroné (véase Figura 9).

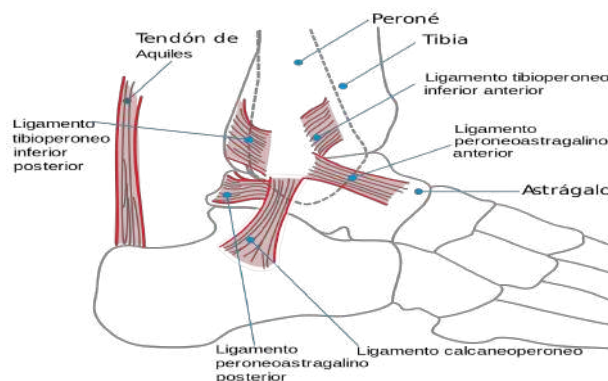


Figura 9. Ligamentos del tobillo humano, [WIKI19].

Los ligamentos de la sindesmosis son dos: el ligamento tibioperoneo anterior y el ligamento tibioperoneo posterior. Mantienen la unión entre la tibia y el peroné en la parte extrema de ambos huesos a la vez que procuran un cierre adecuado sobre la mortaja (véase Figura 9).

Otros ligamentos importantes son el peroneoastagalino, anterior y posterior, y el calcáneo-peroneo (véase Figura 9).

Los músculos que movilizan la articulación del tobillo pueden dividirse en dos grupos: aquéllos que realizan la flexión dorsal del pie y los que actúan produciendo el movimiento contrario, es decir la flexión plantar. Mientras que en el movimiento de flexión dorsal intervienen cuatro músculos (tibial anterior, músculo extensor largo de los dedos, músculo extensor largo del dedo gordo y músculo peroneo anterior), en el movimiento de flexión plantar están implicados hasta siete músculos (sóleo, músculo gastrocnemio o ?gemelos?, músculo peroneo lateral corto, músculo peroneo lateral largo, músculo tibial posterior, músculo flexor largo de los dedos y músculo flexor largo del dedo pulgar) (véase Figura 10).

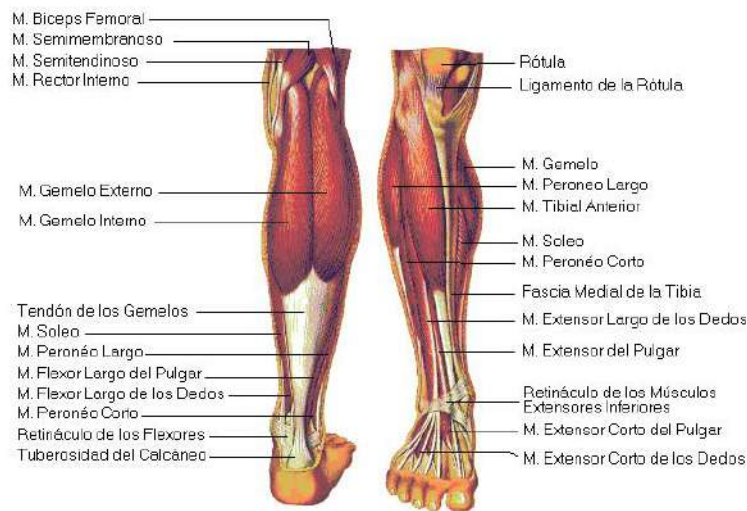


Figura 10. Principales músculos de la pierna, pie y tobillo humanos, [FORU19].

Para más información sobre la anatomía del pie y del tobillo se puede consultar [ROUV05, DRAK10, JIME91].

2.2.4. Fisiología del tobillo humano. Los movimientos del pie

La rama de la Medicina que estudia el conjunto de movimientos factibles del pie y del tobillo recibe el nombre de biomecánica del pie.

La articulación del tobillo permite que el pie realice ocho tipos de movimientos diferentes, simétricos con respecto a unos determinados planos, a la vez que opuestos entre sí dos a dos: la abducción y la aducción, la pronación y la supinación, la eversión y la inversión, la flexión dorsal y la flexión plantar (véase Figura 11).

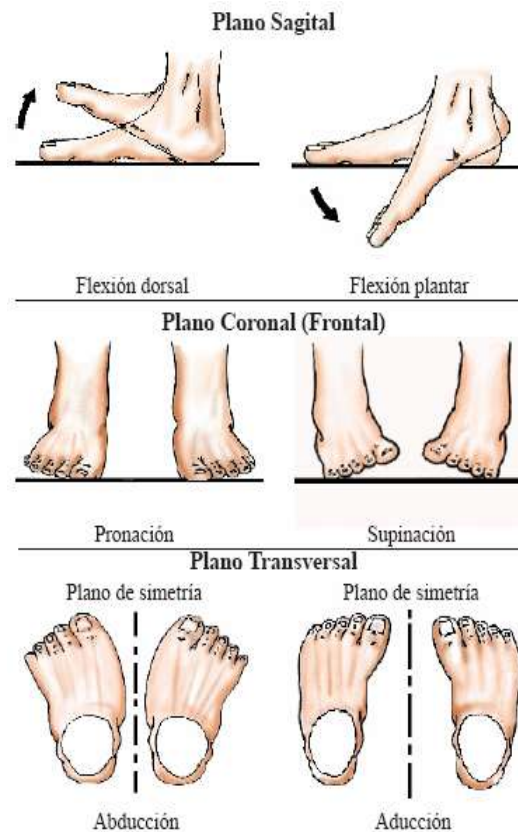


Figura 11. Movimientos del pie humano, [MARI13].

La abducción consiste en el movimiento del antepié hacia fuera, a la vez que se mete el retropié hacia dentro; en cambio, la aducción es el movimiento del retropié hacia fuera, a la vez que se mete el antepié hacia dentro (véase Figura 11).

Por otro lado, la pronación implica el movimiento de la suela del pie hacia fuera, mientras que la supinación conlleva el movimiento de la misma hacia dentro (véase Figura 11).

La eversión es aquel movimiento en el que la superficie plantar del pie gira lateralmente hacia fuera alejándose de la línea media del cuerpo, estando la amplitud del mismo comprendida entre 0° y 25° y combinando así los movimiento de abducción y pronación descritos con anterioridad; por el contrario, la inversión es aquél movimiento durante el cual la superficie plantar del pie gira lateralmente hacia dentro alrededor del eje de Henke acercándose a la línea media del cuerpo, estando la amplitud del mismo comprendida entre 0° y 35° y combinando así los movimiento de aducción y supinación descritos con anterioridad (véase Figura 11).

La flexión dorsal o dorsiflexión es el movimiento debido al cual se reduce el ángulo entre el pie y la pierna, estando la amplitud del mismo comprendida entre 0° y 20° , durante el cual los dedos del pie se acercan a la espinilla; en contraposición, la flexión plantar o plantiflexión es el movimiento debido al cual aumenta el ángulo entre el pie y la pierna, estando la amplitud del mismo comprendida entre 0° y 45° , alejándose así los dedos del pie de la espinilla (véase Figura 11).

La mayor parte de los movimientos en la articulación del tobillo ocurren cuando existe apoyo total del pie, durante la marcha. La amplitud del movimiento varía entre un individuo y otro, dependiendo de la configuración ósea, la flexibilidad de los músculos y la estabilidad de los ligamentos anteriormente descritos del individuo en cuestión.

2.3. Las 4 fases de la marcha bípeda

Es importante entender que las extremidades inferiores están destinadas a las labores vitales de soporte del peso y deambulación como parte integral del sistema locomotor humano, de ahí que la marcha bípeda o bipedestación proporciona a la especie humana ventajas evolutivas sobre el resto de especies. Gracias a la marcha bípeda el ser humano ha obtenido una elevación relativa de los ojos y de otros órganos sensoriales, así como la libertad de las extremidades superiores que lo han hecho evolucionar y desarrollar determinadas habilidades manuales.

Durante la marcha bípeda, el apoyo del pie va avanzando en dirección anterior, desde el momento en el que el talón golpea en el suelo, hasta que los dedos se despegan. En concreto, la bipedestación simétrica se caracteriza por el hecho de que el peso de cuerpo se haya repartido por igual sobre los dos pies, por lo que para poder levantar un pie, tomado como referencia y denominado como tal, es necesario llevar todo el peso del cuerpo sobre el pie contrario a éste.

El ciclo normal de la marcha consta principalmente de dos fases: la fase de apoyo o soporte, durante la cual el pie de referencia se encuentra en contacto con el suelo, y la fase de balanceo u oscilación, durante la cual el pie de referencia se encuentra suspendido en el aire, véase [PADI16].

La fase de apoyo o soporte se subdivide a su vez en otras tres subfases: la fase de contacto inicial, la fase de apoyo medio y la fase de prebalanceo o propulsión, constituyendo así el 60 % del ciclo, aproximadamente, mientras que la fase de balanceo representa el 40 % restante (véase Figura 12).

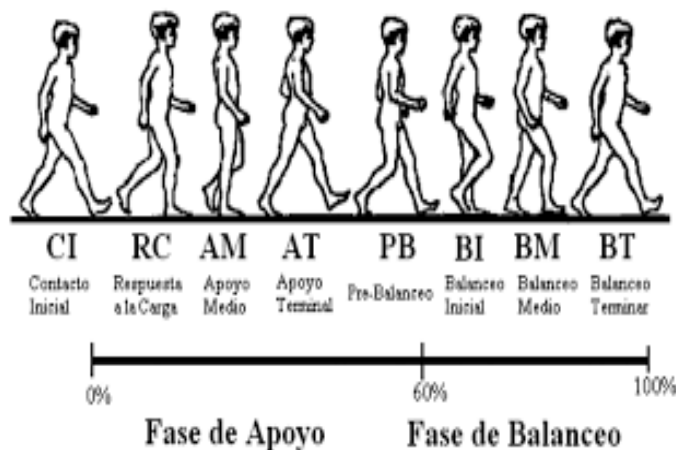


Figura 12. Fases de la marcha humana, [PADI16].

La fase de contacto inicial comienza con el apoyo del hueso calcáneo en el suelo. A continuación, tiene lugar la pronación del pie para absorber el choque lo más elásticamente posible. Al caminar o correr, la pronación ayuda a suavizar el impacto del contacto inicial. Sin ella, todo el impacto de cada paso sería transmitido a la parte superior de las piernas, afectando así a la mecánica normal de las extremidades inferiores. Durante esta fase de contacto inicial se produce la contracción excéntrica del extensor largo de los dedos y del tibial anterior (véase Figura 12).

En la fase de apoyo medio, los metatarsianos golpean el suelo con el retropié totalmente pronado. Durante esta fase se produce la supinación de la articulación subastragalina, convirtiéndose el pie, que anteriormente estaba actuando como un adaptador móvil, en una palanca más o menos rígida, de manera que el centro de gravedad del cuerpo se va desplazando de atrás hacia delante, desde el retropié hasta el mediopié, a lo largo de la dirección longitudinal

del pie. El peso del cuerpo descansa sobre el mediopie cuando el tobillo se encuentra en dorsiflexión máxima, sometiendo así a los músculos gastrocnemio y sóleo a su máxima carga (véase Figura 12).

Durante la fase de prebalanceo o propulsión el peso del cuerpo se va desplazando desde el mediopie hacia las cabezas de los metatarsianos en el antepie, comenzando el despeque del talón del suelo (véase Figura 12).

El balanceo u oscilación es la última fase del ciclo de la marcha, durante dicha fase se mantiene tanto la dorsiflexión del pie, de modo que los dedos no golpeen el suelo, como la supinación del mismo con el fin de posicionar el pie para el contacto posterior del hueso calcáneo con el suelo y la inmediata repetición del ciclo de la marcha (véase Figura 12).

En dichas fases intervienen dos factores determinantes: la fuerza de la gravedad y la fuerza de rozamiento con el suelo. Por una parte, la ausencia de la gravedad impide la marcha, al dejar de considerarse el peso del cuerpo en cuestión. Por otra parte, si el coeficiente de rozamiento con el suelo es muy bajo o nulo, el pie desliza o resbala, dificultando así el avance del cuerpo como consecuencia directa de la marcha.

2.4. Desarrollo y evolución de las prótesis de pierna y pie inclusive

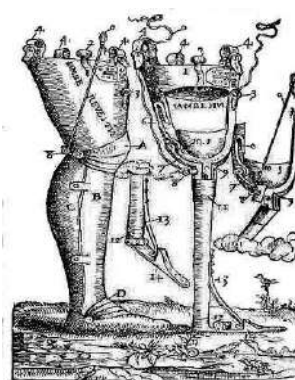
Una vez introducido el pie y el tobillo desde el punto de vista médico y motor vamos a pasar a desarrollar la historia y evolución de las prótesis de pie y de pierna, véase [AMPU19, ELAV20]. Con este acercamiento a la historia pretendemos tomar las ideas claves que nos sirvan para nuestros diseños posterior de las prótesis.

2.4.1. El siglo XVI: Los orígenes

Podemos decir que la historia de las prótesis comienza con Ambroise Paré (1510 (?) - 1590), barbero y cirujano del ejército francés (véase Figura 13).



(a) Grabado de Ambroise Paré, [VINC19]



(b) Prótesis mecánica de pierna ideada por Ambroise Paré, [ECUR20]

Figura 13. Ambroise Paré y el diseño de su prótesis.

Ambroise es considerado por muchos el padre de la cirugía de amputación y del diseño protésico moderno al introducir nuevos procedimientos de amputación en la comunidad médica y elaborar prótesis para amputados tanto de extremidades superiores como inferiores. Además,

inventó un dispositivo por encima de la rodilla, consistente en una pata de palo que podía flexionarse a la altura de la rodilla y una prótesis de pie con una posición fija, un arnés ajustable, control de bloqueo de rodilla y otras características de la ingeniería mecánica que se utilizan en los dispositivos actuales (véase Figura 13). Dicho trabajo evidenciaba, por primera vez, su verdadera comprensión acerca del correcto funcionamiento de una prótesis.

Fue el cerrajero francés Lorrain, amigo de Paré, quien llevó a cabo una de las contribuciones más importantes en este campo al emplear cuero, papel y pegamento en lugar de hierro forjado en la elaboración de una prótesis.

2.4.2. Del siglo XVII al siglo XIX: El desarrollo

En 1696, el cirujano holandés Pieter Verduyn desarrolló la primera prótesis por debajo de la rodilla sin mecanismo de bloqueo, sentando así las bases de los actuales dispositivos de articulación y corsés ortopédicos. En 1800, el londinense James Potts diseñó una prótesis del miembro inferior compuesta por una pierna de madera con encaje, una articulación de rodilla de acero y un pie articulado controlado por cuerdas hechas de tripa de gato a modo de tendones que se extendían desde la rodilla hasta el tobillo. Dicha prótesis fue conocida con el sobrenombre de la “Pierna de Anglesey” en honor al marqués de Anglesey, quien la utilizó al perder la suya en la batalla de Waterloo (véase Figura 14).



(a) Grabado del marqués de Anglesey, [ALAM20]



(b) Prototipo de madera de la “Pierna de Anglesey”, [SUTO20]

Figura 14. Marqués de Anglesey y el diseño de su prótesis.

Más tarde, en 1839, el neoyorquino William Selpho llevó dicha pierna protésica a los Estados Unidos de América, donde se la conoció como la “Pierna Selpho”.

En 1843, el cirujano escocés Sir James Syme descubrió un nuevo método de amputación de tobillo que no implicaba una amputación a la altura del muslo. Dicho descubrimiento fue bien recibido dentro de la comunidad de amputados puesto que significaba la posibilidad de poder volver a caminar gracias exclusivamente a una prótesis de pie en lugar de requerir una prótesis de toda la pierna.

En 1846, el inventor norteamericano Benjamin Palmer mejoró la “Pierna Selpho” al conferirle un aspecto más suave, añadiéndole un resorte anterior e incorporando nuevos tendones para simular un movimiento más natural, aprovechando así los recovecos que dejaba entrever el diseño original. Dicha prótesis, conocida como “Pierna Palmer”, fue patentada en 1851 (véase Figura 15).

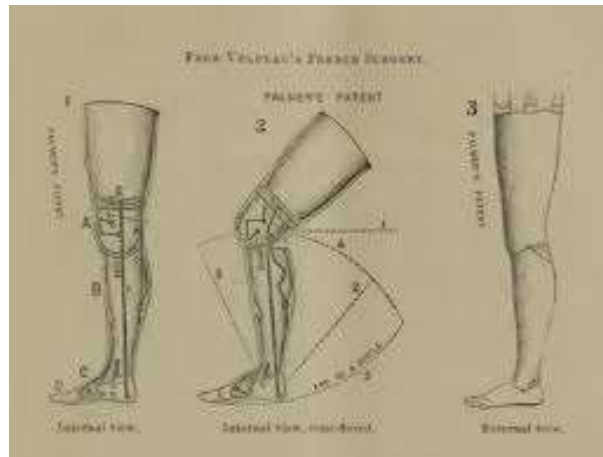


Figura 15. Plano de la “Pierna Palmer”, [TIME20].

En 1858, el doctor norteamericano Douglas Bly inventó y patentó la “Pierna Bly” (véase Figura 16), siendo ésta una mejora de la precedente “Pierna Palmer”, refiriéndose a la misma como el invento más completo y exitoso desarrollado hasta entonces en el área de las extremidades artificiales.

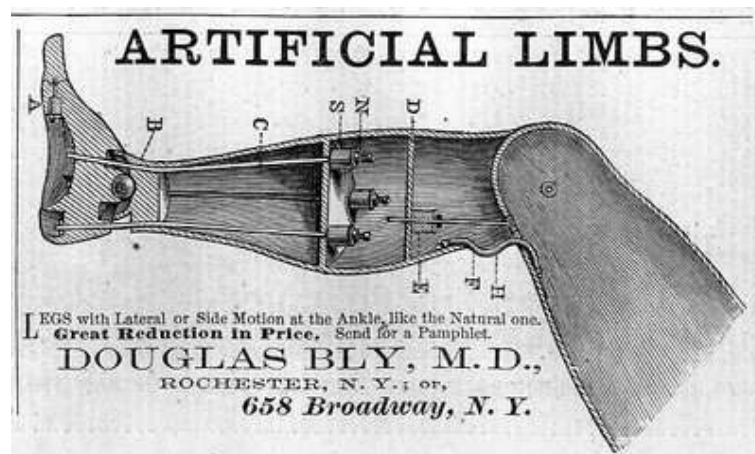


Figura 16. Plano de la “Pierna Bly”, [SUTO20].

En 1863, el químico e inventor norteamericano Dubois Parmlee inventó una prótesis avanzada compuesta por un encaje de succión, una rodilla policéntrica y un pie multiarticulado (véase Figura 17). Más tarde, en 1868, el diseñador alemán Gustav Hermann sugirió el uso de aluminio en lugar de acero a fin de que las extremidades artificiales fueran más ligeras y funcionales. Sin embargo, el dispositivo más liviano tendría que esperar hasta 1912 (véase Figura 18), cuando Marcel Desoutter, un famoso aviador inglés, perdió su pierna en un accidente de avión y elaboró la primera prótesis de aluminio con la ayuda de su hermano Charles, ingeniero de profesión.

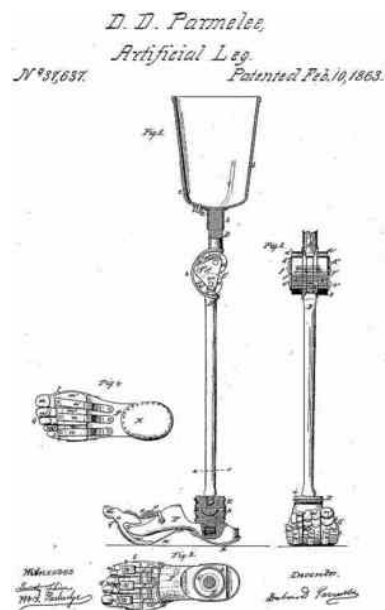


Figura 17. Plano de la “Pierna Parmlee”, [TIME20].

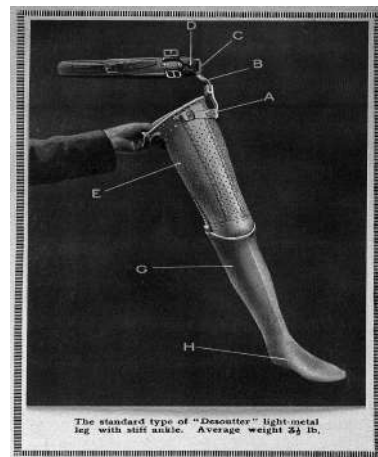


Figura 18. Prototipo de aluminio de la “Pierna Desoutter”, [HIST20].

2.4.3. Del siglo XIX a la actualidad: La evolución

El avance de la Guerra de Secesión (1861-1865) obligó a los cirujanos e inventores estadounidenses a profundizar en el ámbito de la prótesis con el fin de desarrollar nuevas prótesis ortopédicas que respondiesen a las necesidades vitales del incipiente número de personas amputadas. Fue el empresario y protésico James Hanger, uno de los primeros amputados de la Guerra Civil Estadounidense, quien desarrolló lo que más tarde patentó como la “Extremidad Hanger”, elaborada con duelas de barril cortadas. Personalidades tales como Paré, Selpho, Palmer y Hanger contribuyeron en el progreso y la transformación del campo de la ortopedia gracias a las mejoras que implementaron en los materiales y mecanismos de los dispositivos ortopédicos y ortoprotésicos de la época. A diferencia de la Guerra de Secesión, la Primera Guerra Mundial no fomentó notablemente el avance en este campo. A pesar de la falta de avances tecnológicos, el entonces vigente Cirujano General del Ejército comprendió la importancia del debate sobre el desarrollo tecnológico de las prótesis. Con el paso del tiempo, tuvo lugar la creación de la Asociación Estadounidense de Ortoprótisis (AOPA, por sus siglas en inglés). Una vez finalizada de la Segunda Guerra Mundial, los militares más veteranos estaban insatisfechos

como consecuencia de la ausencia de avances tecnológicos en sus dispositivos, exigiendo mejoras al respecto. Fue entonces cuando el gobierno de Estados Unidos cerró un trato con compañías militares para que invirtiesen en la mejora de las prótesis existentes en lugar de en el desarrollo de nuevas armas. Dicho acuerdo allanó el camino de cara al desarrollo y la producción de las prótesis modernas. Los dispositivos actuales se caracterizan por ser mucho más livianos, al ser fabricados en aluminio, plástico y/o materiales compuestos, con el fin de proporcionar a los amputados dispositivos mucho más funcionales. Más allá de tratarse de dispositivos más ligeros, fabricados a la medida del paciente, el desarrollo de la electrónica y la robótica ha permitido la implementación de componentes electrónicos en los dispositivos actuales, mejorando así las prestaciones de los mismos. Además, la integración de fundas de silicona en dichos dispositivos permite aumentar el realismo de las prótesis, renovando de esta manera tanto la estética como la funcionalidad de las mismas, hecho que se traduce en una notable mejoría de las condiciones de vida de los pacientes.

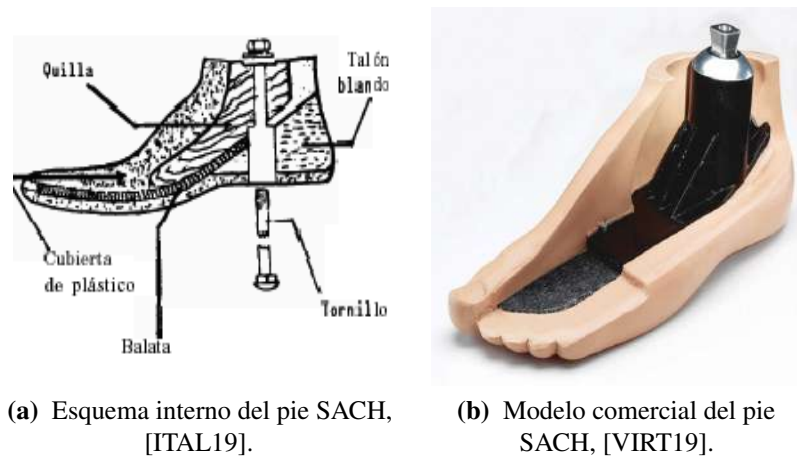
2.5. Tipos de pies protésicos existentes en la actualidad

Tras este breve repaso histórico pasemos ahora a ver las prótesis actuales. Lo primero que debemos decir es que hoy en día hay más de 50 modelos de pies protésicos disponibles en el mercado diseñados para realizar tareas específicas tales como caminar, correr, bailar, esquiar, jugar al golf, montar en bicicleta o nadar, véase [VIRT19, ORLI19, FILL19]. La mayoría son impermeables y están fabricados con materiales ligeros como es el caso de las aleaciones metálicas, los compuestos de fibra de carbono y el plástico y sus derivados. Los pies protésicos comercializables se pueden clasificar como básicos (fijos), articulados (se mueven en una o varias direcciones) o de respuesta dinámica (acumulan y devuelven energía al caminar), véase [POLY19]. En la actualidad, los pies protésicos pueden incorporar resortes en la zona correspondiente a los dedos y el talón con el fin de permitir una mayor movilidad del tobillo, así como la regulación del talón a diversas alturas y la absorción del impacto de la pisada. No existe un pie protésico perfecto para todos los usuarios, de modo que el paciente en cuestión deberá elegir un determinado modelo de pie protésico en base a su nivel de amputación (a qué altura se realizó la amputación) y a otros factores personales tales como la edad, el peso, el tamaño del pie, el nivel de actividad y las necesidades laborales.

2.5.1. Pies protésicos básicos

Existen dos tipos de pies protésicos básicos: el pie SACH y el pie de quilla elástica.

El pie SACH es el más simple de los dos puesto que es rígido, impidiendo así el poder doblarse. El talón del mismo consiste en una cuña de goma que se comprime bajo la acción del peso del usuario (véase Figura 19), permitiendo de esta manera una cierta libertad de movimiento durante la fase de apoyo inicial de la marcha. Por tanto, proporciona estabilidad, pero restringe el movimiento lateral, especialmente durante la fase de apoyo medio de la marcha. El pie SACH ofrece talones de diversa altura de manera que pueda utilizarse con diferentes tipos de calzado (véase Figura 19).



(a) Esquema interno del pie SACH, [ITAL19].

(b) Modelo comercial del pie SACH, [VIRT19].

Figura 19. Pie SACH

En cambio, los pies de quilla elástica presentan una mayor flexibilidad que los pies SACH, permitiendo así que el antepié se adapte a diversas condiciones de la marcha sin perder la rigidez y estabilidad del pie durante la misma. Ambos tipos de pies protésicos básicos se caracterizan por estar acolchados, aunque absorben y devuelven menos energía al andar que los pies de respuesta dinámica, por estar diseñados para personas que caminan poco y que lo hacen a una velocidad más o menos constante y porque suelen fabricarse en gomaespuma, siendo su forma parecida a la del pie humano. Además, no disponen de partes articuladas, gozando de una alta durabilidad y requiriendo un menor mantenimiento, lo que redonda en un menor coste que el de los pies protésicos articulados. Por lo general suelen emplearse como prótesis temporales, siendo posteriormente sustituidas por otros modelos de pies protésicos más avanzados

2.5.2. Pies protésicos articulados

Existen dos tipos de pies protésicos articulados: el pie protésico articulado de eje sencillo y el pie protésico articulado de eje múltiple. Ambos permiten el movimiento en uno o más planos, de manera similar a los que posibilita realizar el pie humano.

Los pies articulados de eje sencillo incorporan un tobillo que permite la flexión dorsal y plantar (véase Figura 20), lo que aporta estabilidad a la rodilla, evitando así que ésta se doble al reducir el esfuerzo necesario para controlar la prótesis. Por tanto, el perfil de los pacientes suele ser el de personas con altos niveles de amputación (desde la rodilla a la cadera), puesto que demandan un mayor grado de estabilidad. Como contrapunto, el hecho de añadir dicho componente con función de tobillo a las prótesis de pie básicas, redonda en un incremento tanto del peso como del precio con respecto a éstas, requiriendo, por consiguiente, de revisiones y reparaciones periódicas (véase Figura 20).

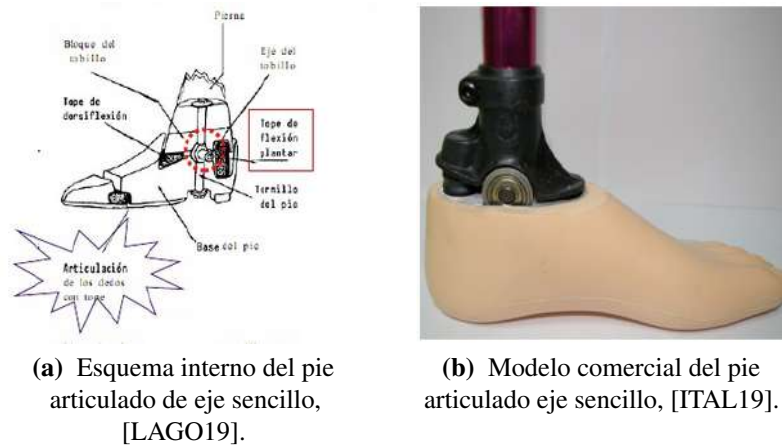


Figura 20. Pie articulado de eje sencillo.

En comparación, los pies articulados de eje múltiple incorporan un tobillo que permite, además de la flexión dorsal y plantar, un cierto grado de desplazamiento lateral (movimientos de abducción/aducción y de pronación/supinación), para adaptarse así a las superficies irregulares de manera mucho más eficiente que las prótesis articuladas de eje sencillo. También posibilitan el movimiento del talón para absorber parte de la energía liberada en el impacto durante la fase de apoyo de la marcha (véase Figura 21), protegiendo así el miembro inferior del paciente y limitando el desgaste de la prótesis. Con todo, no presentan grandes diferencias con respecto a los pies articulados de eje sencillo en cuanto a peso, precio y coste de mantenimiento de los mismos (véase Figura 21).

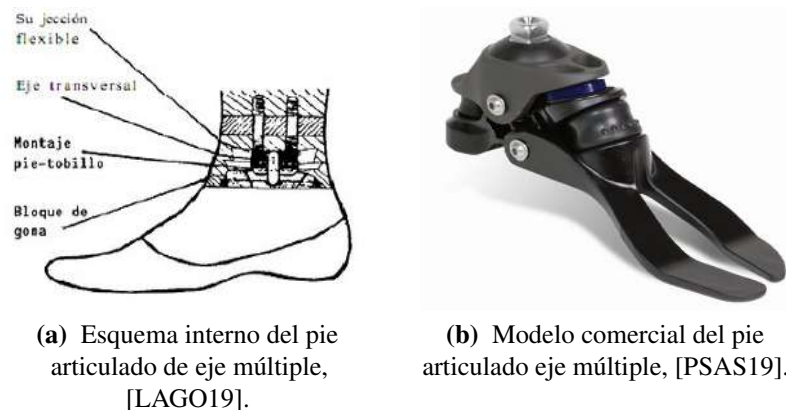


Figura 21. Pie articulado de eje múltiple.

2.5.3. Pies de respuesta dinámica

Los pies de respuesta dinámica incorporan acumulan y liberan energía durante el ciclo de la marcha, proporcionando así una sensación de empuje, una amplitud de movimiento más natural y un modo de andar equilibrado, al reducir el impacto que se produce sobre el talón del pie contrario al de apoyo.



(a) Esquema interno del pie de respuesta dinámica, [CALD10].



(b) Modelo comercial del pie de respuesta dinámica, [ITAL19].

Figura 22. Pie de respuesta dinámica.

Por lo general, estas prótesis responden adecuadamente y son recomendadas para personas activas que varían su velocidad de marcha, cambian rápidamente de dirección durante la misma y/o recorren largas distancias. Además, pueden presentar un diseño mucho más realista gracias a la integración de dedos y con el fin de aumentar la estabilidad del usuario al pisar (véase Figura 22), lo que redundará en una mayor sensación de comodidad, permitiendo incluso que los pacientes puedan llegar a aumentar su nivel de actividad.

2.6. Prótesis sociales

En esta última sección queremos hacernos eco de las distintas iniciativas sociales que hay en relación con el diseño de prótesis. Como ya hemos mencionado en el Resumen, buscamos que nuestro trabajo se pueda llevar a cabo con campesinos pobres de Colombia, de ahí que veamos necesario revisar también este aspecto social de las prótesis.

2.6.1. Proyecto *Ayúdame 3D*

Ayúdame 3D es un proyecto pionero en España dedicado al diseño y la fabricación de “trésdesis”, brazos impresos en 3D, para personas sin recursos de todo el mundo. El objetivo de esta ONG, promovida por el ingeniero Guillermo Martínez antiguo alumno de ICAI, es mejorar la calidad de vida de las personas que no pueden permitirse el coste de una prótesis convencional.

Así este proyecto busca voluntarios que desde sus casa impriman en 3D los diseños facilitados por la ONG, véase Figura 23, para después llevarlos a los países empobrecidos para donarlo a las personas sin recursos. Todas las prótesis se pueden adaptar a las diferentes necesidades de las personas.



Figura 23. Partes de una trêsdesis estándar, [AYUD20].

Gracias a las impresoras y a las ayudas recibidas a través de su página web, [AYUD20], Guillermo y su equipo de *Ayúdame 3Dya* operan en 40 países de todo el mundo, llegando a entregar 150 prótesis al año. La organización creció muy rápidamente desde su fundación en 2017 gracias en parte a las donaciones anónimas de personas de todo el mundo. El ingeniero Guillermo está convencido de que esta tecnología ayuda infinitamente a las personas que sufren la amputación de algunos de sus miembros.

2.6.2. *Million Waves Project*

Cada año, millones de toneladas de plástico terminan en nuestros mares y océanos, y aproximadamente 40 millones de personas en el mundo necesitan prótesis, pero solo el 5 % tiene alguna opción protésica.

El proyecto *Million Waves* reúne estas dos situaciones globales inaceptables y ofrece una solución práctica y sostenible. Recogen el plástico reciclado del océano y lo convierten en material imprimible en 3D, véase [MILL20] y Figura 24.



Figura 24. Million Waves Project.

Su función principal es organizar recogidas de plásticos de las playas y de los océanos y lo convierten en material imprimible en 3D. Luego, a través de una aplicación, conectan con personas que necesitan una prótesis y le imprimen la prótesis que necesite. Cada prótesis cuesta aproximadamente 45 dólares incluyendo su fabricación, impresión y entrega. Para mantenerse recibe donaciones anónimas y cuenta con voluntarios que ponen a su servicio sus impresoras 3D.

Capítulo 3

Definición del trabajo

EL desarrollo de este proyecto es al mismo tiempo muy desafiante y emocionante. En primer lugar, porque requiere el conocimiento de diferentes campos de la ingeniería y también de la sanidad, algunos conocidos, otros por descubrir y eso puede ser un desafío. Por ejemplo, el campo del diseño desde el análisis del sistema y la dinámica es crucial para el proyecto; y aunque una parte de este estudio está ya realizado siempre podemos optimizarlo y sobre todo intentar buscar la mejor solución para nuestro caso. Sin embargo, conocer todos los diferentes campos, sus aplicaciones sanitarias y el vínculo entre ellos es muy interesante. Además, su misión es humanitaria, lo que lo motiva aún más. Es emocionante pensar que podemos ayudar a otros usando nuestras habilidades y conocimiento.

En segundo lugar, la idea de construir un proyecto real innovador que mejore en algún sentido lo ya diseñado, teniendo en cuenta todas las variables que juegan un papel en su diseño es muy apasionante. Así pretendemos desarrollar un proyecto desde sus inicios, estudiando bien lo que ya está hecho e intentando mejorarlo hasta intentar llegar a su aplicación. A lo largo del camino encontraremos dificultades y tendremos que resolver ciertas incertidumbres y luchas, pero superarlas también es parte del proceso y nos ayudará a conseguir nuestra prótesis. También, pondremos en práctica las habilidades adquiridas durante estos años de carrera.

Gracias a la revisión hecha en el Capítulo 1, podemos ver cómo las prótesis han avanzado a lo largo de la historia llegando a estar muy conseguidas en la actualidad. Así nosotros pretendemos servirnos de dichos modelos actuales y optimizarlos, sobre todo con la idea de diseñarlos en plásticos en vez de con los materiales que utilizan las tiendas protésicas, ya que su precio es bastante más elevado. Para diseñar nuestro modelo nos serviremos también del estudio anatómico y fisiológico que hemos hecho del pie y del tobillo para así intentar reproducir, lo más fielmente posible, el funcionamiento del mismo con nuestra prótesis.

3.1. Objetivos

Haciéndonos eco de todo lo mencionado anteriormente vamos a recoger aquí una lista con los principales objetivos de nuestro proyecto. Los ordenaremos en función de su importancia dentro del trabajo, siendo el primero el más importante y los siguientes más secundarios.

- Diseñar una prótesis de pie con el programa *SolidWorks*. Este es nuestro objetivo principal y buscamos poder realizarlo teniendo en cuenta diversos factores como el hecho de que sea compacta, es decir, que sea de una sola pieza. También buscamos que sea flexible, que permita el mayor movimiento posible y que sea impermeable, etc.
- Hacer un estudio detallado del funcionamiento y la fisonomía del pie humano. Este segundo objetivo nos ayudará a conseguir el primero ya que con este estudio previo y teniendo

en cuenta las consideraciones anatómicas importantes podremos desarrollar una buena prótesis de pie que dé verdadera funcionalidad a la persona que lo lleve.

- Hacer una revisión detallada de los distintos modelos de prótesis que hay actualmente en el mercado. También este objetivo junto con el segundo ayudará a conseguir el primero. Gracias a un buen estudio de las distintas prótesis que actualmente hay en el mercado podremos diseñar una buena prótesis de pie que integre las ventajas de cada tipo y mejore las anteriores.
- Escoger el material que mejor se adapte a nuestra prótesis. Para este objetivo debemos tener muy en cuenta el fin social de nuestra prótesis e intentar experimentar qué tipo de material de fácil acceso es el más resistente para nuestra prótesis y el que más funcionalidad le da.
- Acercar nuestro modelo a los campesinos sin recursos. Este objetivo está muy relacionado con el tercer Objetivo de Desarrollo Sostenible de la ONU “Garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades”. Así buscamos que en la medida de lo posible nuestro diseño se pueda aplicar a campesinos sin recursos de Colombia que debido a las guerrillas han perdido alguno de sus pies.

Todos estos son los objetivos que durante este trabajo intentaremos desarrollar y alcanzar, sabiendo que en la consecución de cada uno de ellos nos encontraremos dificultades que no tienen porqué ser fáciles de resolver.

3.2. Metodología

Para alcanzar los objetivos anteriormente mencionados seguiremos una metodología de trabajo que consideramos la más apropiada para nuestro proyecto. Así hemos estructurado nuestro trabajo en la siguientes partes:

1. Realizar un estudio detallado del pie y de la pierna humana, véase Capítulo 2. Para esta primera parte nos basaremos principalmente en la búsqueda de información. Como esta sección es la más alejada del campo de la Ingeniería debemos prestar mucha atención y comprender bien el funcionamiento del pie humano y de sus músculos, huesos y articulaciones. También debemos estudiar el caminar ya que es la principal actividad que buscamos que nuestra prótesis cumpla. Para todo esto buscaremos información en internet, nos serviremos también de libros y atlas básicos del cuerpo humano.
2. Análisis de las distintas prótesis que se comercializan hoy en día, véase Capítulo 2 y 5. En esta segunda parte haremos una revisión bibliográfica de los distintos tipos de prótesis de pie que ha habido y que hay ahora mismo en el mercado. Nos serviremos de internet pero también nos ayudaremos del programa *SolidWorks* para implementar dichos diseños en el programa y así poder simularlas y ver detalladamente toda sus características y fuerzas que soportan.
3. Elección del material de nuestra prótesis y estimación del coste de la prótesis, véase Capítulo 4 y 6. Por último, con el programa *SolidWorks* vamos a intentar decidir qué material será el más conveniente usar para conseguir las características deseadas y en función de esto determinaremos también el precio de fabricación de nuestro diseño. Buscaremos que el precio sea lo menor posible de manera que sea asequible para personas sin recursos como pueden ser los campesinos de Colombia.

4. Diseñar nuestra prótesis de pie, véase Capítulo 5. En esta parte usando toda la información anterior diseñaremos nuestra prótesis, para ello usaremos el programa *SolidWorks*.
5. Comparar la prótesis diseñada con las prótesis del mercado, véase Capítulo 6. En esta parte intentaremos comprobar que nuestra prótesis mejora en el sentido que buscamos las prótesis del mercado. Para ello nos serviremos del programa *SolidWorks* y simularemos nuestra prótesis y la compararemos con los otros diseños ya estudiados. Veremos tanto sus características como su resistencia y flexibilidad intentando que dé funcionalidad y se parezca al funcionamiento del pie humano. Este estudio también nos ayudará a cambiar ciertos defectos o mejorar nuestra prótesis para que dé las mejores prestaciones posibles teniendo en cuenta las distintas limitaciones de nuestro modelo.

Todo esta metodología se llevara a cabo gracias a la revisión bibliográfica y la búsqueda de información en internet y también, gracias a la ayuda de los programas informáticos vistos en el Capítulo 1.

3.3. Relación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

En este apartado queremos mencionar específicamente cuáles son los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que están relacionados con nuestro trabajo, véase Figura 25.



Figura 25. Objetivos relacionados con nuestro trabajo.

Principalmente vemos que este proyecto está muy relacionado con el objetivo tercero “Salud y bienestar”, ya que nuestra finalidad es poder diseñar una prótesis que mejore la calidad de vida de las personas de Colombia.

Por otro lado, este trabajo también está relacionado con el objetivo número 10 “Reducción de las desigualdades” ya que otro hecho importante de este trabajo es que nuestra prótesis las queremos diseñar para que sean asequibles para los campesinos de Colombia que se encuentra en una situación muy desigual a las personas discapacitadas de los países enriquecidos.

Por último, nos gustaría destacar también la propuesta de que todas estas prótesis se pudieran hacer con el plástico que se recoge de las playas y los océanos, ayudando al medio ambiente y haciendo que nuestro proyecto sea más asequible y ecológico. Así nuestro trabajo se enmarca, también, dentro del objetivo 14 “Vida submarina”.

Si se desea conocer más información sobre los ODS consultar el Anexo A del Documento Anexos.

Capítulo 4

Materiales protésicos

EN este capítulo vamos a comentar los distintos materiales que hemos empleado para la simulación de las prótesis realizadas en el Capítulo 5. Así hablaremos primero de forma general sobre las especificaciones de cada uno de los seis materiales y terminaremos con una última sección en la que detallamos las características mecánicas de cada uno de ellos. Esta última sección es muy importante ya que incluye los parámetros que necesita el programa *SolidWorks* para la simulación de las prótesis porque, aunque el programa incluye estos materiales con sus propiedades mecánicas por defecto, hay algunos parámetros que están incompletos o son erróneos.

4.1. Aceros Aleados

El acero aleado es un tipo de acero que contiene cantidades substanciales de elementos con excepción del carbono y ciertas cantidades limitadas de manganeso, azufre, silicio y fósforo. La adición de tales elementos de aleación se realiza generalmente con el fin de aumentar la resistencia química y dureza del acero. Los metales usados más habitualmente para formar los aceros de aleación son: níquel, cromo, silicio, manganeso, molibdeno y wolframio, véase Figura 26.



Figura 26. Barras de acero aleado, [MTSC20].

Según la norma UNE EN 10020:2001 y atendiendo a su composición química los aceros aleados se pueden clasificar en:

- **Aceros débilmente aleados.** Éstos son aquellos cuyos elementos aleantes están por debajo del 5 %.
- **Aceros fuertemente aleados.** Éstos son aquellos cuyos elementos aleantes suponen más del 5 %.

A su vez, la norma UNE EN 10020:2001 clasifica los aceros aleados según la calidad del acero de la manera siguiente:

- **Aceros aleados de calidad.** Son aquellos que presentan buen comportamiento frente a la tenacidad, control de tamaño de grano o a la formabilidad. Estos aceros no se suelen destinar a tratamientos de temple y revenido, o al de temple superficial. Entre estos tipos de aceros se encuentran los siguientes:
 - Aceros destinados a la construcción metálica, aparatos a presión o tubos, de grano fino y soldables.
 - Aceros aleados para carriles, tablestacas y cuadros de entibación de minas.
 - Aceros aleados para productos planos, laminados en caliente o frío, destinados a operaciones severas de conformación en frío.
 - Aceros cuyo único elemento de aleación sea el cobre.
 - Aceros aleados para aplicaciones eléctricas, cuyos principales elementos de aleación son el silicio, aluminio, y que cumplen los requisitos de inducción magnética, polarización o permeabilidad necesarios.
- **Aceros aleados especiales.** Son aquellos caracterizados por un control preciso de su composición química y de unas condiciones particulares de elaboración y control para asegurar unas propiedades mejoradas. Entre estos tipos de acero se encuentran los siguientes:
 - Aceros aleados destinados a la construcción mecánica y aparatos de presión.
 - Aceros para rodamientos.
 - Aceros para herramientas.
 - Aceros rápidos.
 - Otros aceros con características físicas especiales, como aceros con coeficiente de dilatación controlado, con resistencias eléctricas, etc.

Si se desea saber más información sobre los aceros aleados se puede consultar [IMTM20].

En nuestro caso, desconocemos cuáles son los elementos aleantes ya que hemos usado el acero aleado que viene por defecto en la biblioteca de materiales de *SolidWorks*, sus propiedades están detalladas al final de este capítulo.

4.2. Aleaciones de Titanio

El titanio está presente en la corteza terrestre a un nivel de alrededor del 0.6 % y, por lo tanto, es el cuarto metal estructural más abundante después del aluminio, el hierro y el magnesio. Las fuentes minerales más importantes son la ilmenita ($FeTiO_3$) y el rutilo (TiO_2).

El titanio y sus aleaciones fueron introducidos a finales de la década de 1940, con la finalización de la segunda Guerra Mundial y el desarrollo de un proceso comercialmente atractivo de obtención de Ti metálico (*proceso Kroll*). Este proceso implica la reducción del tetracloruro de titanio ($TiCl_4$) con magnesio en una atmósfera de gas inerte. El titanio resultante se llama “esponja de titanio” debido a su apariencia porosa y esponjosa. Este famoso *proceso Kroll* se mantuvo esencialmente sin cambios y es el proceso dominante para la producción de titanio en la actualidad. El uso inicial se orientó hacia la industria aeroespacial, pero las aplicaciones posteriores incluyeron industria, automoción, deportes y medicina debido a sus características únicas.

El foco principal por el desarrollo del titanio y sus aleaciones estaba en su alta resistencia específica, incluido a elevadas temperaturas. Posteriormente se prestó mayor atención debido a su excelente flexibilidad (bajo módulo elástico), resistencia a la corrosión, resistencia a alta temperatura y biocompatibilidad. Sin embargo, las aleaciones de titanio son inapropiadas en muchas aplicaciones como por ejemplo en la industria automotriz debido a su alto costo. Este alto precio es principalmente el resultado de la alta reactividad del titanio con el oxígeno. Por otro lado, esta alta reactividad con el oxígeno produce una resistencia superior a la corrosión del titanio en varios tipos de ambientes agresivos, especialmente en ambientes ácidos acuosos.

La temperatura de fusión del titanio (aprox. $1650^\circ C$) en comparación con el aluminio, el principal competidor en aplicaciones estructurales de peso ligero, le da al titanio una ventaja definitiva sobre las temperaturas de aplicación superiores a los $150^\circ C$. Sin embargo, la alta reactividad del titanio con el oxígeno limita la temperatura de uso máxima de las aleaciones de titanio a aproximadamente $600^\circ C$, a pesar de su elevada temperatura de fusión. Para más información sobre el titanio y sus aleaciones [BONV09].

El principal efecto de los elementos de aleación en las aleaciones de titanio, es la modificación de la temperatura de transformación. De esta manera, los elementos de aleación se clasifican en:

- α -estabilizadores. Son los elementos de aleación que elevan la temperatura de transformación de fases. El aluminio es el principal α estabilizador.
- β -estabilizadores. Son los elementos de aleación que hacen que descienda la temperatura de transformación de α a β . El manganeso, cromo, hierro, molibdeno o niobio son los principales β -estabilizadores.

Las fases comentadas anteriormente además proporcionan una forma conveniente para la clasificación de las aleaciones. De esta forma, basándonos en la presencia de estas fases, hablamos de las aleaciones de titanio como aleaciones α , β ó $\alpha + \beta$, véase [INGM12].

4.2.1. Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si

En nuestro caso la aleación de titanio que hemos seleccionado ha sido la denominada Ti 6-2-2-2-2, véase Figura 27. Su composición química está formada por 6 % aluminio, 2 % estaño, 2 % circonio, 2 % molibdeno, 2 % cromo y 0.25 % silicio. Esta es una aleación de tipo $\alpha + \beta$, generalmente seleccionada por su alta resistencia, tenacidad a la fractura y resistencia a la fluencia intermedia. Generalmente se comercializa en barras, láminas y placas. Si se desea saber más sobre esta aleación se puede consultar [META20] y la última sección del capítulo en la que detallamos los parámetros usados.



Figura 27. Barras de Ti 6-2-2-2-2.

4.3. Aleaciones de Aluminio

El aluminio es el elemento metálico más abundante de la corteza terrestre y, dentro del grupo de los metales no férricos, es el material más ampliamente utilizado tanto en la industria como en otras muchas aplicaciones de la vida cotidiana.

Su ligereza, su buen comportamiento en cuanto a resistencia mecánica de muchas de sus aleaciones, su alta conductividad térmica y eléctrica, su durabilidad y resistencia a la corrosión hacen de este material ideal para innumerables soluciones, tanto estructurales, como decorativas.

Por contra, el aluminio puro prácticamente no tiene aplicación, dado que se trata de un material blando y de poca resistencia mecánica. Sin embargo, aleado con otros elementos permite aumentar su resistencia y adquirir otras cualidades, que varían según la naturaleza de los aleantes utilizados.

Los principales elementos de aleación del aluminio son:

- Cromo que aumenta la resistencia mecánica cuando está combinado con otros elementos como cobre, manganeso y magnesio.
- Cobre, incrementa las propiedades mecánicas pero reduce la resistencia a la corrosión.
- Hierro, aumenta la resistencia mecánica y a la fatiga.
- Magnesio tiene una gran resistencia tras el conformado en frío.
- Manganeso, incrementa las propiedades mecánicas y reduce la calidad de embutición.
- Silicio, combinado con magnesio tiene mayor resistencia mecánica.
- Titanio, aumenta la resistencia mecánica.
- Zinc, aumenta la resistencia a la corrosión.

Estas aleaciones forman parte de las llamadas aleaciones ligeras, con una densidad mucho menor que los aceros, pero no tan resistentes a la corrosión como el aluminio puro, que forma en su superficie una capa de óxido de aluminio (alúmina). Las aleaciones de aluminio tienen como principal objetivo mejorar la dureza y resistencia del aluminio, que es en estado puro un metal muy blando.

Las aleaciones de aluminio se dividen en dos grandes grupos, que son, forja y fundición. Esta división se corresponde con el tipo de proceso de conformado a que pueden ser sometidas las aleaciones.

Dentro del grupo de las aleaciones de aluminio de forja existe otra división en otros dos subgrupos, las aleaciones tratables térmicamente y las no tratables térmicamente. Las aleaciones no tratables térmicamente sólo pueden aumentar sus resistencia si son trabajadas en frío.

Dentro de las aleaciones de aluminio forjado sin tratamiento térmico, los grupos o series principales son los siguientes, según la norma AISI-SAE:

- Aleaciones 1xxx. Son aleaciones de aluminio técnicamente puro, al 99,9%, siendo sus principales impurezas el hierro y el silicio como elemento aleante. Se utilizan principalmente para utensilios de cocina, lámina y fleje.
- Aleaciones 3xxx. El elemento aleante principal de este grupo es el manganeso, el cual tiene como objetivo reforzar al aluminio. Presentan buena trabajabilidad, y es utilizada este tipo de aleaciones en utensilios de cocina y envases.
- Aleaciones 5xxx. En este grupo de aleaciones es el magnesio el principal elemento de aleación. Utilizado en utensilios de cocina, construcción de camiones y aplicaciones marinas.

Por otro lado, dentro de las aleaciones de aluminio forjado que son tratables térmicamente, las series principales son las siguientes:

- Aleaciones 2xxx. El principal aleante de este grupo de aleaciones es el cobre y se utiliza especialmente para la fabricación de estructuras de aviones.
- Aleaciones 6xxx. Los principales elementos aleantes de este grupo son magnesio y silicio. Es utilizada para perfiles y estructuras en general.
- Aleaciones 7xxx. Los principales aleantes de este grupo de aleaciones son zinc, magnesio y cobre. Se utiliza para fabricar estructuras de aviones.

En esta última división, se encuentran las aleaciones de aluminio con mayores resistencias mecánicas: las de las series 2000 y 7000. Por otro lado, son las aleaciones de aluminio de las series 6000 y 7000 las más utilizadas por su amplia gama de aplicaciones, en concreto en nuestro trabajo hemos usado dos de estos grupos. Para más información sobre las aleaciones de aluminio se puede consultar [?].

4.3.1. 6061-T6

Una de las aleaciones de aluminio que hemos seleccionado para nuestras prótesis ha sido la 6061-T6, compuesta principalmente por aluminio, magnesio y silicio, véase Figura 28. Esta aleación es fácil de manipular y resistente a la corrosión incluso cuando la superficie ha sido erosionada. Se endurece por tratamiento térmico y tiene una buena aptitud a la soldadura pero pierde casi un 30 % de la carga de rotura en la zona soldada. El tiempo entre el temple y la maduración artificial no debe superar las 2 horas. Se aplica en la industria para la fabricación de moldes, troqueles, maquinaria, herramientas, vehículos, industria naval, estructuras, etc. Si se desea saber más sobre esta aleación se puede consultar [AMS20] y la última sección del capítulo en la que detallamos los parámetros usados.



Figura 28. Bloques rectangulares de aleación de aluminio 6061-T6, [SIGN20].

4.3.2. 7075-T6

La otra aleación de aluminio que hemos usado ha sido la 7075-T6 más conocida comercialmente como Zircal, véase Figura 29. Es una aleación de aluminio con zinc como principal elemento de aleación. Es fuerte, con buena resistencia a la fatiga frente a otros metales y es fácil de mecanizar, pero no es soldable y tiene menos resistencia a la corrosión que muchas otras aleaciones. Debido a su coste relativamente bajo, su uso es habitual en aplicaciones donde las características técnicas de aleaciones más baratas no son admisibles. 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, etc. Si se desea saber más sobre esta aleación se puede consultar [AZ20] y la última sección del capítulo en la que detallamos los parámetros usados.



Figura 29. Bloques rectangulares de aleación de aluminio 7075-T6, [SIGN20].

4.4. Termoplásticos

Los termoplásticos son conjuntos de materiales formados por polímeros unidos mediante fuerzas intermoleculares que forman estructuras lineales o ramificadas. Estos materiales se vuelven flexibles o deformables a altas temperaturas, se pueden fundir y reformar varias veces. Estas características son de gran ayuda en términos de reciclaje ya que se pueden fundir los objetos reciclados para reformarlos y darle vida a nuevos objetos. El único inconveniente es que según se va derritiendo y dándole una nueva forma los materiales pierden poco a poco sus cualidades, volviéndose así menos reciclables cada vez.

Los principales tipos de termoplásticos son:

- HDPE y LDPE es el material plástico más común, es muy fuerte, versátil, barato, transparente o blanco y cuenta con excelentes propiedades de aislamiento. El HDPE es translúcido, fuerte y fácil de procesar y se utiliza para fabricar objetos como botellas, tanques, depósitos y recipientes para el transporte. El LPDE puede ser tanto translúcido como transparente y puede estar en contacto con alimentos, por eso se utiliza para productos como bolsas, envases y juguetes.
- PVC es el derivado del plástico más versátil y se puede producir mediante cuatro procesos diferentes (suspensión, emulsión, masa y solución). Es un plástico muy versátil, resistente al desgaste y agentes químicos, atmosféricos y al fuego. Se le da utilidad en la industria del papel y para crear contenedores de comida, tarjetas de crédito, muebles, juguetes y ropa.
- PP tiene una temperatura de reblandecimiento más alta que el polietileno y una mayor tendencia a ser oxidado. Es transparente, ligero y resistente y se puede utilizar tanto para plástico como para fibra. No absorbe el agua y es fácil de colocar, tiene gran resistencia al stress cracking medioambiental (una de las causas más comunes de falla frágil inesperada de termoplásticos). Se emplean para fabricar fibras textiles, acoplamientos, contenedores para el transporte, alfombras, cuerdas, envases y muebles.

- PS existen cuatro tipos principales de poliestireno. PS cristal que es transparente, rígido y quebradizo. HIPS que es el poliestireno de alto impacto, por lo que es resistente al impacto y opaco blanquecino. EPS que es muy ligero y por último el PS extruido, que es similar al expandido, pero más denso e impermeable. Es uno de los termoplásticos más importantes, transparente, duro e inflamable, muy brillante e inerte frente a muchos corrosivos. Se puede hacer tanto en colores brillantes como opacos. Se utiliza comúnmente para sustituir el vidrio, aluminio y madera porque es más barato. El poliestireno se utiliza también para embalar (incluso comida), recipientes, cajas, lámparas, objetos desechables, juguetes y vasos.
- PB se utiliza principalmente para la industria de la fontanería y la calefacción para hacer tuberías. Contiene unas propiedades que le permite ser de utilidad en el sector de tuberías de agua caliente y fría a presión gracias a la combinación que ofrece de flexibilidad y resistencia a la tensión durante largos periodos de tiempo a altas temperaturas.
- PMMA es uno de los plásticos de ingeniería y compite en uso con otros termoplásticos como el policarbonato o el poliestireno. Se utiliza en la industria automovilística para hacer piezas como los faros del coche, también en iluminación, cosmética, construcción, óptica y espectáculos. Por sus características de gran resistencia a los rasguños junto con su estética y color transparente, se considera un buen sustituto del cristal. También es resistente a la intemperie y a los rayos ultravioletas, es un excelente aislante térmico y acústico, se puede mecanizar en frío pero no doblar y no es autoextinguible (no se apaga si se aparta del fuego).
- PET es un tipo de termoplástico muy utilizado en envases de bebidas y textiles. Es reciclable aunque va disminuyendo su viscosidad con la historia térmica, y está aprobado para ser utilizado en productos que están en contacto directo con alimentos. Pesa poco, es transparente, cristalino, impermeable, alta resistencia al plegado y baja absorción de humedad. El problema más grave que presenta es que no es biodegradable debido a su alta cristalinidad, sin embargo se puede reciclar degradándolo mediante procesos químicos.
- PTFE. Este termoplástico es más conocido como teflón, siendo su principal característica que es prácticamente inerte, por lo que no reacciona con otras sustancias químicas excepto en situaciones muy especiales. Tiene gran impermeabilidad y mantiene sus propiedades en ambientes húmedos. Algunas de sus aplicaciones son en revestimientos de aviones, cohetes y naves espaciales, para prótesis en medicina, revestimiento de cables, en utensilios de cocina como sartenes y ollas por su baja capacidad de rozamiento y que son fáciles de limpiar, en pinturas y barnices, mangueras y conductos por los que circulan elementos químicos, recubriendo balas perforantes (no ayuda a la perforación, sólo reduce el rozamiento con el interior del arma para disminuir su desgaste), en los tacos de las sillas y en los ratones de los ordenadores.

También dentro de los materiales termoplásticos se encuentran el ABS y PA6, los cuales detallaremos a continuación. Para más información sobre los termoplásticos se puede consultar [ACAS20].

4.4.1. Acrilonitrilo Butadieno Estireno

Uno de los materiales plásticos que hemos usado en nuestras prótesis es el ABS, véase Figura 30, que es uno de los materiales plásticos más usados en la industria. De hecho se le suele conocer como “plástico de ingeniería”, ya que es muy resistente al impacto, a la abrasión y a los elementos químicos. Es un material muy utilizado en automoción y otras aplicaciones tanto industriales como domésticas. El ABS o acrilonitrilo butadieno estireno es un material muy usado en el mundo de la impresión 3D gracias a la popularización de las impresoras de escritorio con tecnología de extrusión.



Figura 30. Pellets de ABS para impresión 3D., [JULI20].

La estructura del ABS es una mezcla de un copolímero vítreo (estireno + acrilonitrilo) y un compuesto elástico, principalmente el polímero de butadieno. Los materiales de ABS tienen importantes propiedades en la ingeniería, dada su buena resistencia mecánica combinada con cierta facilidad para el procesado. El ABS es soluble en acetona y, aunque no es biodegradable, no es resistente a la radiación ultravioleta. No es tóxico y no contiene cloro. La resistencia al impacto de los plásticos ABS se ve incrementada al aumentar el porcentaje de contenido en butadieno pero sin embargo disminuyen las propiedades de resistencia a la tensión y disminuye también la temperatura de deformación por calor. Si se desea saber más sobre este material se puede consultar [HXX20] y la última sección del capítulo en la que detallamos los parámetros usados.

4.4.2. Poliamida 6

El otro material plástico que hemos utilizado ha sido la poliamida 6, véase Figura 31, más conocida comercialmente como *Nylon*. La Poliamida 6 es un termoplástico semicristalino que posee buena resistencia mecánica, tenacidad y resistencia al impacto. Tiene buen comportamiento al deslizamiento y buena resistencia al desgaste, por ello es apropiado como plástico de ingeniería de uso universal, en constricciones mecánicas y trabajos de mantenimiento industrial. Si se desea saber más sobre este material se puede consultar [INAL20] y la última sección del capítulo en la que detallamos los parámetros usados.



Figura 31. Pellets de PA6 para impresión 3D, [JULI20].

4.5. Elastómeros

Los elastómeros son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados. Los elastómeros están formados por miles de moléculas cuya denominación son monómeros que se unen formando enormes cadenas. Cada uno de los monómeros que se unen entre sí para formar el polímero está normalmente compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno y/o silicio. Los elastómeros son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea, de ahí esa considerable capacidad de deformación.

A temperatura ambiente las gomas son relativamente blandas y deformables. Se usan principalmente para cierres herméticos, adhesivos y partes flexibles. Comenzaron a utilizarse a finales del siglo XIX, dando lugar a aplicaciones hasta entonces imposibles como los neumáticos de automóvil. Para más información sobre los termoplásticos se puede consultar [ELAP20].

4.5.1. Caucho Butadieno Estireno

Uno de los elastómeros más usados es el caucho butadieno estireno, véase Figura 32, que además es el que hemos elegido nosotros para fabricar el amortiguador de las Prótesis 5(1)(2) y 5(2)(2).



Figura 32. *Pellets* de Caucho, [ECOG20].

El caucho bruto en estado natural es un hidrocarburo blanco o incoloro. El compuesto de caucho más simple es el isopreno o metibutaideno. Se caracteriza por su elasticidad, repelente al agua y resistencia eléctrica. A la temperatura del aire líquido, alrededor de -195°C el caucho puro es sólido, duro y transparente. De 0 a 10°C es frágil y opaco, y por encima de 20°C se vuelve blando, flexible y translúcido. Al amasarlo o calentarlo por encima de 50°C , el caucho adquiere una textura de plástico pegajoso. A temperaturas de 200°C o superiores se descompone. Tiene la particularidad de ser muy elástico pudiendo recuperar su forma después de ser deformado. Si se desea saber más sobre este material se puede consultar [ELAP20] y la última sección del capítulo en la que detallamos los parámetros usados.

4.6. Características y propiedades mecánicas de los materiales

En esta última sección vamos a introducir una tabla, véase Tabla 1, en la que detallamos las características y propiedades mecánicas que hemos usado para la simulación de las distintas prótesis en los distintos materiales.

MATERIAL	Coefficiente de Poisson (-)	Densidad (kg/m ³)	Límite de compresión (MPa)	Límite de tracción (MPa)	Límite elástico (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Precio estimado (€/kg)
Acero Aleado	0,28	7700	ND	723,8	620,4	210000,0	2,00
Aleación de Titanio (Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si)	0,33	4650	ND	1160,0	1070,0	123000,0	36,00
Aleación de Aluminio (6061-T6)	0,33	2700	ND	310,0	275,0	69000,0	2,00
Aleación de Aluminio (7075-T6)	0,33	2810	ND	570,0	505,0	72000,0	7,00
Acilonitrilo Butadieno Estireno (ABS)	0,39	1050	46,0	43,0	32,0	2300,0	1,75
Poliamida 6 (PA6)	0,40	1140	63,0	80,0	78,0	3000,0	2,55
Caucho Butadieno Estireno (SBR)	0,50	1600	ND	3,0	1,4	1,6	2,50

Tabla 1. Características y propiedades mecánicas de los materiales.

Queremos remarcar que las propiedades tanto de la aleación de acero como de las aleaciones de titanio y aluminio, son las que trae incluidas, por defecto, el programa *SolidWorks*. En cambio, lo correspondiente a los termoplásticos y al elastómero, sí que hemos introducido nosotros los valores ya que los que trae por defecto *SolidWorks* no son del todo correctos.

Por tanto, las características y las propiedades mecánicas del ABS, de la PA6 y del caucho las hemos sacado de [GOOD20, INDU20, MAKE20].

En cuanto a la columna relativa a los precios de cada material la hemos obtenido de las referencias [HAOM20, NEON20, RIBA08, STEE20, TODO20].

Capítulo 5

Diseño y desarrollo de las prótesis

EN este capítulo vamos a pasar a detallar el proceso de creación de las prótesis que hemos estudiado. Como veremos hay algunas que la hemos sacado de la revisión bibliográfica, desde la Prótesis 1 a la Prótesis 4, y otras que son diseños propios, desde la Prótesis 5(0) a la Prótesis 5(2)(2). Debemos tener en cuenta que las deformaciones que se observan en las simulaciones de las distintas prótesis están afectadas por un factor de escala, denominado escala de deformación, para que éstas puedan apreciarse a simple vista.

5.1. Prótesis 1

5.1.1. Descripción

La Prótesis 1 se trata de un ejemplo de pie de respuesta dinámica, concretamente de un pie protésico multiaxial con forma sinusoidal, véase [CAMP19], que describe una primera curva convexa a modo de empeine, seguida de una segunda curva cóncava a modo de talón para finalmente terminar en un tramo alargado y ondulado que desempeña la función de la planta (véase Figura 33).



Figura 33. Imagen Prótesis 1, [CAMP19].

Esta prótesis ha sido diseñada a partir de la imagen anterior (véase Figura 33), la cual ha sido tomada de la página web oficial de la ortopedia mexicana Italia (véase [ITAL19]), por lo que no disponemos de datos reales acerca de su dimensiones ni de su masa.

En consecuencia, hemos decidido calcar el diseño directamente de la imagen (insertada como imagen de fondo en un croquis realizado en *SolidWorks*) para posteriormente escalarlo a las dimensiones del pie promedio de la población colombiana amputada (véase Figura 34): 27 centímetros de largo y 8 centímetros de ancho (véase Plano 1), según se establece en el abstract de [MULL07].

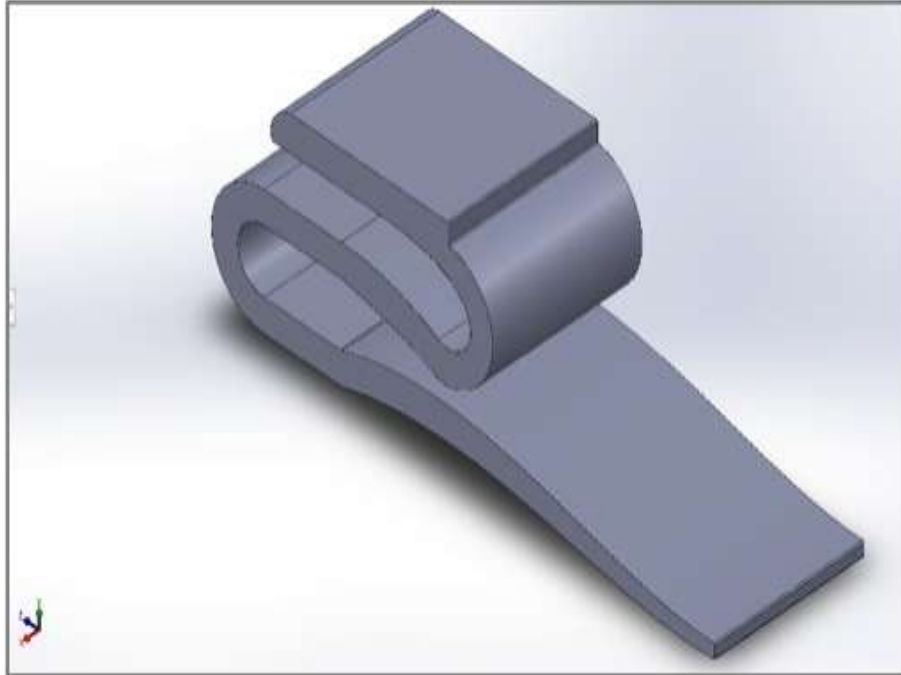


Figura 34. Modelo 3D *SolidWorks* Prótesis 1.

5.1.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 35 y Figura 36.

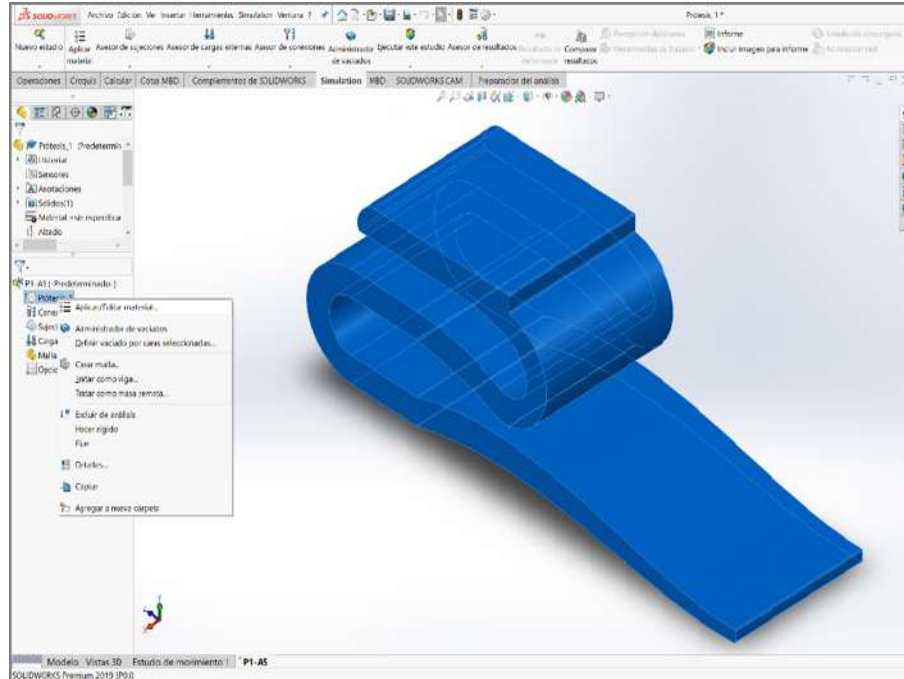


Figura 35. Asignación material Prótesis 1.

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

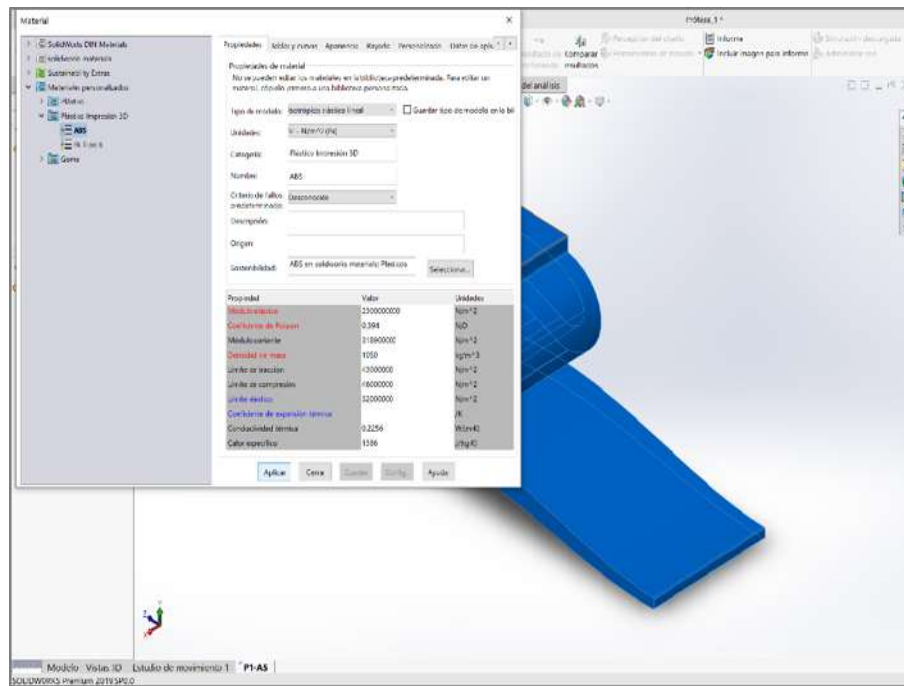


Figura 36. Aplicación material Prótesis 1.

Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 37 y Figura 38.

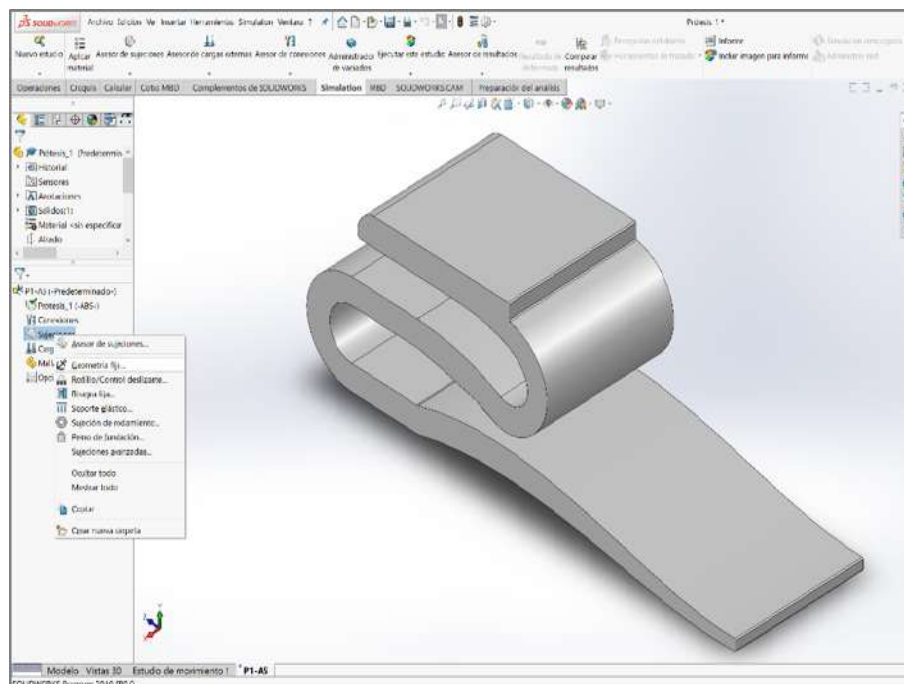


Figura 37. Adición sujeción Prótesis 1.

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior que estará en contacto con el suelo. Dicha sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, y tomando como referencia el eje Y, cuya dirección será perpendicular a la cara plana de apoyo que se encuentra en contacto con el suelo, siendo su sentido ascendente como el de la fuerza normal que sufre la prótesis en dicha cara.

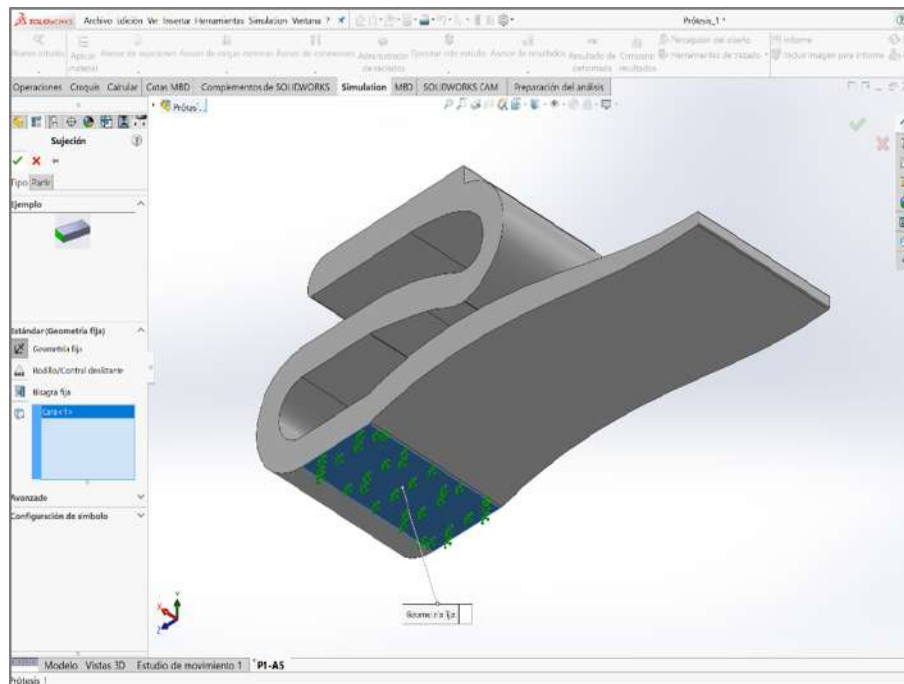


Figura 38. Aplicación sujeción Prótesis 1.

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 39 y Figura 40.

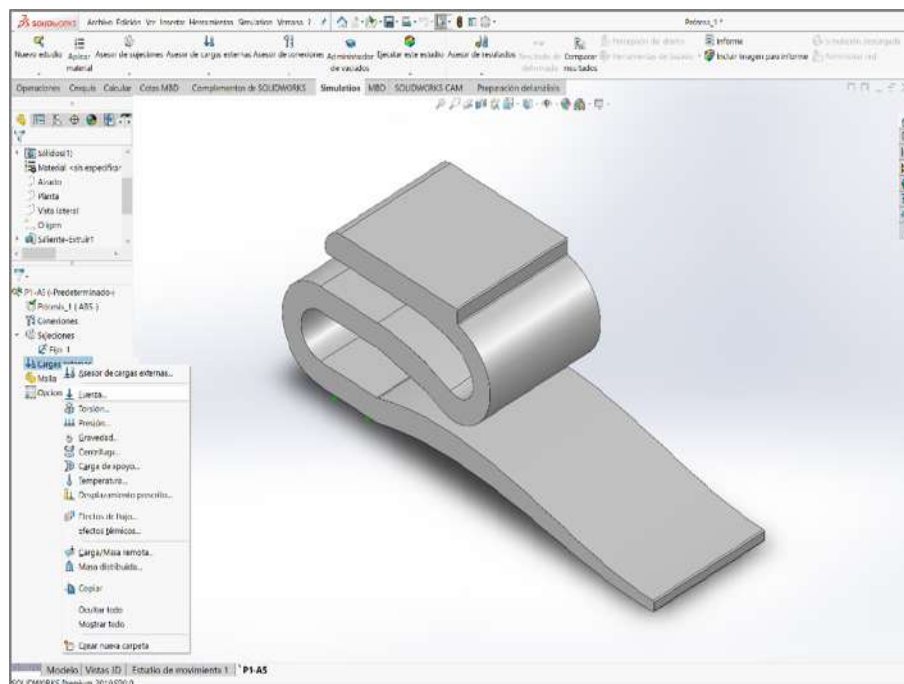


Figura 39. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 1.

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, resultante de convertir la masa máxima que soporta cada extremidad inferior de una persona ($m = M/2 = 125/2 = 62,5 \text{ kg}$) en peso ($f = m \cdot g = 62,5 \cdot 9,81 = 613,125N$), tomando como valor máximo de la masa del usuario el valor límite establecido entre los niveles K3 y K4 por el sistema de movilidad para personas amputadas (Sistema MOBIS de Otto Bock [BARR19]), en concreto, $M = 125kg$, y como valor de la aceleración de la gravedad $g = 9,81m/s^2$. Dicha fuerza se aplicará como una

carga distribuida por toda la cara plana superior, siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

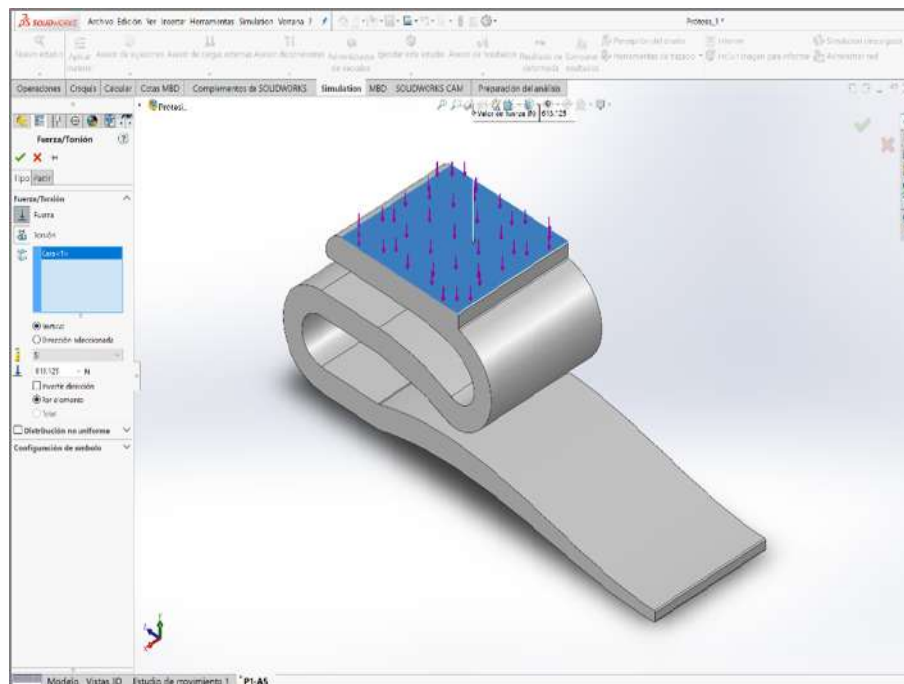


Figura 40. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 1.

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 41, Figura 42 y Figura 43.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

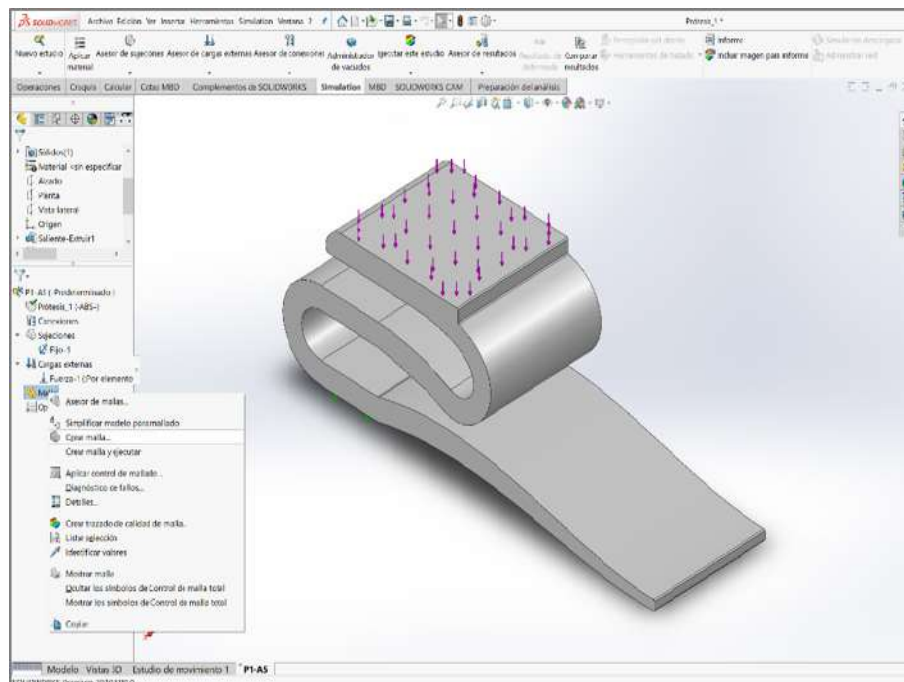


Figura 41. Creación malla Prótesis 1.

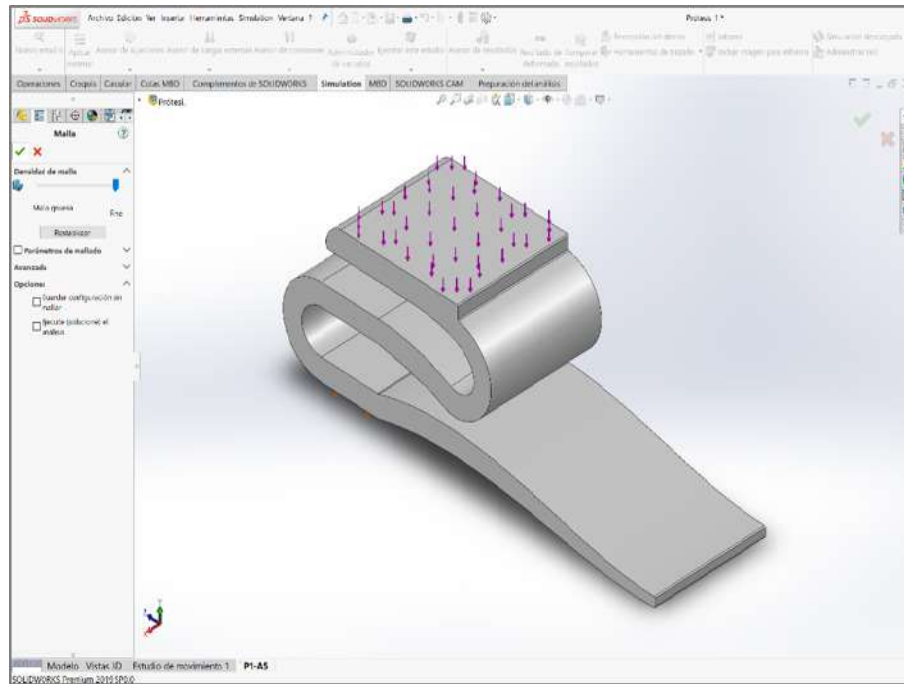


Figura 42. Configuración malla Prótesis 1.

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 43) que proporciona resultados satisfactorios.

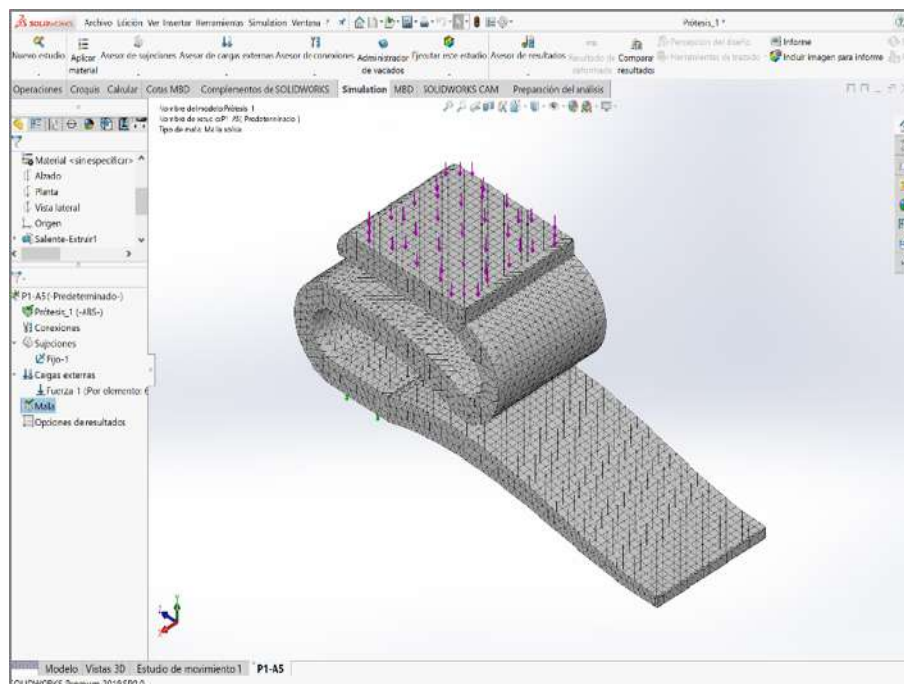


Figura 43. Malla Prótesis 1.

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 44 y Figura 45.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de grandes desplazamientos (véase Figura 45) al tratarse de una prótesis muy flexible y, por tanto, fácilmente deformable.

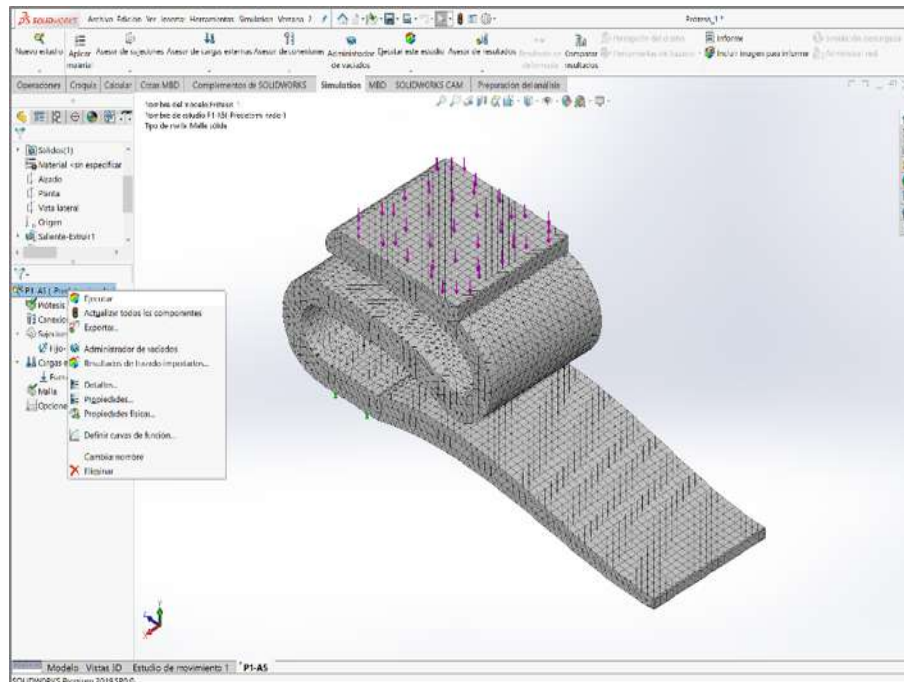


Figura 44. Ejecución análisis Prótesis 1.

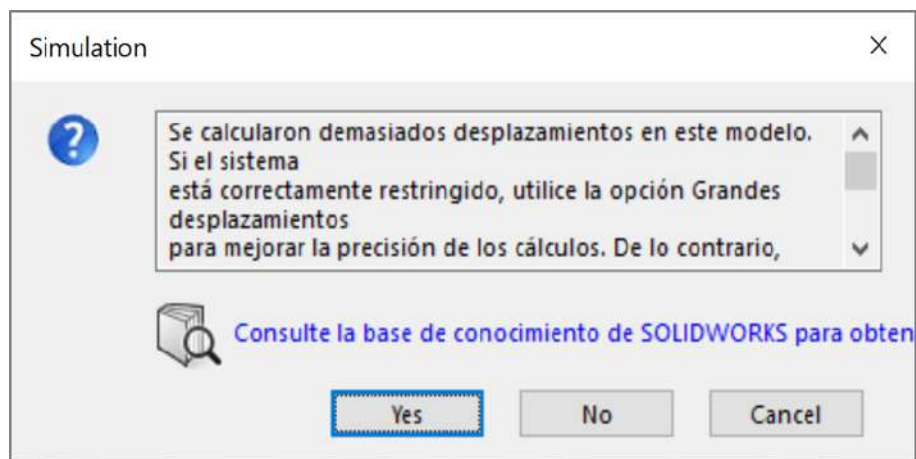


Figura 45. Opción grandes desplazamientos solucionador Prótesis 1.

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 46.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

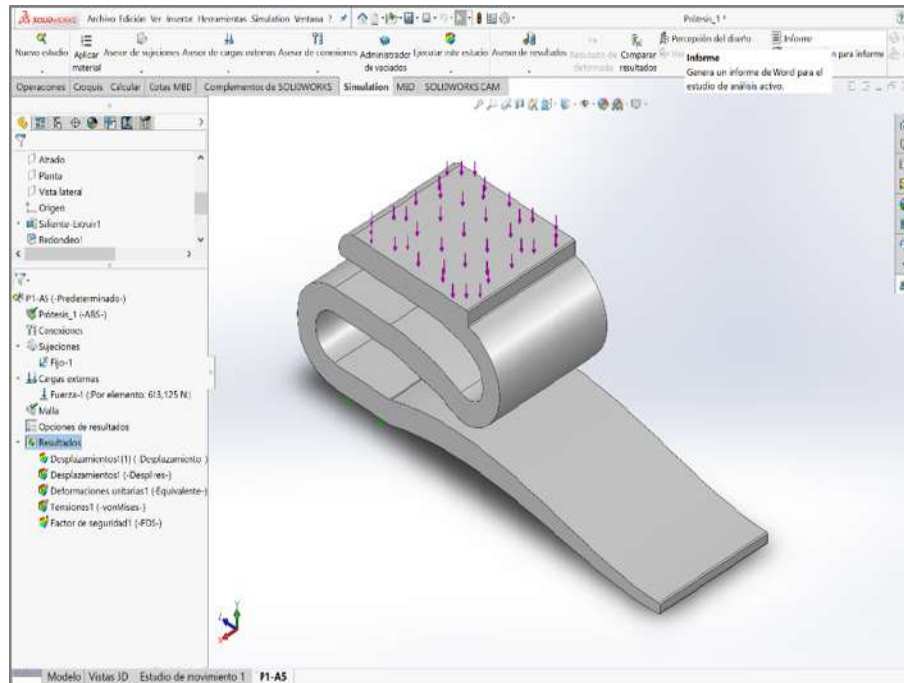


Figura 46. Generación informe resultados Prótesis 1.

5.1.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo siempre tiene lugar en la cara plana superior de la prótesis (véase Figura 47), donde se une el pie a la pierna mediante la articulación del tobillo.

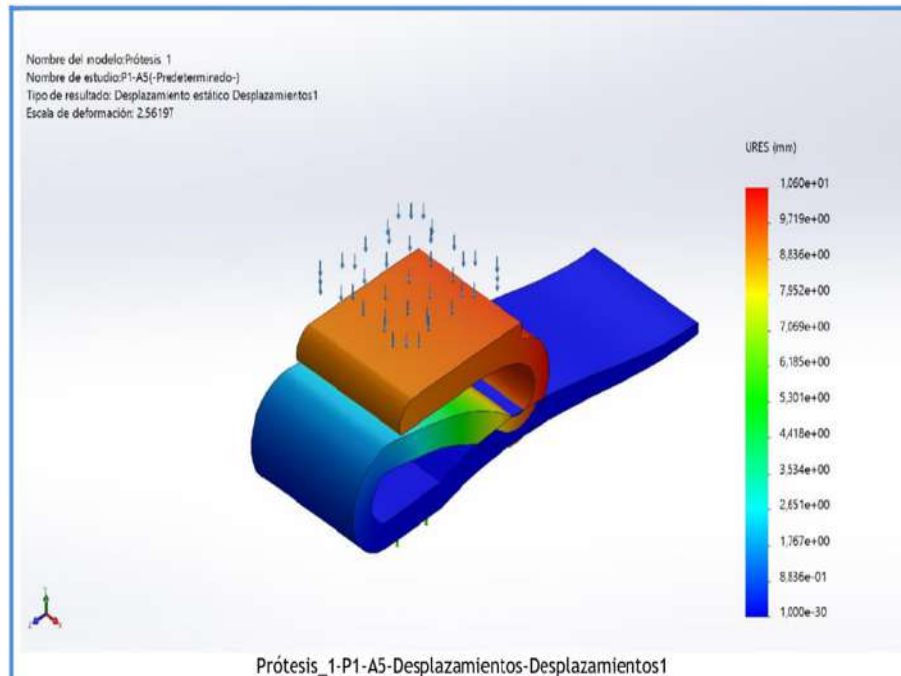


Figura 47. Desplazamientos Prótesis 1.

La deformación unitaria máxima se produce siempre en el interior de ambas curvas (véase Figura 48), disminuyendo su valor hacia el exterior de las mismas.

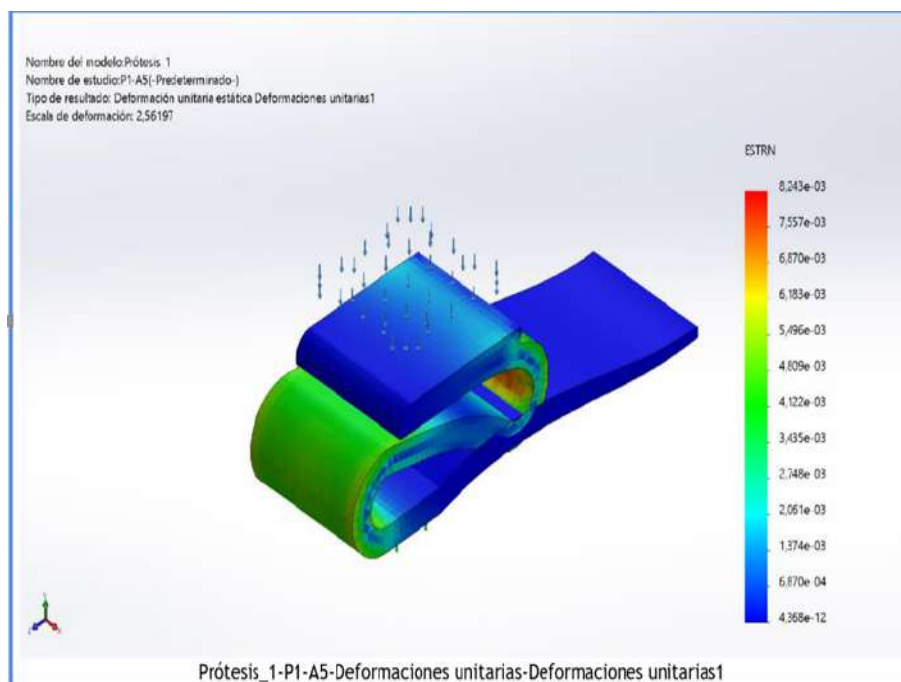


Figura 48. Deformaciones unitarias Prótesis 1.

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en el interior de ambas curvas, donde las fibras se encuentran sometidas a esfuerzos de compresión (véase Figura 49), disminuyendo su valor hacia el exterior de las mismas, donde, en cambio, los esfuerzos que soportan las fibras son de tracción.

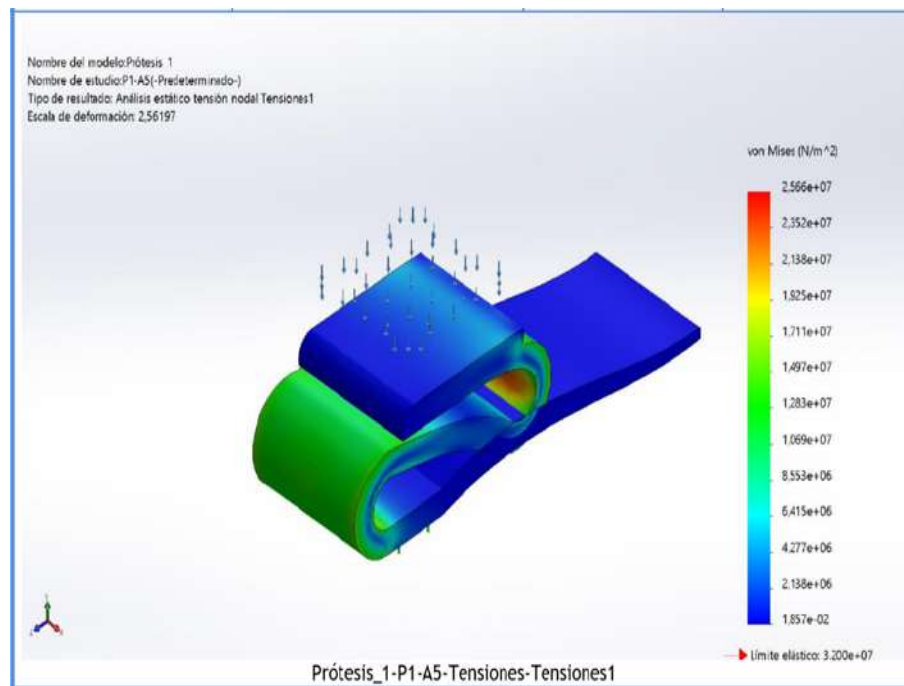


Figura 49. Tensiones de Von Mises Prótesis 1.

Nótese cómo las distribuciones de deformaciones y tensiones coinciden en todos los casos de estudio, puesto que ambas están relacionadas a través de las leyes de comportamiento (Leyes de Hooke generalizadas y Ecuaciones de Lamé).

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 1 llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla véase Tabla 2 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	^(*) Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo (F _{z1})	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	4,672	9,34	26,350	$9,148 \cdot 10^{-5}$	0,120	23,55	Coste ^(*) y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (SS)	2,822	101,60	26,400	$1,451 \cdot 10^{-4}$	0,200	40,53	Resistencia	Coste ^(*) y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	1,638	3,28	25,840	$2,871 \cdot 10^{-4}$	0,357	10,64	Coste ^(*) , Peso y Resistencia	-----	S
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	1,705	11,94	26,400	$2,479 \cdot 10^{-4}$	0,341	19,13	Coste ^(*) , Peso y Resistencia	-----	S
	ABS	0,637	1,11	25,660	$8,243 \cdot 10^{-3}$	10,600	1,25	Coste ^(*) y Peso	Resistencia	N
	PA6	0,692	1,76	25,650	$6,329 \cdot 10^{-1}$	8,056	3,04	Coste ^(*) , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 2. Resultados simulaciones Prótesis 1.

(*)**Nota:** El coste estimado de la materia prima que incluimos en esta tabla y en las sucesivas tablas de resultados de las prótesis, hace referencia sólo y exclusivamente al precio de mercado del material necesario para la fabricación de las mismas, sin incluir el coste asociado a los posteriores procesos de fabricación y acabado.

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 1 es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 1 en el caso de fabricarse en las aleaciones de acero o titanio es mucho mayor que en el caso de las aleaciones de aluminio y de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales pesados, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación (se considera aceptable una masa de la prótesis igual o inferior al 1,5 % del peso máximo del usuario, es decir $m \leq 125 \cdot 1,5/100 = 1,875 \text{ kg}$, véase [SALU19]).

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 1, éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises, éstos son bastante similares para todos los materiales aplicados a la Prótesis 1. No obstante, resultan ser ligeramente inferiores en el caso de la aleación de aluminio 6061-T6, y aún más en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 1 son, preferentemente, las aleaciones de aluminio (6061-T6 y 7075-T6), y también el material termoplástico denominado PA6, descartando el ABS por resultar un factor de seguridad que, aunque superior, se encuentra muy próximo a 1 (concretamente 1,25).

5.2. Prótesis 2

5.2.1. Descripción

La Prótesis 2 se trata de otro ejemplo de pie de respuesta dinámica, concretamente de un pie protésico senador con forma de “ala de gaviota” (véase [CAMP19]), una curva cóncava a modo de talón que termina en un tramo alargado y ondulado que hace las veces de planta, sin necesidad de un empeine (véase Figura 50).



Figura 50. Imagen Prótesis 2, [ITAL19].

Esta prótesis ha sido diseñada a partir de la imagen anterior (véase Figura 18), la cual ha sido tomada de la página web oficial de la ortopedia mexicana Italia (véase [ITAL19]), por lo que no disponemos de datos reales acerca de su dimensiones ni de su masa.

En consecuencia, hemos decidido calcar el diseño directamente de la imagen (insertada como imagen de fondo en un croquis realizado en *SolidWorks*) para posteriormente escalarlo a las dimensiones del pie promedio de la población colombiana amputada (véase Figura 51 y Plano 2) como hicimos en la Prótesis 1.

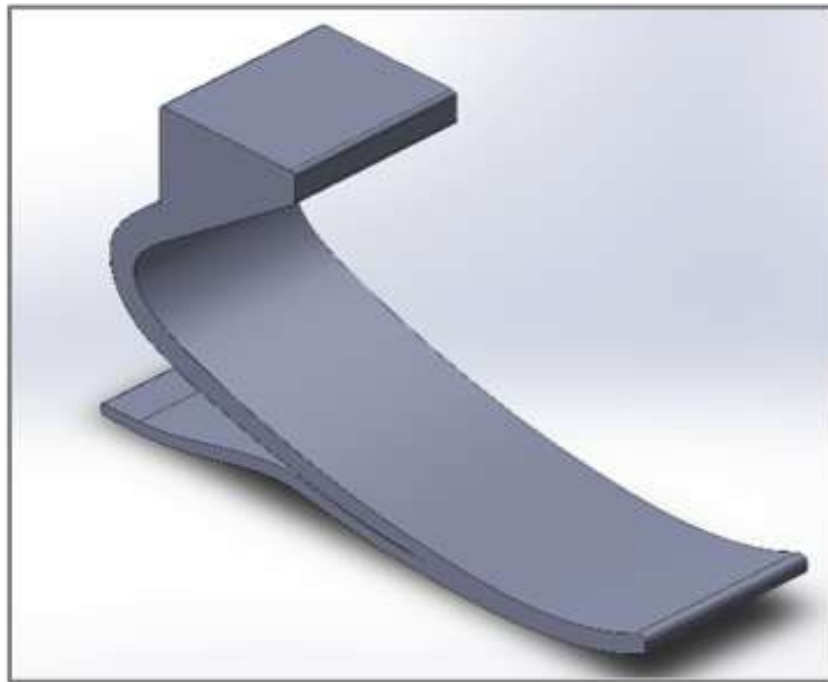


Figura 51. Modelo 3D *SolidWorks* Prótesis 2.

5.2.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 52 y Figura 53.

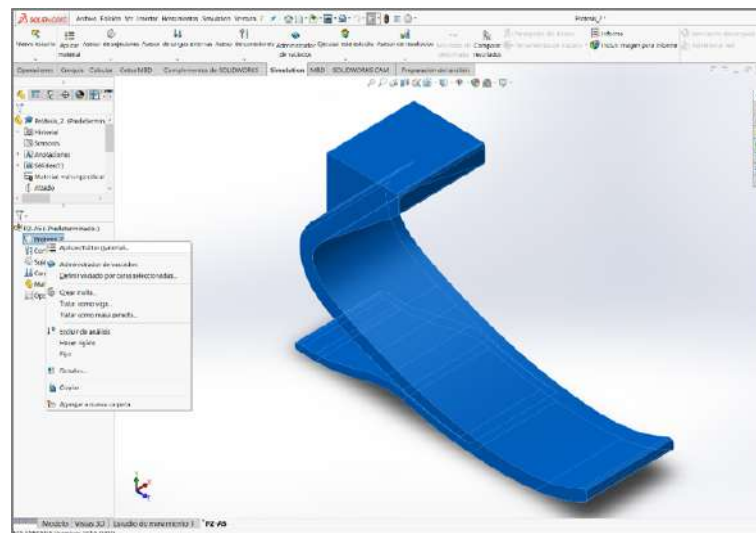


Figura 52. Asignación material Prótesis 2.

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

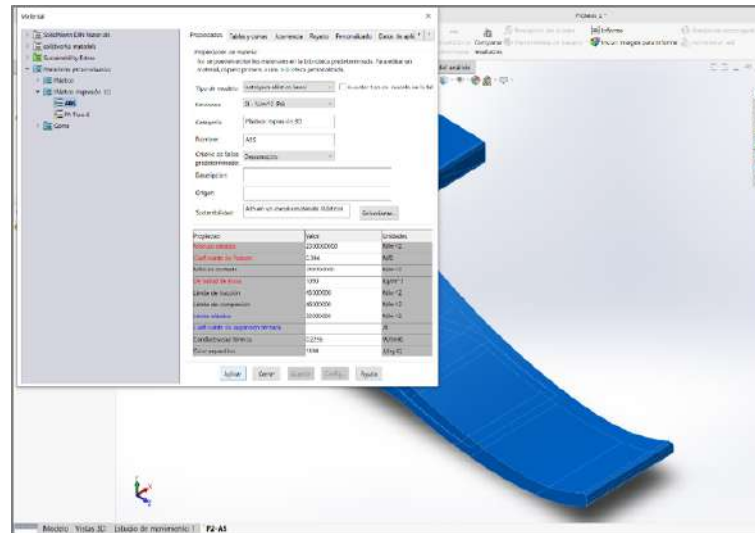


Figura 53. Aplicación material Prótesis 2.

Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 54 y Figura 55.

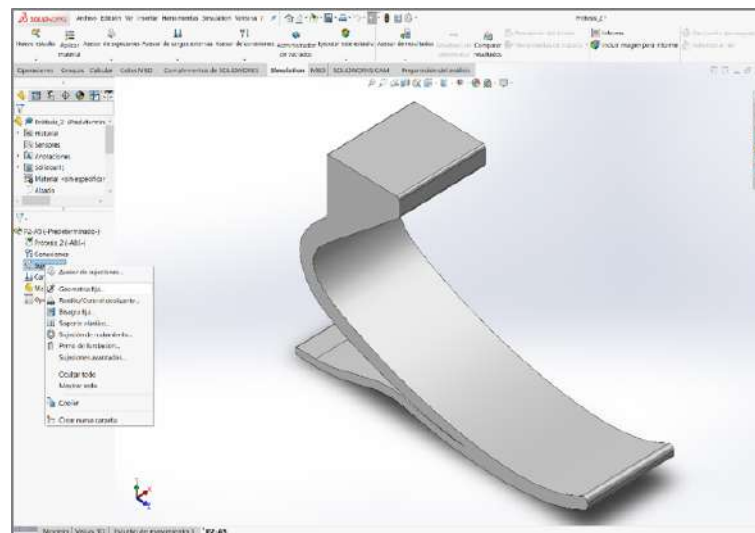


Figura 54. Adición sujeción Prótesis 2.

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior trasera que remata el talón. Dicha sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, y tomando como referencia el eje Y, cuya dirección será perpendicular a la cara plana de apoyo que se encuentra en contacto con el suelo, siendo su sentido ascendente como el de la fuerza normal que sufre la prótesis en dicha cara.

En cambio, no asignamos dicha sujeción a la cara cóncava central de la planta del pie puesto que el contacto de la misma con el suelo se produce inicialmente en una sola línea, no entrando ésta en contacto por completo con el suelo hasta que tiene lugar la deformación de la prótesis bajo la acción del peso del usuario.

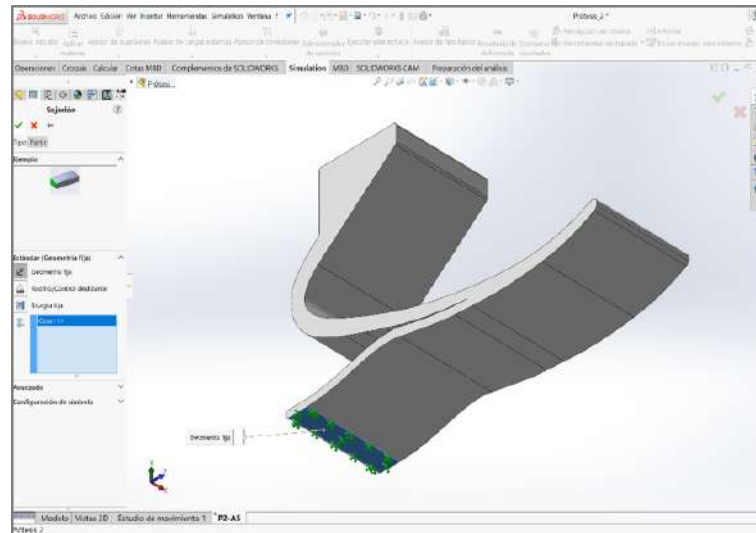


Figura 55. Aplicación sujeción Prótesis 2.

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 56 y Figura 57.

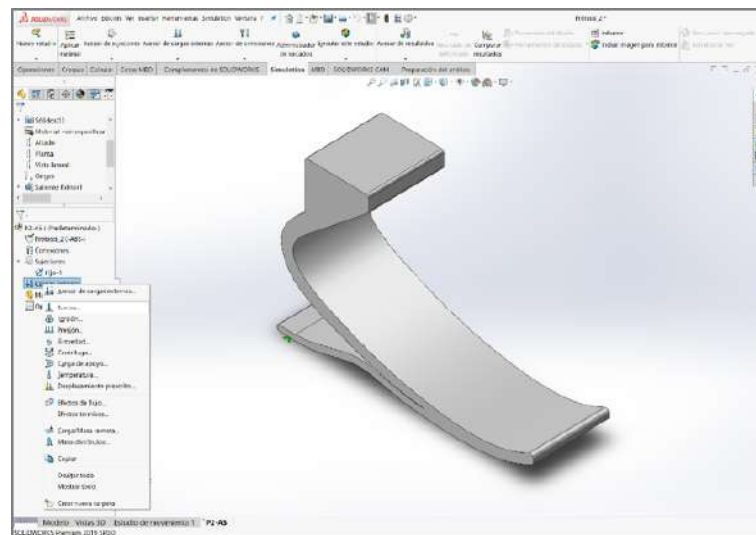


Figura 56. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 2.

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, resultante de convertir la masa máxima que soporta cada extremidad inferior de una persona ($m = M/2 = 125/2 = 62,5\text{ kg}$) en peso ($f = m \cdot g = 62,5 \cdot 9,81 = 613,125N$), tomando como valor máximo de la masa del usuario el valor límite establecido entre los niveles K3 y K4 por el sistema de movilidad para personas amputadas (Sistema MOBIS de Otto Bock [BARR19]), en concreto, $M = 125kg$, y como valor de la aceleración de la gravedad $g = 9,81m/s^2$. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior, siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

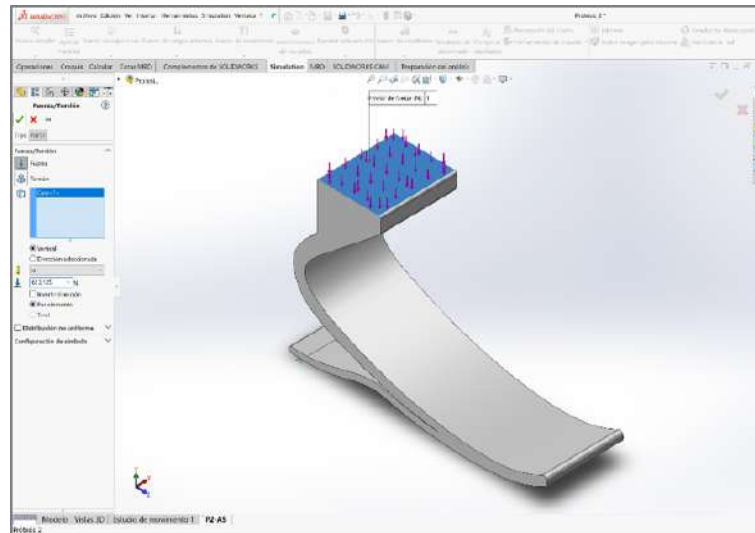


Figura 57. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 2.

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 58, Figura 59 y Figura 60.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

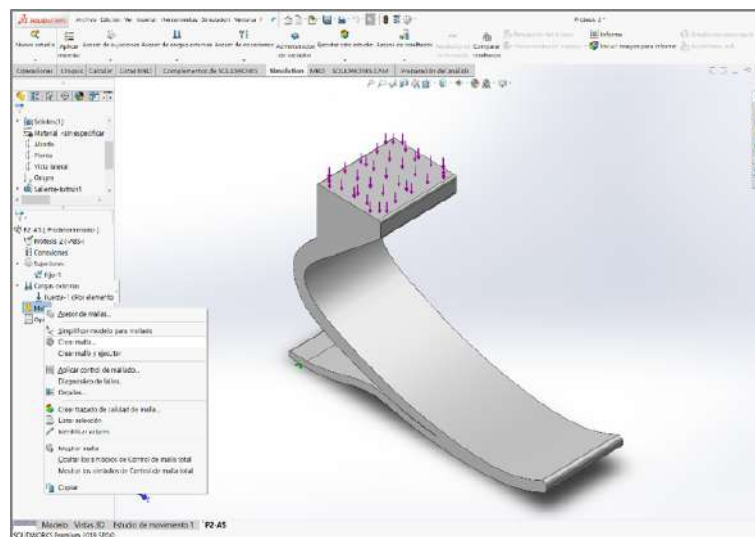


Figura 58. Creación malla Prótesis 2.

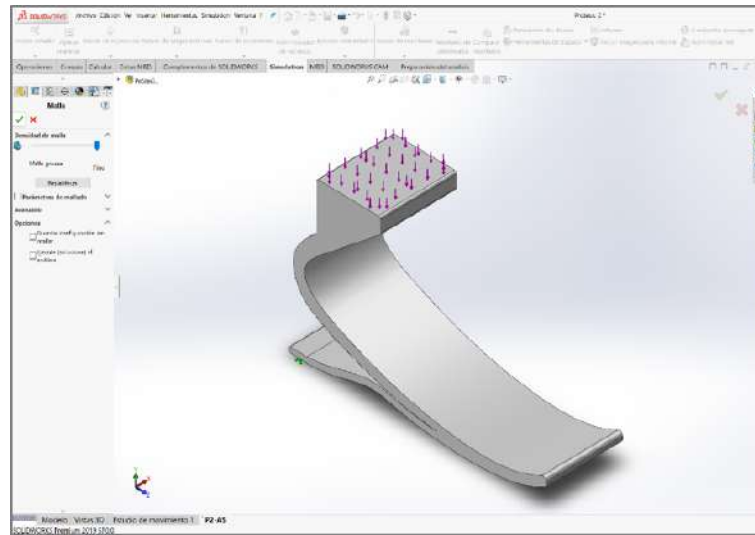


Figura 59. Configuración malla Prótesis 2.

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera igualmente una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 60) que proporciona resultados satisfactorios.

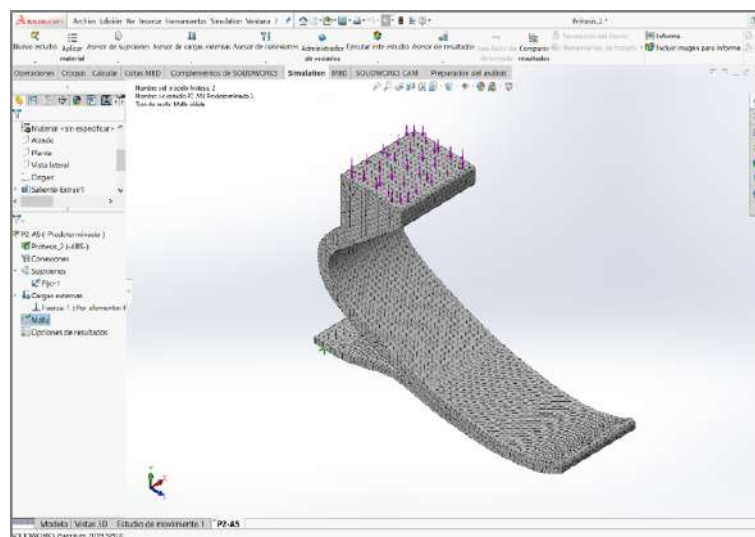


Figura 60. Malla Prótesis 2.

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 61 y Figura 62.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de grandes desplazamientos (véase Figura 62) al tratarse de una prótesis muy flexible y, por tanto, fácilmente deformable.

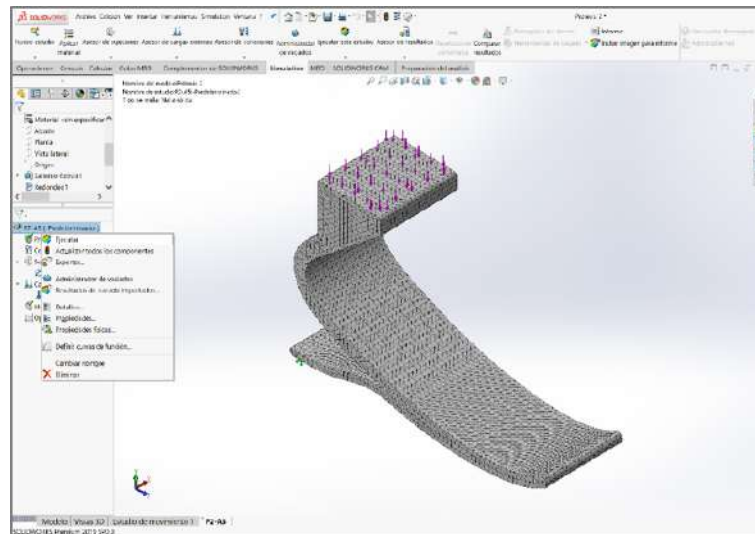


Figura 61. Ejecución análisis Prótesis 2.

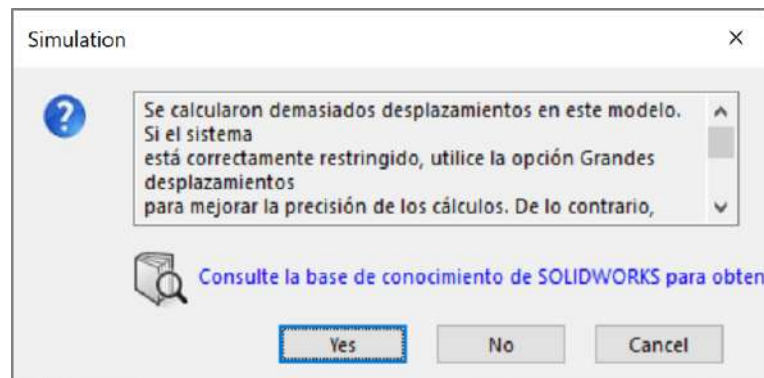


Figura 62. Opción grandes desplazamientos solucionador Prótesis 2.

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 63.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

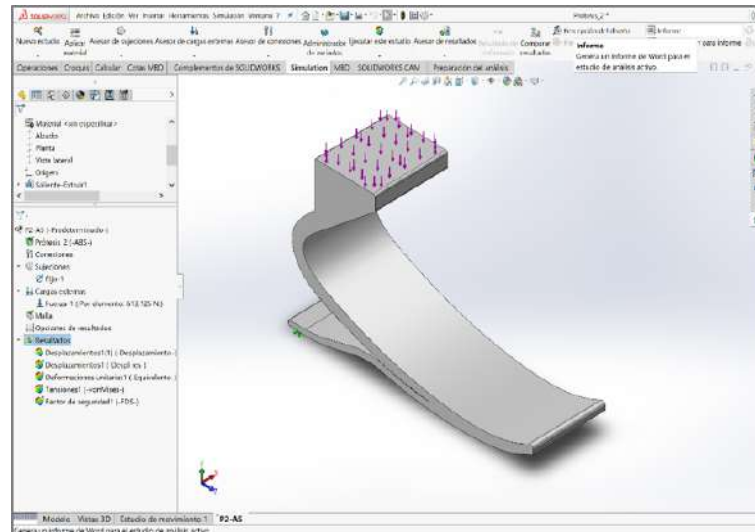


Figura 63. Generación informe resultados Prótesis 2.

5.2.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises:

El desplazamiento máximo tiene lugar siempre en la cara plana superior de la prótesis (véase Figura 64), donde se une el pie a la pierna mediante la articulación del tobillo.

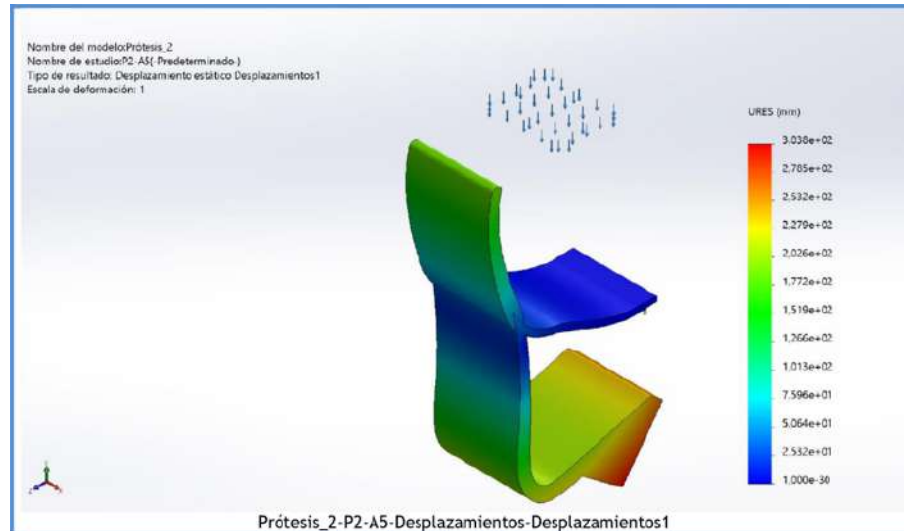


Figura 64. Desplazamientos Prótesis 2.

La deformación unitaria máxima se produce siempre en la unión del talón con la planta (véase Figura 65), disminuyendo su valor conforme nos alejamos de dicha unión.

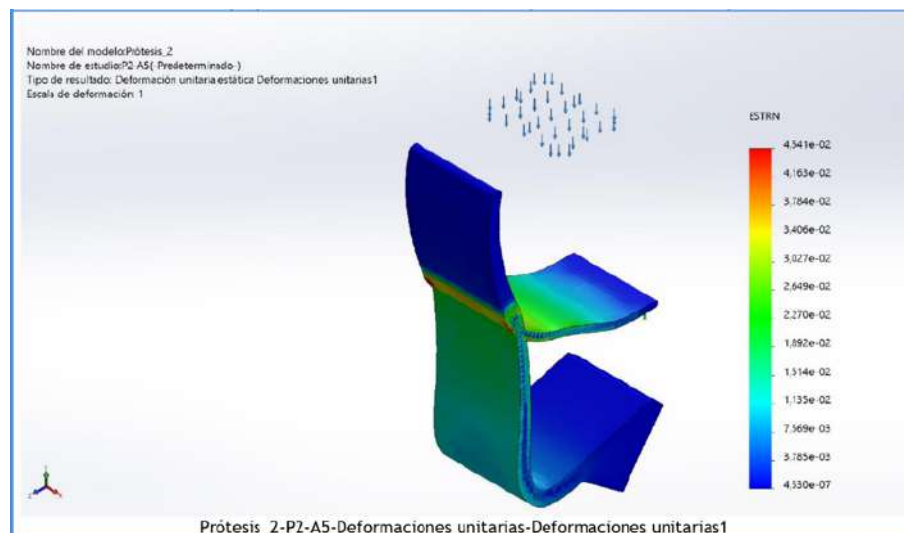


Figura 65. Deformaciones unitarias Prótesis 2.

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en la unión del talón con la planta del pie protésico, donde las fibras se encuentran sometidas a esfuerzos de tracción-compresión (véase Figura 66), disminuyendo su valor conforme nos alejamos de la misma.

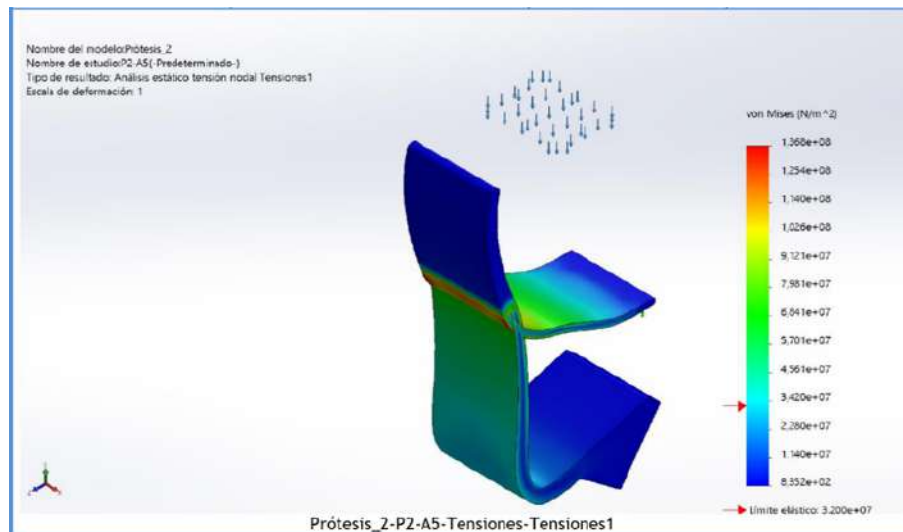


Figura 66. Tensiones de Von Mises Prótesis 2.

Nótese cómo las distribuciones de deformaciones y tensiones coinciden en todos los casos de estudio, puesto que ambas están relacionadas a través de las leyes de comportamiento (Leyes de Hooke generalizadas y Ecuaciones de Lamé).

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 1 llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 3 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en las cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo (F _s ≥1)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	4,533	9,07	100,100	3,364·10 ⁻⁴	1,830	6,20	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (SS)	2,738	98,57	97,410	5,842·10 ⁻⁴	3,077	10,98	Resistencia	Coste ⁽¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	1,590	3,18	97,410	1,041·10 ⁻³	5,484	2,82	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	1,654	11,58	97,410	9,980·10 ⁻⁴	5,256	5,18	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	ABS	0,618	1,08	136,800	4,541·10 ⁻²	303,800	0,23	Coste ⁽¹⁾ y Peso	Resistencia (SE ROMPE)	N
	PA6	0,671	1,71	156,400	3,977·10 ⁻²	281,000	0,50	Coste ⁽¹⁾ y Peso	Resistencia (SE ROMPE)	N

Tabla 3. Resultados simulaciones Prótesis 2.

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 2 es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 2 en el caso de fabricarse en las aleaciones de acero o titanio es mucho mayor que en el caso de las aleaciones de aluminio y de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales pesados, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación (mantenemos las mismas condiciones que en la Prótesis 1 para que se considere aceptable).

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria, éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y excesivamente mayores en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), tanto que no es posible la fabricación de la Prótesis 2 en dichos materiales porque hipotéticamente se rompería, tal y como reflejan las imágenes de la simulación, así como el valor del factor de seguridad que resulta inferior a 1 en ambos casos.

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 2, éstos son idénticos para todas las aleaciones metálicas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente superiores. Sin embargo, dichos valores se disparan en el caso de los materiales termoplásticos, provocando así la hipotética rotura de la prótesis.

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 2 son, sólo y exclusivamente, las aleaciones de aluminio (6061-T6 y 7075-T6).

5.3. Prótesis 3

5.3.1. Descripción

La Prótesis 3 se trata de un ejemplo de pie de respuesta dinámica, concretamente de un pie protésico que presenta un empeine compacto a modo de quilla, el cual apoya sobre la planta curva y estilizada dejando un hueco entre ambos con forma de gota o lágrima cuya función es la de aligerar su masa, la cual se funde con un talón curvo y consistente con forma de gancho (véase Figura 67).

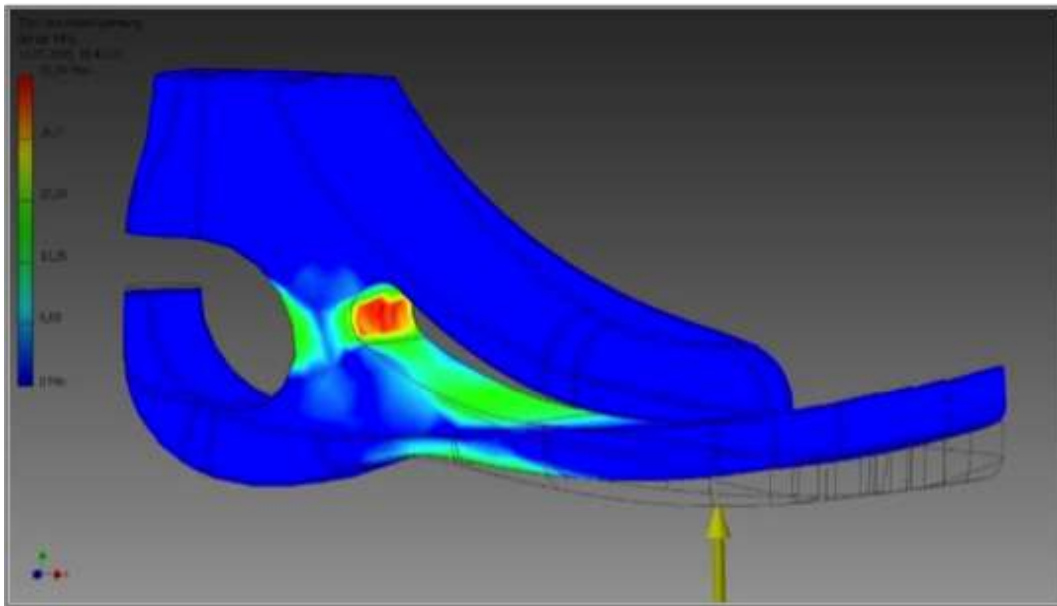


Figura 67. Imagen Prótesis 3, [ZAGE17].

Esta prótesis ha sido diseñada a partir de la imagen anterior (véase Figura 35), la cual es el resultado de una simulación FEM, extraída del artículo [ZAGE17], por lo que no disponemos de datos reales acerca de su dimensiones ni de su masa.

En consecuencia, hemos decidido calcar el diseño directamente de la imagen (insertada como imagen de fondo en un croquis realizado en *SolidWorks*) para posteriormente escalarlo a las dimensiones del pie promedio de la población colombiana amputada (véase Figura 68), 27 centímetros de largo y 8 centímetros de ancho, véase Plano 3, como se ha comentado ya anteriormente.

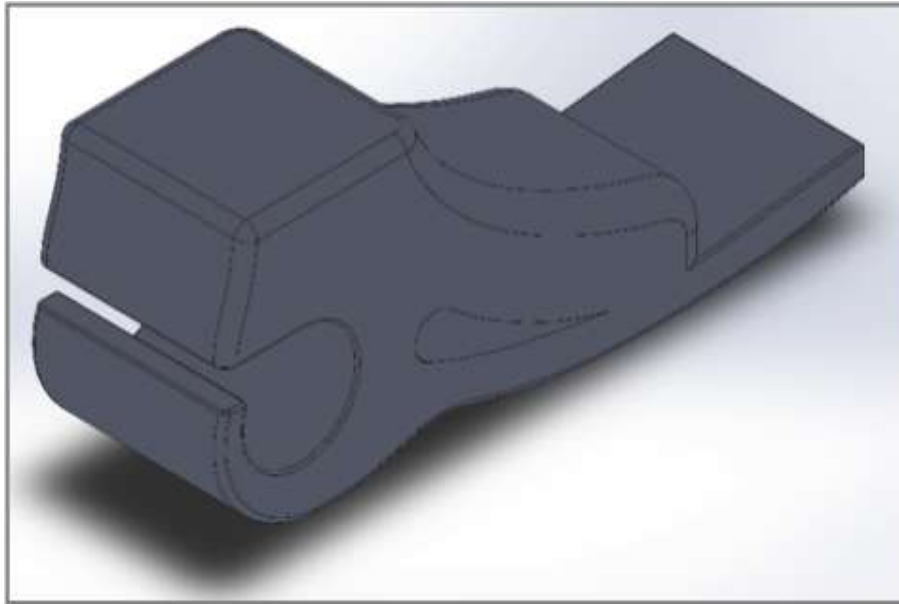


Figura 68. Modelo 3D *SolidWorks* Prótesis 3.

5.3.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 69 y Figura 70.

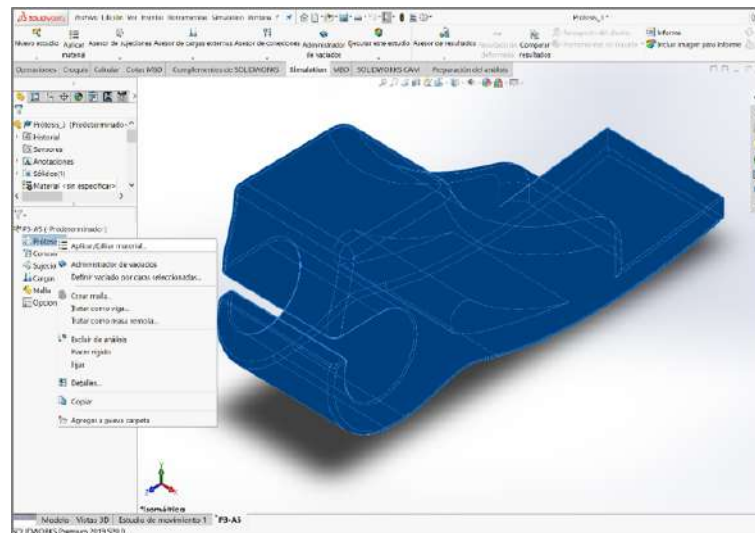


Figura 69. Asignación material Prótesis 3.

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

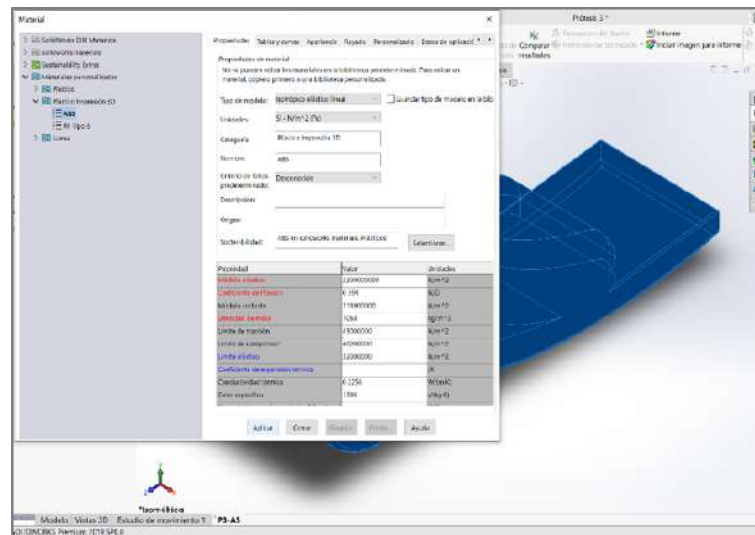


Figura 70. Aplicación material Prótesis 3.

Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 71 y Figura 72.

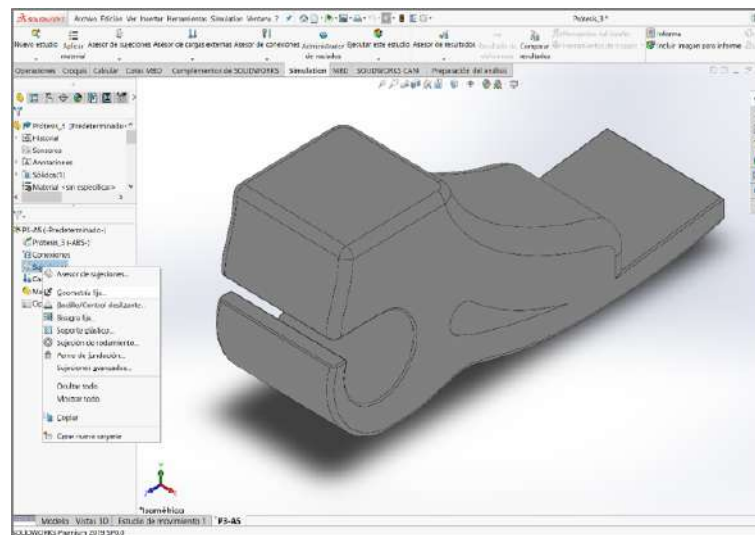


Figura 71. Adición sujeción Prótesis 3.

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior que estará en contacto con el suelo. Dicha sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, y tomando como referencia el eje Y, cuya dirección será perpendicular a la cara plana de apoyo que se encuentra en contacto con el suelo, siendo su sentido ascendente como el de la fuerza normal que sufre la prótesis en dicha cara.

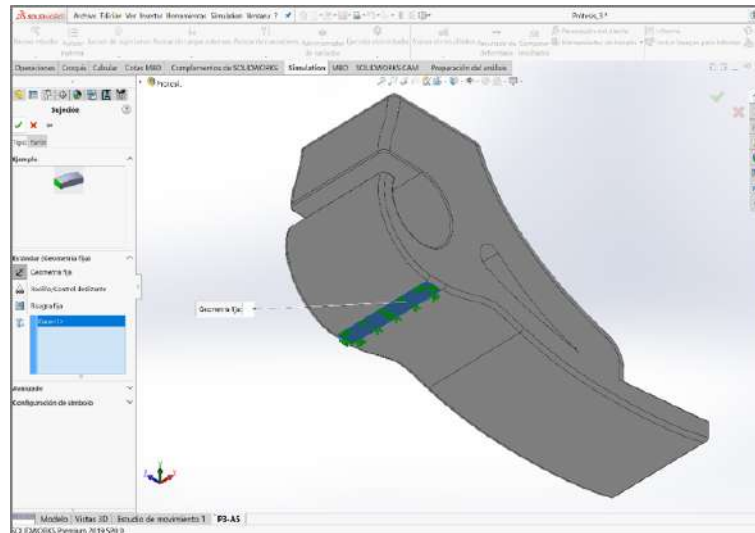


Figura 72. Aplicación sujeción Prótesis 3.

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 73 y Figura 74.

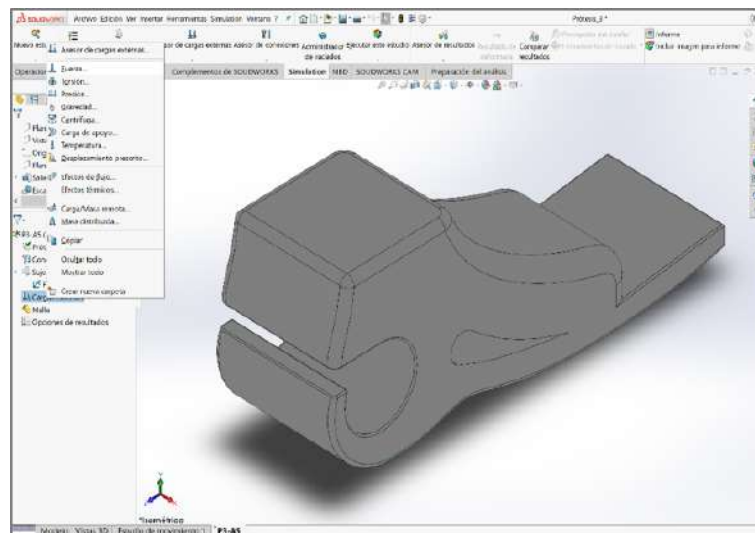


Figura 73. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 3.

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculada previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior, siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente

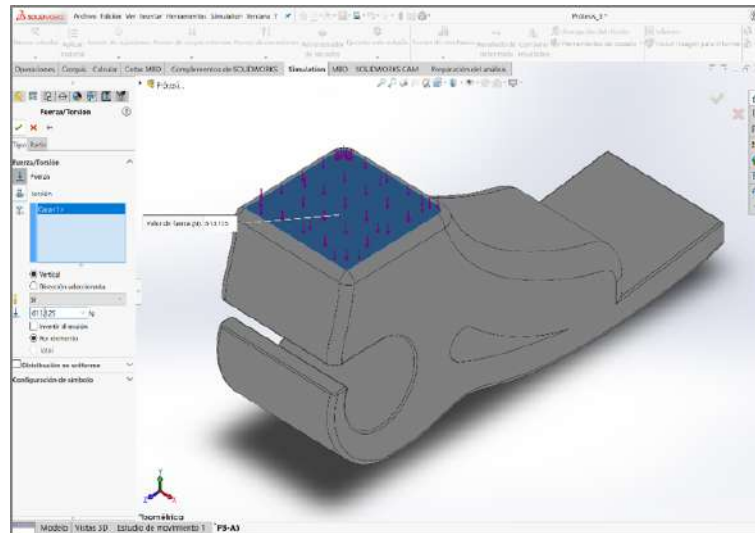


Figura 74. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 3.

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 75, Figura 76 y Figura 77.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

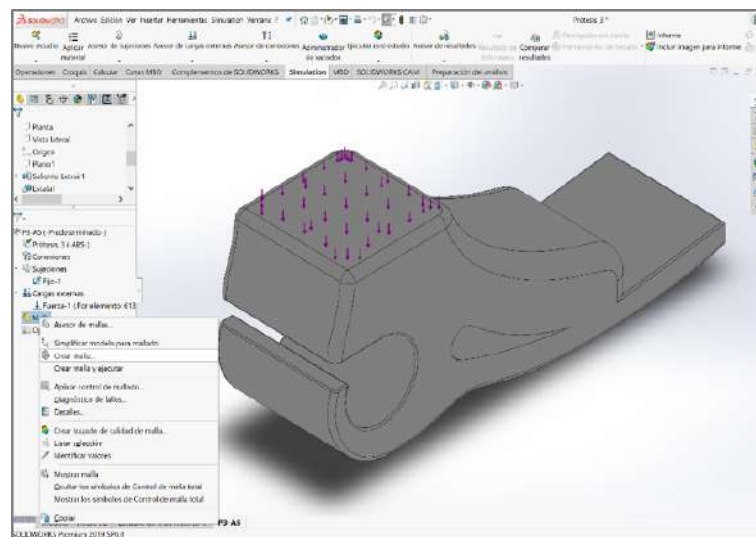


Figura 75. Creación malla Prótesis 3.

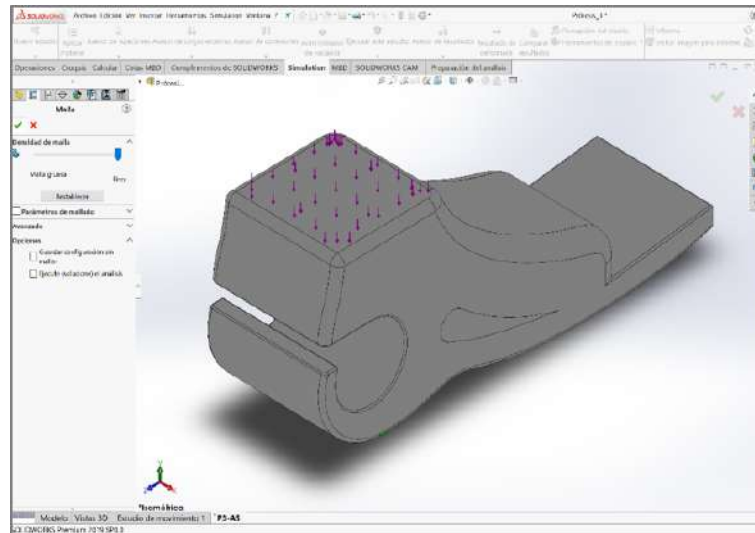


Figura 76. Configuración malla Prótesis 3.

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 77) que proporciona resultados satisfactorios.

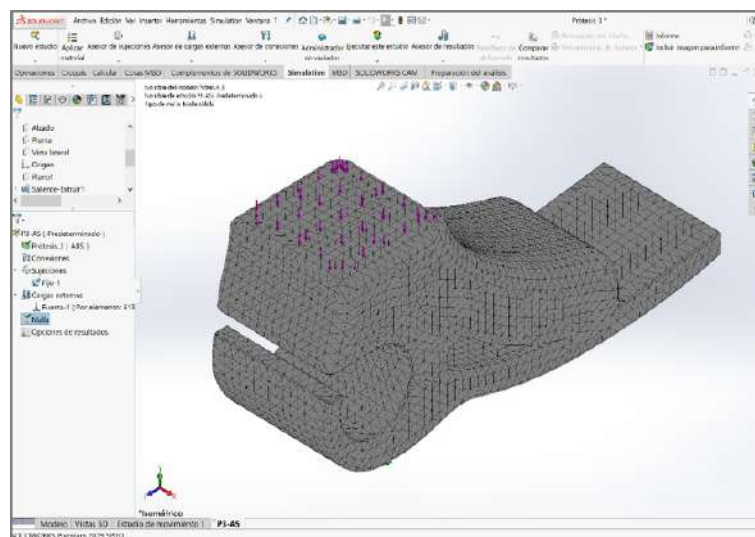


Figura 77. Malla Prótesis 3.

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 78.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis altamente compacta y, por tanto, difícilmente deformable.

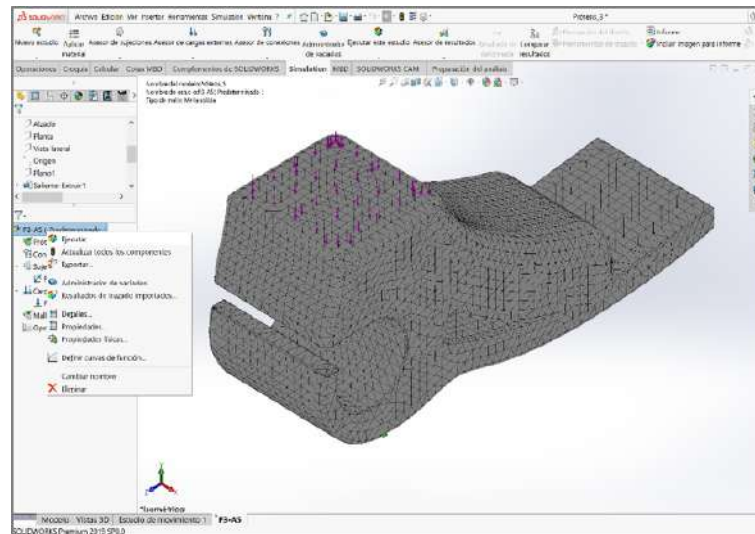


Figura 78. Ejecución análisis Prótesis 3.

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 79.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

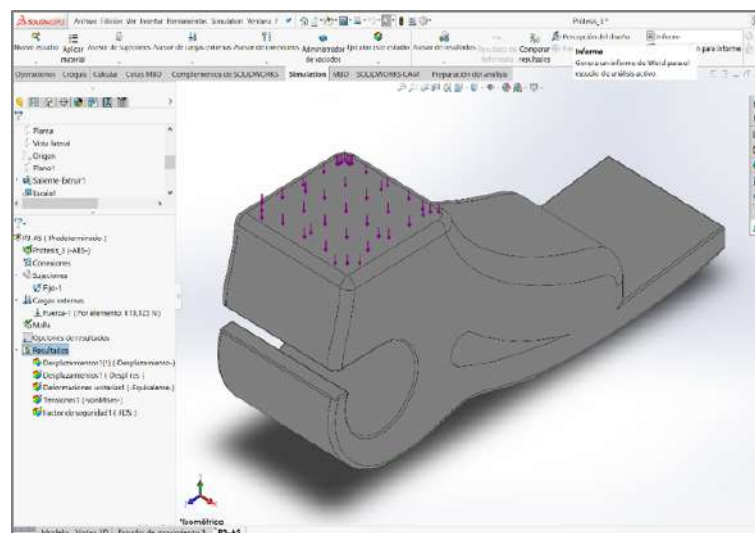


Figura 79. Generación informe resultados Prótesis 3.

5.3.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo siempre tiene lugar en la arista trasera de la cara plana superior de la prótesis, donde se une el pie a la pierna mediante la articulación del tobillo, así como en la denominada punta del pie, que se levanta por el efecto de la aplicación de la carga externa (véase Figura 80).

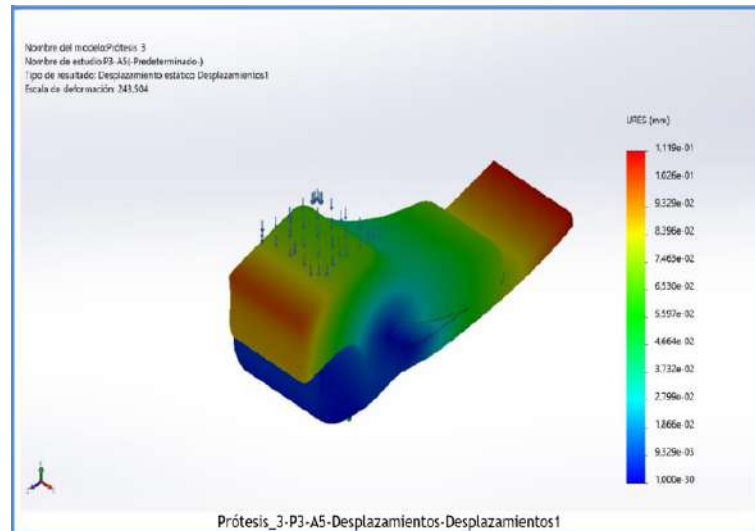


Figura 80. Desplazamientos Prótesis 3.

La deformación unitaria máxima se produce siempre en la superficie exterior del estrechamiento entre ambas oquedades, el existente entre el empeine y la planta y el del talón, disminuyendo su valor según nos alejamos de dicho estrechamiento (véase Figura 81).

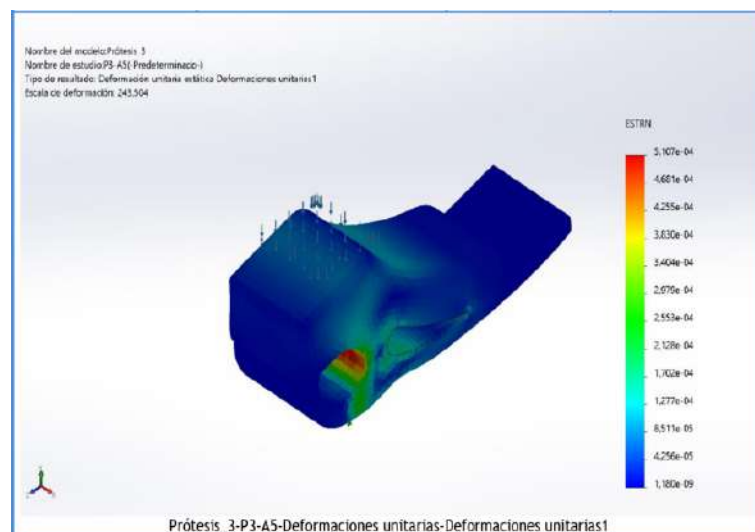


Figura 81. Deformaciones unitarias Prótesis 3.

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre la superficie exterior del estrechamiento entre ambas oquedades, donde las fibras se encuentran sometidas a esfuerzos de tensión-compresión, disminuyendo su valor según nos alejamos del mismo (véase Figura 82).

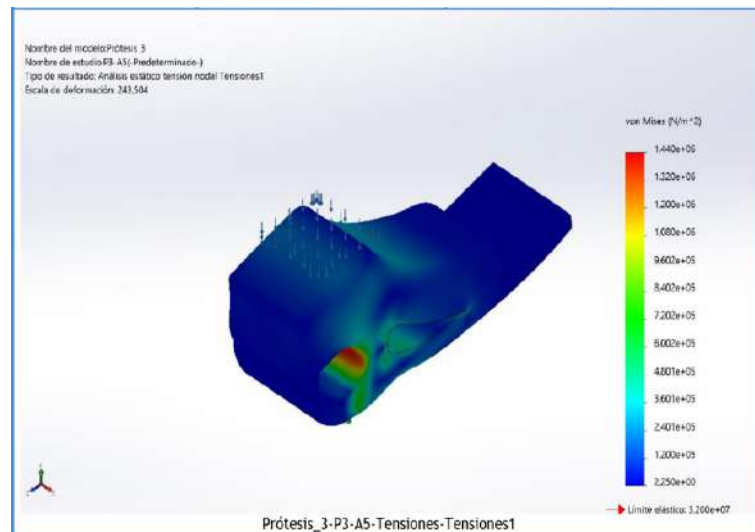


Figura 82. Tensiones de Von Mises Prótesis 3.

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 3 llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 4 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo (F _s ≥1)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (S5)	9,141	18,28	1,518	5,163·10 ⁻⁶	1,271·10 ⁻³	408,80	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (S5)	5,520	198,72	1,473	9,097·10 ⁻⁶	2,137·10 ⁻³	726,60	Resistencia	"Coste" y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (S5)	3,205	6,41	1,473	1,622·10 ⁻⁵	3,809·10 ⁻³	186,70	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (S5)	3,336	23,35	1,473	1,554·10 ⁻⁵	3,650·10 ⁻³	342,90	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,246	2,18	1,440	5,107·10 ⁻⁴	1,119·10 ⁻³	22,22	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PA6	1,353	3,45	1,442	3,937·10 ⁻⁴	8,567·10 ⁻²	54,11	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 4. Resultados simulaciones Prótesis 3.

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 3 es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 3 en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya

densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 3, éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 3, éstos son idénticos para todas las aleaciones metálicas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente superiores, siendo ligeramente inferiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 3 son, sólo y exclusivamente, los materiales termoplásticos (ABS y PA6), al resultar más baratos, ligeros y resistentes.

5.4. Prótesis 4

5.4.1. Descripción

La Prótesis 4 se trata de un ejemplo de pie de respuesta dinámica, concretamente de un pie protésico que presenta un empeine curvo reforzado gracias a un apoyo inclinado intermedio que conecta la quilla con la base del tronco de cono macizo el cual desempeña la función de talón, presentando un hueco cilíndrico practicado en su cara plana superior donde ajusta la pieza con función de tobillo que lo conecta a la pierna. Tanto la estructura del empeine como la del talón terminan en una planta plana y estilizada que los conecta, aportando consistencia y robustez al modelo (véase Figura 83 y Figura 84).

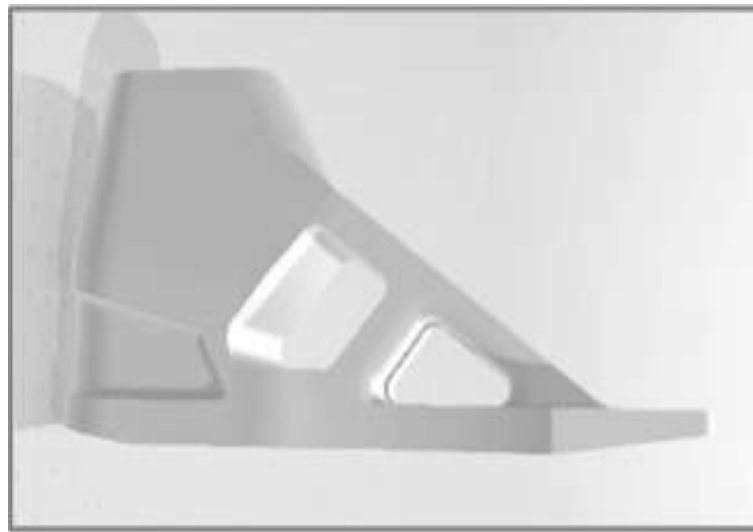


Figura 83. Alzado modelo 3D base diseño Prótesis 4.

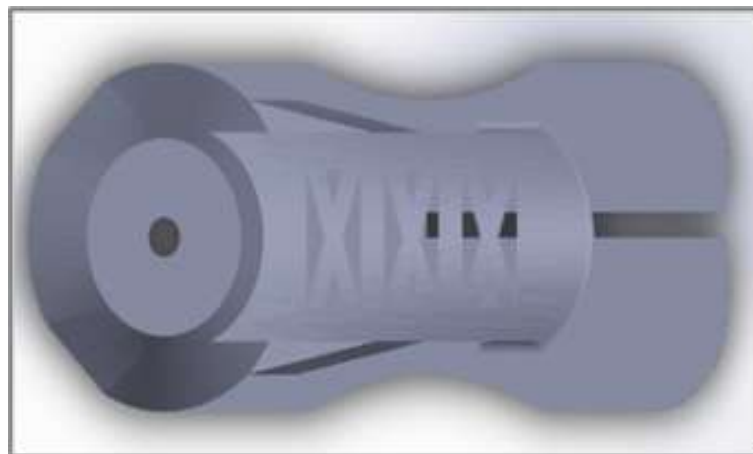


Figura 84. Planta modelo 3D base diseño Prótesis 4.

Esta prótesis ha sido diseñada a partir de la simplificación de un modelo 3D de un pie protésico denominado *Mark III* y destinado a un amputado joven, el cual ha sido adaptado para un usuario adulto. Dicho modelo ha sido extraído de la plataforma web, llamada *Thingiverse* (véase [THIN20]), donde los usuarios o *makers* comparten sus propios diseños digitales para que cualquier internauta pueda usarlos, generalmente con el objetivo de fabricarlos mediante impresión 3D.

Para ello, hemos tomado las dimensiones del nuevo diseño simplificado y adaptado de las vistas en alzado (véase Figura 83) y planta (véase Figura 84) del modelo 3D para croquizarlas y posteriormente escalarlas a las dimensiones del pie promedio de la población colombiana amputada (véase Figura 85): 27×8 centímetros, tal y como se ha comentado ya con anterioridad.

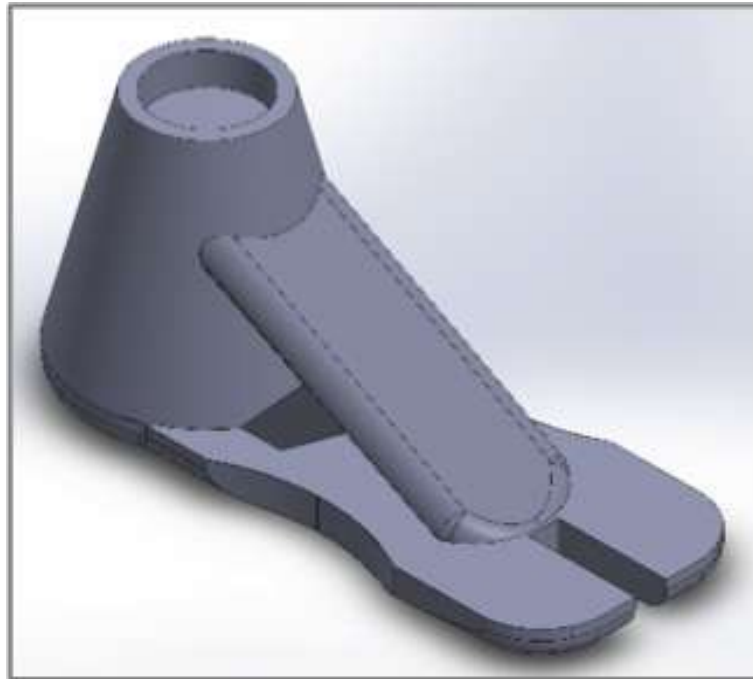


Figura 85. Modelo 3D *SolidWorks* Prótesis 4.

5.4.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 86 y Figura 87.

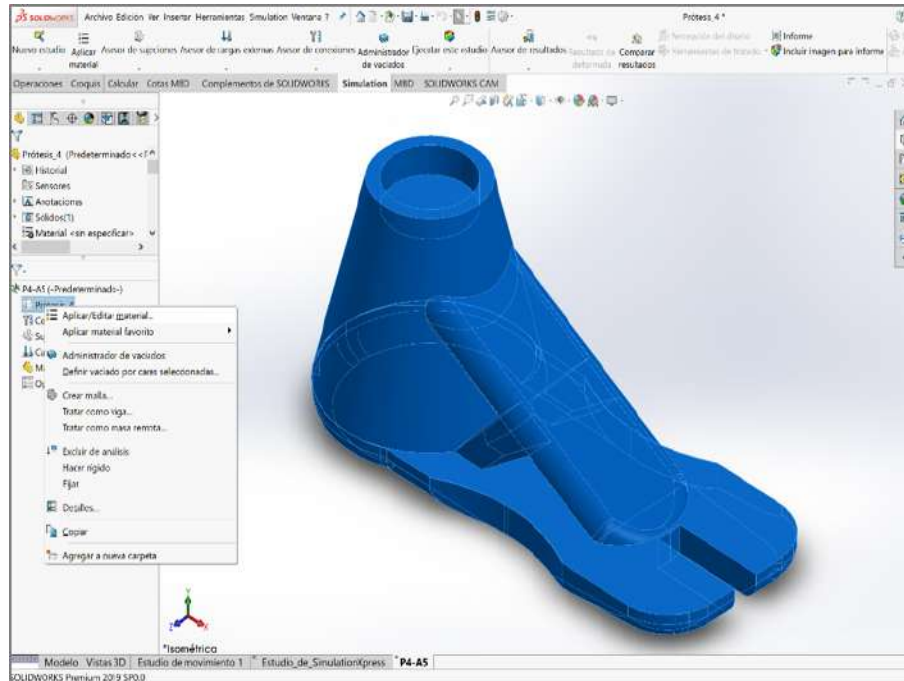


Figura 86. Asignación material Prótesis 4.

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

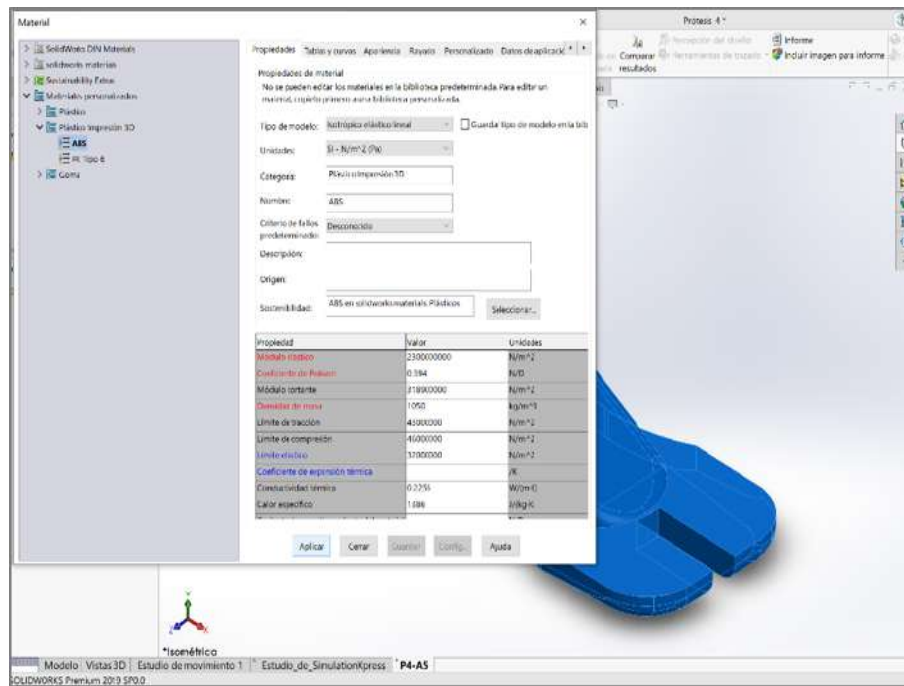


Figura 87. Aplicación material Prótesis 4.

Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 88 y Figura 89.

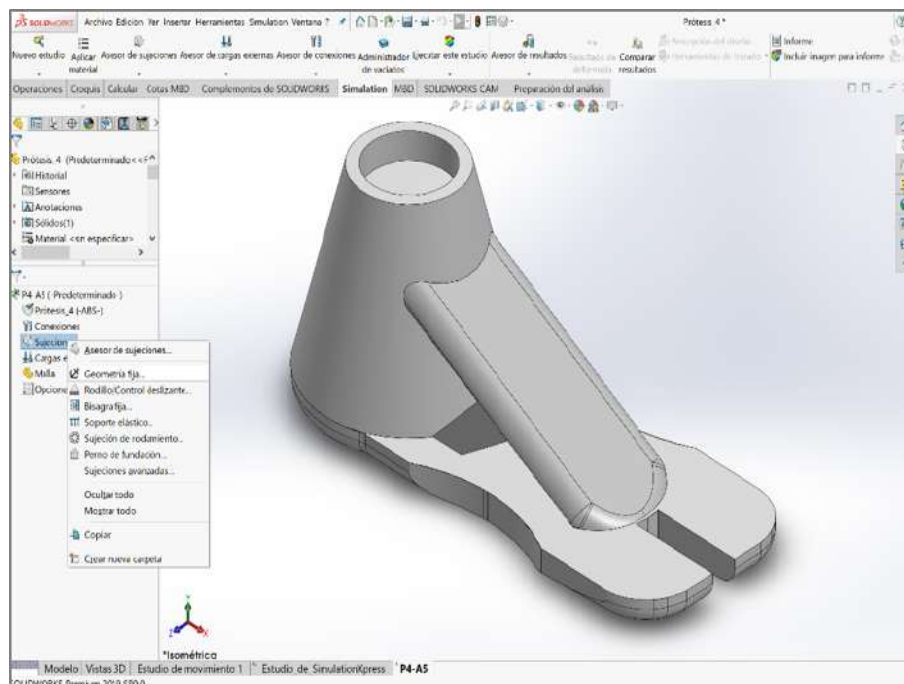


Figura 88. Adición sujeción Prótesis 4.

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior que hace las veces de planta del pie. Esta sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, tomando como referencia el eje Y, que será perpendicular a dicha cara y de sentido ascendente, como el de la fuerza normal que sufre la prótesis al entrar la planta del pie en contacto con el suelo.

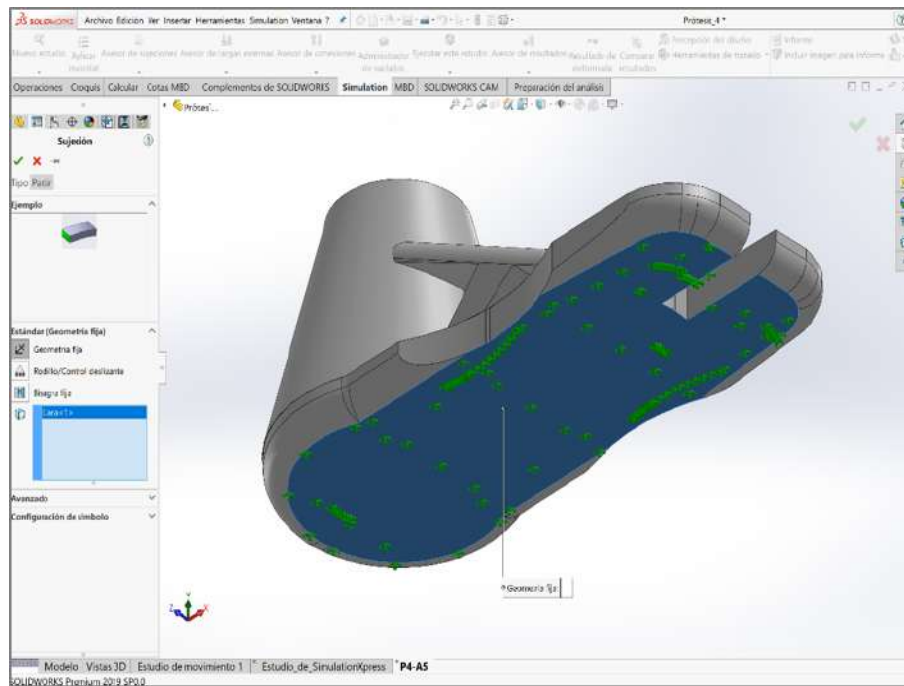


Figura 89. Aplicación sujeción Prótesis 4.

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 90 y Figura 91.

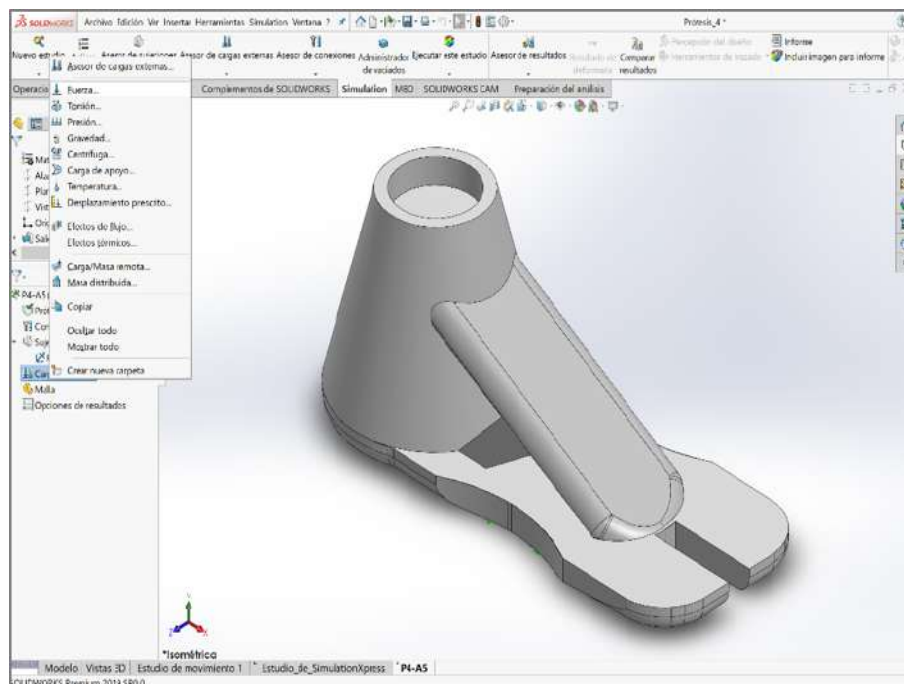


Figura 90. Definición carga(s) externa(s) Prótesis 4.

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculado previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la corona circular plana superior, así como por la cara plana circular del interior de la cavidad cilíndrica, siendo ésta perpendicular a ambas caras y de sentido descendente.

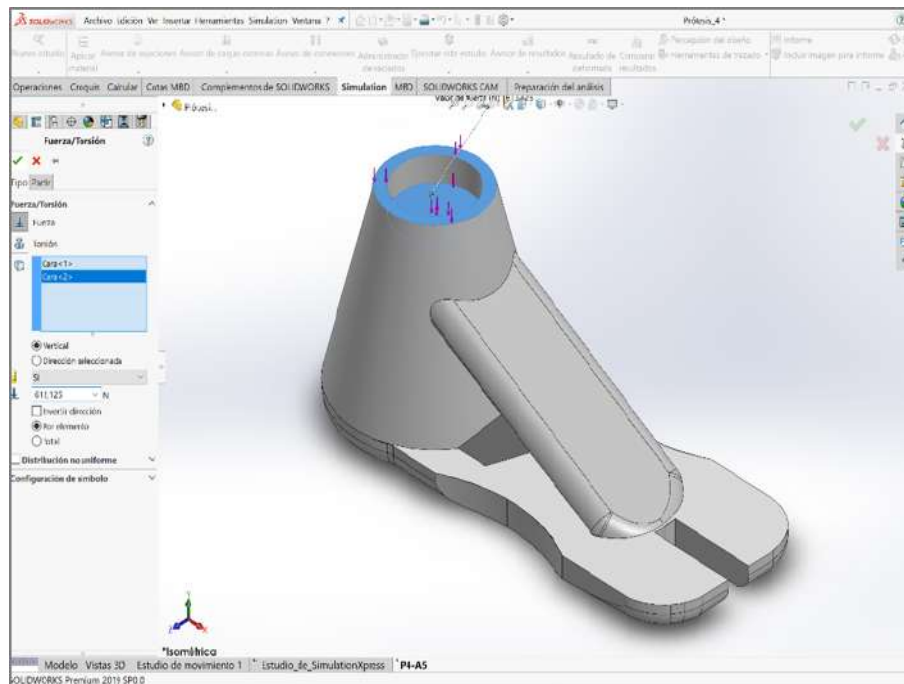


Figura 91. Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 4.

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 92, Figura 93 y Figura 94.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

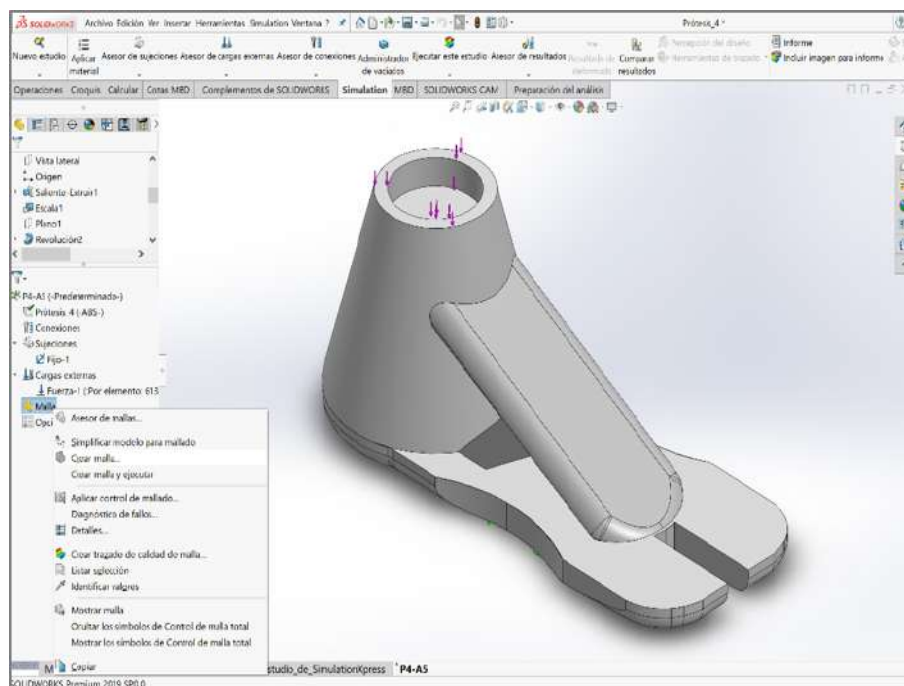


Figura 92. Creación malla Prótesis 4.

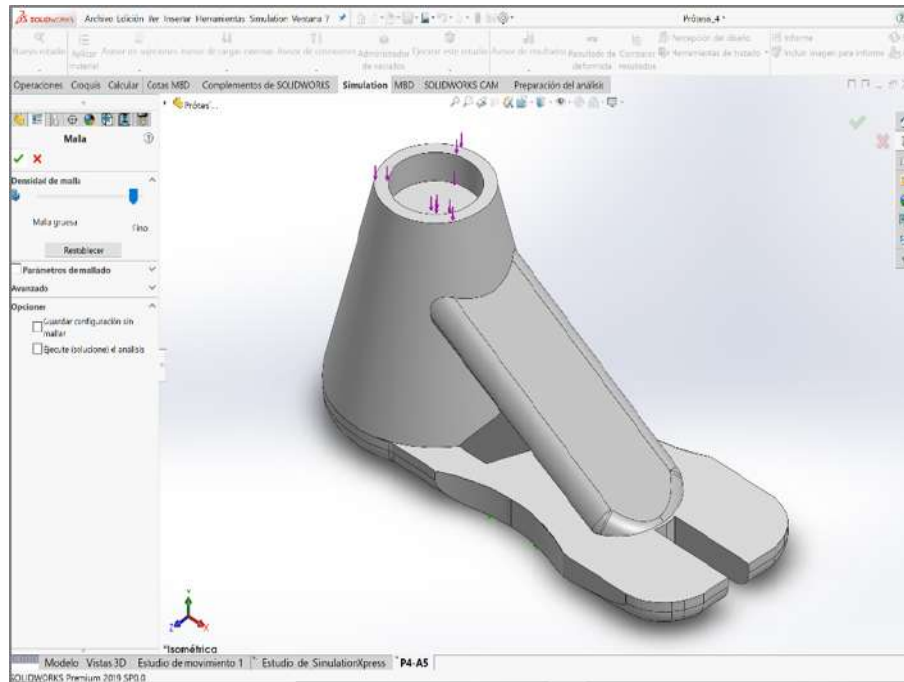


Figura 93. Configuración malla Prótesis 4.

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 94) que proporciona resultados satisfactorios.

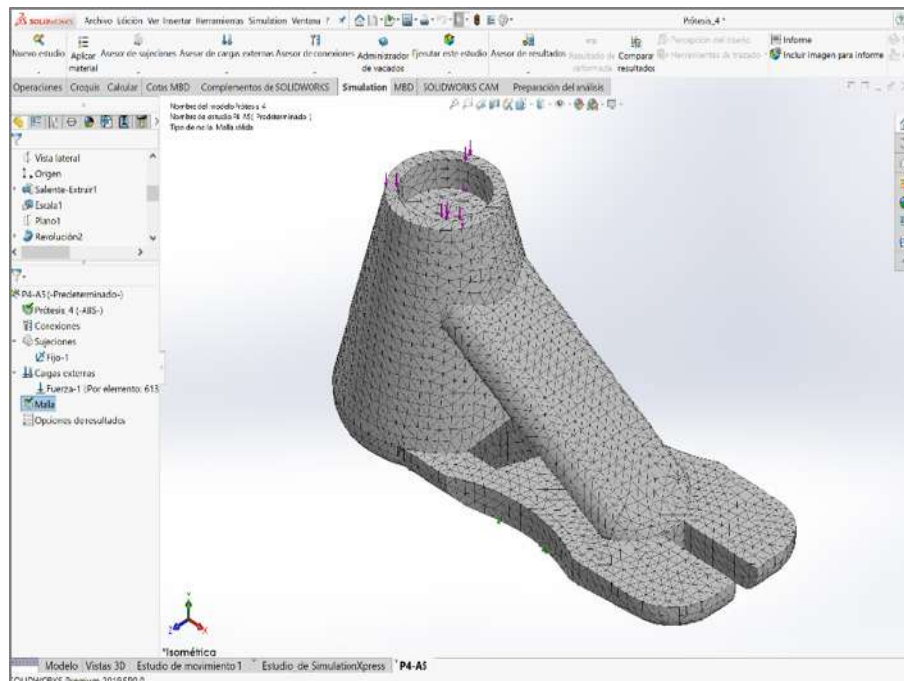


Figura 94. Malla Prótesis 4.

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 95.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis altamente compacta y, por tanto, difícilmente deformable.

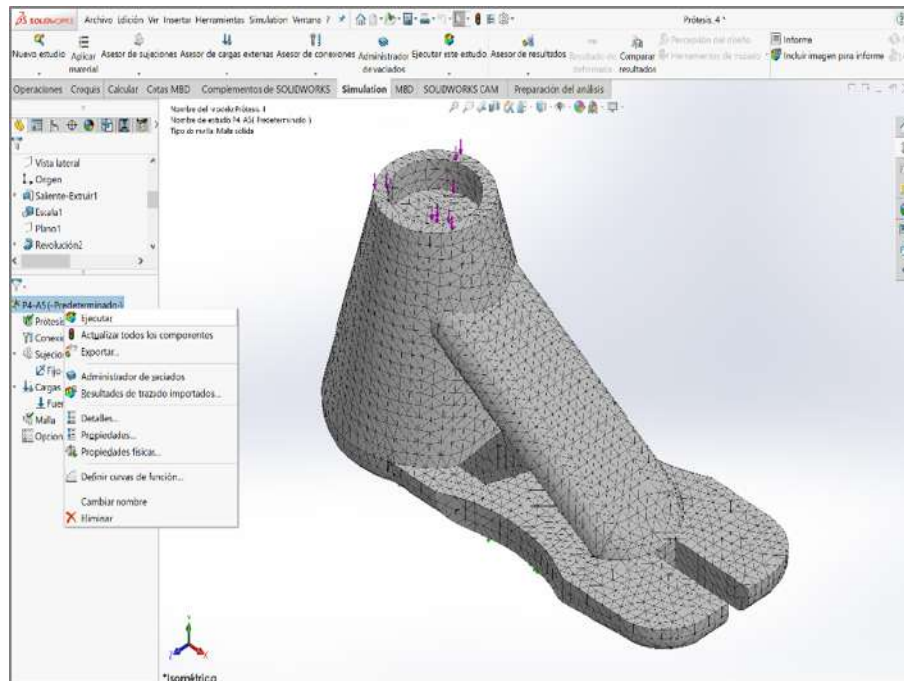


Figura 95. Ejecución análisis Prótesis 4.

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 96.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

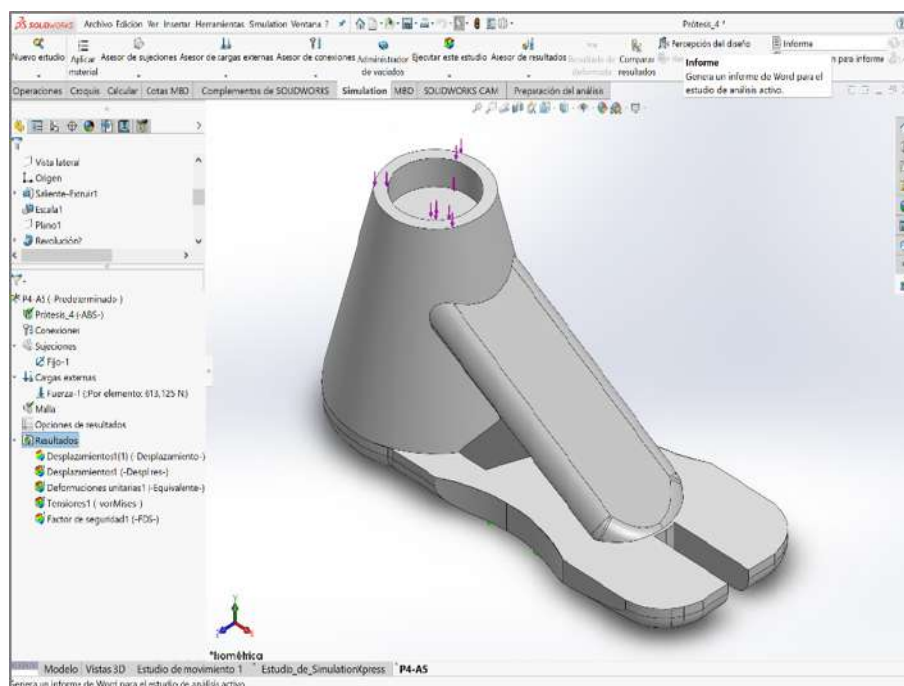


Figura 96. Generación informe resultados Prótesis 4.

5.4.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo siempre tiene lugar en la corona circular plana superior, donde encaja el tobillo para la articulación del pie con la pierna (véase Figura 97). Cabe destacar que el empeine y la planta del pie protésico apenas se desplazan.

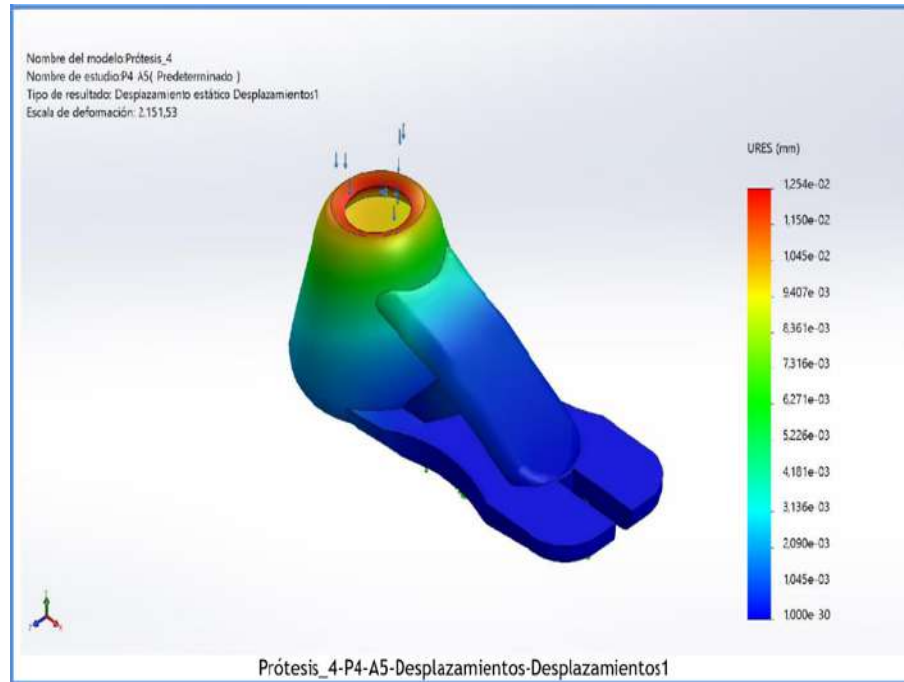


Figura 97. Desplazamientos Prótesis 4.

La deformación unitaria máxima se produce siempre en dicha corona circular plana superior (véase Figura 98), disminuyendo su valor según nos alejamos de ésta a través del tronco de cono. Cabe resaltar cómo el empeine y la planta del pie protésico apenas se deforman.

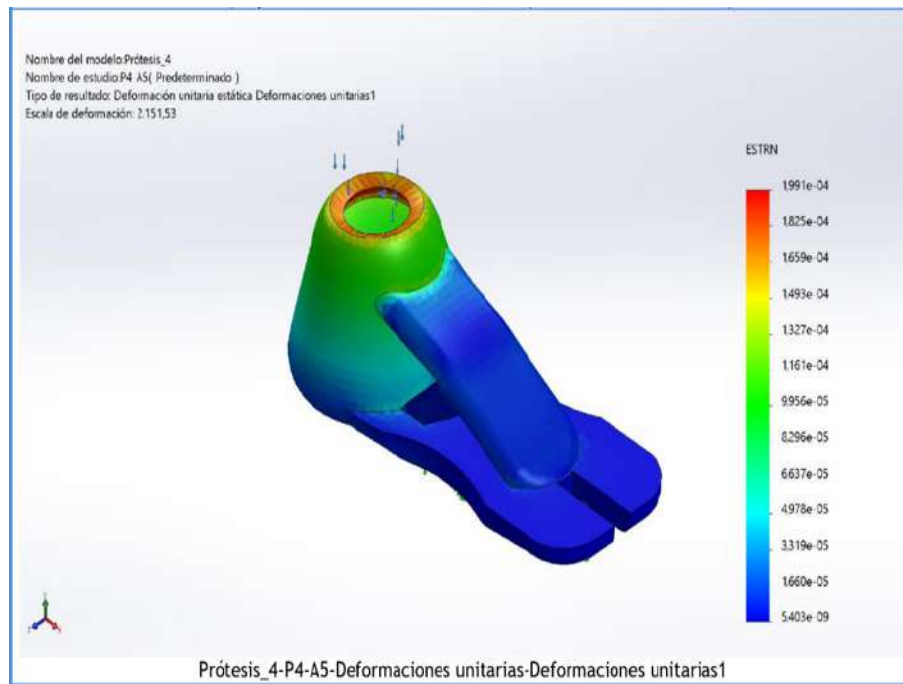


Figura 98. Deformaciones unitarias Prótesis 4.

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en el interior de dicha corona circular plana superior, disminuyendo su valor según nos alejamos de la misma a través del tronco de cono (véase Figura 99). Hay que reseñar que el empeine y la planta del pie protésico sufren tensiones internas muy reducidas.

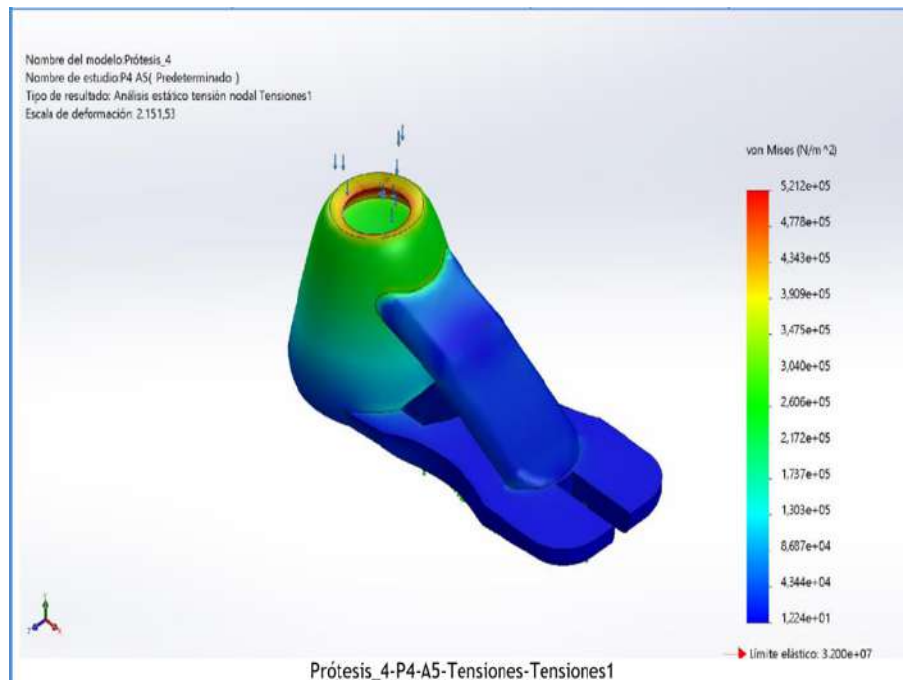


Figura 99. Tensiones de Von Mises Prótesis 4.

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 4 llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 5 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises,

así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo (F _{s21})	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	8,131	16,26	0,524	$2,005 \cdot 10^{-6}$	$1,401 \cdot 10^{-4}$	1185,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si (SS)	4,910	176,76	0,523	$3,553 \cdot 10^{-6}$	$2,372 \cdot 10^{-4}$	2048,00	Resistencia	Coste ⁽¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	2,851	5,70	0,523	$6,334 \cdot 10^{-6}$	$4,228 \cdot 10^{-4}$	526,40	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	2,967	20,77	0,523	$6,070 \cdot 10^{-6}$	$4,052 \cdot 10^{-4}$	966,60	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,109	1,94	0,521	$1,991 \cdot 10^{-4}$	$1,254 \cdot 10^{-2}$	61,40	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PA6	1,204	3,07	0,521	$1,533 \cdot 10^{-4}$	$9,604 \cdot 10^{-2}$	149,70	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 5. Resultados simulaciones Prótesis 4.

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 4 es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 4 en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 4, éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 4, éstos son idénticos para todas las aleaciones metálicas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente superiores, siendo ligeramente inferiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 4 son, sólo y exclusivamente, los materiales termoplásticos (ABS y PA6), al resultar más baratos, ligeros y resistentes.

5.5. Prótesis 5(0)

5.5.1. Descripción

La Prótesis 5(0) se trata del modelo de pie protésico que hemos empleado como base para el diseño de los prototipos de la Prótesis 5(1) y de la Prótesis 5(2) a partir de un vaciado de la misma con el fin de optimizar su coste, masa y resistencia (véase Figura 100).

Su geometría se ha definido partiendo de un paralelepípedo inicial de dimensiones $27 \times 10 \times 8$ cm, véase Plano 5, al cual se le ha practicado un rebaje en forma de rampa inclinada a modo de empeine, que conecta la cara plana superior donde tiene lugar la unión del pie a la pierna mediante la articulación del tobillo, con la cara plana inferior que desempeña la función de planta del pie, extendiéndose desde el talón cúbico macizo hasta el metatarso y las falanges, integrados todos ellos en el estrechamiento terminal de la propia planta.

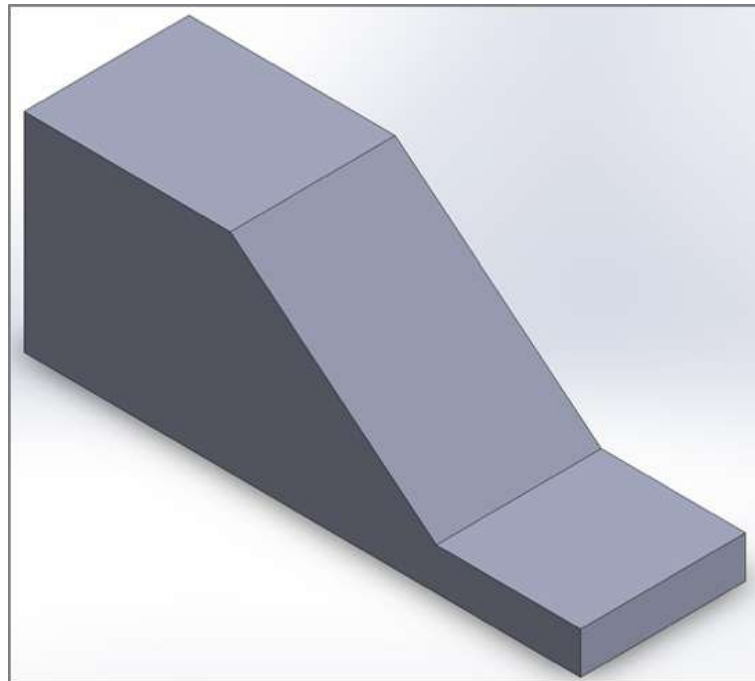


Figura 100. Imagen Prótesis 5(0).

5.5.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 101 y Figura 102.

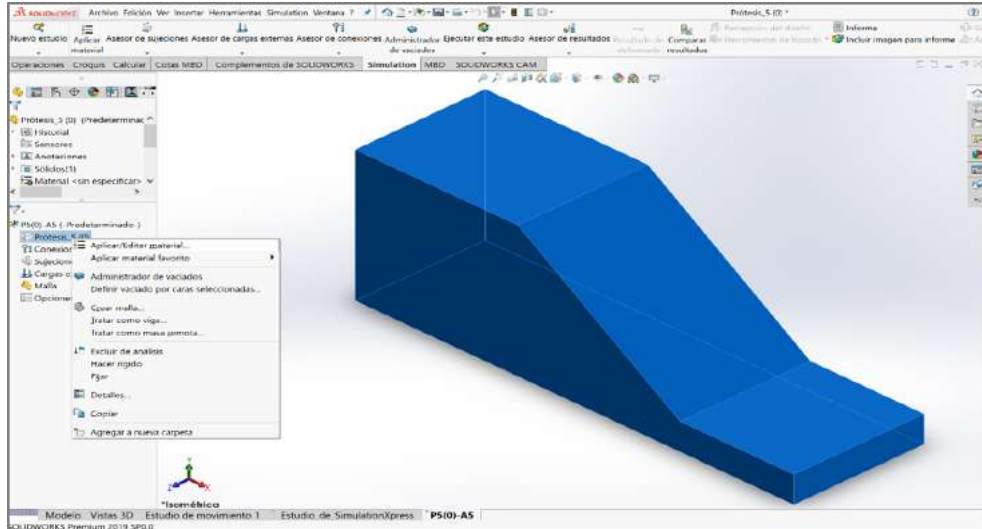


Figura 101. Asignación material Prótesis 5(0).

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

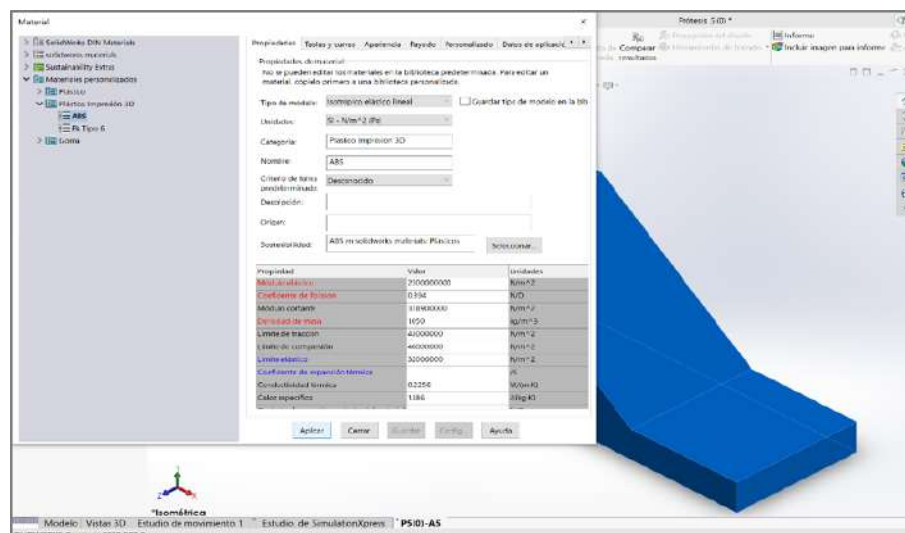
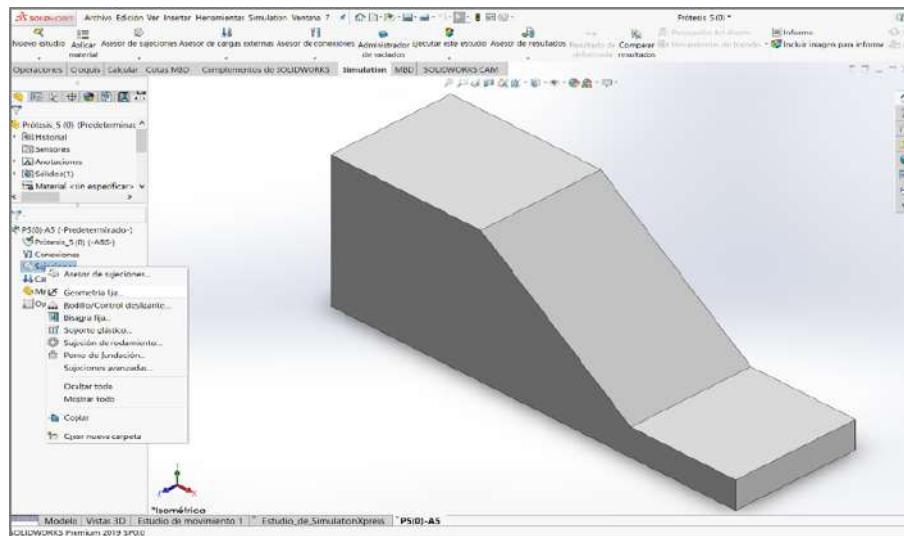
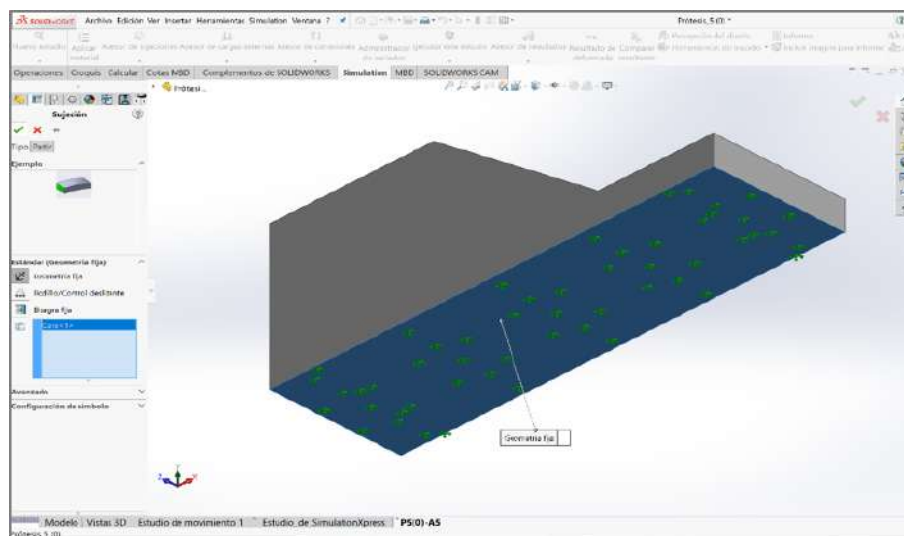
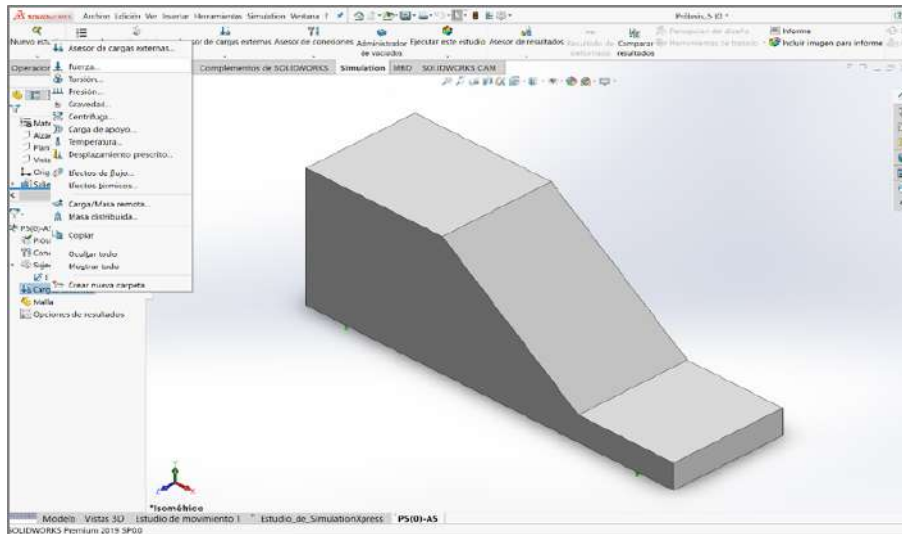


Figura 102. Aplicación material Prótesis 5(0).

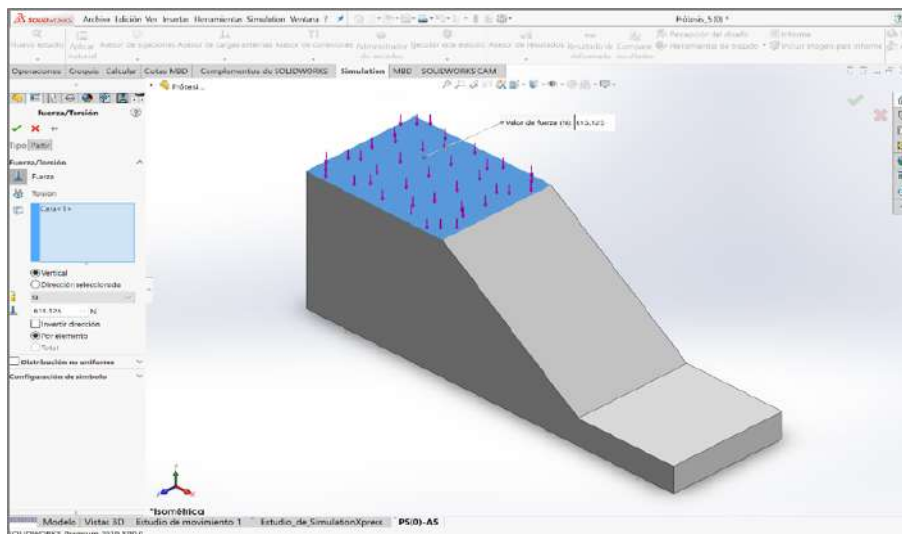
Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 103 y Figura 104.**Figura 103.** Adición sujeción Prótesis 5(0).

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior que hace las veces de planta del pie. Esta sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, tomando como referencia el eje Y, que será perpendicular a dicha cara y de sentido ascendente, como el de la fuerza normal que sufre la prótesis al entrar la planta del pie en contacto con el suelo.

**Figura 104.** Aplicación sujeción Prótesis 5(0).

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 105 y Figura 106.**Figura 105.** Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(0).

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculada previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior, siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

**Figura 106.** Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(0).

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 107, Figura 108 y Figura 109.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

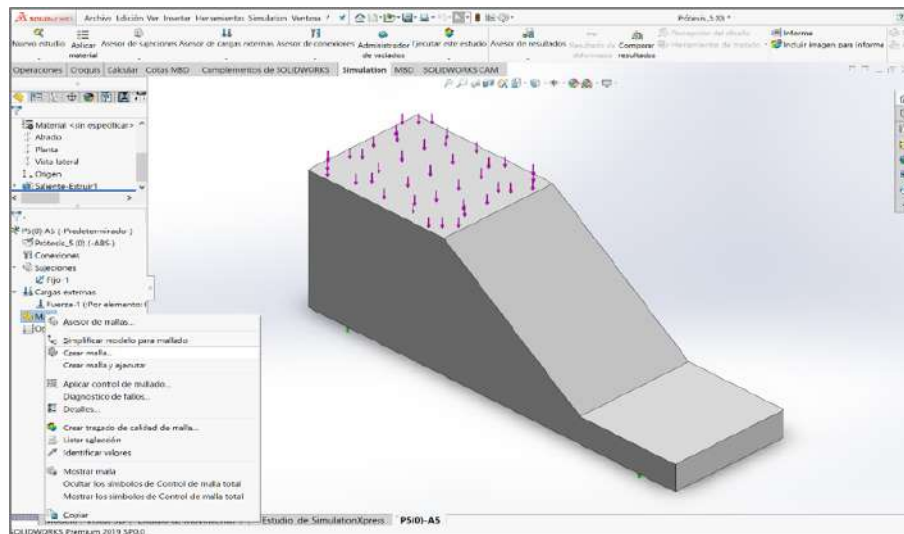


Figura 107. Creación malla Prótesis 5(0).

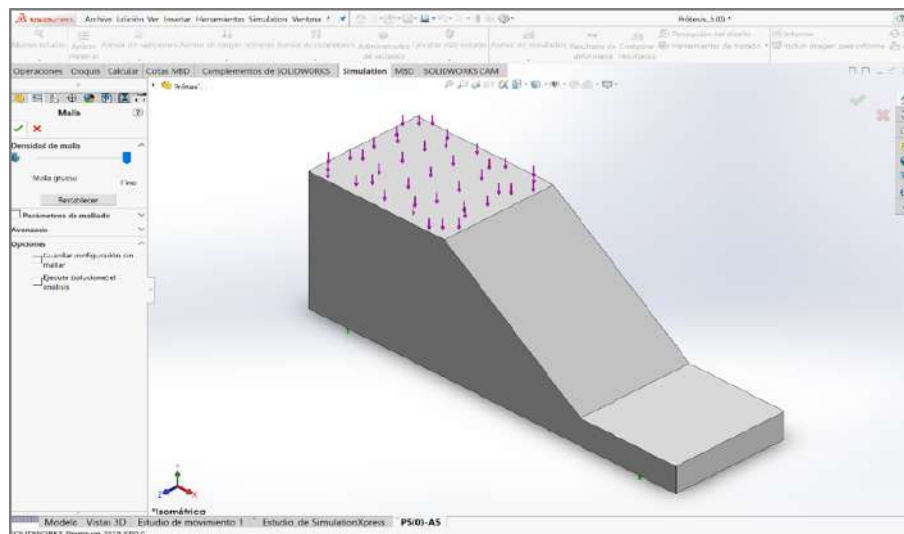


Figura 108. Configuración malla Prótesis 5(0).

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 109) que proporciona resultados satisfactorios.

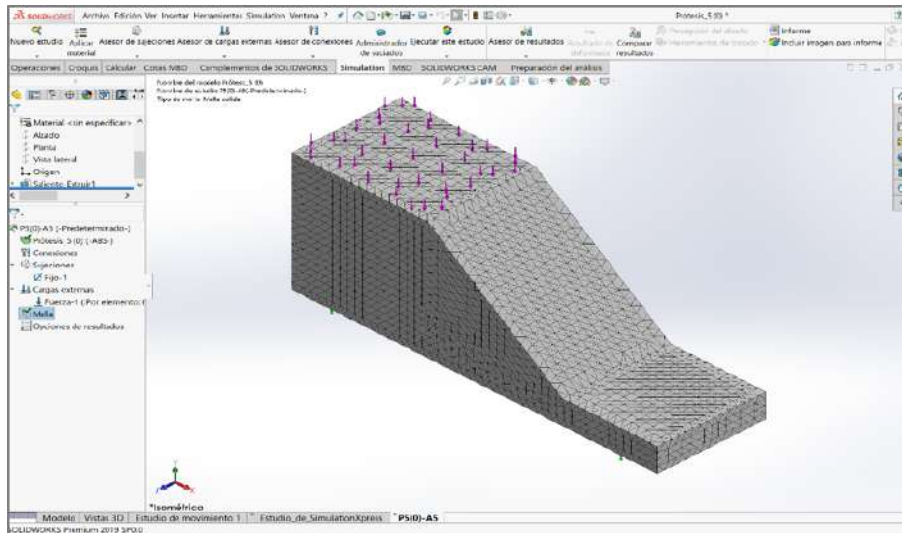


Figura 109. Malla Prótesis 5(0).

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 110.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis muy compacta y, por tanto, difícilmente deformable.

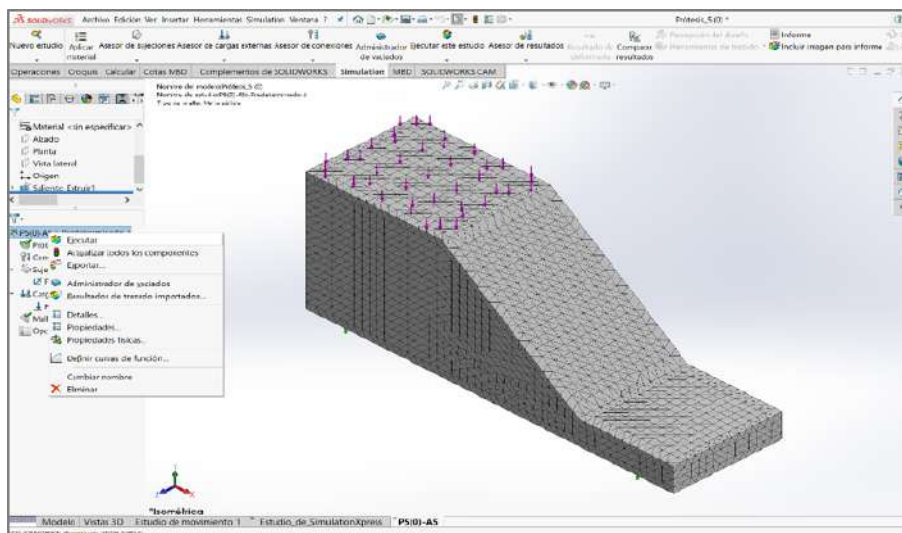


Figura 110. Ejecución análisis Prótesis 5(0).

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 111.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

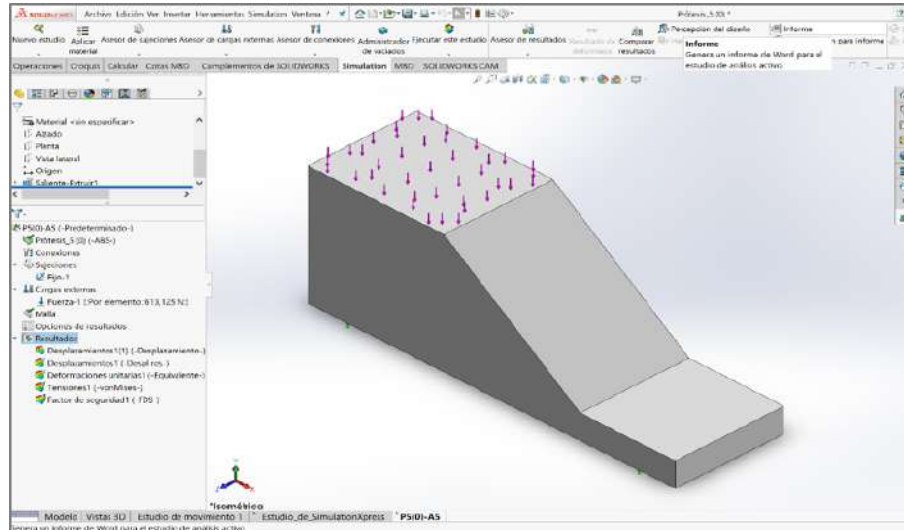


Figura 111. Generación informe resultados Prótesis 5(0).

5.5.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo siempre tiene lugar en la arista trasera de la cara plana superior de la prótesis, donde ésta se une con la pierna a través del tobillo, disminuyendo a lo largo de dicha superficie hasta la arista donde se une con la superficie inclinada del empeine, así como en profundidad a través del talón (véase Figura 112).

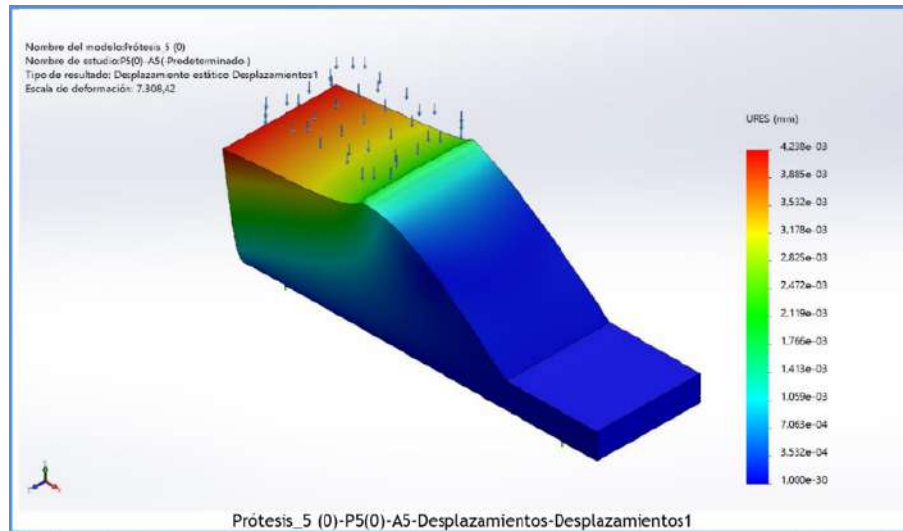


Figura 112. Desplazamientos Prótesis 5(0).

La deformación unitaria máxima se produce siempre en la arista trasera de la planta del pie protésico, disminuyendo su valor conforme nos alejamos de ésta a través del talón (véase Figura 113).

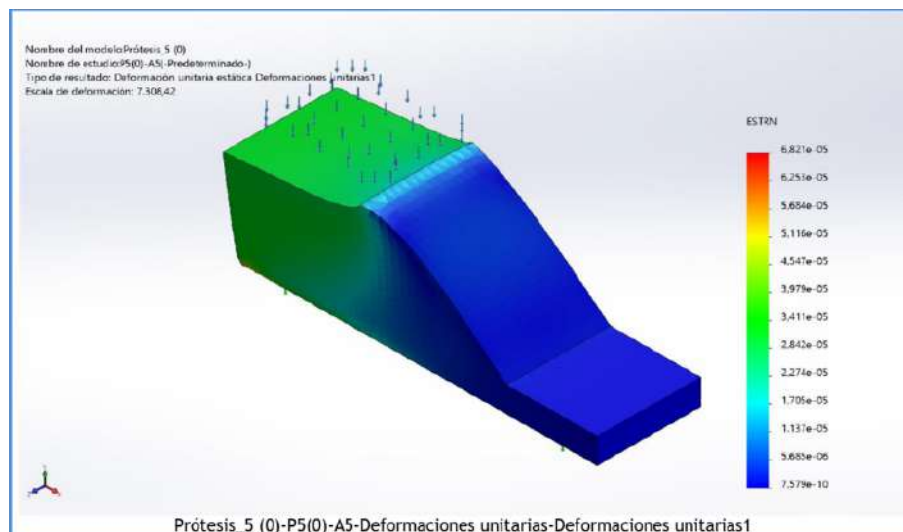


Figura 113. Deformaciones unitarias Prótesis 5(0).

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en la arista trasera de la planta del pie protésico, disminuyendo su valor según nos alejamos de ésta a través del talón (véase Figura 114).

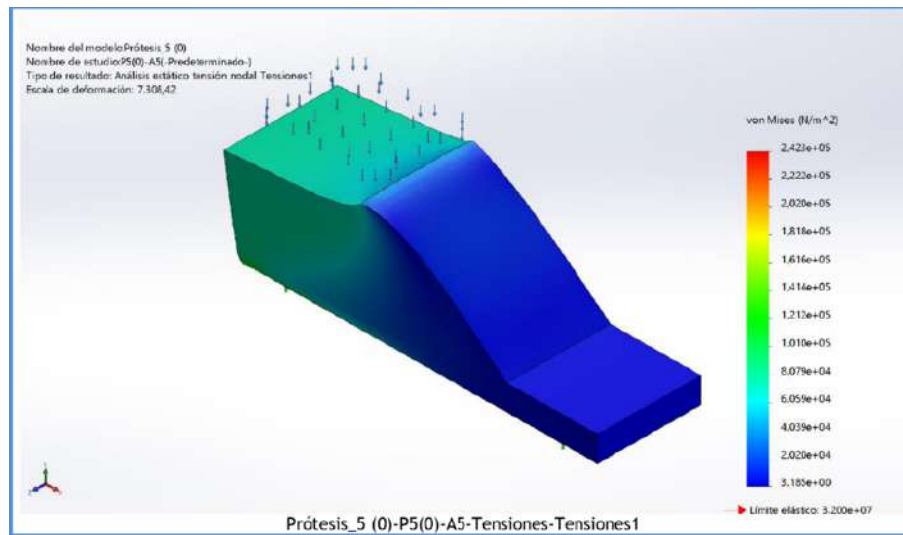


Figura 114. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(0).

Cabe destacar cómo el empeine y la planta del pie protésico apenas se deforman, puesto que sufren tensiones internas muy pequeñas, concentrándose los mayores esfuerzos internos en el talón.

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 5(0) llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 6 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo ($F_s \geq 1$)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	10,718	21,44	0,216	$6,190 \cdot 10^{-7}$	$4,579 \cdot 10^{-5}$	2868,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (SS)	6,473	233,03	0,230	$1,154 \cdot 10^{-6}$	$7,873 \cdot 10^{-5}$	4658,00	Resistencia	Coste ⁽¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	3,758	7,52	0,230	$2,056 \cdot 10^{-6}$	$1,403 \cdot 10^{-4}$	1197,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	3,912	27,38	0,230	$1,971 \cdot 10^{-6}$	$1,345 \cdot 10^{-4}$	2199,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,462	2,56	0,242	$6,821 \cdot 10^{-5}$	$4,238 \cdot 10^{-3}$	132,00	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PA6	1,587	4,05	0,243	$5,284 \cdot 10^{-5}$	$3,251 \cdot 10^{-3}$	320,60	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 6. Resultados simulaciones Prótesis 5(0).

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 5(0) es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 5(0) en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 5(0), éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 5(0), éstos son idénticos para todas las aleaciones metálicas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente inferiores, siendo ligeramente superiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

No obstante, estos hechos no resultan concluyentes puesto que los resultados de estas simulaciones son meramente orientativos, ya que el objetivo de este TFG es optimizarlos en los subsiguientes diseños de las prótesis 5(1) y 5(2).

5.6. Prótesis 5(1)

5.6.1. Descripción

La Prótesis 5(1) se trata del prototipo de pie protésico que hemos diseñado a partir del modelado y optimización de la Prótesis 5(0), con el fin de optimizar su coste, masa y resistencia (véase Figura 115).

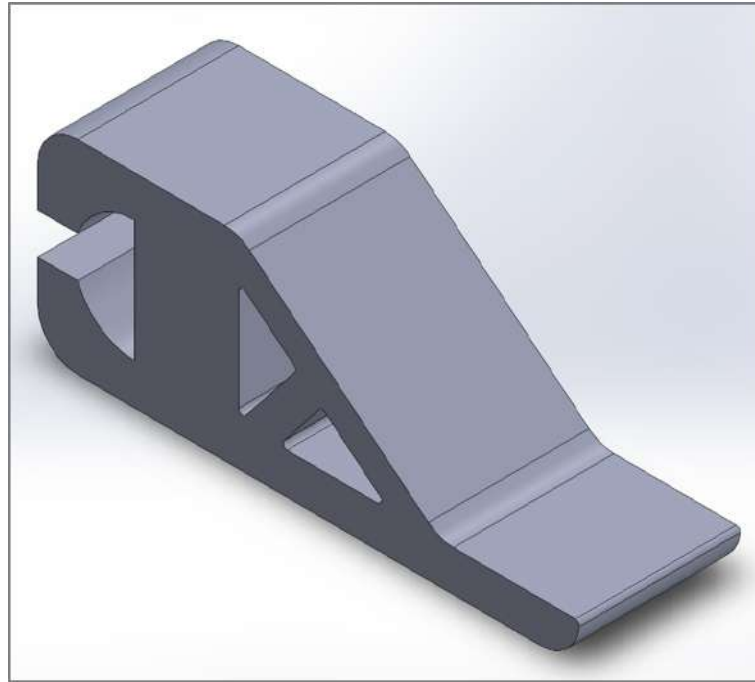


Figura 115. Imagen Prótesis 5(1).

Para ello se ha efectuado un vaciado consistente en sendos huecos con forma de prisma triangular, para generar un empeine estilizado, recto y reforzado mediante un nervio de refuerzo inclinado que lo conecta con la planta del pie protésico, favoreciendo así el reparto de tensiones y la descarga de las mismas hacia el suelo a través de ésta.

También se ha efectuado un hueco con forma de copa o embudo (unión de un semicilindro y un prisma cuadrangular) en el talón, favoreciendo así la amortiguación de la pisada y reduciendo, en consecuencia, la rigidez de la prótesis.

Su geometría se ha definido partiendo de un paralelepípedo inicial de dimensiones $27 \times 10 \times 8$ cm al cual se le han practicado los rebajes y vaciados correspondientes, (véase Plano 7) comentados anteriormente.

Además, se han redondeado en mayor o menor medida todas las aristas vivas para reducir el riesgo de rotura debido a un exceso de concentración de tensiones en las dichas uniones angulosas.

5.6.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 116 y Figura 117.

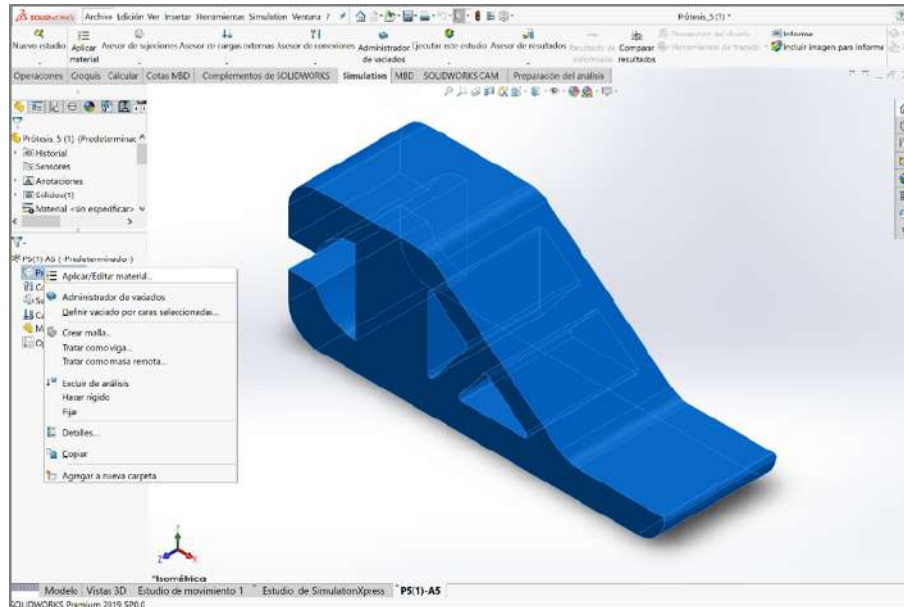


Figura 116. Asignación material Prótesis 5(1).

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

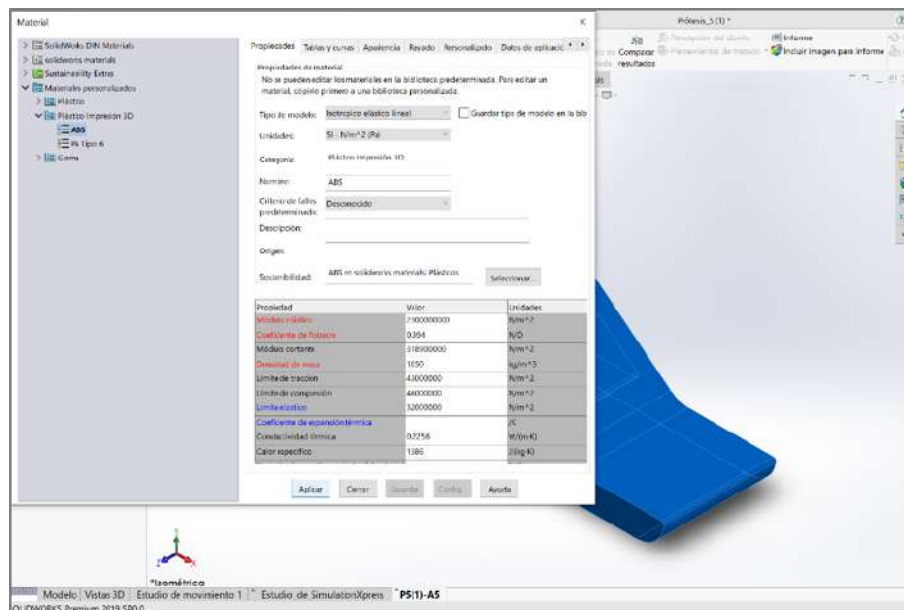
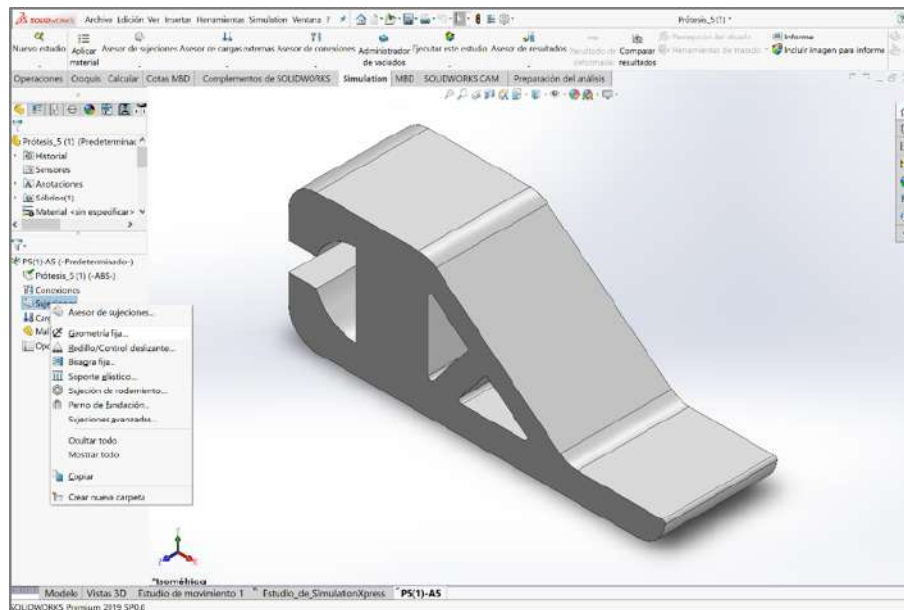
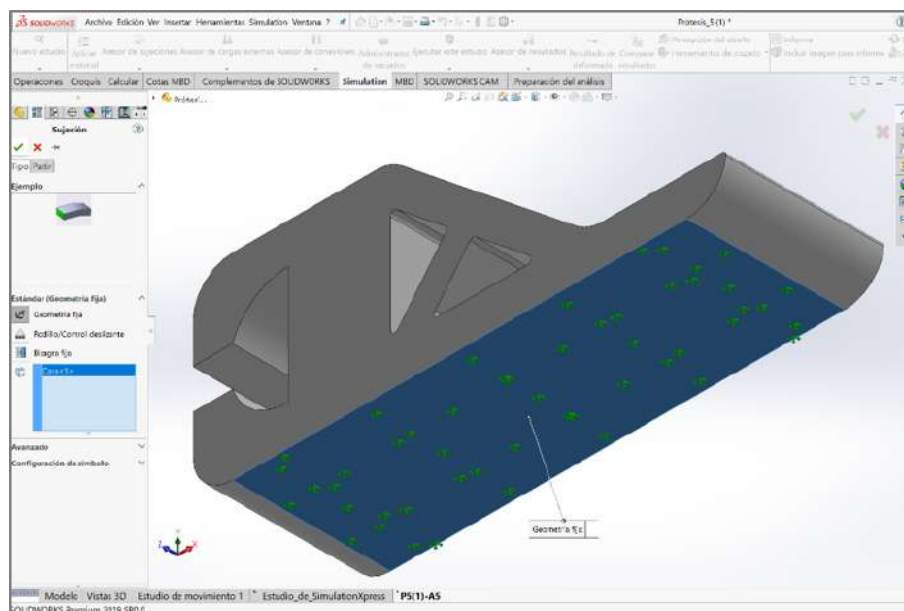
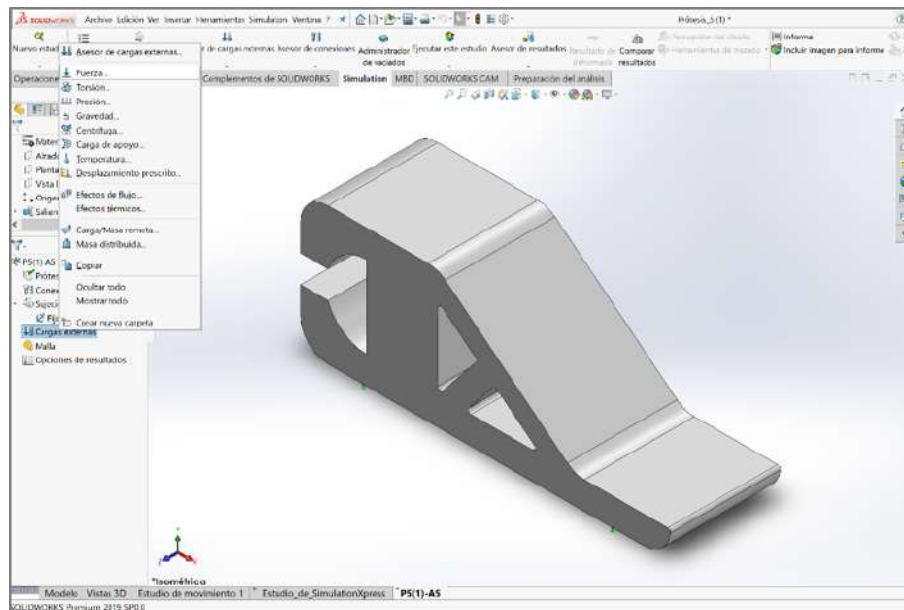


Figura 117. Aplicación material Prótesis 5(1).

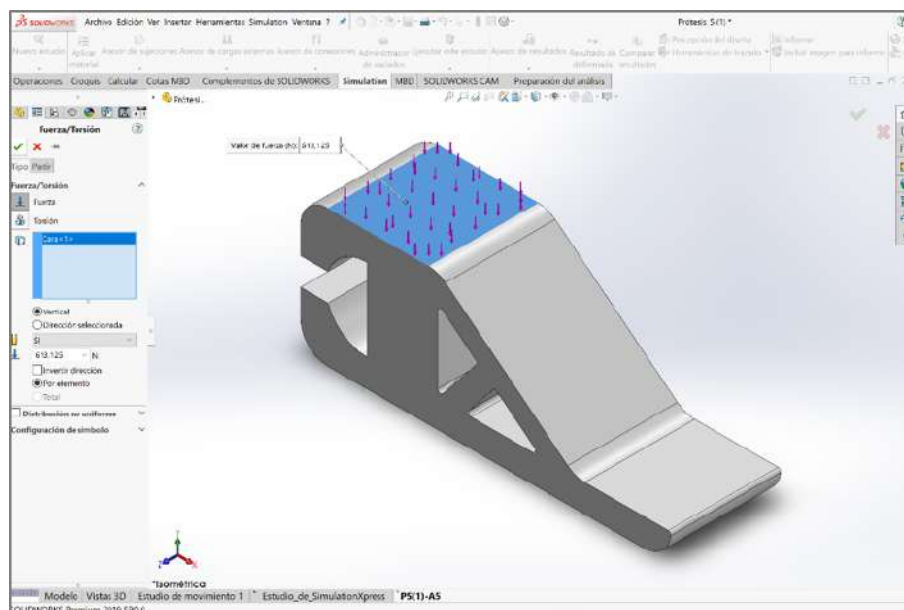
Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 118 y Figura 119.**Figura 118.** Adición sujeción Prótesis 5(1).

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior que hace las veces de planta del pie. Esta sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, tomando como referencia el eje Y, que será perpendicular a dicha cara y de sentido ascendente, como el de la fuerza normal que sufre la prótesis al entrar la planta del pie en contacto con el suelo.

**Figura 119.** Aplicación sujeción Prótesis 5(1).

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 120 y Figura 121.**Figura 120.** Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(1).

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculada previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior, siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

**Figura 121.** Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(1).

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 122, Figura 123 y Figura 124.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

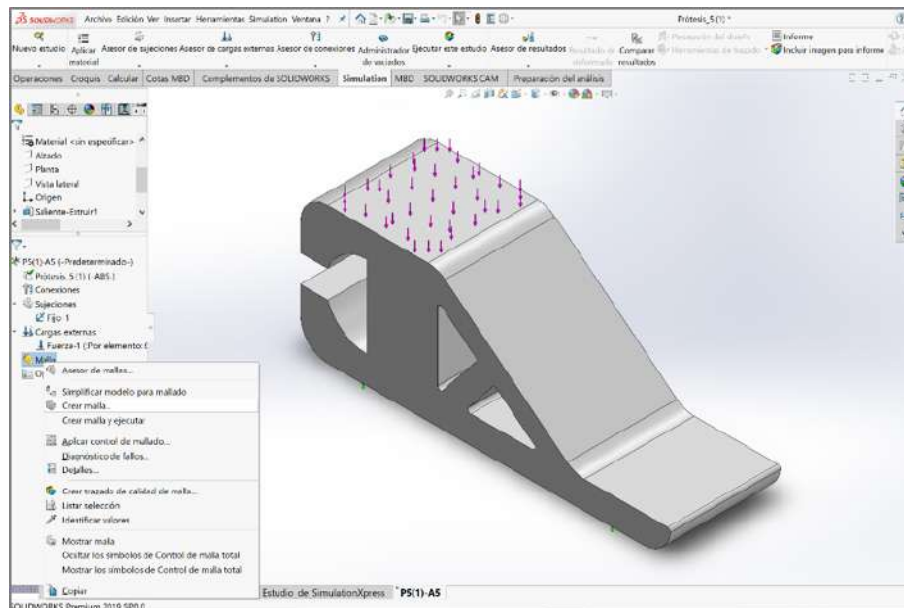


Figura 122. Creación malla Prótesis 5(1).

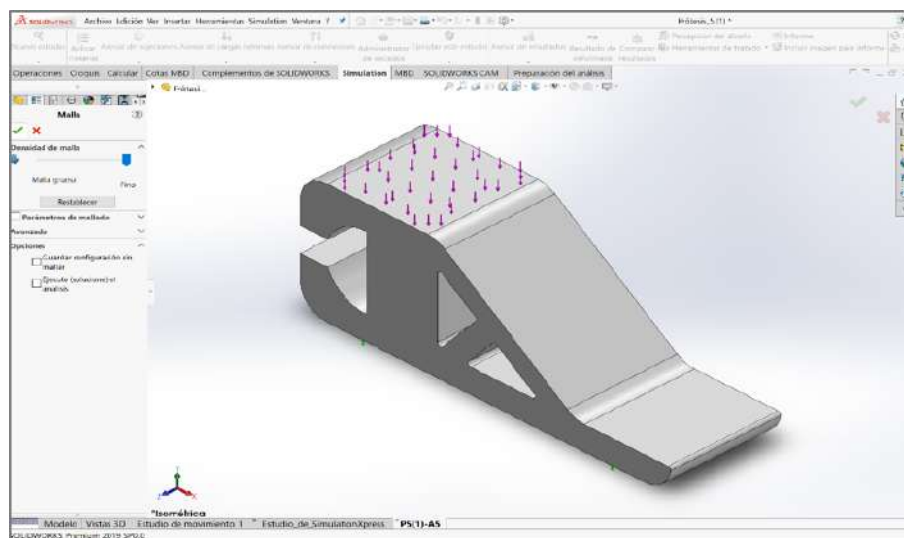


Figura 123. Configuración malla Prótesis 5(1).

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 124) que proporciona resultados satisfactorios.

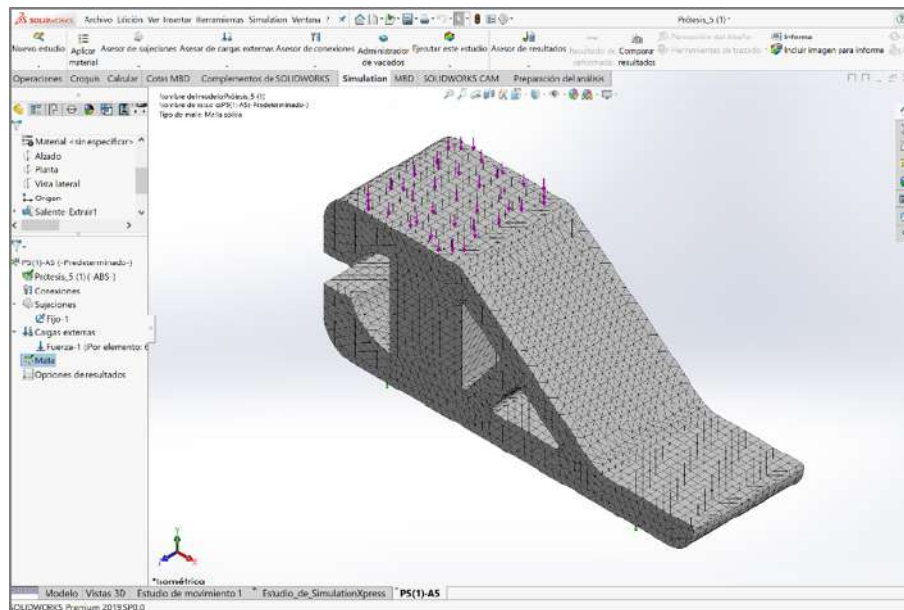


Figura 124. Malla Prótesis 5(1).

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 125.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis altamente compacta y, por tanto, difícilmente deformable.

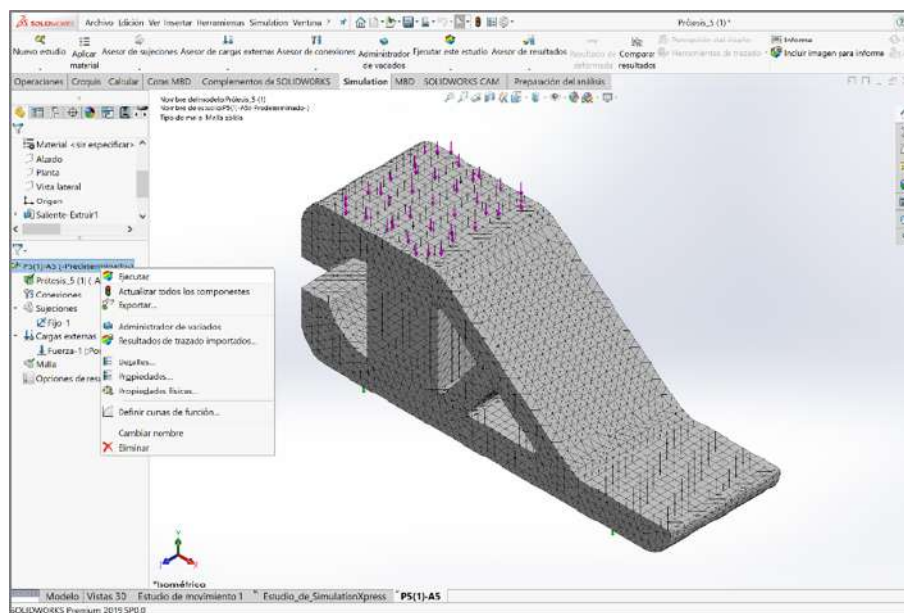


Figura 125. Ejecución análisis Prótesis 5(1).

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 126.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

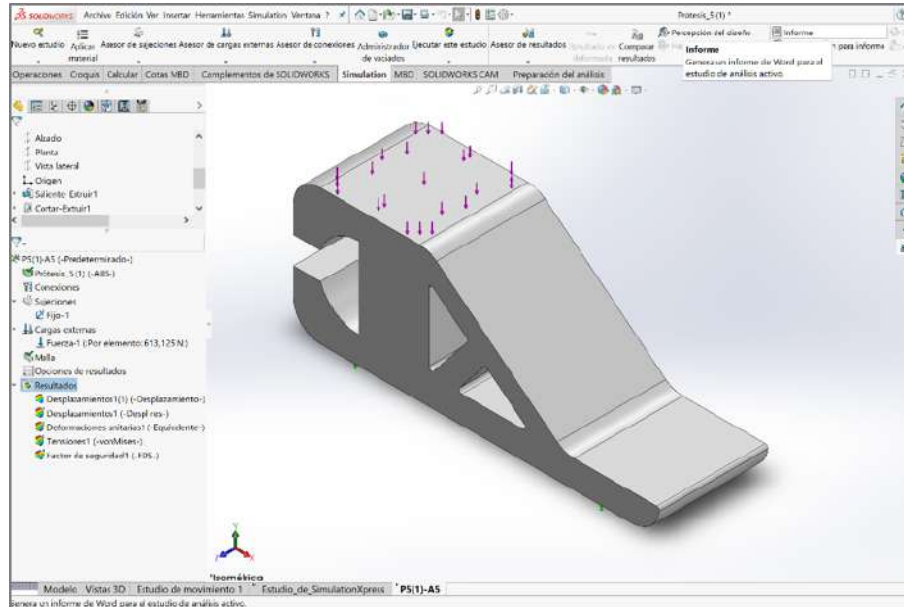


Figura 126. Generación informe resultados Prótesis 5(1).

5.6.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo siempre tiene lugar en la arista trasera de la cara plana superior de la prótesis, donde se une el pie a la pierna a través de la articulación del tobillo, disminuyendo su valor conforme nos alejamos de ésta (véase Figura 127).

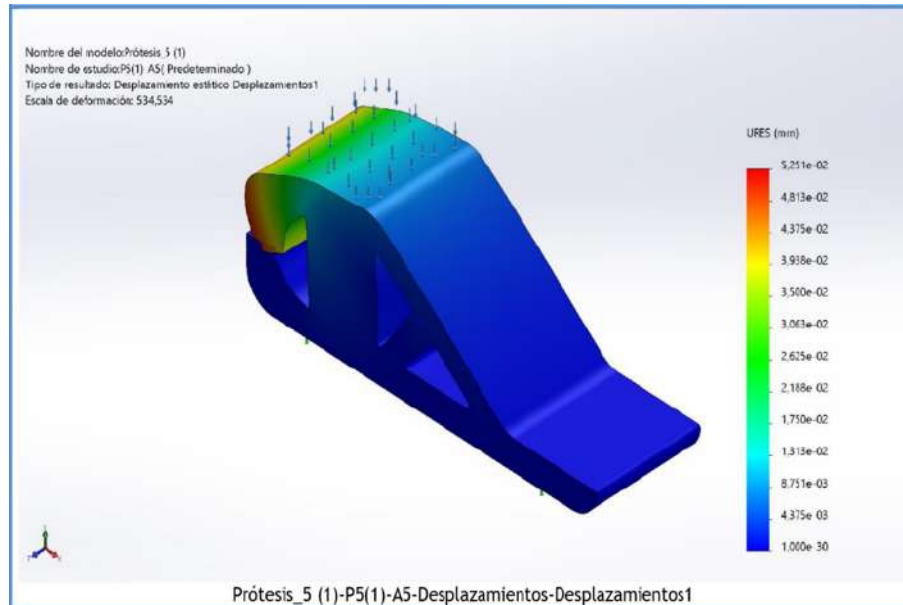


Figura 127. Desplazamientos Prótesis 5(1).

La deformación unitaria máxima se produce siempre en el centro de la cara plana superior del pie protésico, coincidiendo con el centro geométrico de aplicación de la carga externa y disminuyendo su valor hacia los extremos de dicha cara (véase Figura 128).

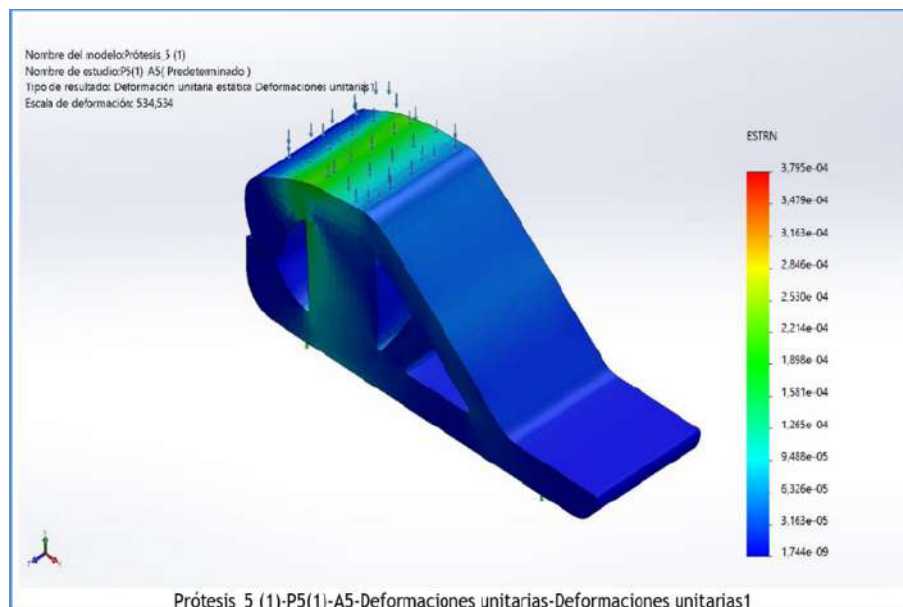


Figura 128. Deformaciones unitarias Prótesis 5(1).

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en el centro de la cara plana superior del pie protésico, coincidiendo con el centro geométrico de aplicación de la carga externa y disminuyendo su valor hacia los extremos de dicha cara (véase Figura 129).

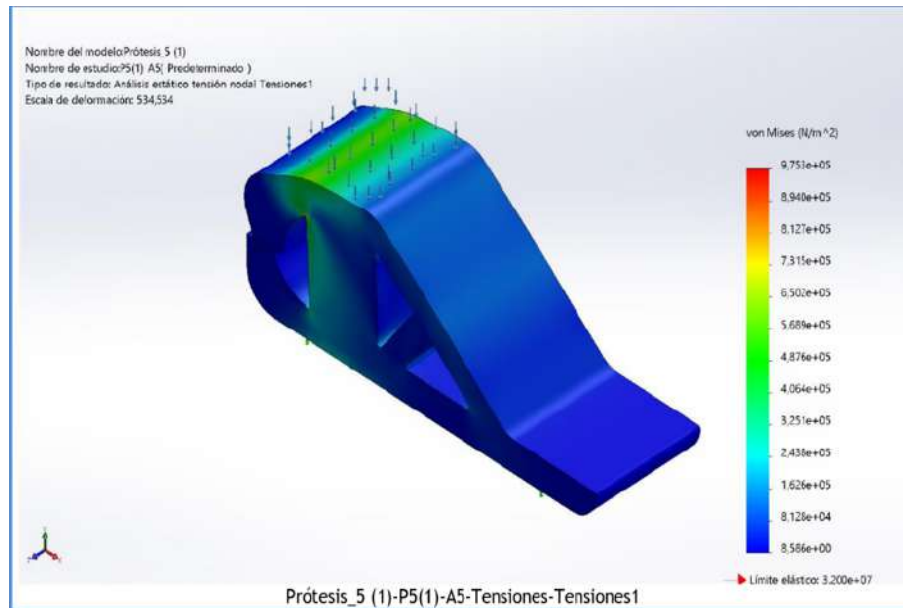


Figura 129. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(1).

Cabe resaltar cómo el empeine y la planta del pie protésico apenas se deforman, puesto que sufren tensiones internas muy pequeñas, concentrándose los mayores esfuerzos internos en el talón.

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 5(1) llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 7 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo (Fz1)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	8,474	16,95	1,041	$3,990 \cdot 10^{-6}$	$5,986 \cdot 10^{-4}$	595,90	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (SS)	5,118	184,25	0,983	$6,920 \cdot 10^{-6}$	$1,006 \cdot 10^{-3}$	1088,00	Resistencia	Coste ⁽¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	2,972	5,94	0,983	$1,234 \cdot 10^{-5}$	$1,794 \cdot 10^{-3}$	279,70	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	3,093	21,65	0,983	$1,182 \cdot 10^{-5}$	$1,719 \cdot 10^{-3}$	513,70	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,156	2,02	0,975	$3,795 \cdot 10^{-4}$	$5,251 \cdot 10^{-2}$	32,81	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PA6	1,255	3,20	0,976	$2,921 \cdot 10^{-4}$	$4,015 \cdot 10^{-2}$	79,95	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 7. Resultados simulaciones Prótesis 5(1).

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 5(1) es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 5(1) en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 5(1), éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 5(1), éstos son idénticos para todas las aleaciones metálicas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente superiores, siendo ligeramente inferiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 5(1) son, sólo y exclusivamente, los materiales termoplásticos (ABS y PA6), al resultar más baratos, ligeros y resistentes.

5.7. Prótesis 5(1)(2)

5.7.1. Descripción

La Prótesis 5(1)(2) es el prototipo mejorado de pie protésico que resulta de incorporar al diseño de la Prótesis 5(1) un amortiguador de caucho (SBR) con la forma de copa o embudo del vaciado practicado en el talón del mismo, respetando el resto de la geometría de la prótesis (véase Plano 6, Plano 7 y Plano 8), a fin de optimizar la distribución de tensiones internas y de mejorar el amortiguamiento de la pisada.

Para ello, hemos diseñado el Amortiguador de la Prótesis 5(1) mediante la extrusión de su perfil, el cual ha sido croquizado previamente en *SolidWorks* para, a continuación, crear un ensamblaje entre la Prótesis 5(1) y dicho amortiguador (véase Figura 130).

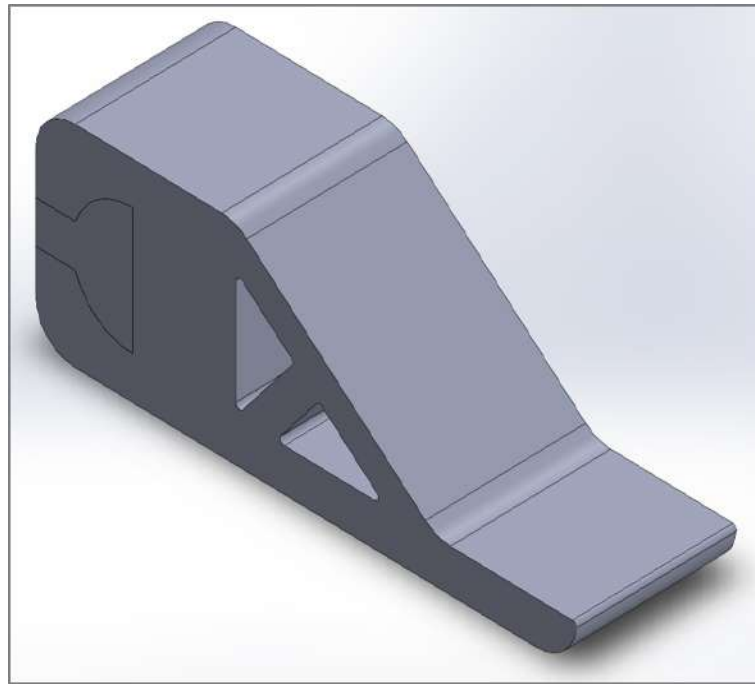


Figura 130. Imagen Prótesis 5(1)(2).

5.7.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 131, Figura 132, Figura 133 y Figura 134.

Asignamos el material a cada una de las piezas que componen el ensamblaje de la Prótesis 5(1)(2): el amortiguador de la Prótesis 5(1) y la propia Prótesis 5(1).

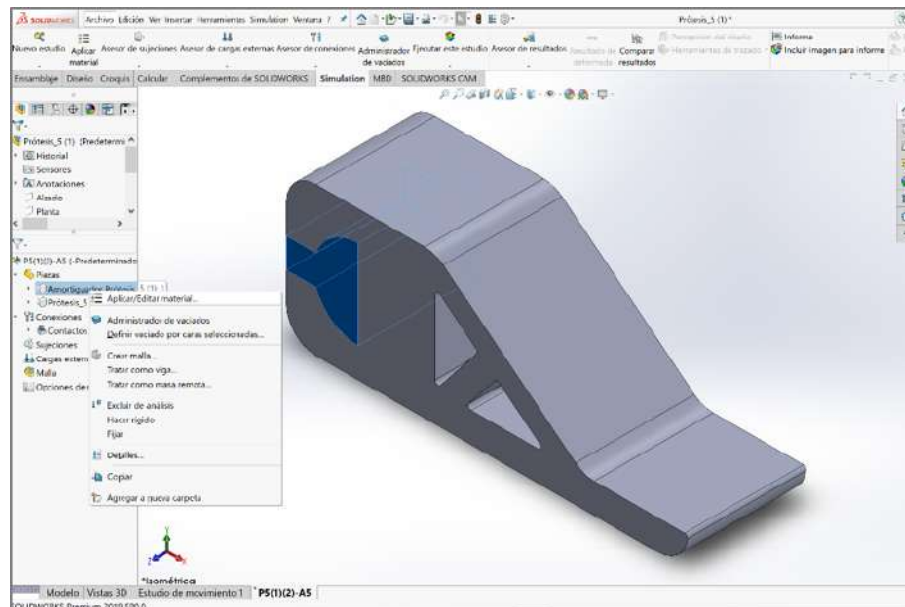


Figura 131. Asignación material amortiguador Prótesis 5(1).

Aplicamos el material SBR al amortiguador, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

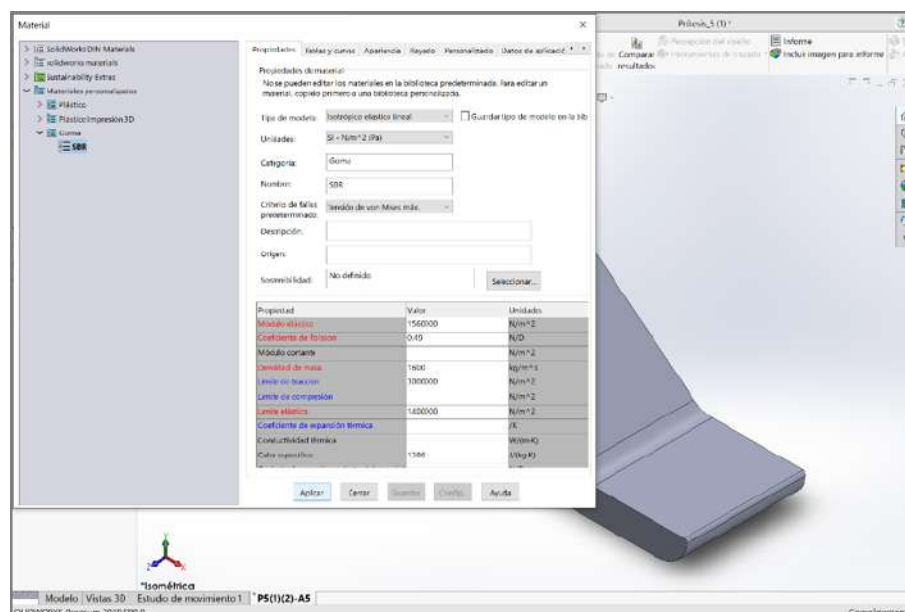


Figura 132. Aplicación material amortiguador Prótesis 5(1).

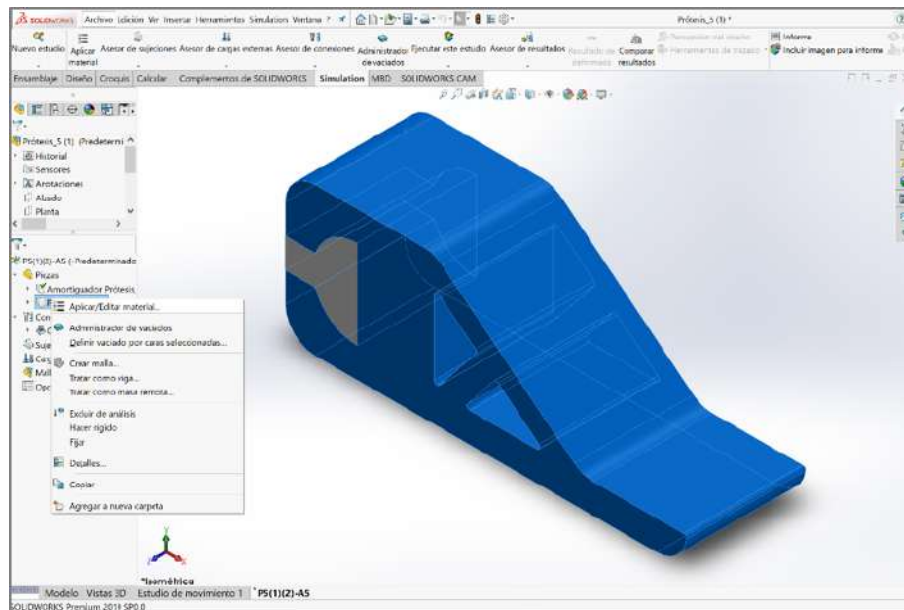


Figura 133. Asignación material Prótesis 5(1) ensamblaje Prótesis 5(1)(2).

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

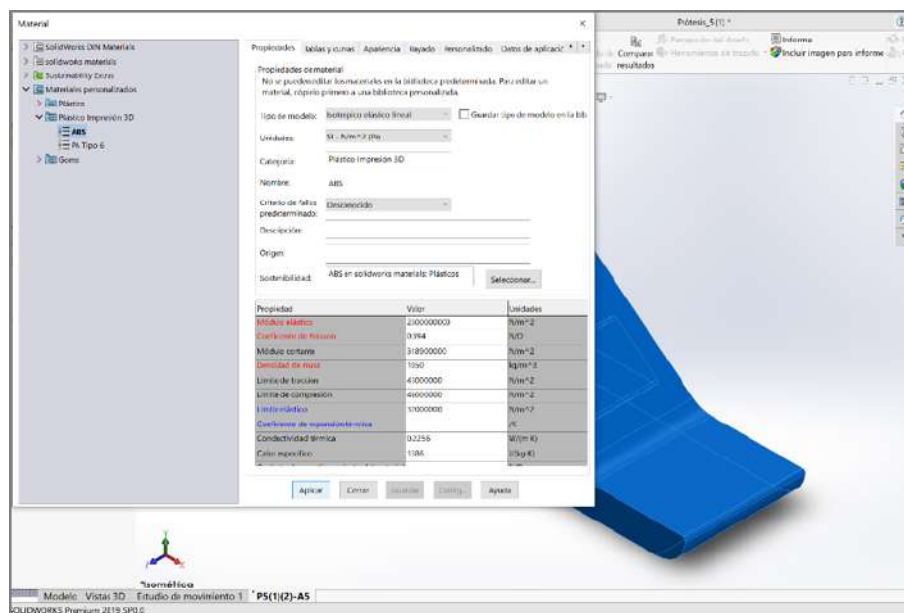


Figura 134. Aplicación material Prótesis 5(1) ensamblaje Prótesis 5(1)(2).

Paso 2: Definición de las conexiones, véase Figura 135, Figura 136, Figura 137 y Figura 138.

Empleamos el asesor de conexiones (véase Figura 135) para definir una unión rígida entre los dos componentes que conforman la Prótesis 5(1)(2) (véase Figura 136), suponiendo que ambos se mueven solidariamente y comportándose como si de un único sólido rígido se tratase. Dicha unión rígida consiste en un adhesivo fino y rígido, el cual no permite el corte (véase Figura 137).

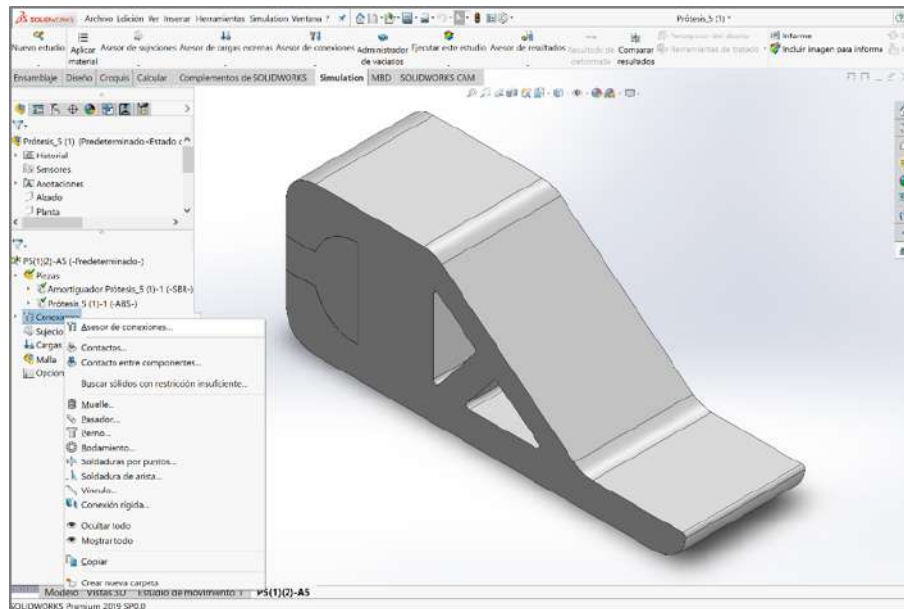


Figura 135. Asesor de conexiones Prótesis 5(1)(2).

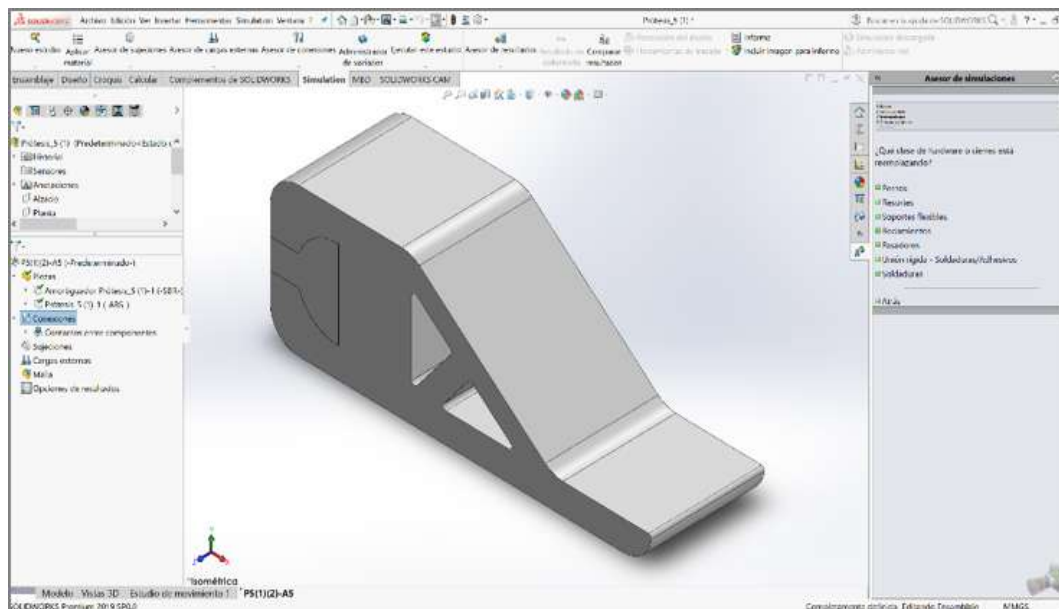


Figura 136. Selección tipo de conexión Prótesis 5(1)(2).

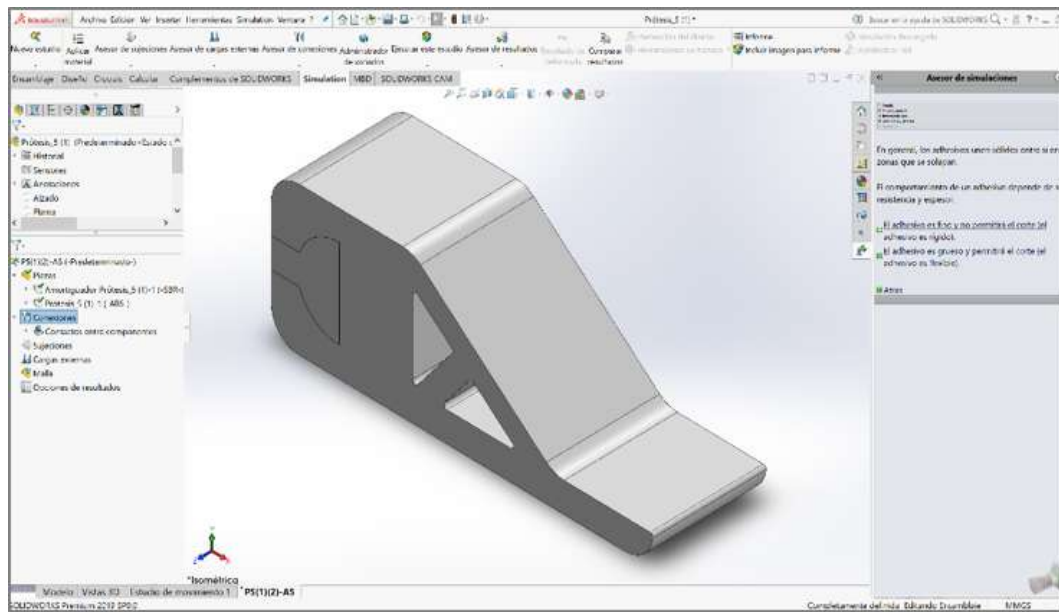


Figura 137. Selección tipo de adhesivo Prótesis 5(1)(2).

El asesor de conexiones también nos permite realizar una búsqueda automática de los conjuntos de contactos existentes entre ambos componentes que conforman la Prótesis 5(1)(2) (véase Figura 138).

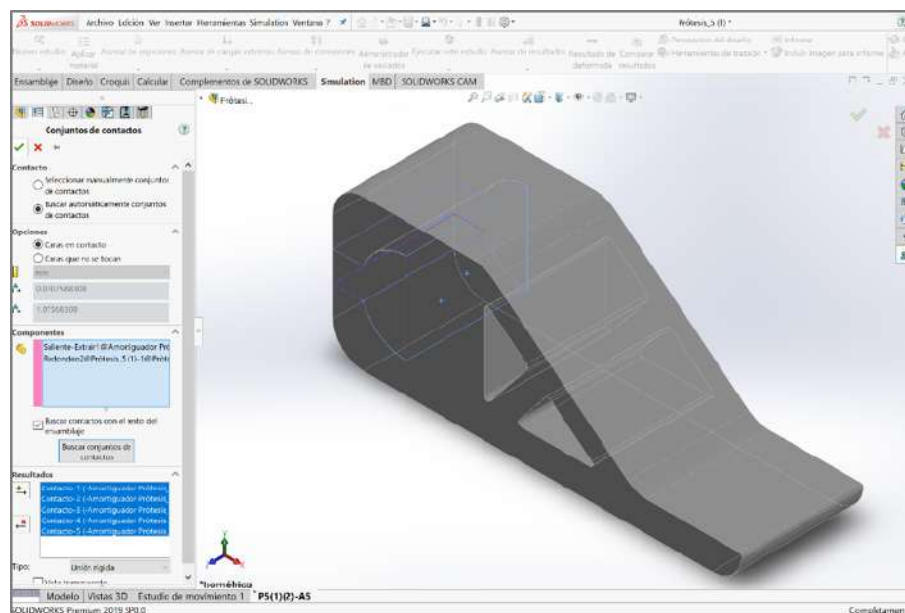
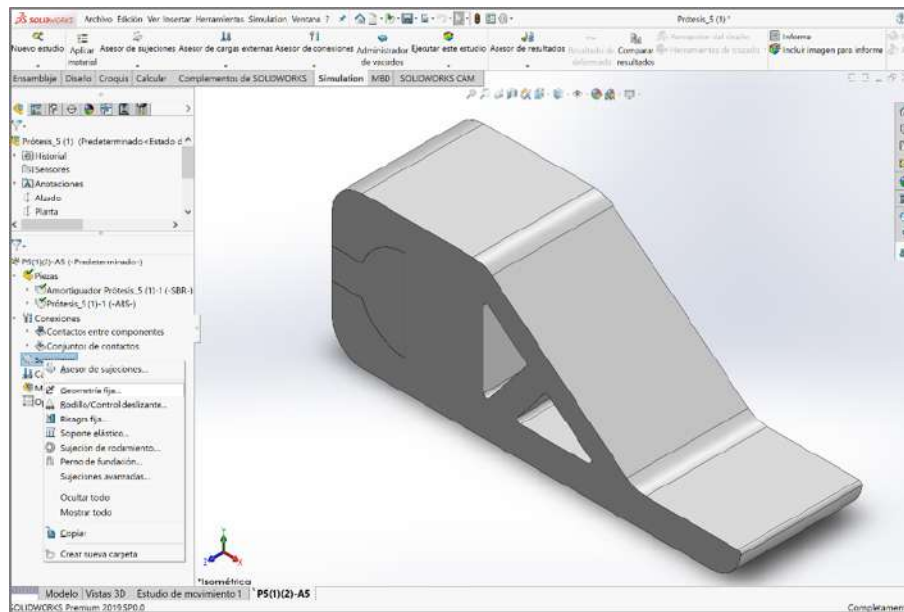
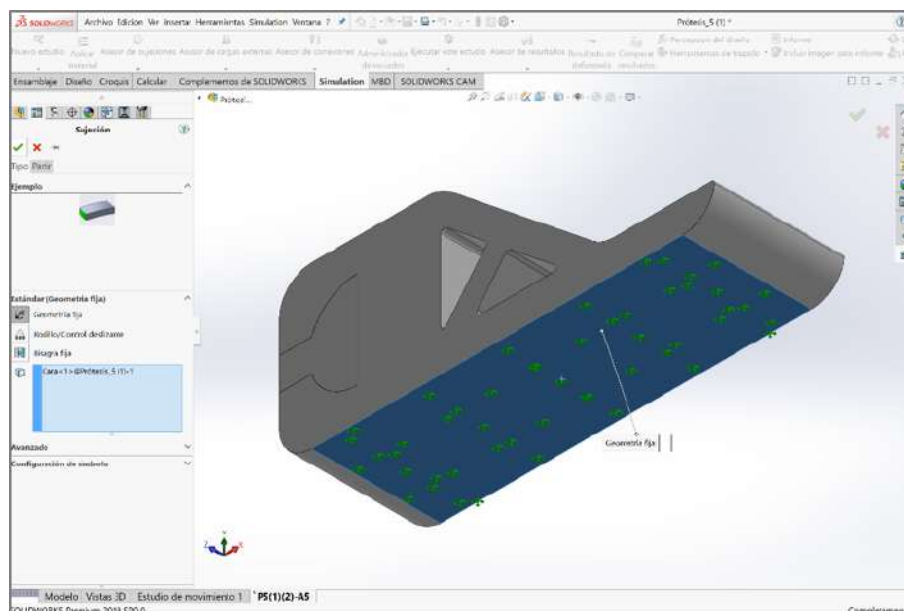
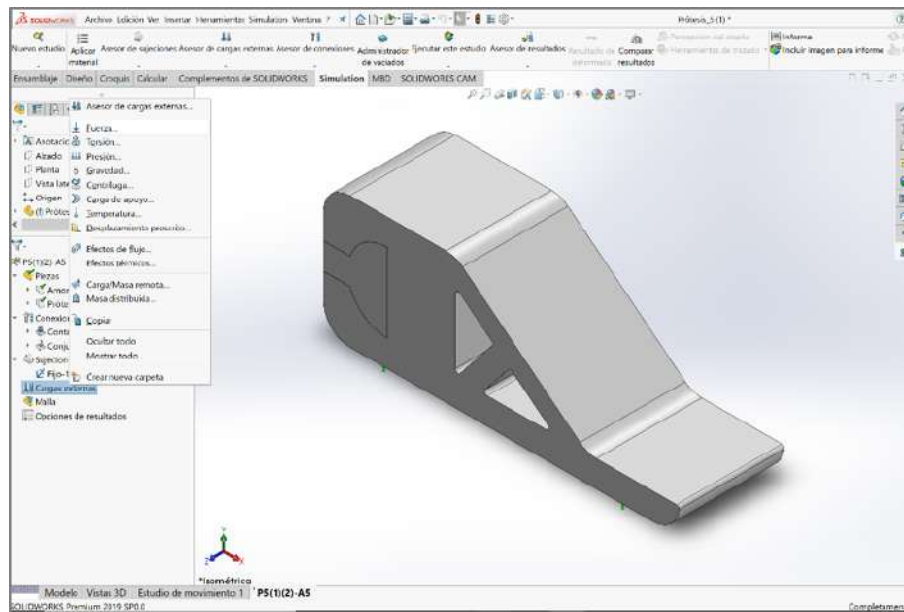


Figura 138. Asignación de conexiones Prótesis 5(1)(2).

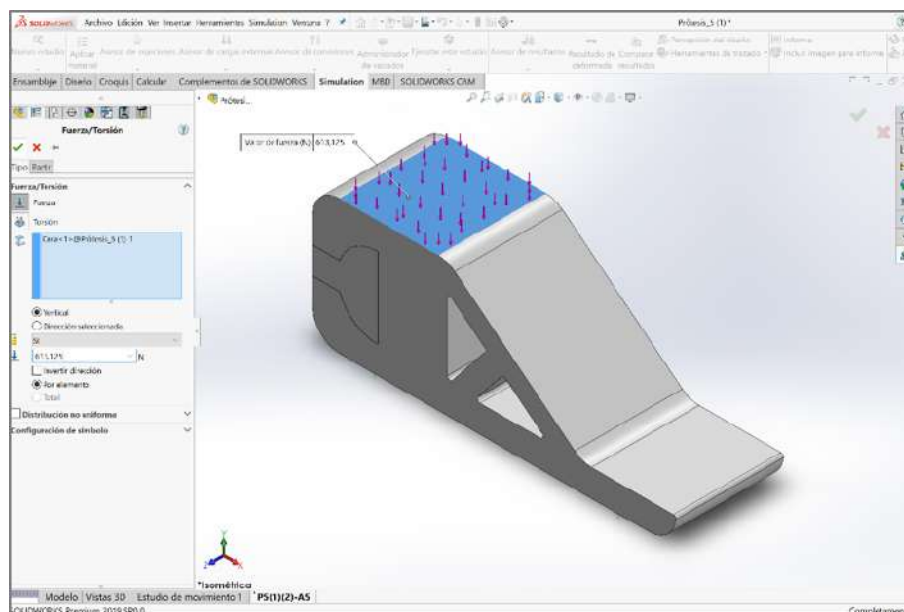
Paso 3: Definición de las sujeciones, véase Figura 139 y Figura 140.**Figura 139.** Adición sujeción Prótesis 5(1)(2).

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior de la Prótesis 5(1), que hace las veces de planta del pie. Esta sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, tomando como referencia el eje Y, que será perpendicular a dicha cara y de sentido ascendente, como el de la fuerza normal que sufre la prótesis al entrar la planta del pie en contacto con el suelo.

**Figura 140.** Aplicación sujeción Prótesis 5(1)(2).

Paso 4: Definición de las cargas externas , véase Figura 141 y Figura 142.**Figura 141.** Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(1)(2).

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculada previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior de la Prótesis 5(1)(2), siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

**Figura 142.** Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(1)(2).

Paso 5: Creación de la malla, véase Figura 143, Figura 144 y Figura 145.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

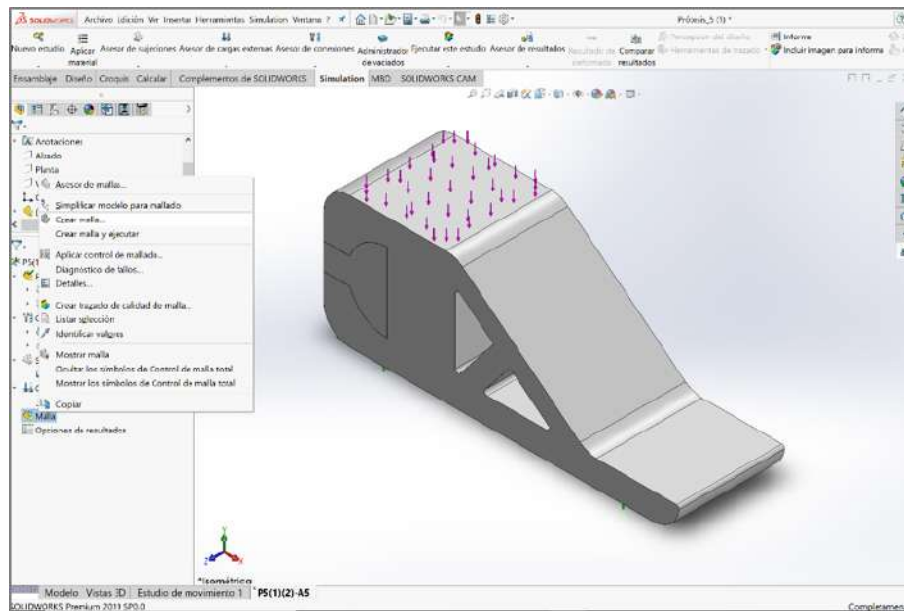


Figura 143. Creación malla Prótesis 5(1)(2).

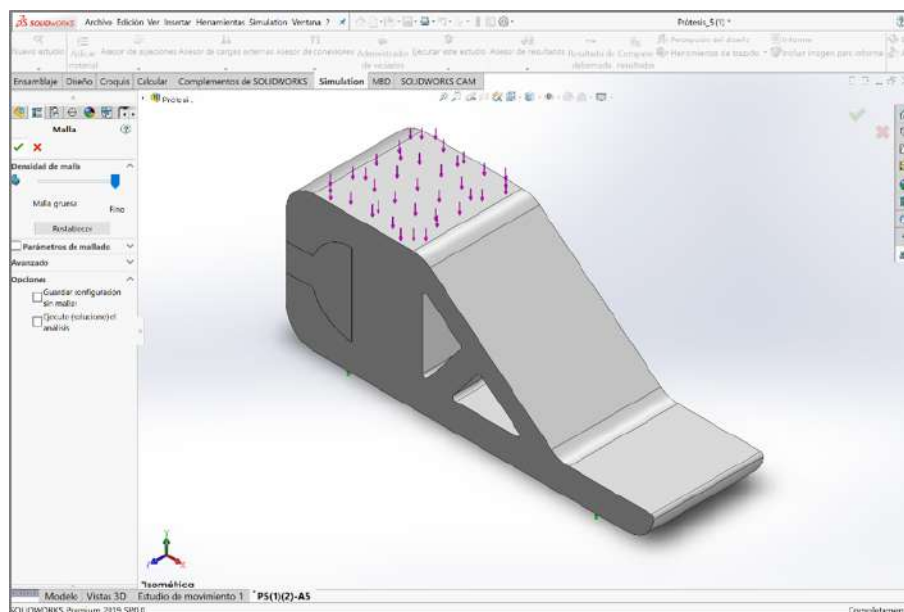


Figura 144. Configuración malla Prótesis 5(1)(2).

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 145) que proporciona resultados satisfactorios.

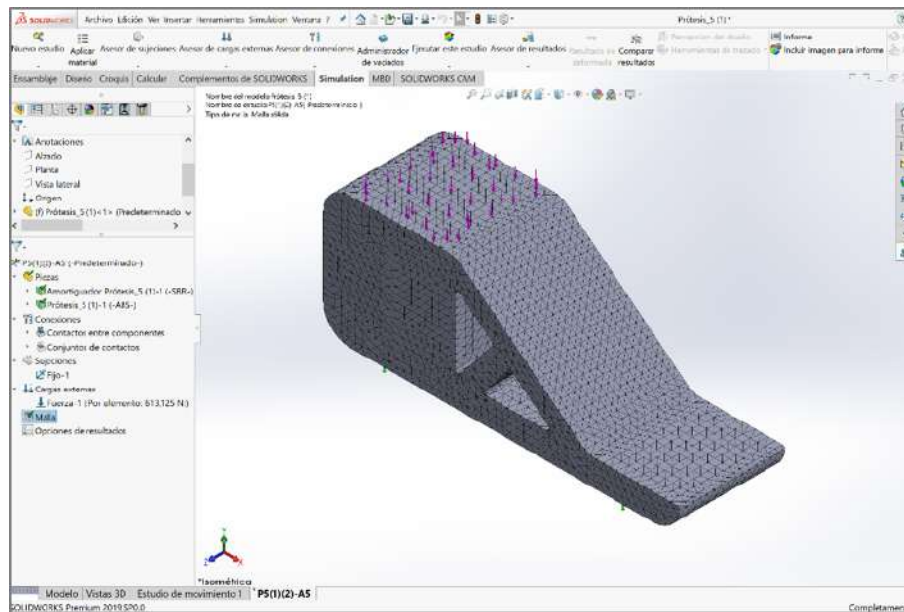


Figura 145. Malla Prótesis 5(1)(2).

Paso 6: Ejecución de la simulación, véase Figura 146.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis altamente muy compacta y, por tanto, difícilmente deformable

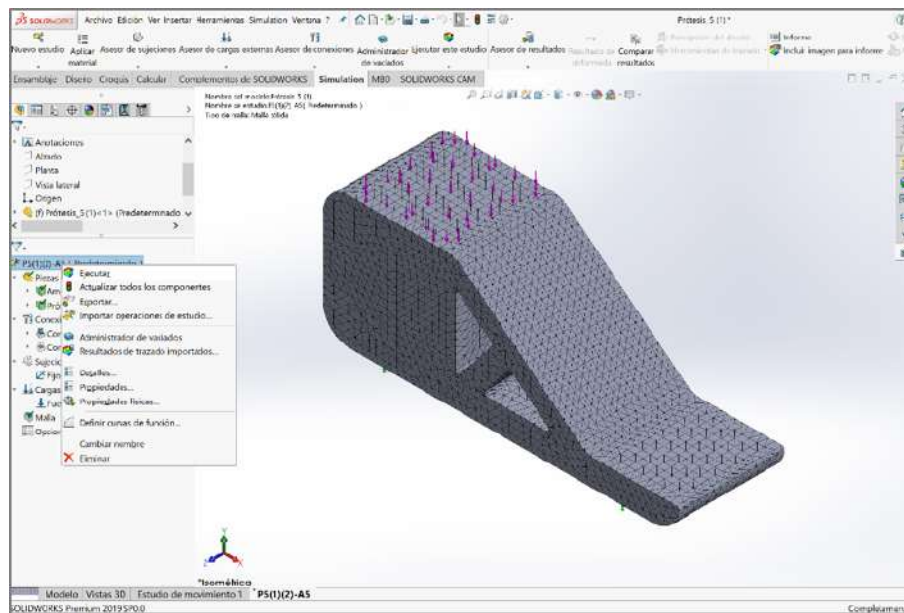


Figura 146. Ejecución análisis Prótesis 5(1)(2).

Paso 7: Generación del informe de resultados, véase Figura 147.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

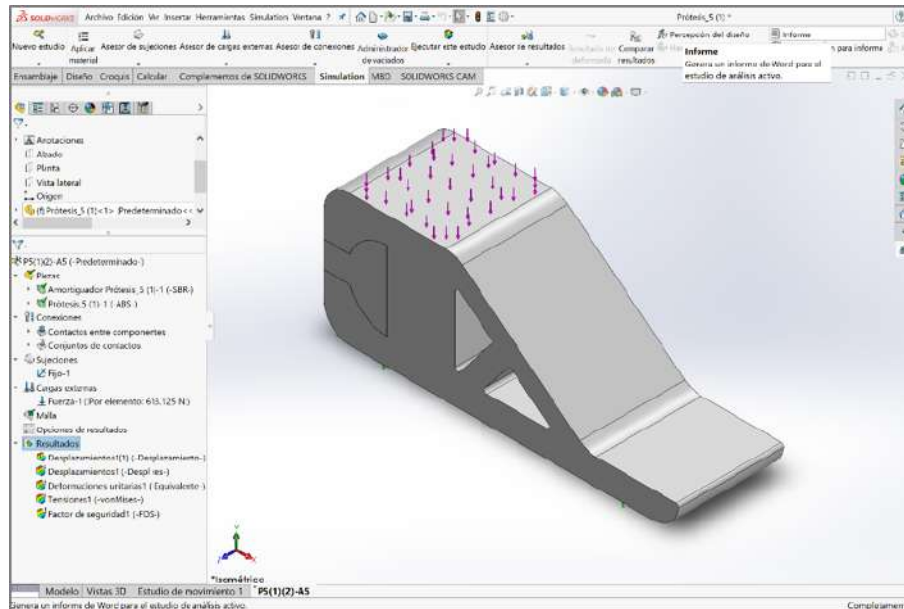


Figura 147. Generación informe resultados Prótesis 5(1)(2)

5.7.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo siempre tiene lugar en la arista trasera de la cara plana superior de la prótesis, donde se une el pie a la pierna a través de la articulación del tobillo, disminuyendo su valor conforme nos alejamos de ésta (véase Figura 148). En el caso del amortiguador ubicado en el talón del pie protésico, el máximo desplazamiento siempre ocurre en el centro de sus caras laterales, al comprimirse éste por acción de la carga externa que actúa sobre el mismo. Cabe destacar cómo el empeine y la planta del pie protésico apenas se desplazan.

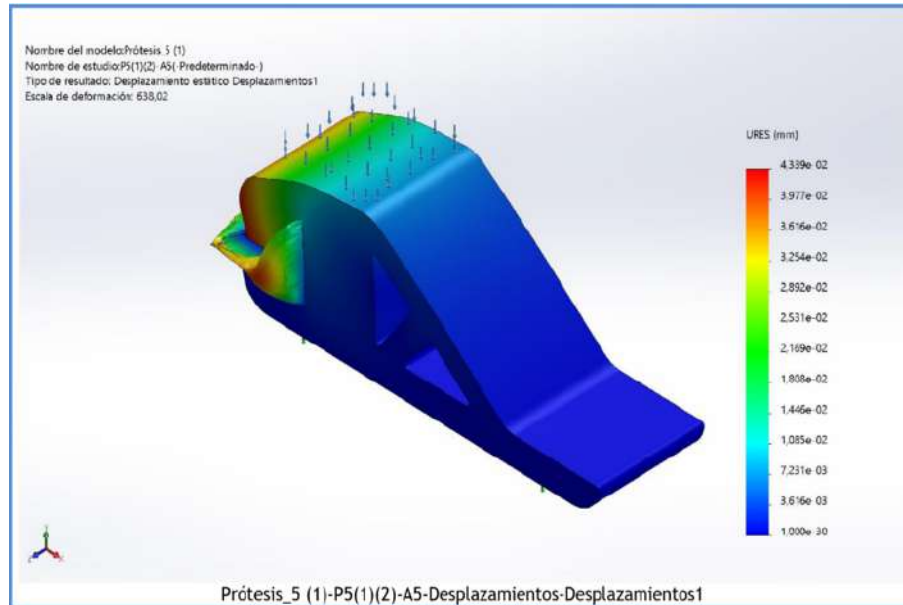


Figura 148. Desplazamientos Prótesis 5(1)(2).

Cabe resaltar cómo la prótesis en su conjunto apenas se deforma (véase Figura 149), ya que prácticamente toda la deformación es absorbida por el amortiguador.

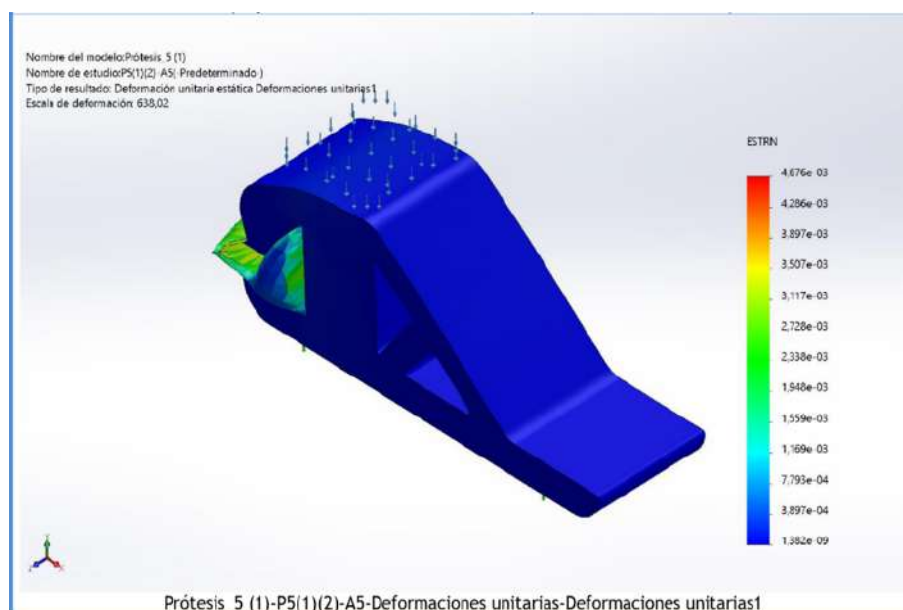


Figura 149. Deformaciones unitarias Prótesis 5(1)(2).

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en el centro de la cara plana superior del pie protésico, coincidiendo con el centro geométrico de aplicación de la carga externa y disminuyendo su valor hacia los extremos de dicha cara (véase Figura 150). Hay que reseñar que tanto el amortiguador, como el empeine y la planta apenas se ven sometidos a tensiones internas, puesto que los mayores esfuerzos internos están concentrados en el talón del pie protésico.

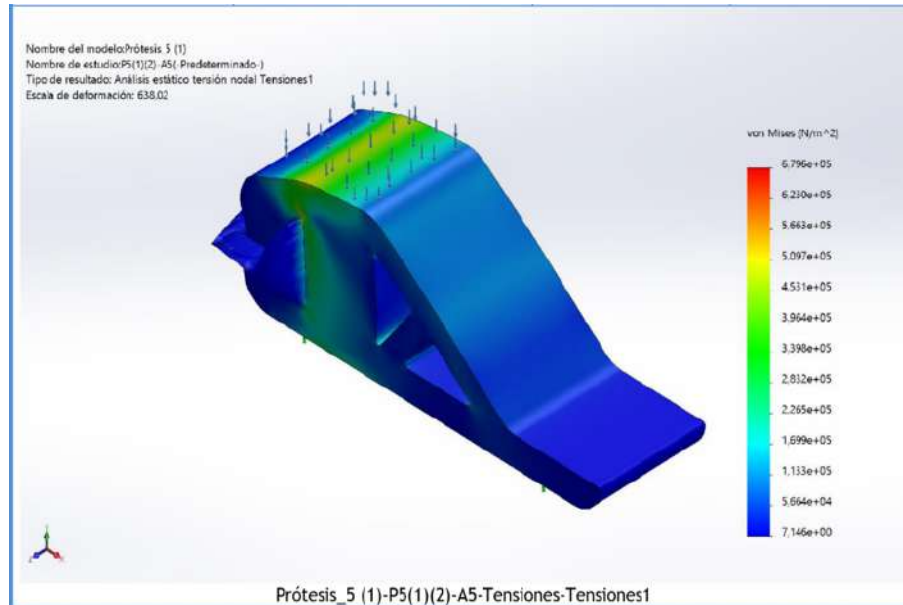


Figura 150. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(1)(2).

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 5(1)(2) llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 8 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en las cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo (F _s ≥1)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	8,704	17,52	0,891	6,506·10 ⁻⁵	5,951·10 ⁻¹	522,40	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (SS)	5,347	184,81	0,847	1,090·10 ⁻⁴	9,988·10 ⁻⁴	947,00	Resistencia	Coste ⁽¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	3,201	6,52	0,845	1,937·10 ⁻⁴	1,775·10 ⁻¹	244,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	3,322	22,22	0,845	1,857·10 ⁻⁴	1,702·10 ⁻¹	448,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,385	2,60	0,680	4,676·10 ⁻³	4,339·10 ⁻²	35,33	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PAG	1,484	3,77	0,698	3,733·10 ⁻³	3,454·10 ⁻²	83,90	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 8. Resultados simulaciones Prótesis 5(1)(2).

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 5(1)(2) es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 5(1)(2) en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 5(1)(2), éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 5(1)(2), éstos son iguales para ambas aleaciones de aluminio, siendo ligeramente superiores para las aleaciones de acero y de titanio. En cambio, dichos valores son notablemente inferiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 5(1)(2) son, sólo y exclusivamente, los materiales termoplásticos (ABS y PA6), al resultar más baratos, ligeros y resistentes.

5.8. Prótesis 5(2)

5.8.1. Descripción

La Prótesis 5(2) se trata del prototipo de pie protésico que hemos diseñado a partir del modelado y optimización de la Prótesis 5(0) y, a su vez, de la Prótesis 5(1), con el fin de optimizar su coste, masa y resistencia (véase Figura 151). Para ello se ha efectuado un vaciado consistente en sendos huecos con forma de prisma triangular, para generar un empeine estilizado, recto y reforzado mediante un nervio de refuerzo inclinado que lo conecta con la planta del pie protésico, favoreciendo así el reparto de tensiones y la descarga de las mismas hacia el suelo a través de ésta.

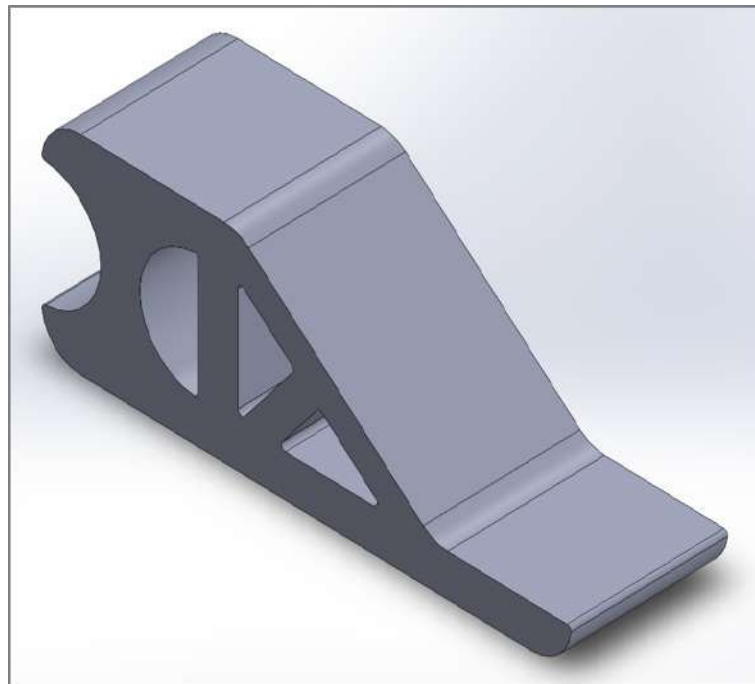


Figura 151. Imagen Prótesis 5(2).

También se han efectuado sendos huecos enfrentados con forma semicilíndrica en el talón, favoreciendo así la amortiguación de la pisada y reduciendo, consecuentemente, la rigidez de la prótesis. Su geometría se ha definido partiendo de un paralelepípedo inicial de dimensiones $27 \times 10 \times 8$ cm al cual se le han practicado los rebajes y vaciados correspondientes, (véase Plano 10) comentados anteriormente.

Además, se han redondeado en mayor o menor medida todas las aristas vivas para reducir el riesgo de rotura debido a un exceso de concentración de tensiones en las dichas uniones angulosas.

5.8.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 152 y Figura 153.

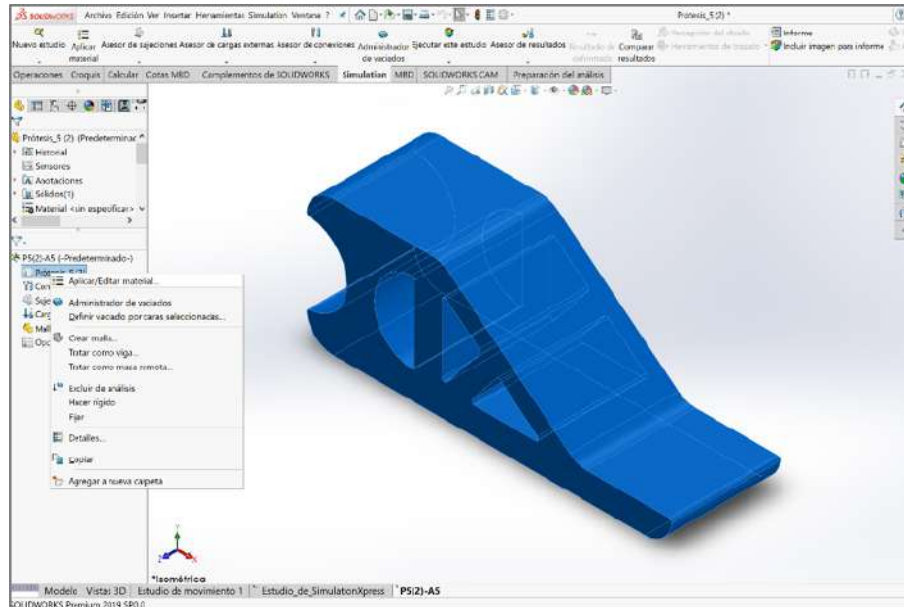


Figura 152. Asignación material Prótesis 5(2).

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

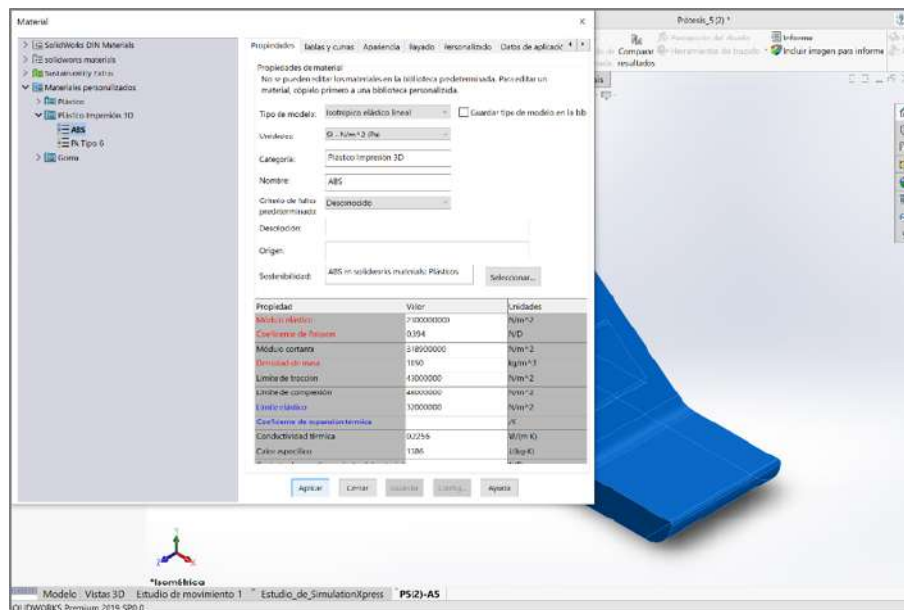
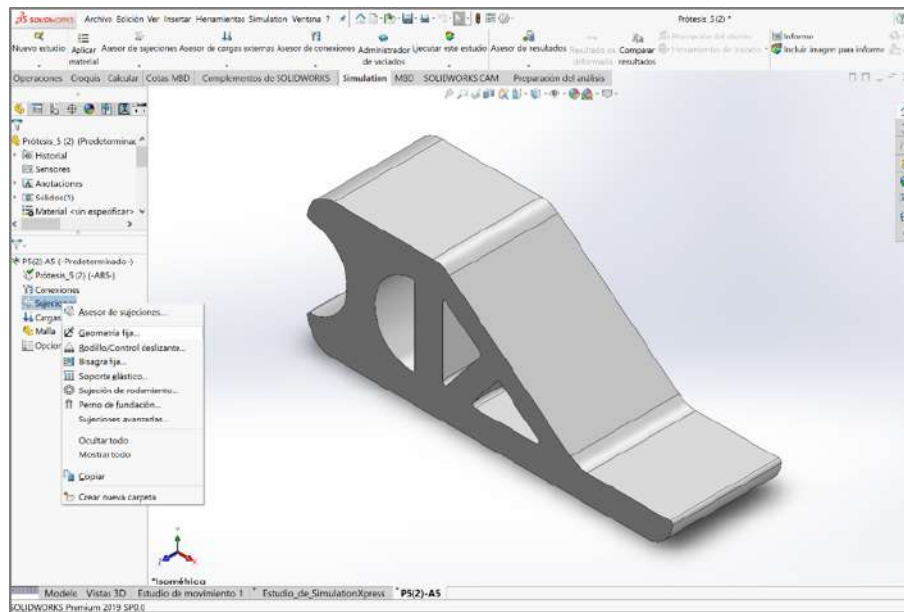
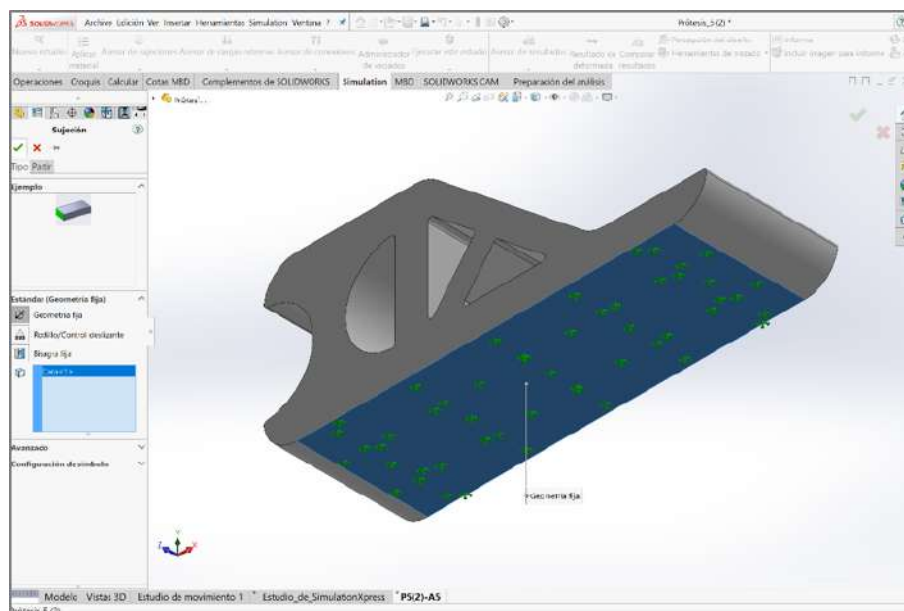
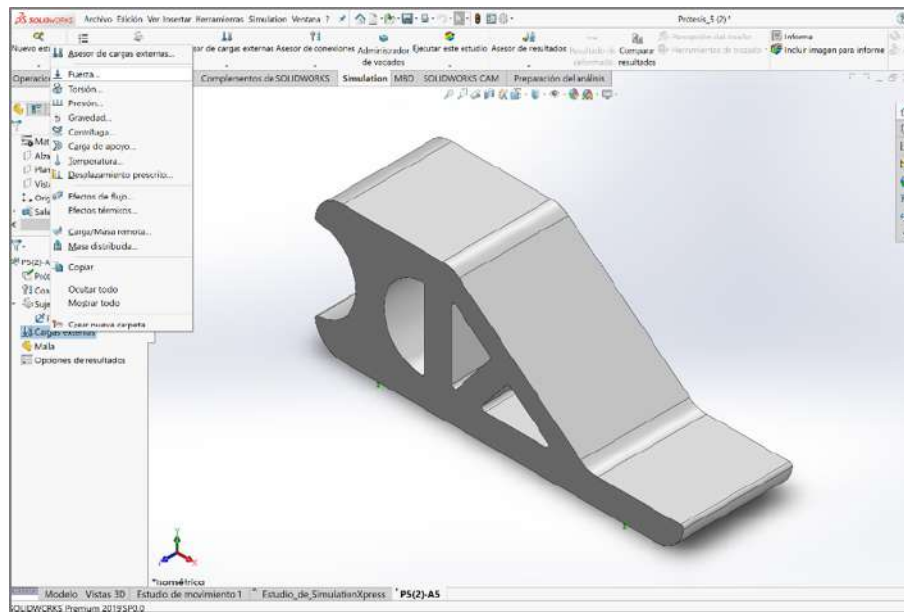


Figura 153. Aplicación material Prótesis 5(2).

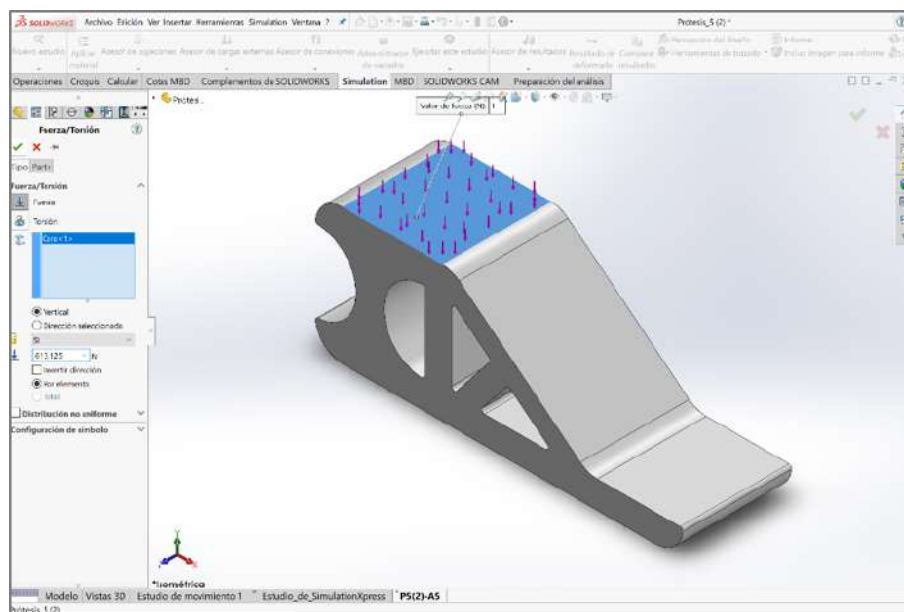
Paso 2: Definición de las sujeciones, véase Figura 154 y Figura 155.**Figura 154.** Adición sujeción Prótesis 5(2).

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior que hace las veces de planta del pie. Esta sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, tomando como referencia el eje Y, que será perpendicular a dicha cara y de sentido ascendente, como el de la fuerza normal que sufre la prótesis al entrar la planta del pie en contacto con el suelo.

**Figura 155.** Aplicación sujeción Prótesis 5(2).

Paso 3: Definición de las cargas externas, véase Figura 156 y Figura 157.**Figura 156.** Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(2).

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculada previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior, siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

**Figura 157.** Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(2).

Paso 4: Creación de la malla, véase Figura 158, Figura 159 y Figura 160.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

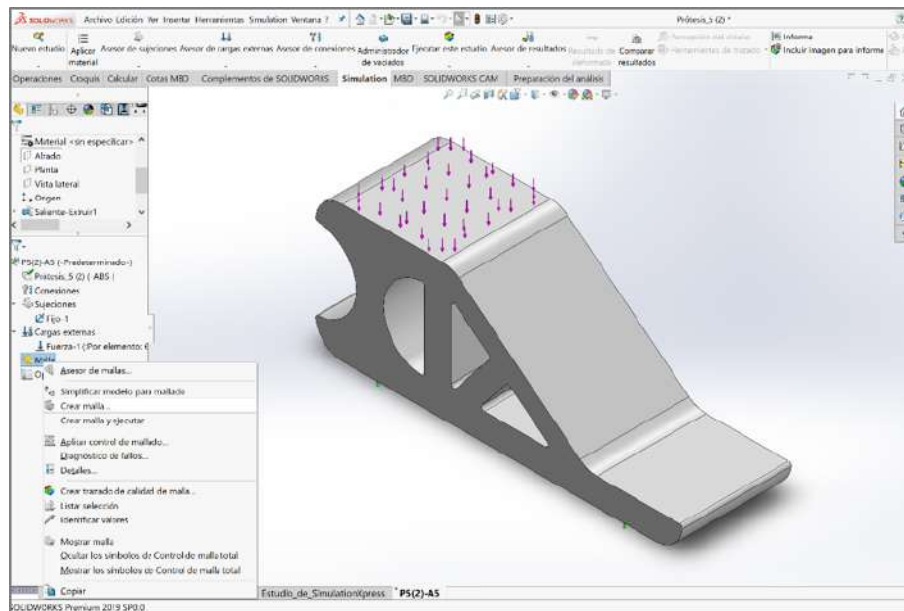


Figura 158. Creación malla Prótesis 5(2).

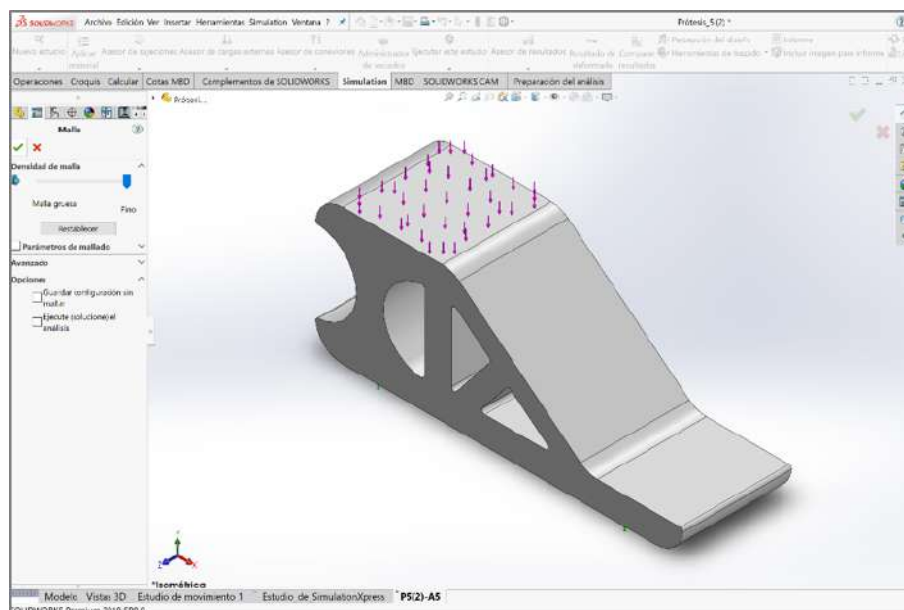


Figura 159. Configuración malla Prótesis 5(2).

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 160) que proporciona resultados satisfactorios.

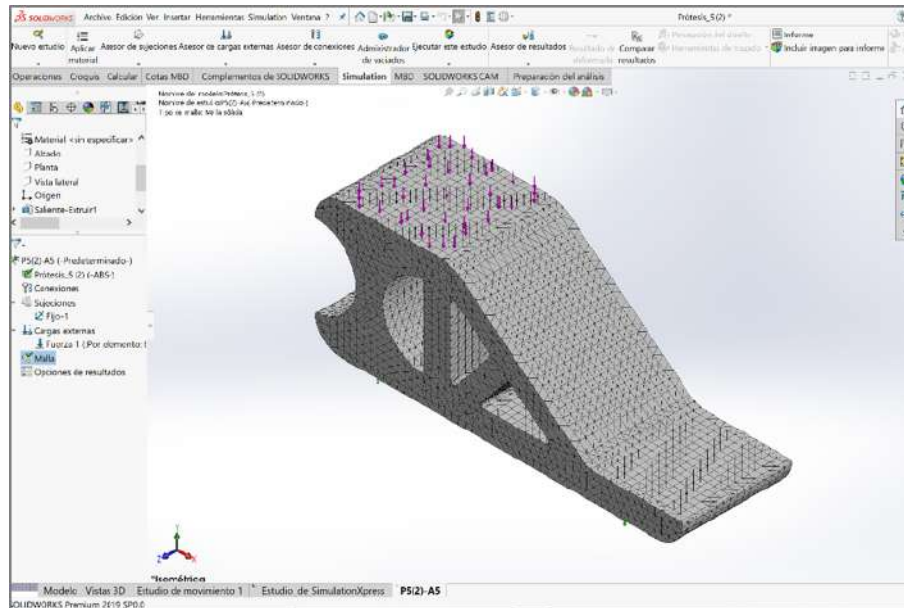


Figura 160. Malla Prótesis 5(2).

Paso 5: Ejecución de la simulación, véase Figura 161.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis altamente compacta y, por tanto, difícilmente deformable.

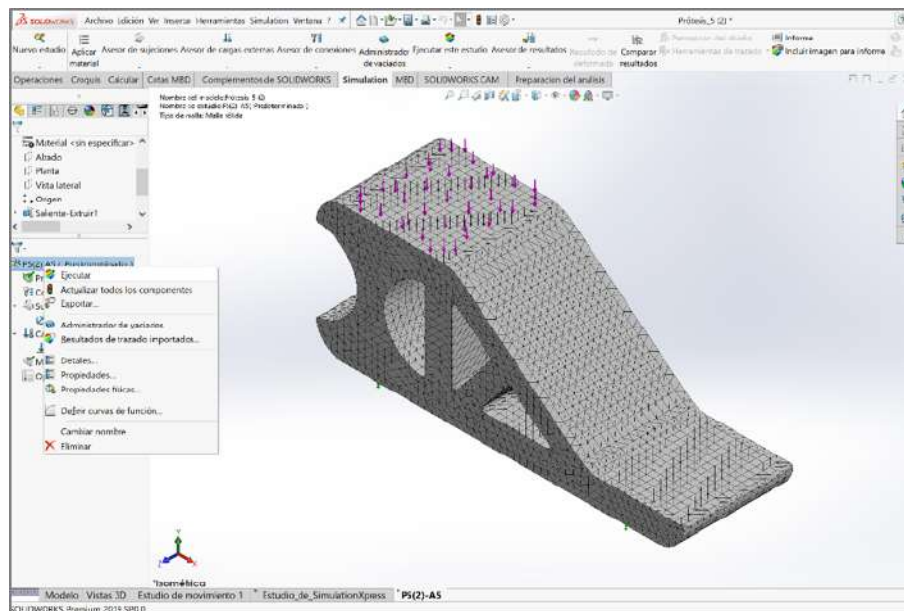


Figura 161. Ejecución análisis Prótesis 5(2).

Paso 6: Generación del informe de resultados, véase Figura 162.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

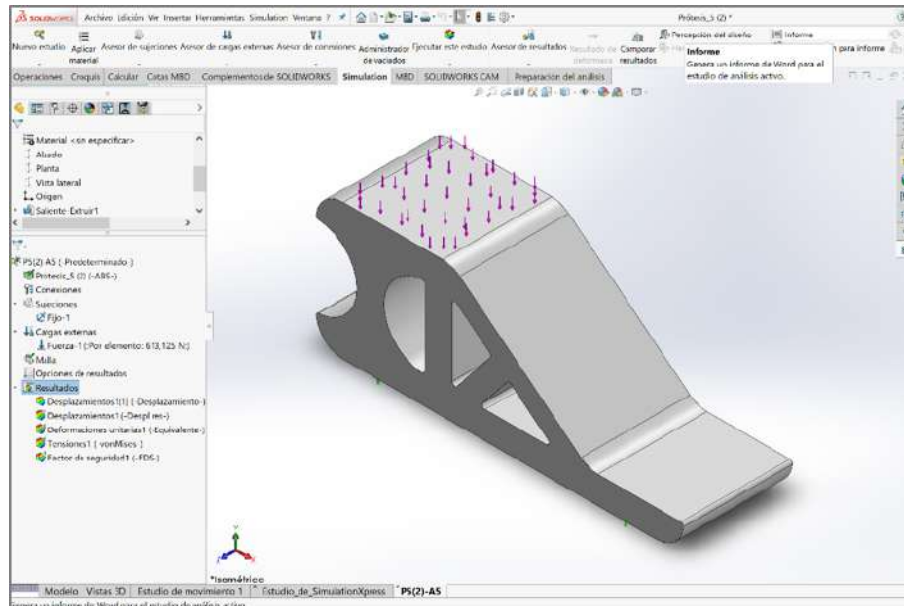


Figura 162. Generación informe resultados Prótesis 5(2).

5.8.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo tiene lugar siempre en el centro de la cara plana superior de la prótesis (véase Figura 163), donde se une el pie a la pierna a través de la articulación del tobillo, coincidiendo con el centro geométrico de aplicación de la carga externa y disminuyendo su valor hacia los extremos de dicha cara así como a través del talón.

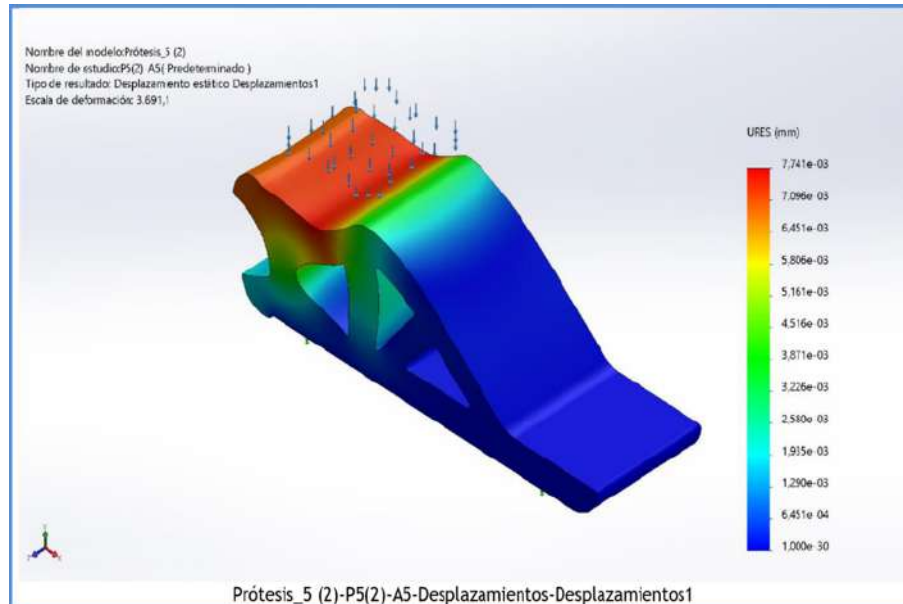


Figura 163. Desplazamientos Prótesis 5(2).

La deformación unitaria máxima se produce siempre en el estrechamiento existente entre ambos huecos semicilíndricos enfrentados, disminuyendo su valor conforme nos alejamos de éste (véase Figura 164).

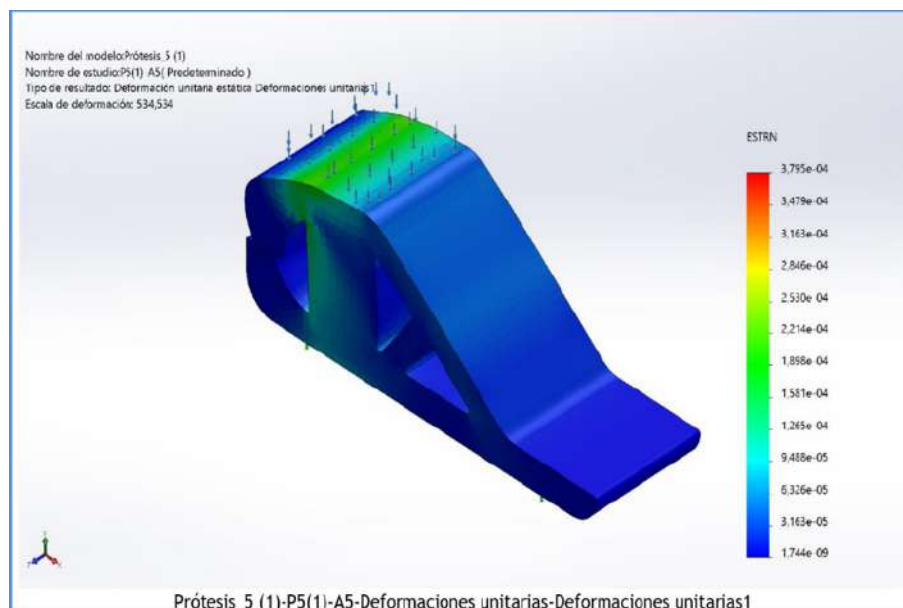


Figura 164. Deformaciones unitarias Prótesis 5(2).

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en el estrechamiento existente entre ambos huecos semicilíndricos enfrentados, disminuyendo su valor conforme nos alejamos del mismo (véase Figura 165).

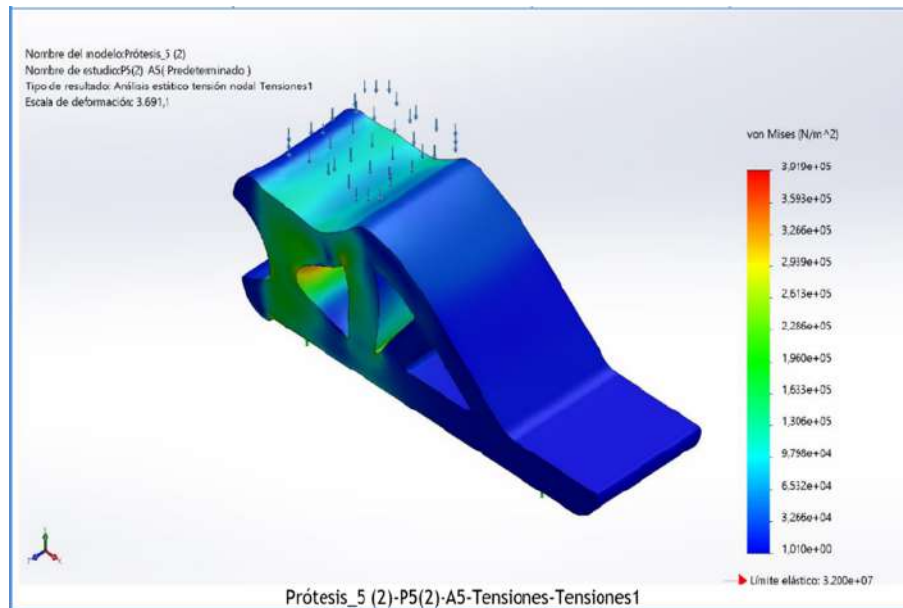


Figura 165. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(2).

Hay que reseñar que el empeine y la planta del pie protésico apenas se deforman, puesto que sufren tensiones internas muy pequeñas, concentrándose los mayores esfuerzos internos en el talón.

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 5(2) llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 9 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo ($F_s \geq 1$)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	7,836	15,67	0,407	$1,301 \cdot 10^{-6}$	$8,544 \cdot 10^{-5}$	1526,00	Coste ¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-0,25Si (SS)	4,732	170,35	0,400	$2,326 \cdot 10^{-6}$	$1,455 \cdot 10^{-4}$	2676,00	Resistencia	Coste ¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	2,748	5,50	0,400	$4,147 \cdot 10^{-6}$	$2,593 \cdot 10^{-4}$	687,70	Coste ¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	2,860	20,02	0,400	$3,974 \cdot 10^{-6}$	$2,485 \cdot 10^{-4}$	1263,00	Coste ¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,069	1,87	0,392	$1,340 \cdot 10^{-4}$	$7,741 \cdot 10^{-3}$	81,65	Coste ¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PA6	1,160	2,96	0,391	$1,032 \cdot 10^{-4}$	$5,932 \cdot 10^{-3}$	199,30	Coste ¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 9. Resultados simulaciones Prótesis 5(2).

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 5(2) es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 5(2) en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 5(2), éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas, y considerablemente mayores en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 5(2), éstos son idénticos para todas las aleaciones metálicas aplicadas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente superiores, siendo ligeramente inferiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 5(2) son, sólo y exclusivamente, los materiales termoplásticos (ABS y PA6), al resultar más baratos, ligeros y resistentes.

5.9. Prótesis 5(2)(2)

5.9.1. Descripción

La Prótesis 5(2)(2) es el prototipo mejorado de pie protésico que resulta de incorporar al diseño de la Prótesis 5(2) sendos amortiguadores de caucho (SBR) con la forma semicilíndrica del vaciado practicado en el talón del mismo, respetando el resto de la geometría de la prótesis (véase Plano 9, Plano 10 y Plano 11), a fin de optimizar la distribución de tensiones internas y de mejorar el amortiguamiento de la pisada.

Para ello, hemos diseñado los amortiguadores de la Prótesis 5(2) mediante la extrusión de su perfil, el cual ha sido croquizado previamente en *SolidWorks* para, a continuación, crear un ensamblaje entre la Prótesis 5(2) y dichos amortiguadores (véase Figura 166).

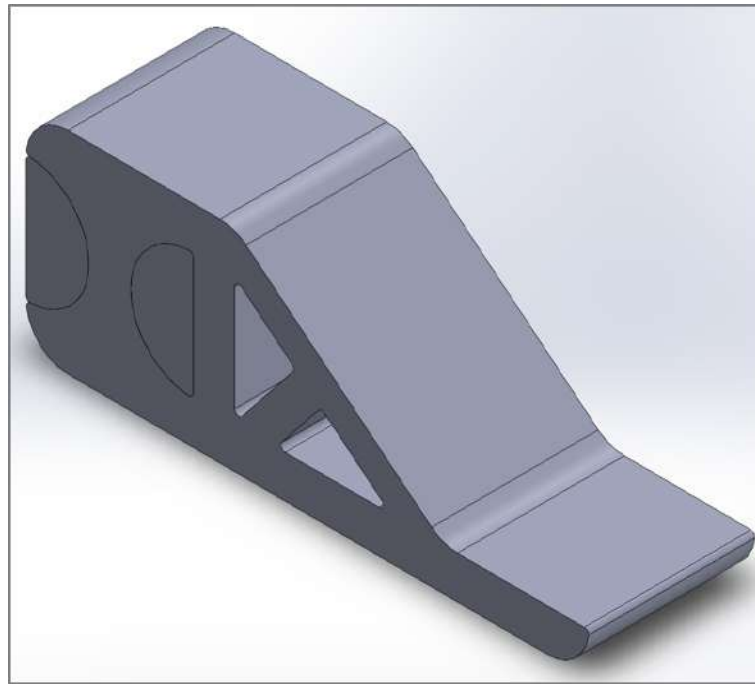


Figura 166. Imagen Prótesis 5(2)(2).

5.9.2. Simulación

Los pasos a seguir a la hora de llevar a cabo la simulación de esta prótesis en el asistente de simulación *SolidWorks Simulation* son los siguientes:

Paso 1: Asignación del material, véase Figura 167, Figura 168, Figura 169 y Figura 170.

Asignamos el material a cada una de las piezas que componen el ensamblaje de la Prótesis 5(2)(2): los dos amortiguadores de la Prótesis 5(2) y la propia Prótesis 5(2).

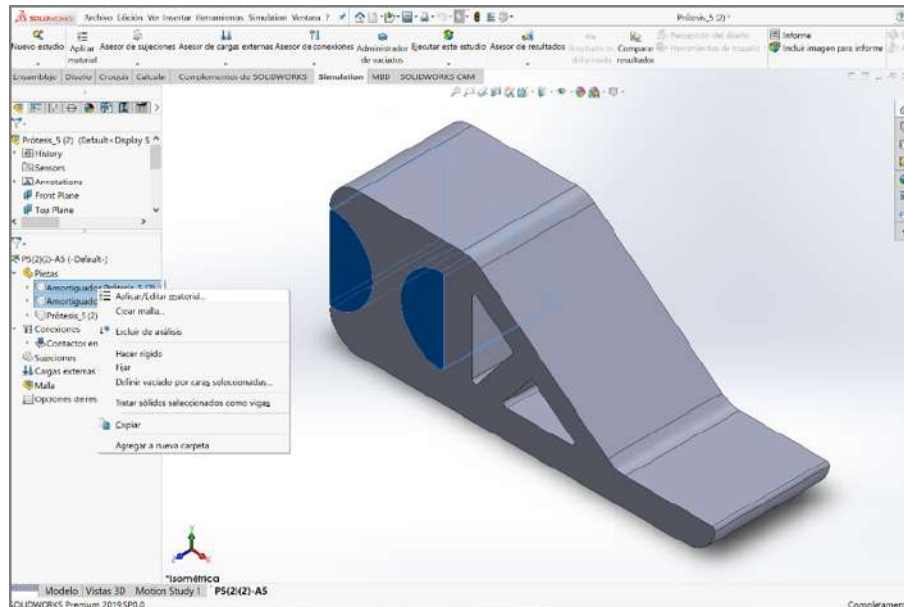


Figura 167. Asignación material amortiguador Prótesis 5(2).

Aplicamos el material SBR al amortiguador, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

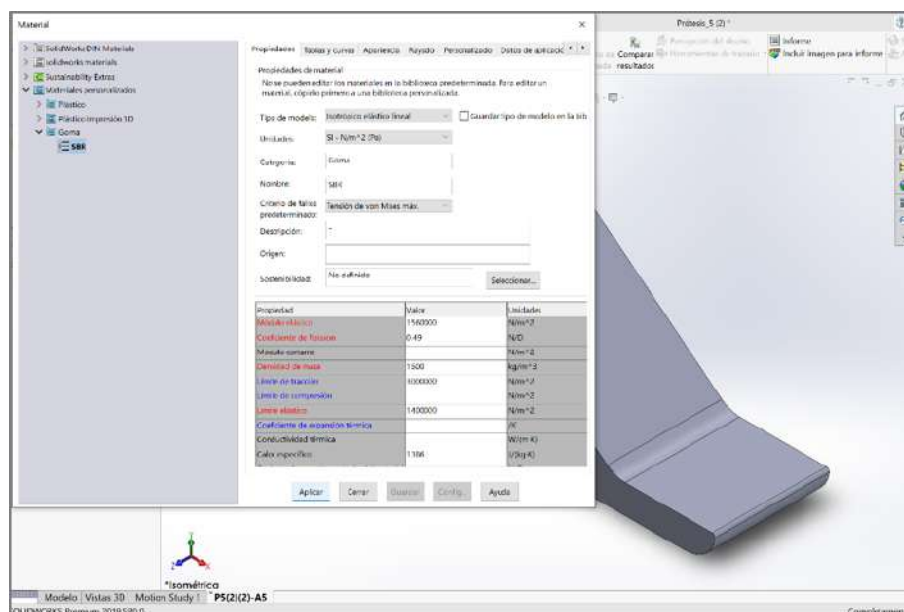


Figura 168. Aplicación material amortiguador Prótesis 5(2).

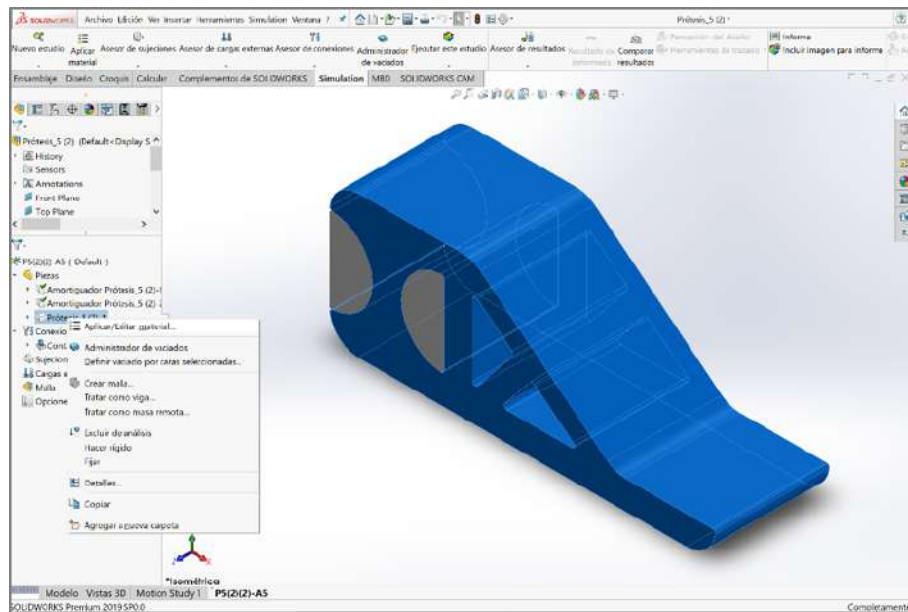


Figura 169. Asignación material Prótesis 5(2) ensamblaje Prótesis 5(2)(2).

Aplicamos el material ABS a la prótesis, cuyos datos técnicos han sido incluidos en la biblioteca de materiales de *SolidWorks* al estar incompletos o ser erróneos los que vienen incluidos por defecto.

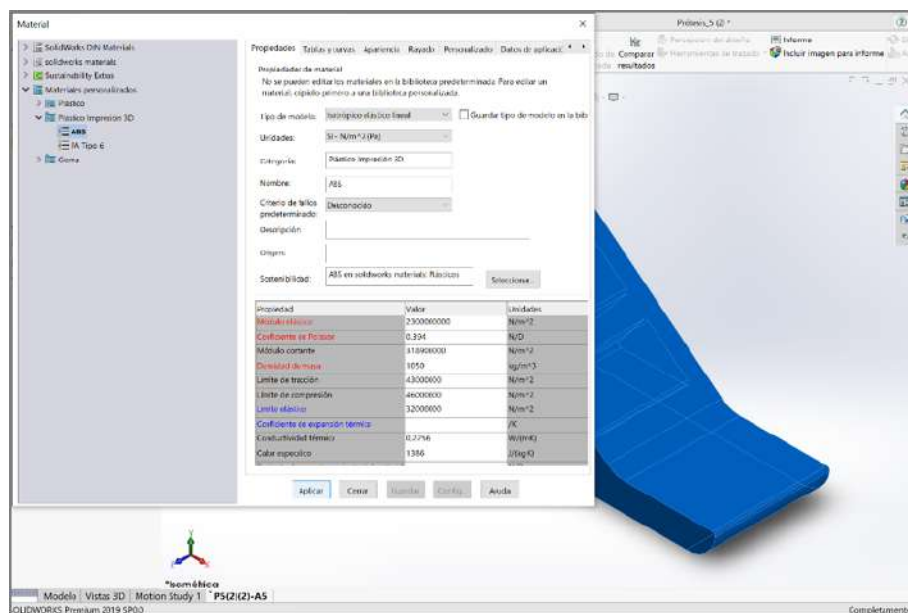


Figura 170. Aplicación material Prótesis 5(2) ensamblaje Prótesis 5(2)(2).

Paso 2: Definición de las conexiones, véase Figura 171, Figura 172, Figura 173 y Figura 174.

Empleamos el asesor de conexiones (véase Figura 171) para definir una unión rígida entre los dos componentes que conforman la Prótesis 5(2)(2) (véase Figura 172), suponiendo que ambos se mueven solidariamente y comportándose como si de un único sólido rígido se tratase. Dicha unión rígida consiste en un adhesivo fino y rígido, el cual no permite el corte (véase Figura 173).

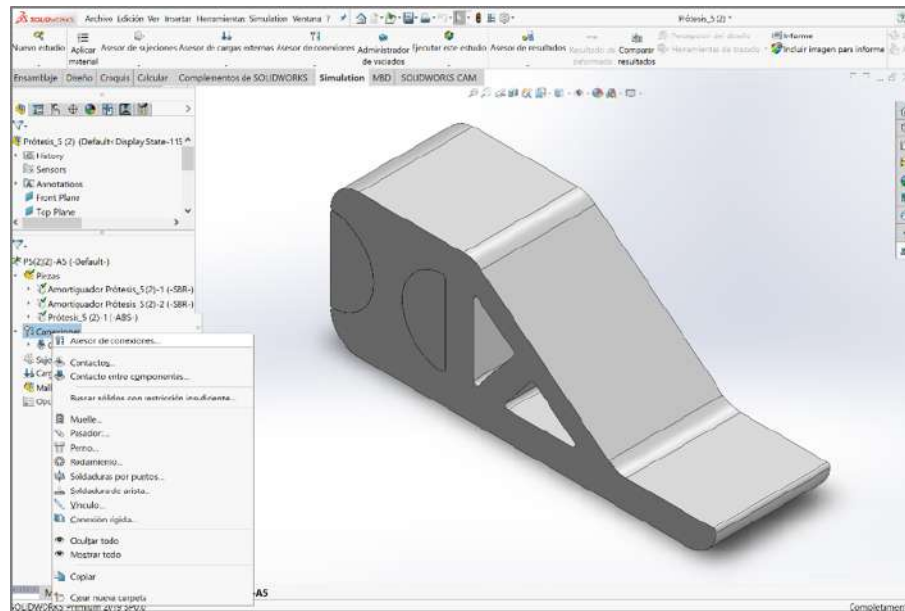


Figura 171. Asesor de conexiones Prótesis 5(2)(2).

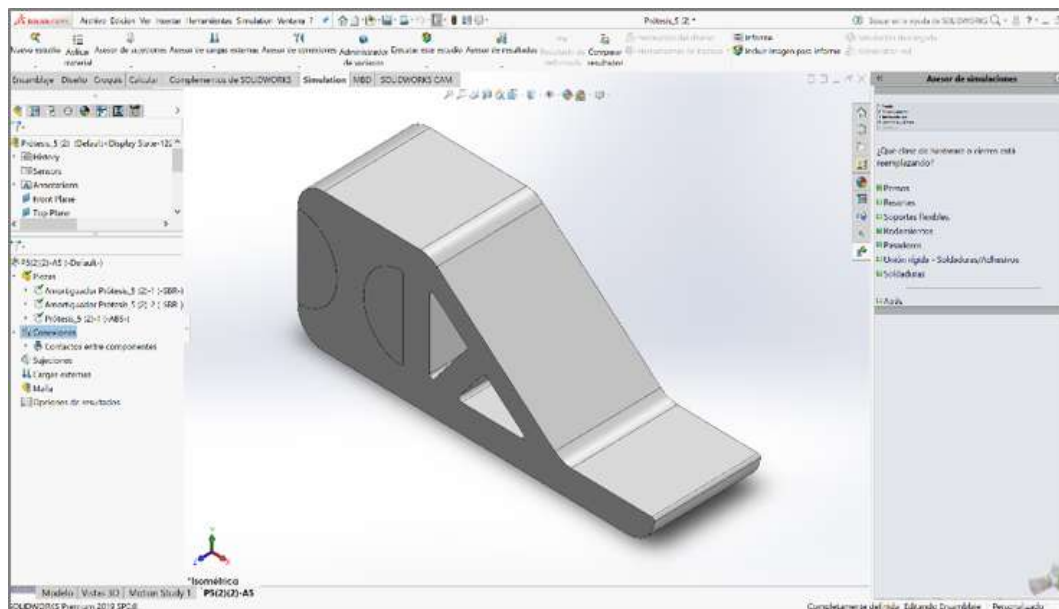


Figura 172. Selección tipo de conexión Prótesis 5(2)(2).

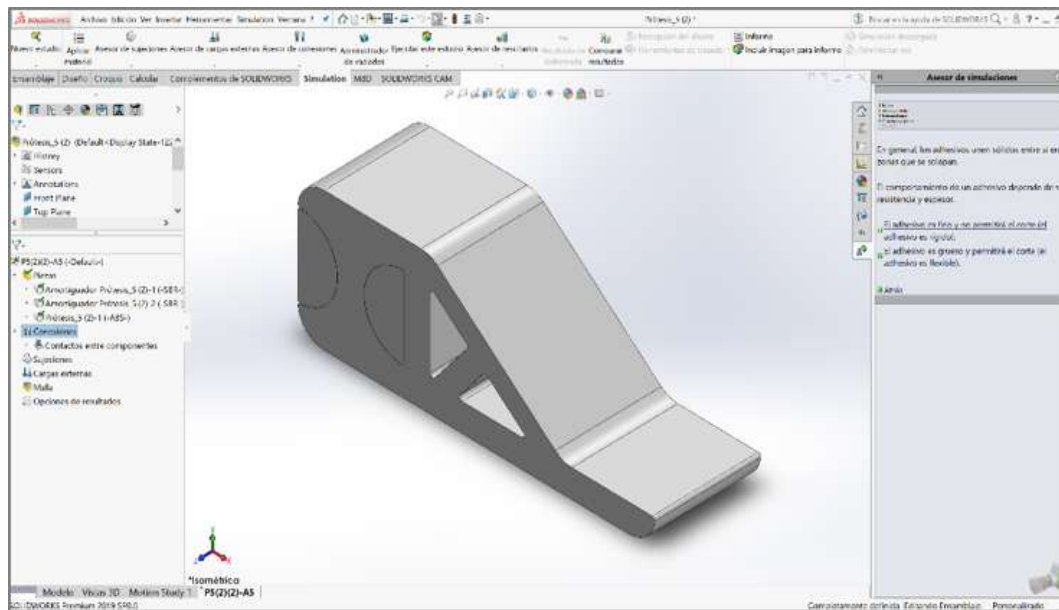


Figura 173. Selección tipo de adhesivo Prótesis 5(2)(2).

El asesor de conexiones también nos permite realizar una búsqueda automática de los conjuntos de contactos existentes entre ambos componentes que conforman la Prótesis 5(2)(2) (véase Figura 174).

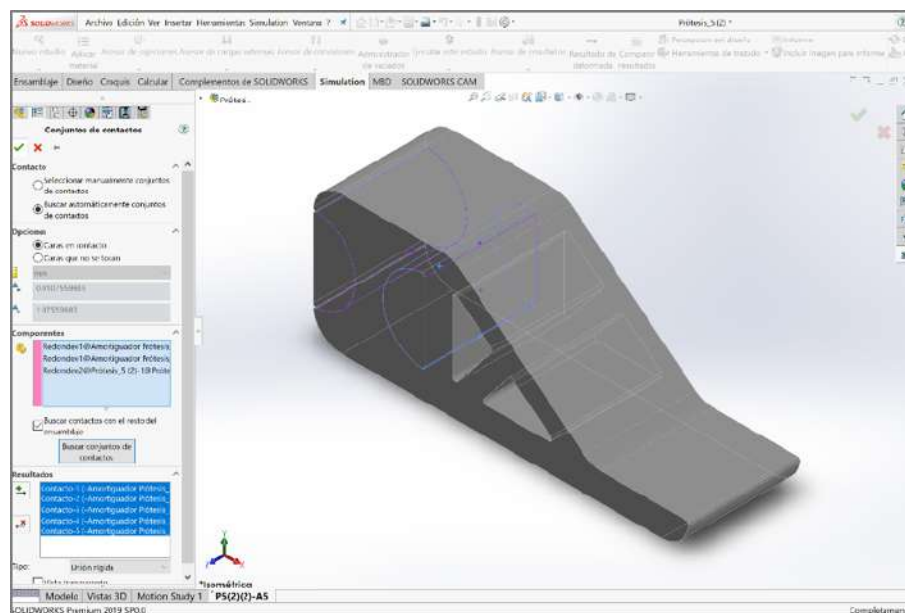
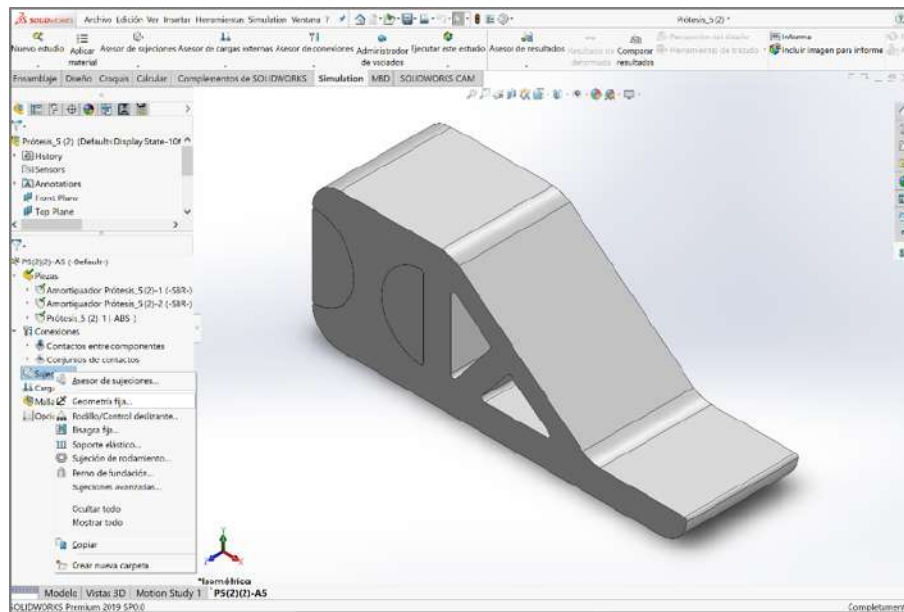
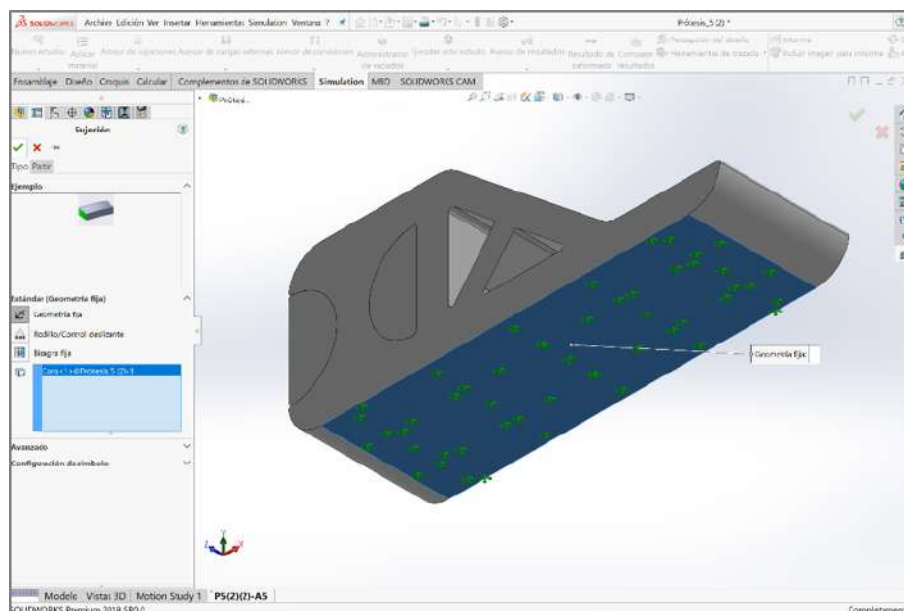
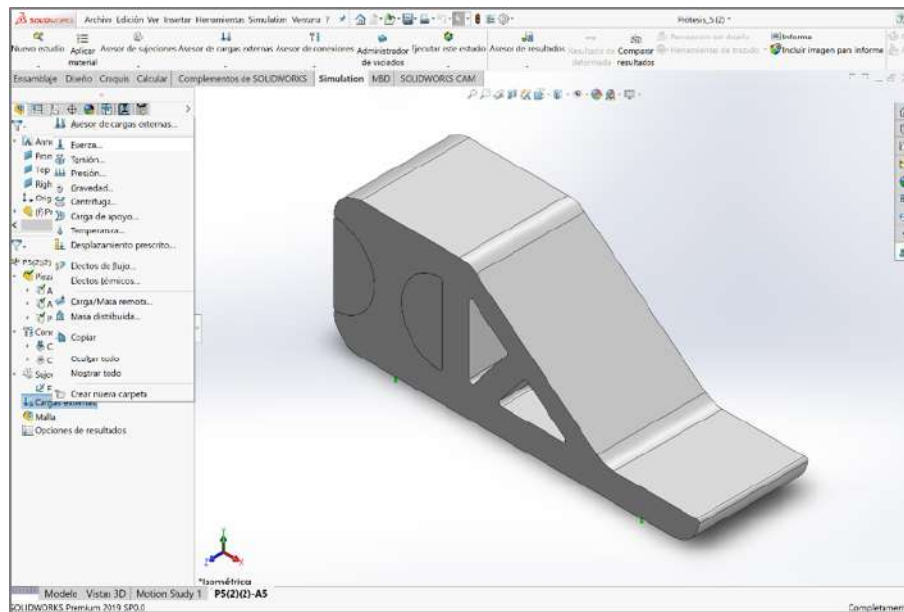


Figura 174. Asignación de conexiones Prótesis 5(2)(2).

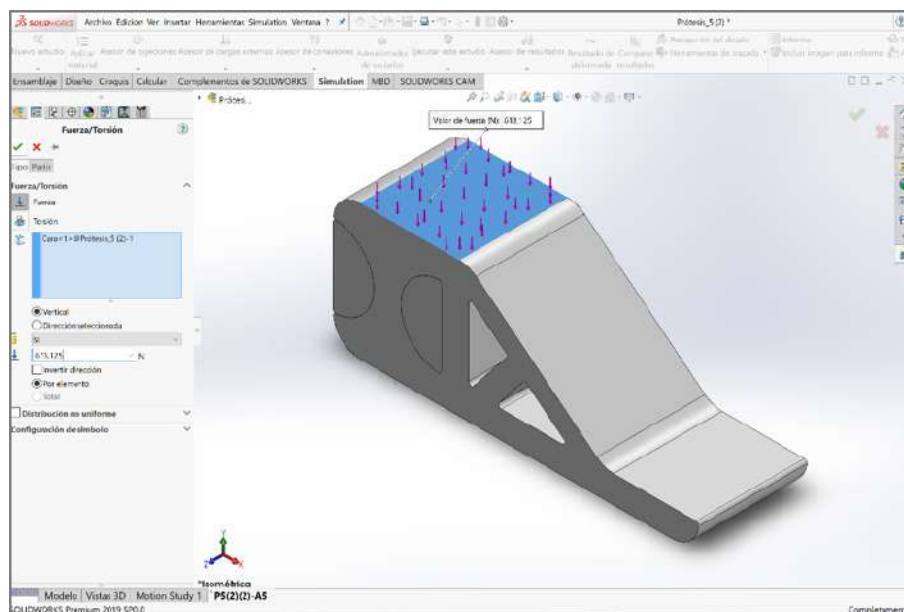
Paso 3: Definición de las sujeciones, véase Figura 175 y Figura 176.**Figura 175.** Adición sujeción Prótesis 5(2)(2).

Se asigna la sujeción de “Geometría fija” a la cara plana inferior de la Prótesis 5(2), que hace las veces de planta del pie. Esta sujeción implica la restricción del movimiento en las tres direcciones ortogonales entre sí correspondientes a los ejes cartesianos, tomando como referencia el eje Y, que será perpendicular a dicha cara y de sentido ascendente, como el de la fuerza normal que sufre la prótesis al entrar la planta del pie en contacto con el suelo.

**Figura 176.** Aplicación sujeción Prótesis 5(2)(2).

Paso 4: Definición de las cargas externas , véase Figura 177 y Figura 178.**Figura 177.** Definición carga(s) externa(s) Prótesis 5(2)(2).

Se define la carga externa “Fuerza” cuyo valor es $613,125N$, calculada previamente. Dicha fuerza se aplicará como una carga distribuida por toda la cara plana superior de la Prótesis 5(2)(2), siendo ésta perpendicular a la misma y de sentido descendente.

**Figura 178.** Aplicación carga(s) externa(s) Prótesis 5(2)(2).

Paso 5: Creación de la malla, véase Figura 179, Figura 180 y Figura 181.

Configuramos y creamos una malla triangular lo más fina posible para posteriormente ejecutar el análisis estático y resolver los desplazamientos, deformaciones y tensiones resultantes aplicando el Método de los Elementos Finitos (FEM).

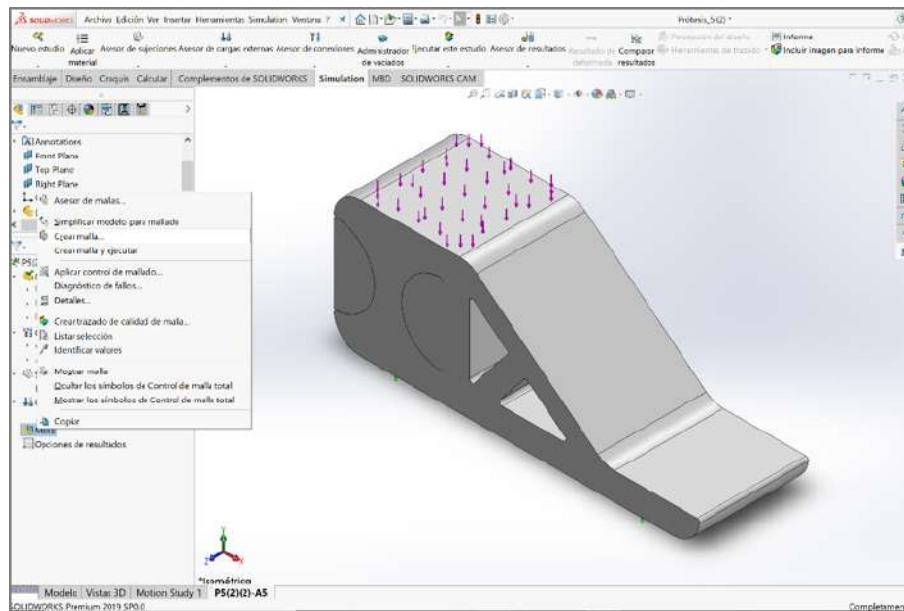


Figura 179. Creación malla Prótesis 5(2)(2).

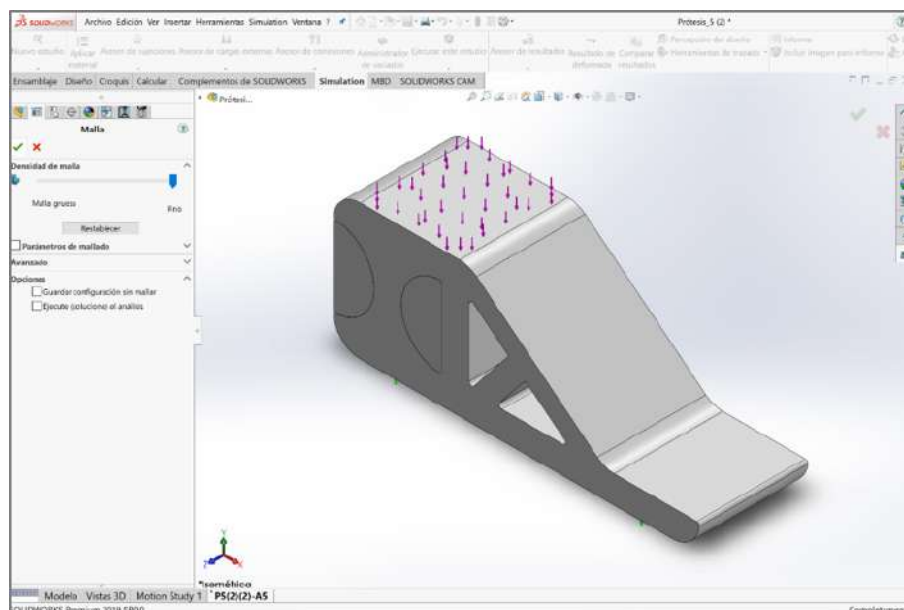


Figura 180. Configuración malla Prótesis 5(2)(2).

En este caso, la configuración de malla predeterminada genera una malla estándar, sólida y triangular (véase Figura 181) que proporciona resultados satisfactorios.

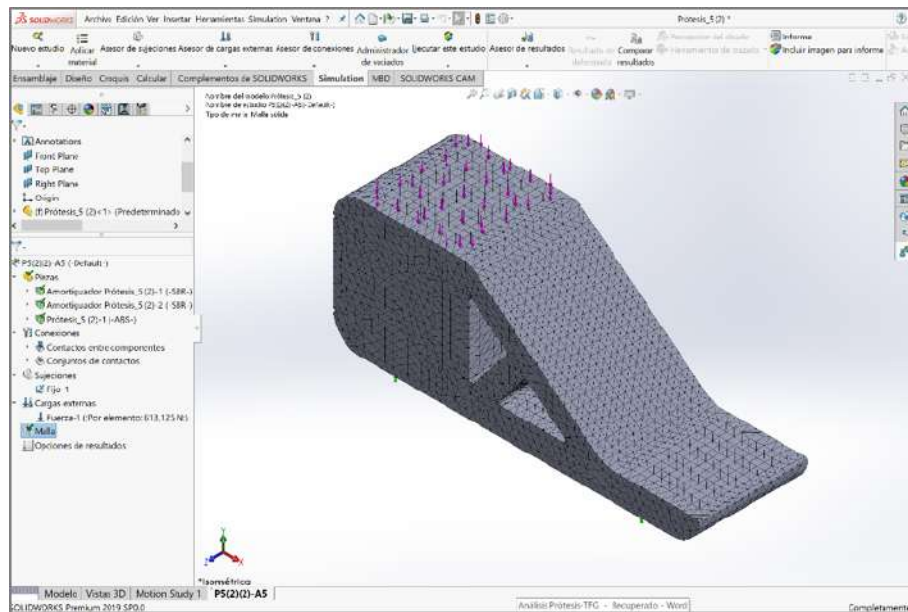


Figura 181. Malla Prótesis 5(2)(2).

Paso 6: Ejecución de la simulación, véase Figura 182.

Ejecutamos la simulación aplicando la hipótesis de pequeños desplazamientos al tratarse de una prótesis altamente muy compacta y, por tanto, difícilmente deformable.

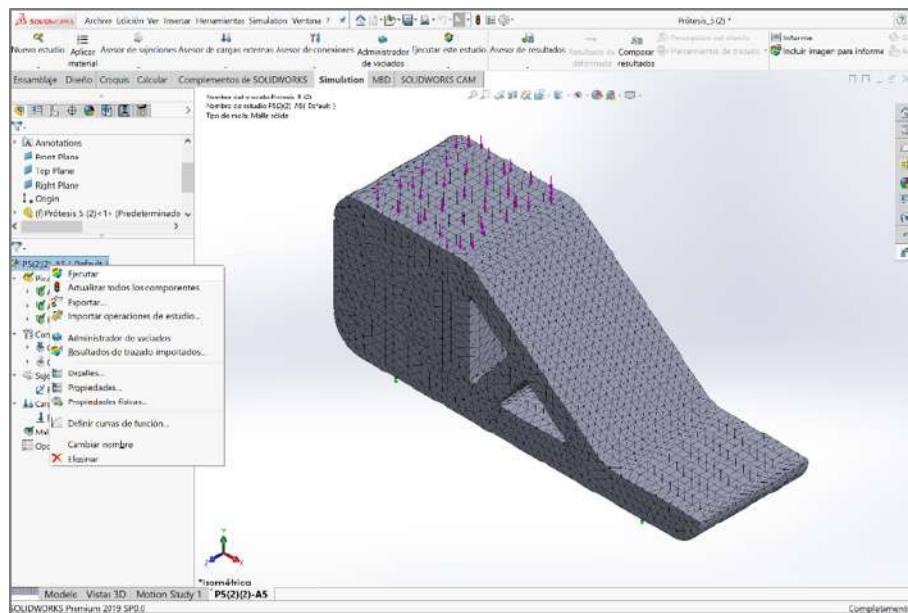


Figura 182. Ejecución análisis Prótesis 5(2)(2).

Paso 7: Generación del informe de resultados, véase Figura 183.

Generamos un informe que incluye los resultados de las simulaciones relativos a las distribuciones de los valores de desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises (elegimos este criterio de resistencia al tratarse tanto los metales como los plásticos de materiales dúctiles), así como los asociados al factor de seguridad.

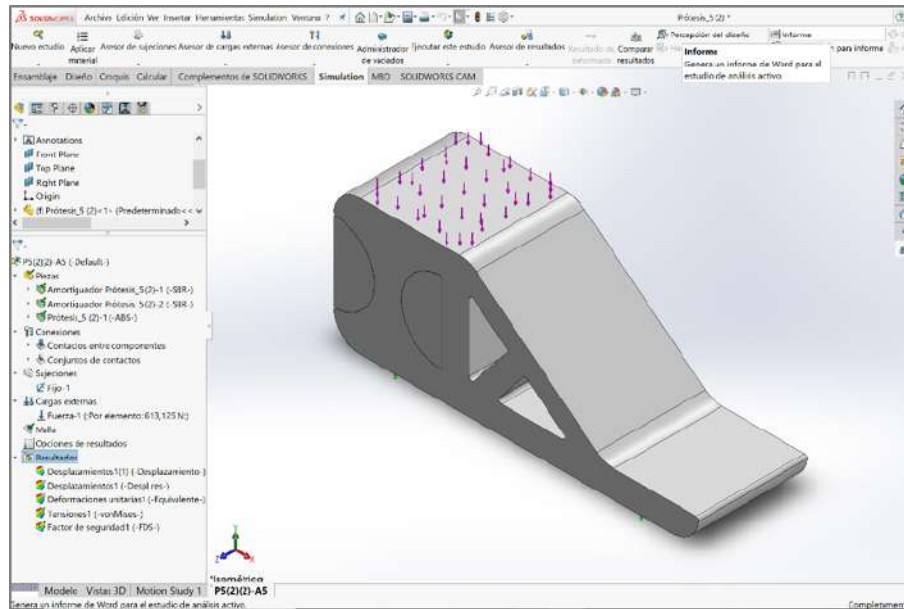


Figura 183. Generación informe resultados Prótesis 5(2)(2)

5.9.3. Resultados

El informe generado muestra los siguientes resultados cualitativos en cuanto a desplazamientos, deformaciones unitarias y tensiones de Von Mises.

El desplazamiento máximo tiene lugar siempre en el centro de la cara plana superior de la prótesis (véase Figura 184), donde se une el pie a la pierna a través de la articulación del tobillo, coincidiendo con el centro geométrico de aplicación de la carga externa y disminuyendo su valor hacia los extremos de dicha cara así como a través del talón. Cabe destacar cómo el empeine y la planta del pie protésico apenas se desplazan

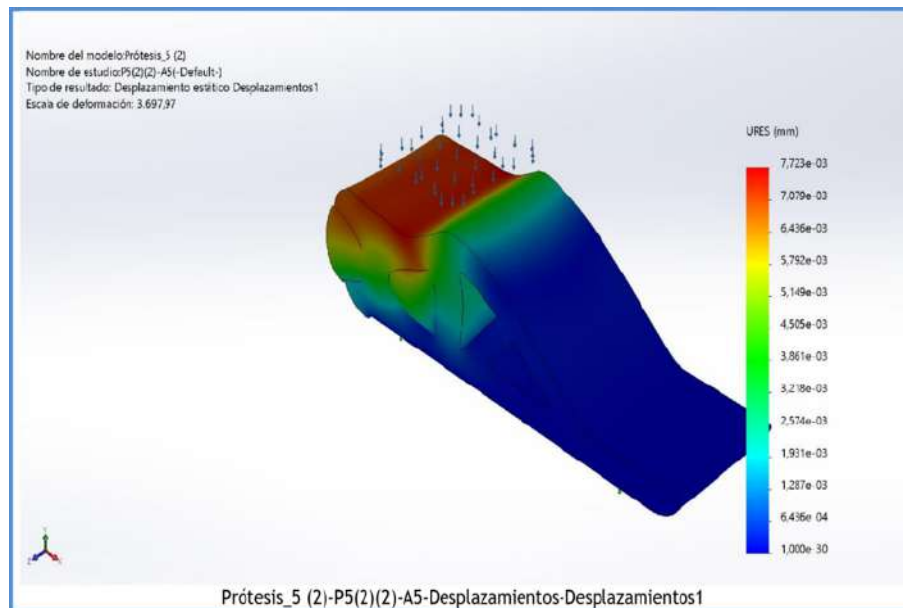


Figura 184. Desplazamientos Prótesis 5(2)(2).

La deformación unitaria máxima se produce siempre en las aristas internas del nervio de refuerzo vertical, así como en el estrechamiento existente entre ambos amortiguadores, disminuyendo su valor conforme nos alejamos de éstos (véase Figura 185). Cabe resaltar cómo el empeine y la planta del pie protésico apenas se deforman, ya que prácticamente toda la deformación es absorbida por los amortiguadores

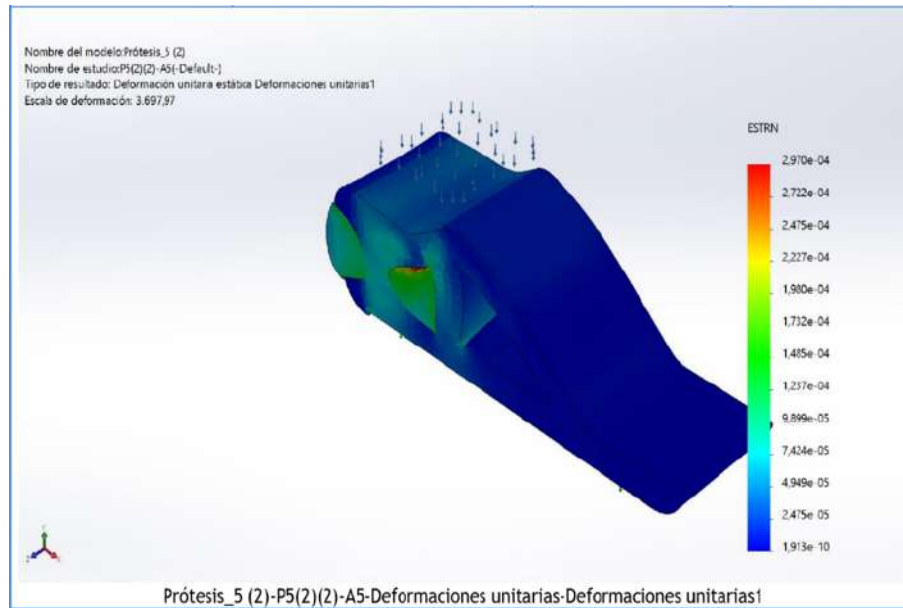


Figura 185. Deformaciones unitarias Prótesis 5(2)(2).

La tensión de Von Mises máxima se concentra siempre en las aristas internas del nervio de refuerzo vertical, así como en el estrechamiento existente entre ambos amortiguadores, disminuyendo su valor según nos alejamos de éstos (véase Figura 186). Hay que reseñar que tanto los amortiguadores, como el empeine y la planta apenas sufren tensiones internas, puesto que los mayores esfuerzos internos están concentrados en el talón del pie protésico.

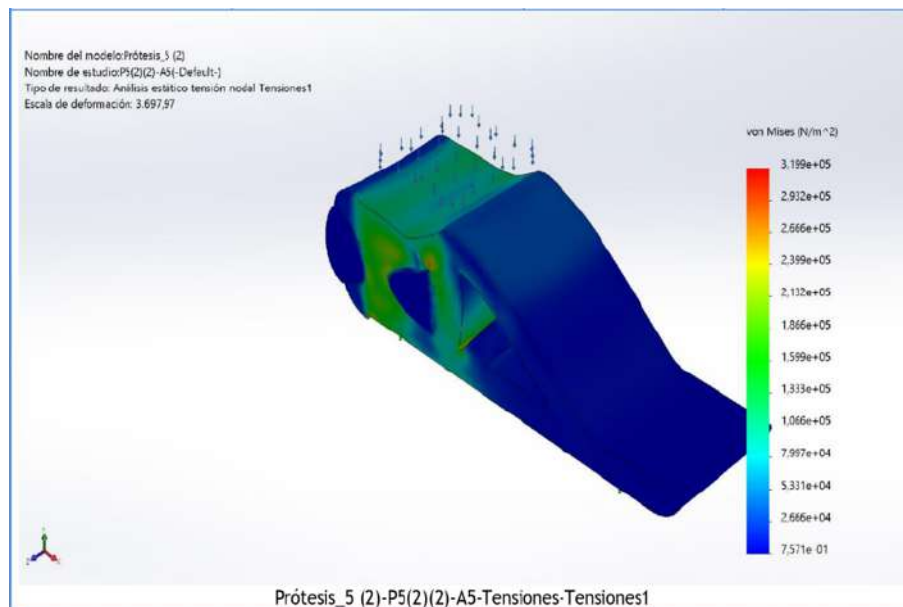


Figura 186. Tensiones de Von Mises Prótesis 5(2)(2).

Los resultados cuantitativos obtenidos en las simulaciones de la Prótesis 5(2)(2) llevadas a cabo para cada uno de los diferentes materiales de estudio aparecen recogidos en la siguiente tabla (véase Tabla 10 y con más detenimiento en el Anexo C del Documento Anexos), en los cuales se detallan los valores máximos de desplazamiento, deformación unitaria y tensión de Von Mises, así como la masa y el coste relativo de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas:

PRÓTESIS	Material	Masa (kg)	⁽¹⁾ Coste estimado materia prima (€)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Deformación unitaria máxima (-)	Desplazamiento máximo (mm)	Factor de seguridad mínimo ($F_s \geq 1$)	PUNTOS A FAVOR	PUNTOS EN CONTRA	Procede (S/N)
	Acero aleado (SS)	8,197	16,58	0,317	$3,330 \cdot 10^{-6}$	$8,535 \cdot 10^{-5}$	1544,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Titanio Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0,25Si (SS)	5,093	171,26	0,318	$5,704 \cdot 10^{-6}$	$1,453 \cdot 10^{-4}$	2674,00	Resistencia	Coste ⁽¹⁾ y Peso	N
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	3,109	6,40	0,318	$1,014 \cdot 10^{-5}$	$2,590 \cdot 10^{-4}$	687,30	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	3,221	20,92	0,318	$9,715 \cdot 10^{-6}$	$2,482 \cdot 10^{-4}$	1262,00	Coste ⁽¹⁾ y Resistencia	Peso	N
	ABS	1,430	2,77	0,320	$2,970 \cdot 10^{-4}$	$7,723 \cdot 10^{-3}$	80,44	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S
	PA6	1,522	3,86	0,321	$2,287 \cdot 10^{-4}$	$5,919 \cdot 10^{-3}$	195,90	Coste ⁽¹⁾ , Peso y Resistencia	-----	S

Tabla 10. Resultados simulaciones Prótesis 5(2)(2).

En ella se observa claramente cómo el coste del material para la fabricación de la Prótesis 5(2)(2) es notablemente más elevado en el caso de la aleación de titanio, quedando así descartada para su fabricación, y mucho menor en el caso de ambos materiales termoplásticos (ABS y PA6), siendo especialmente reducido el coste del ABS.

También se observa claramente cómo la masa de la Prótesis 5(2)(2) en el caso de fabricarse en las aleaciones metálicas es mucho mayor que en el caso de los materiales termoplásticos, cuya densidad es mucho menor que la de los metales, especialmente en el caso del ABS y la PA6, siendo éstas descartadas para su fabricación.

Con respecto a los valores máximos de desplazamiento y deformación unitaria experimentados por la Prótesis 5(2)(2), éstos son notablemente menores en el caso de las aleaciones metálicas y considerablemente mayores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

En cuanto a los valores máximos de tensión de Von Mises soportados por la Prótesis 5(2)(2), éstos son iguales para todas las aleaciones metálicas, salvo para la aleación de acero que son ligeramente inferiores. En cambio, dichos valores son ligeramente superiores en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

Por tanto, podemos concluir que los materiales más apropiados para la fabricación de la Prótesis 5(2)(2) son, sólo y exclusivamente, los materiales termoplásticos (ABS y PA6), al resultar más baratos y ligeros, sin apenas comprometer su resistencia.

Capítulo 6

Resultados y conclusiones

UNA vez analizadas las distintas prótesis, vamos a pasar ahora a ver los resultados y conclusiones que podemos extraer del estudio anterior para terminaremos hablando de las líneas futuras de investigación de nuestro proyecto.

6.1. Resultados

Así a la vista del análisis hecho en el Capítulo 5, veamos una serie de gráficas en las que mostramos los tres factores de diseño (coste (euros), masa (*kg*) y tensión de Von Mises máxima (*MPa*)) en función de los distintos materiales para cada una de las prótesis.

En lo relativo al coste, podemos advertir claramente cómo la aleación de titanio es, con diferencia, la más cara, por lo que la descartamos como posible opción para la fabricación de los pies protésicos, véase Figura 187, Figura 190, Figura 193, Figura 196, Figura 199, Figura 202, Figura 205, Figura 208 y Figura 211.

Las aleaciones de aluminio 7075-T6, de acero aleado y de aluminio 6061-T6, tienen un precio medio, en orden decreciente del coste de la materia prima.

Los materiales termoplásticos resultan ser, con mucho, los más asequibles desde el punto de vista económico, siendo por regla general el ABS más barato que la PA6.

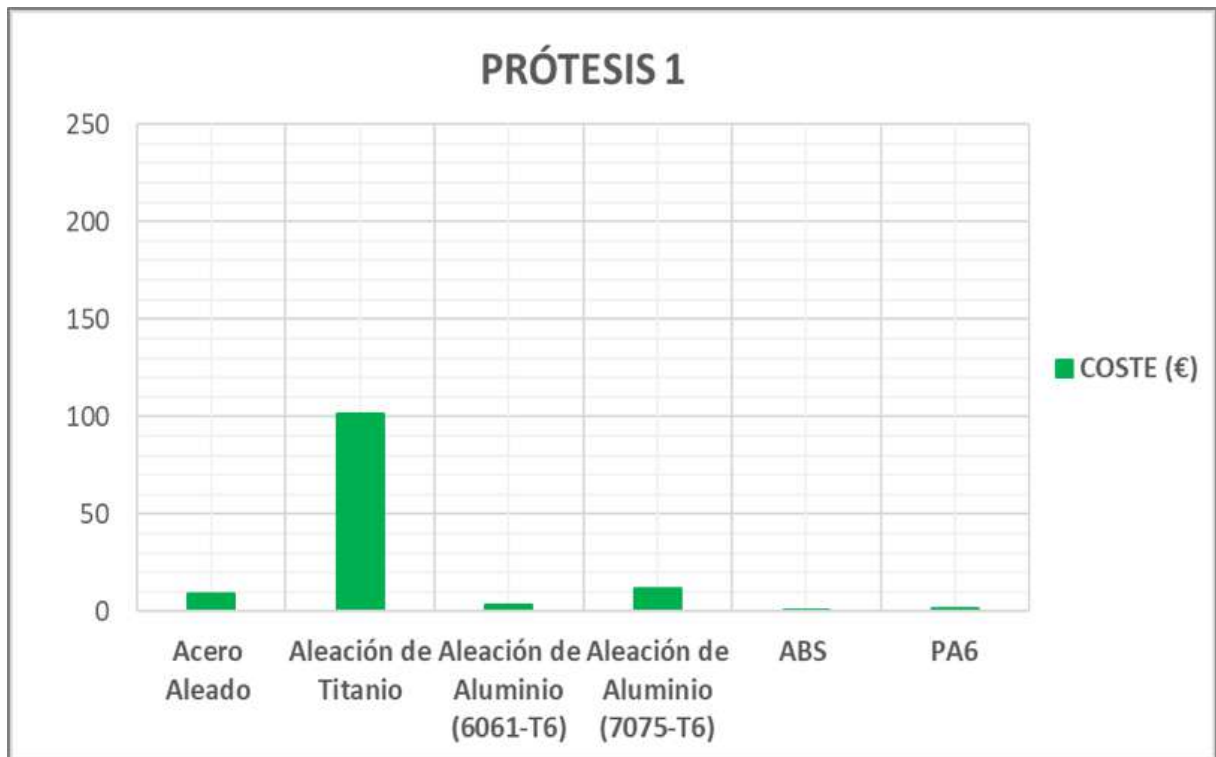


Figura 187. Coste material Prótesis 1.

En la Figura 188, Figura 191, Figura 194, Figura 197, Figura 200, Figura 203, Figura 206, Figura 209 y Figura 212 se aprecia claramente cómo la prótesis fabricada en acero aleado es, con diferencia, la más pesada, debido a la alta densidad del material, quedando así descartado como posible opción para la fabricación de los pies protésicos.

La prótesis fabricada en la aleación de titanio también tiene un peso considerable, debido a la elevada densidad del material, aunque claramente menor que el de la prótesis fabricada en acero aleado.

Las prótesis fabricadas en las aleaciones de aluminio tienen un peso intermedio, aunque aceptable (resultando ser la fabricada en la aleación 7075-T6 algo más pesada que la fabricada en la aleación 6061-T6), siendo notablemente inferior al del resto de prótesis metálicas al tratarse éste de un metal ligero.

Las prótesis fabricadas en materiales termoplásticos resultan ser, con mucho, las más ligeras, debido a la baja densidad de estos materiales, siendo la prótesis fabricada en ABS menos pesada, si cabe, que la fabricada en PA6.

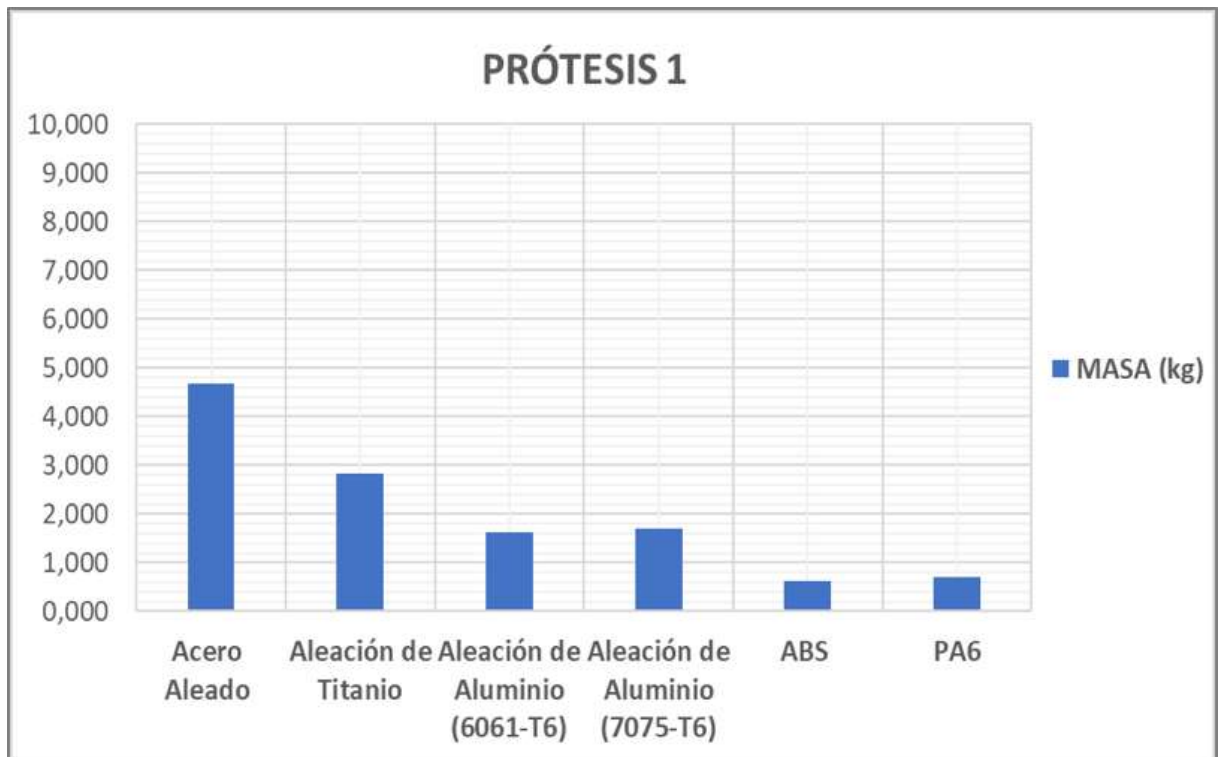


Figura 188. Masa Prótesis 1.

En la Figura 189 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 1 es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente inferior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

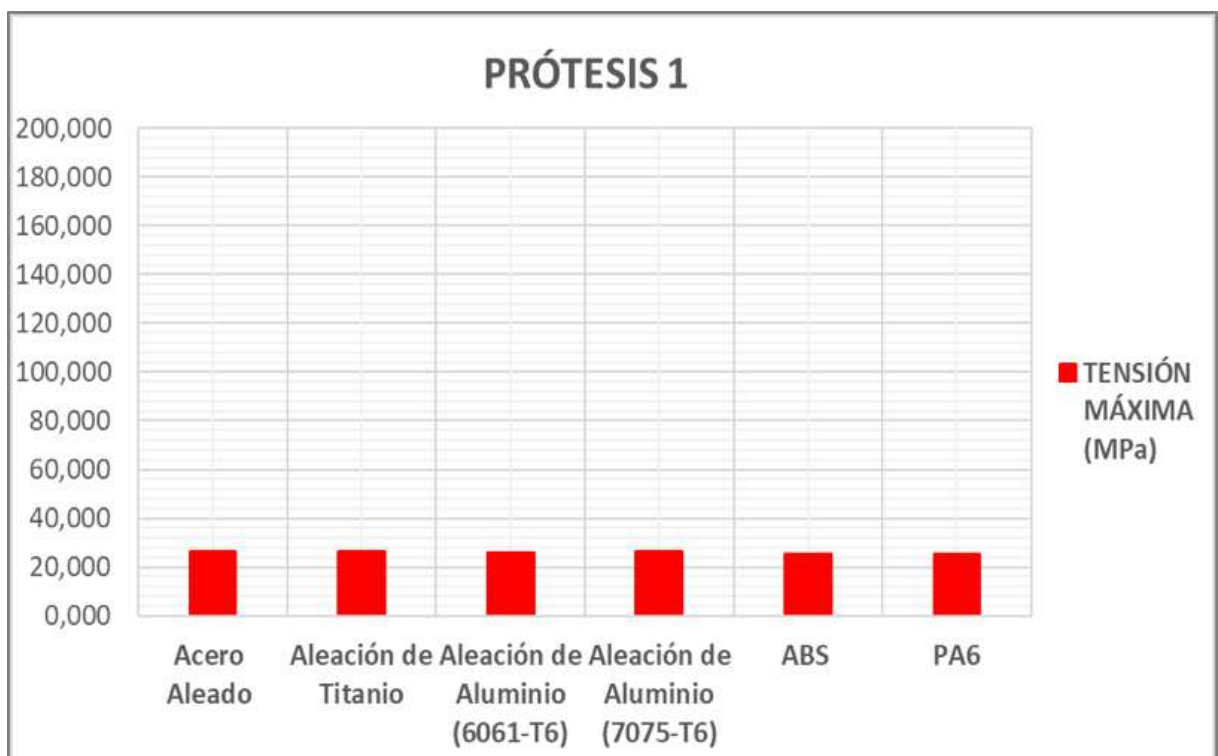


Figura 189. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 1.

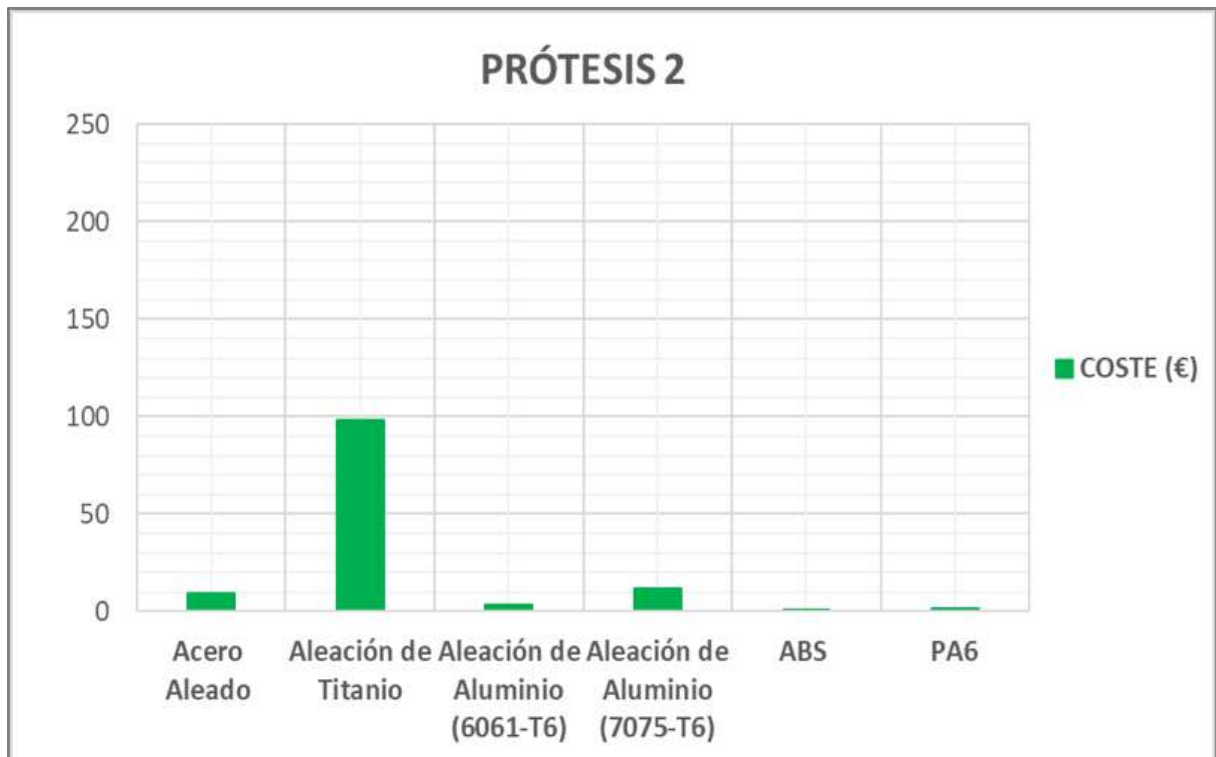


Figura 190. Coste material Prótesis 2.

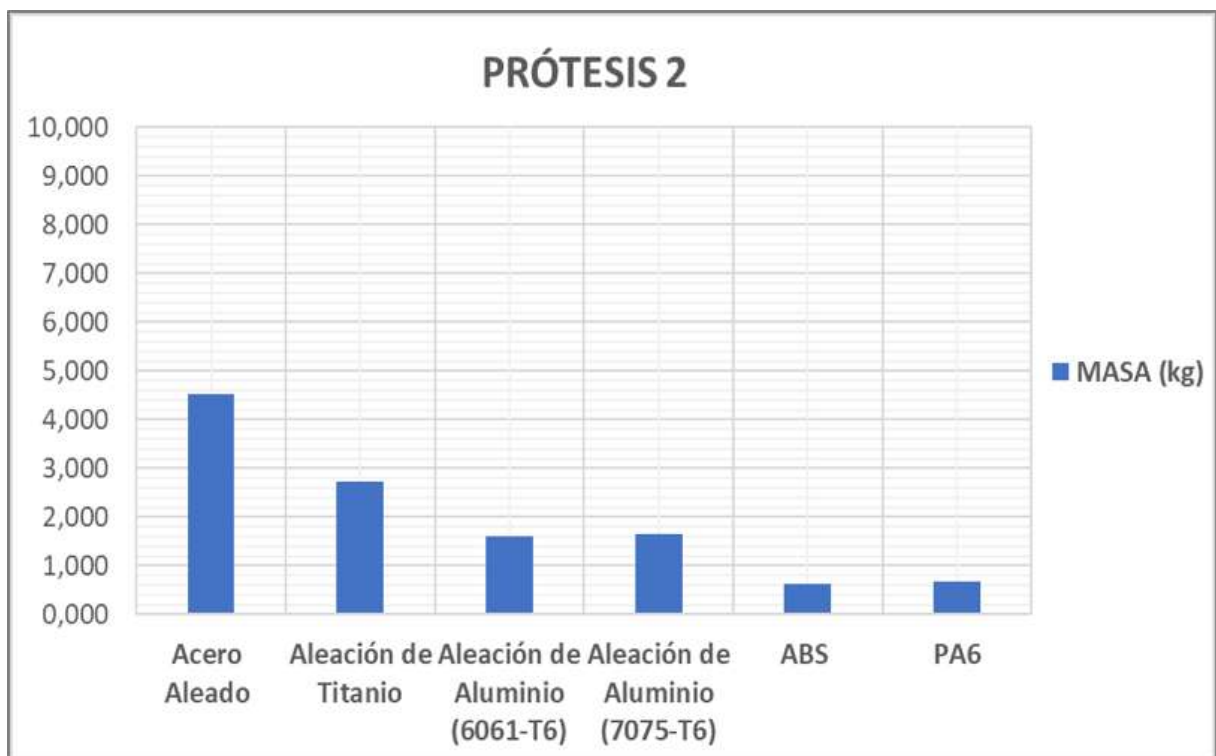


Figura 191. Masa Prótesis 2.

En la Figura 192 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 2 es similar para todas las aleaciones metálicas, siendo ligeramente superior en el caso del acero aleado.

Sin embargo, la tensión de Von Mises máxima que sufre la Prótesis 2 es considerablemente mayor en el caso de los materiales termoplásticos, siendo máxima para la PA6 y un tanto menor para el ABS, quedando ambos descartados como posibles opciones para la fabricación de dicho pie protésico (ya que hipotéticamente se rompería, como justificamos en el Capítulo 5).

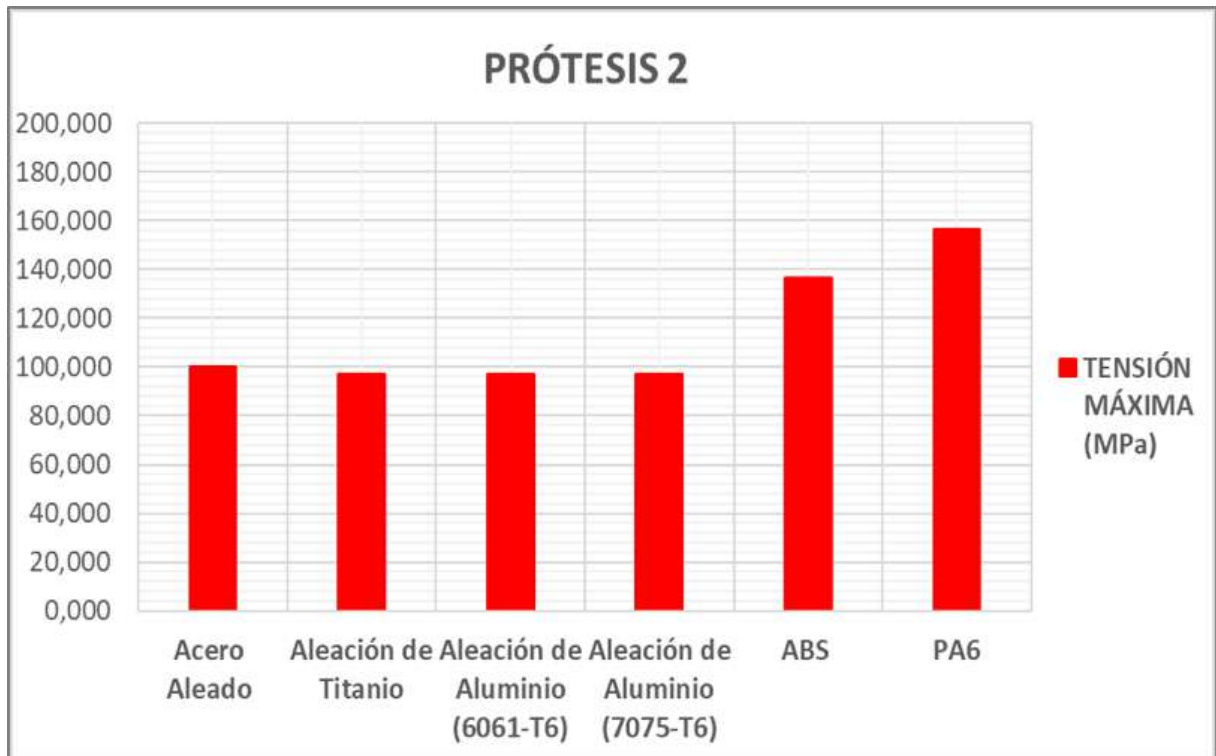


Figura 192. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 2.

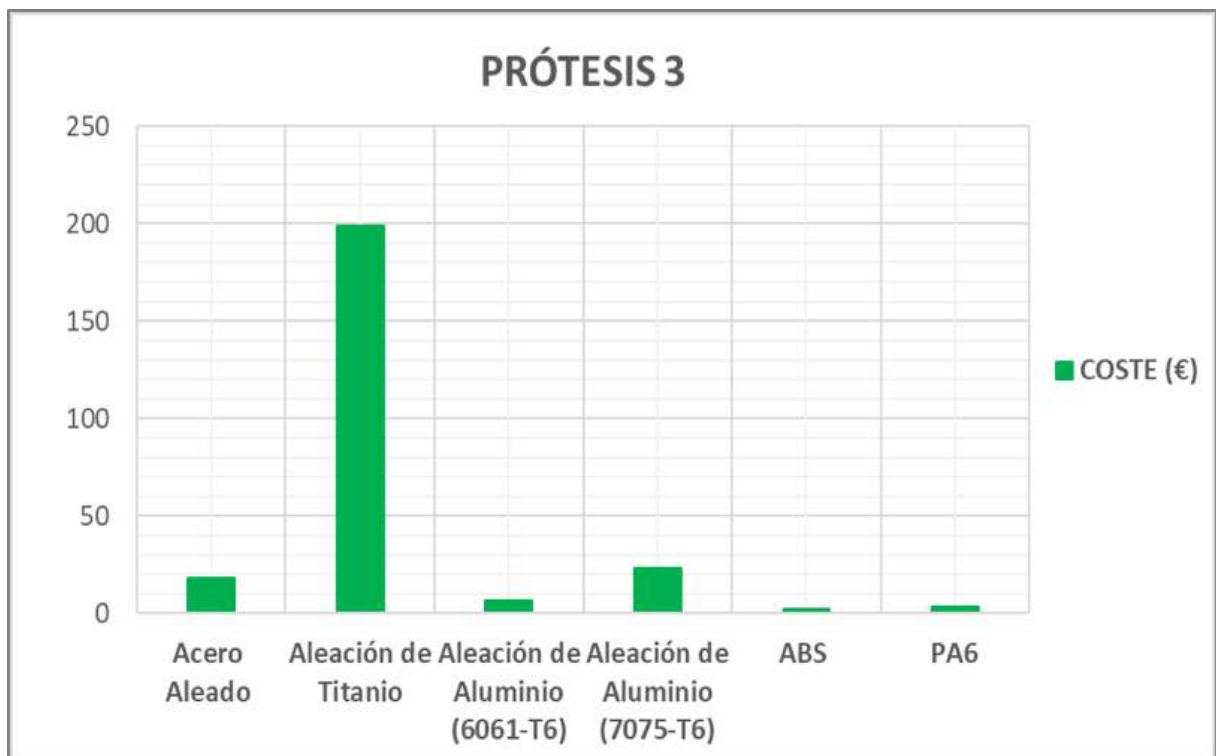


Figura 193. Coste material Prótesis 3.

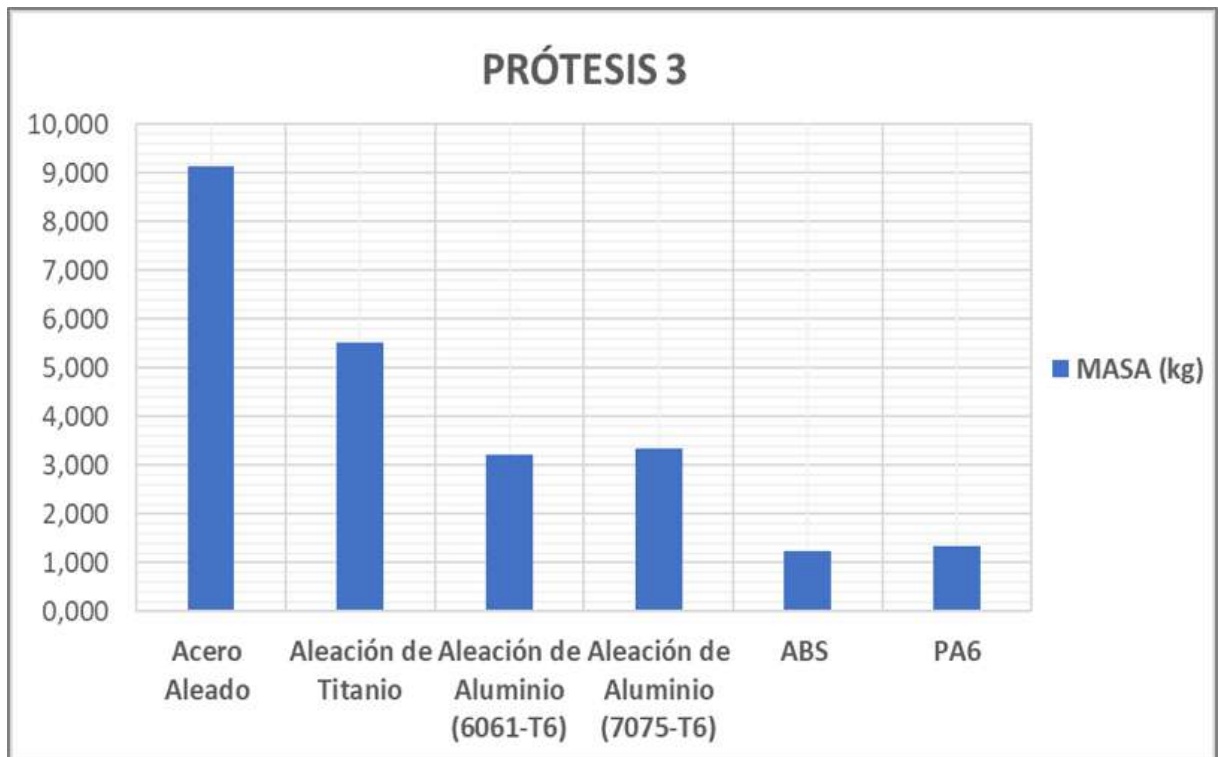


Figura 194. Masa Prótesis 3.

En la Figura 195 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 3 es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente superior en el caso del acero aleado y ligeramente inferior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

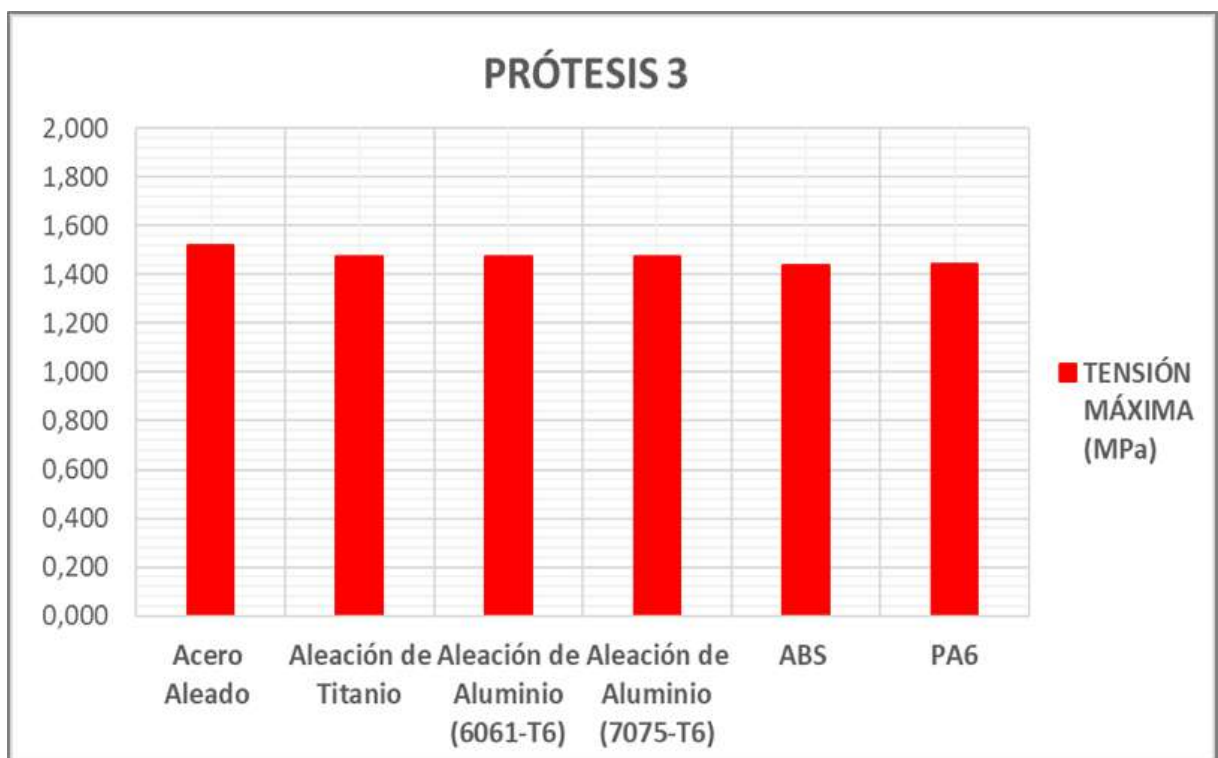


Figura 195. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 3.

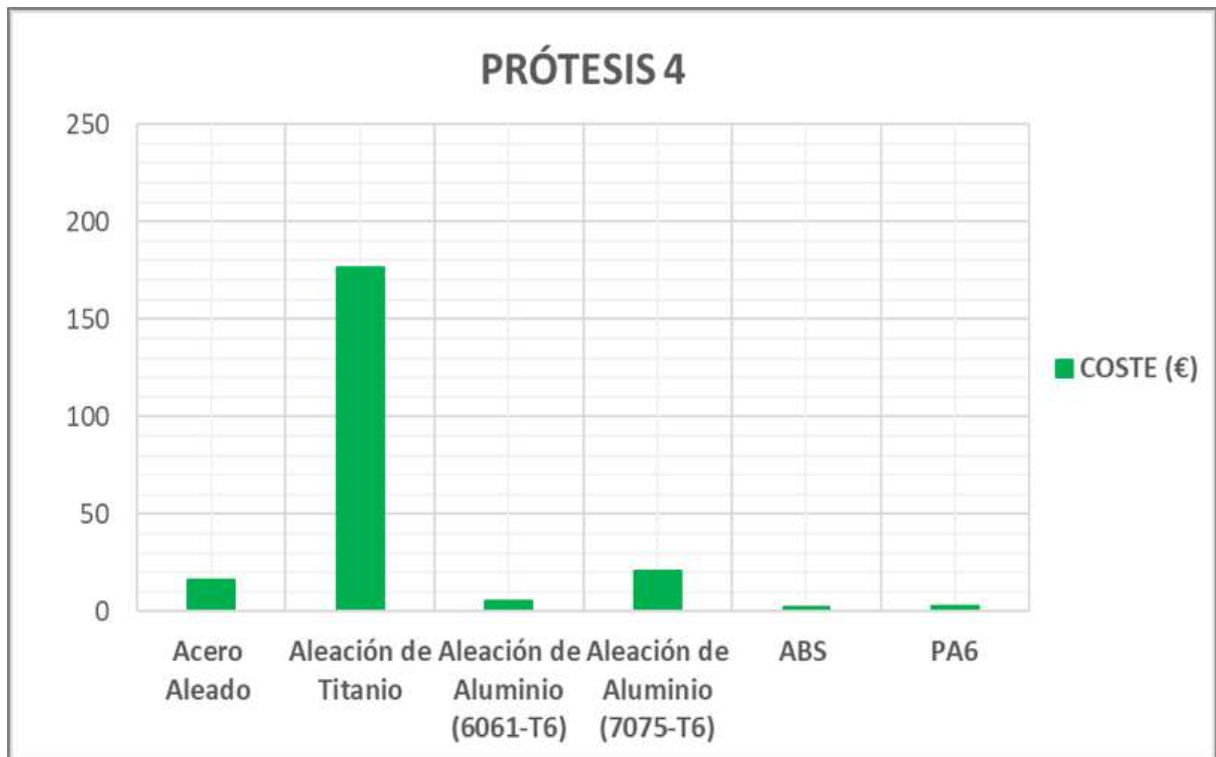


Figura 196. Coste material Prótesis 4.

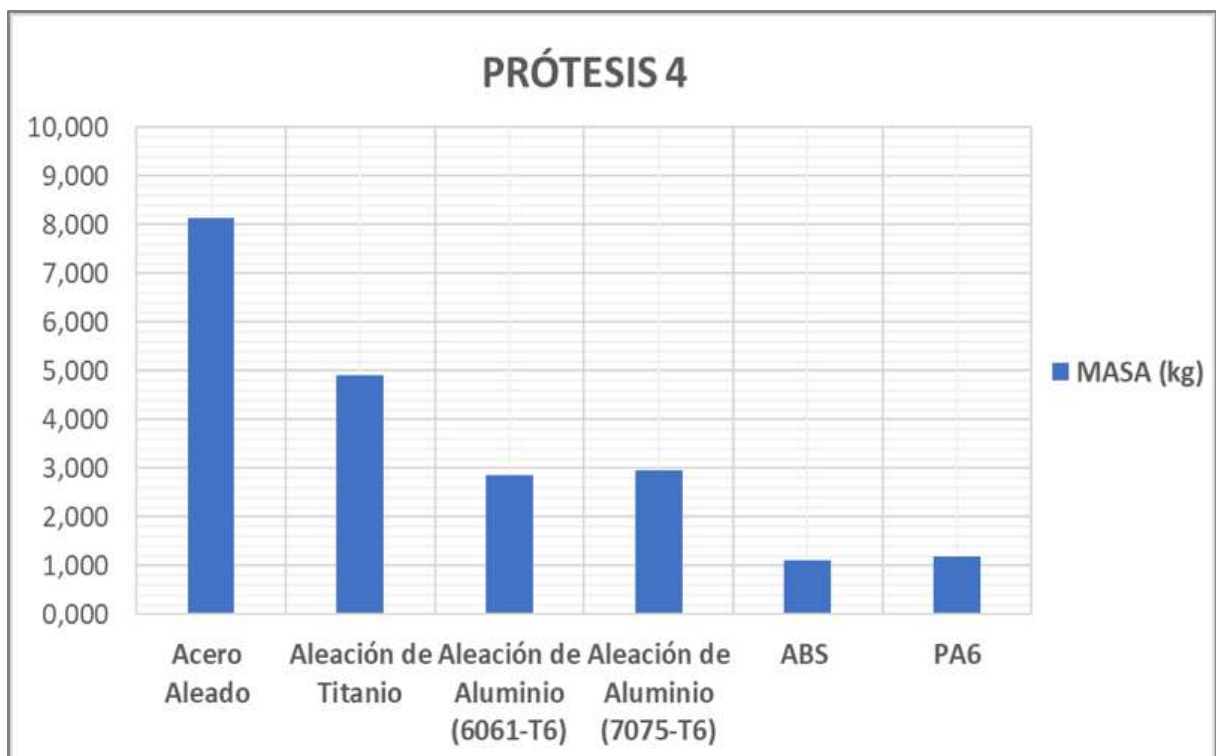


Figura 197. Masa Prótesis 4.

En la Figura 198 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 4 es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente superior en el caso del acero aleado y ligeramente inferior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

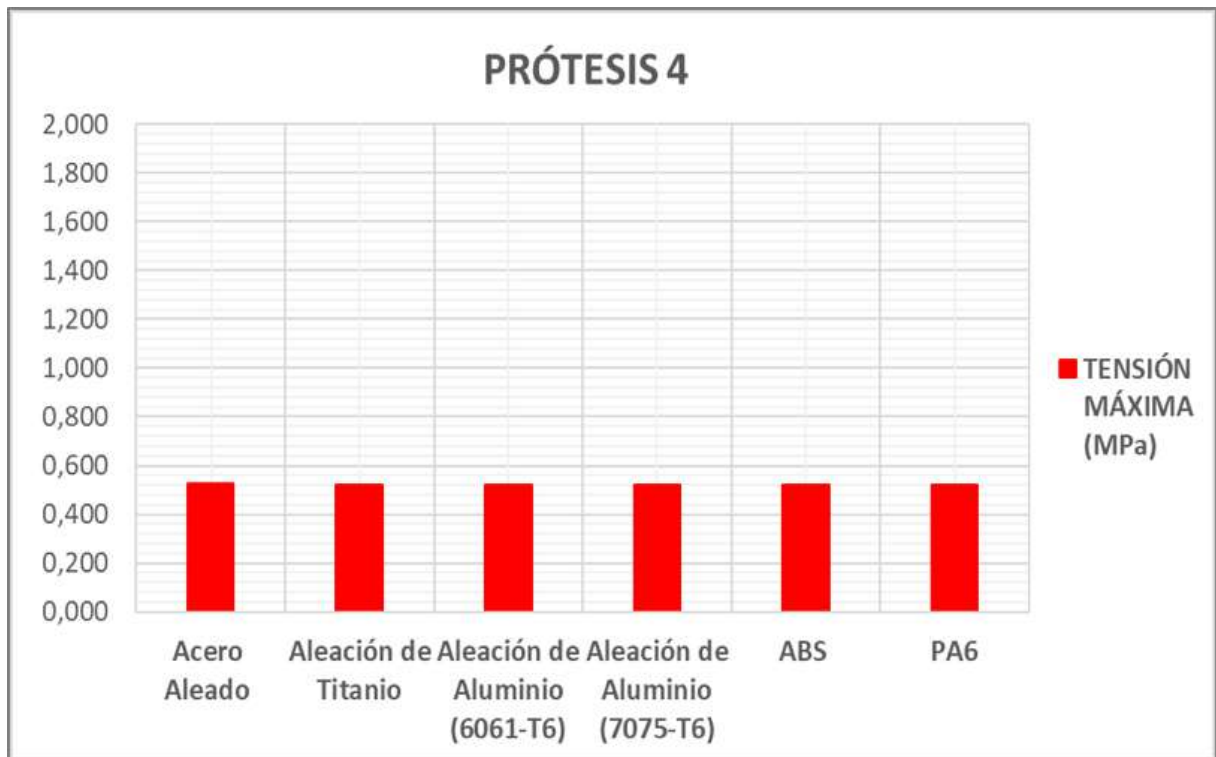


Figura 198. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 4.

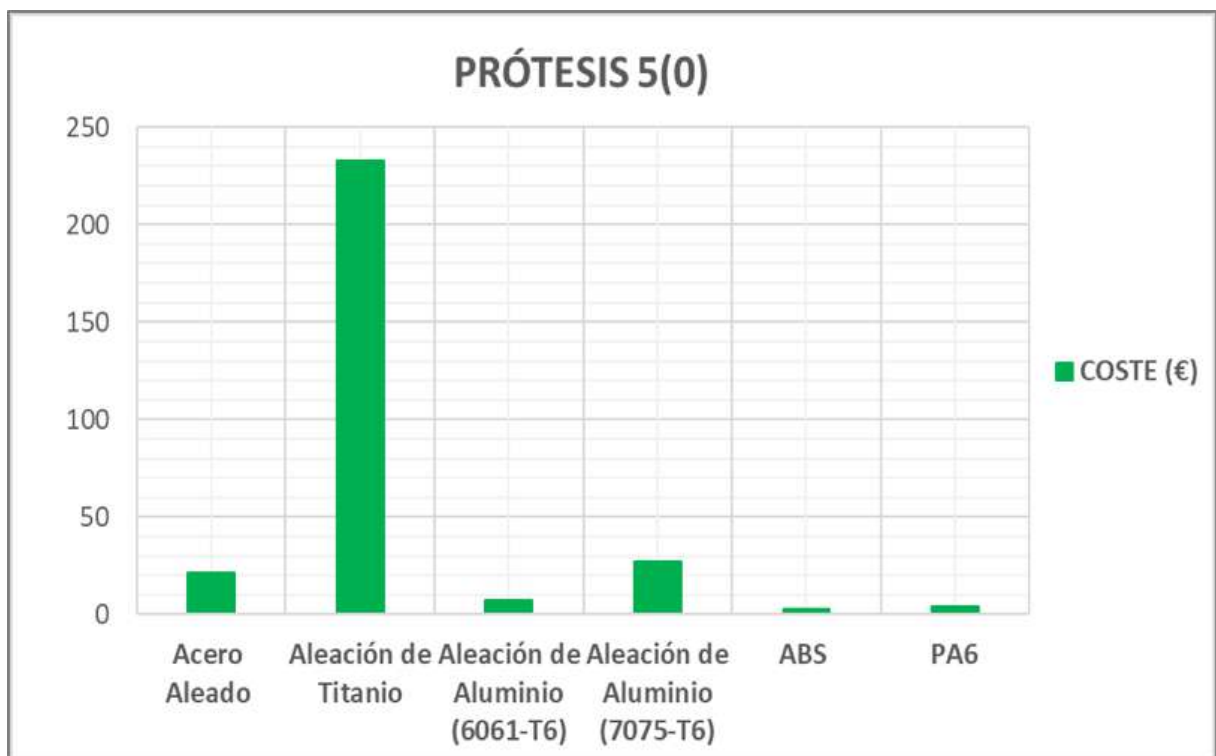


Figura 199. Coste material Prótesis 5(0).

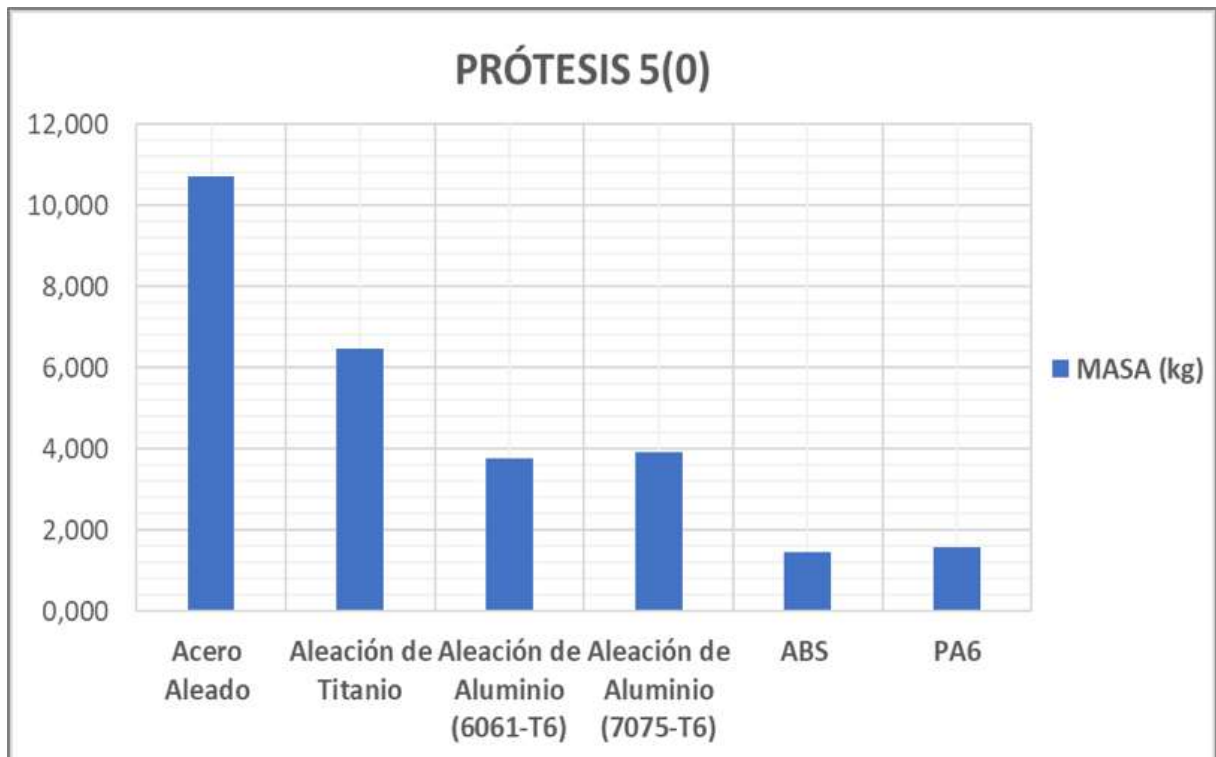


Figura 200. Masa Prótesis 5(0).

En la Figura 201 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 5(0) es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente inferior en el caso del acero aleado y ligeramente superior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

No obstante, al tratarse del modelo de prótesis base para los diseños de las Prótesis 5(1) y 5(2), los resultados obtenidos no son concluyentes sino meramente indicativos, de cara a realizar futuras comparaciones.

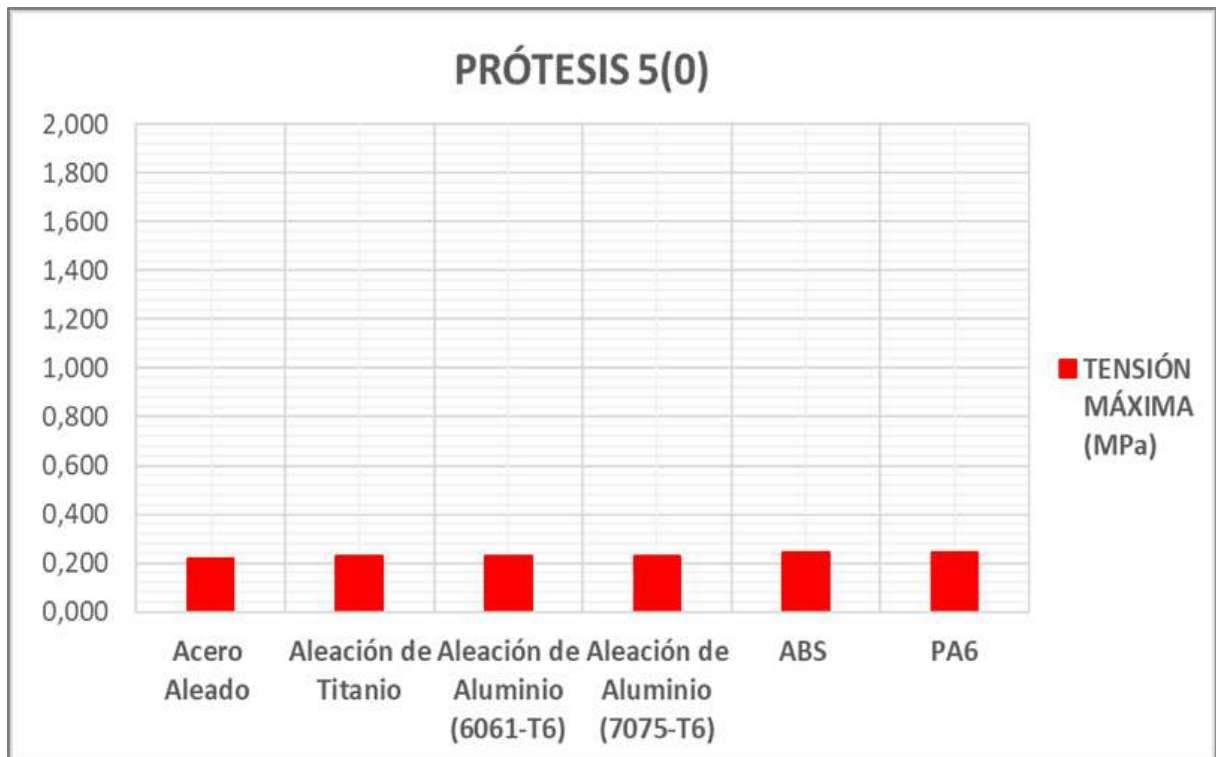


Figura 201. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(0).

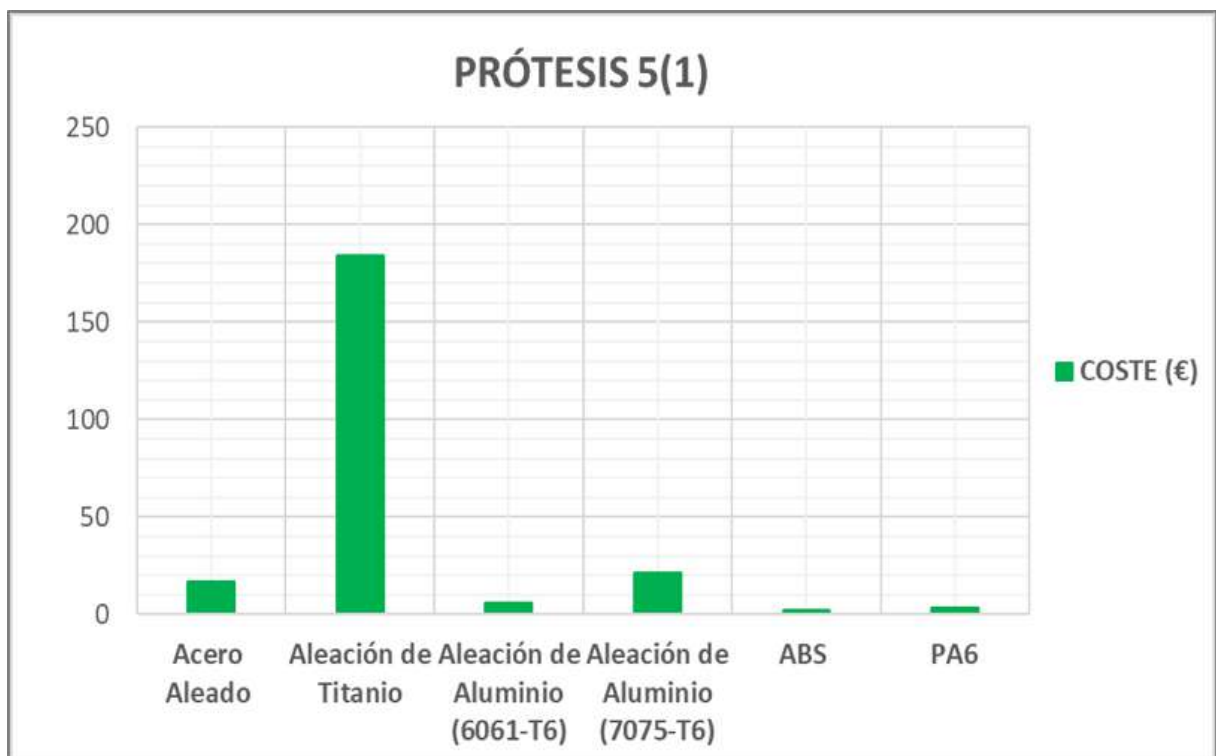


Figura 202. Coste material Prótesis 5(1).

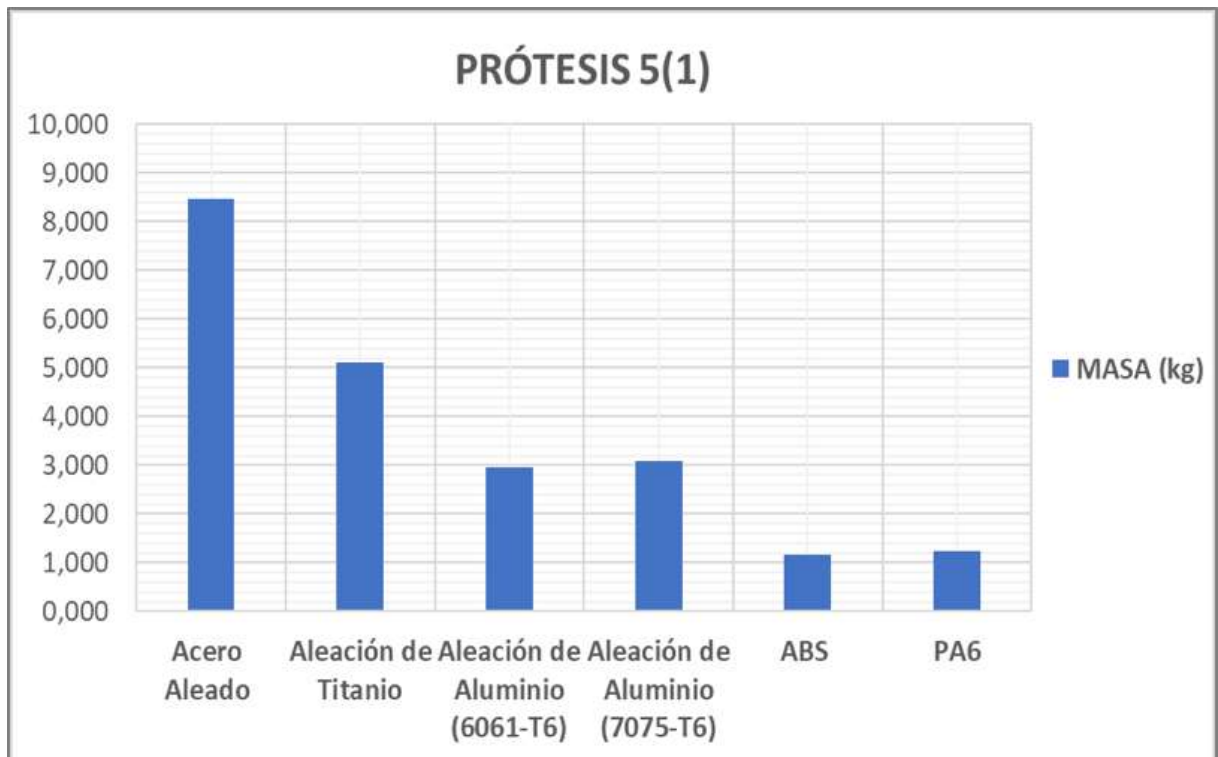


Figura 203. Masa Prótesis 5(1).

En la Figura 204 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 5(1) es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente superior en el caso del acero aleado y ligeramente inferior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

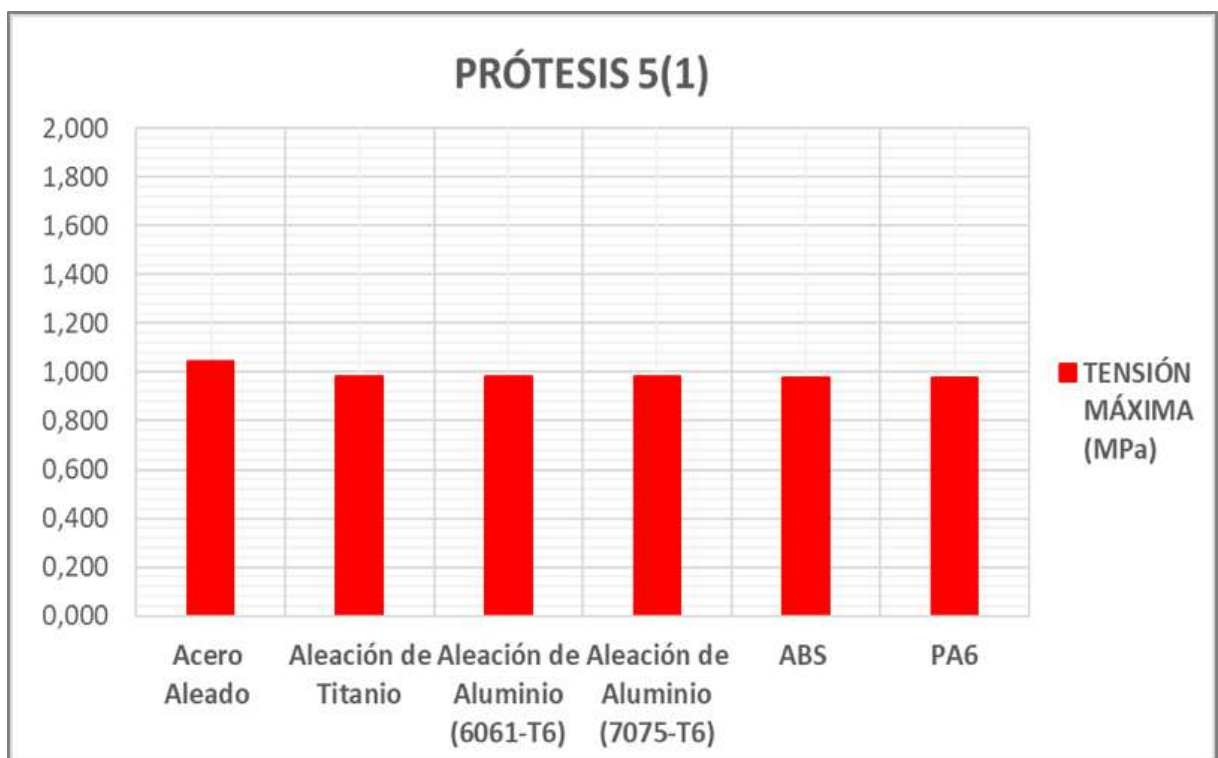


Figura 204. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(1).

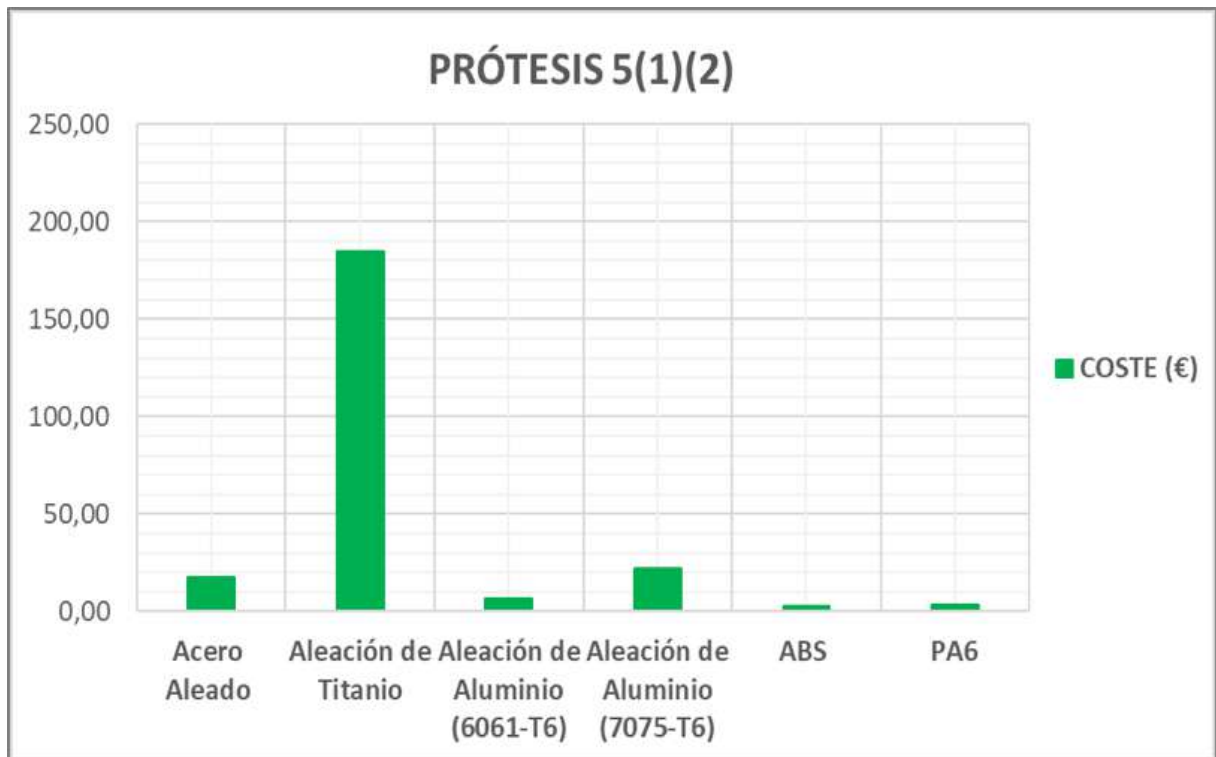


Figura 205. Coste material Prótesis 5(1)(2).

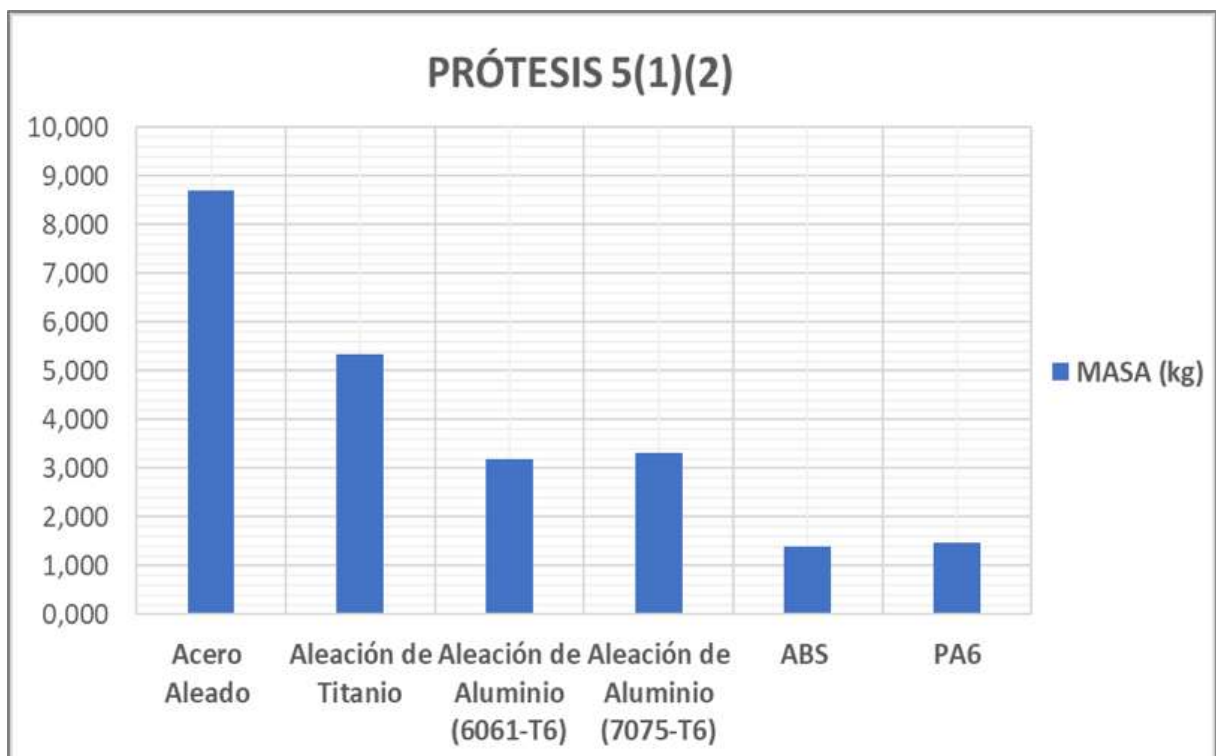


Figura 206. Coste material Prótesis 5(1)(2).

En la Figura 207 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 5(1)(2) es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente superior en el caso del acero aleado y un tanto menor en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

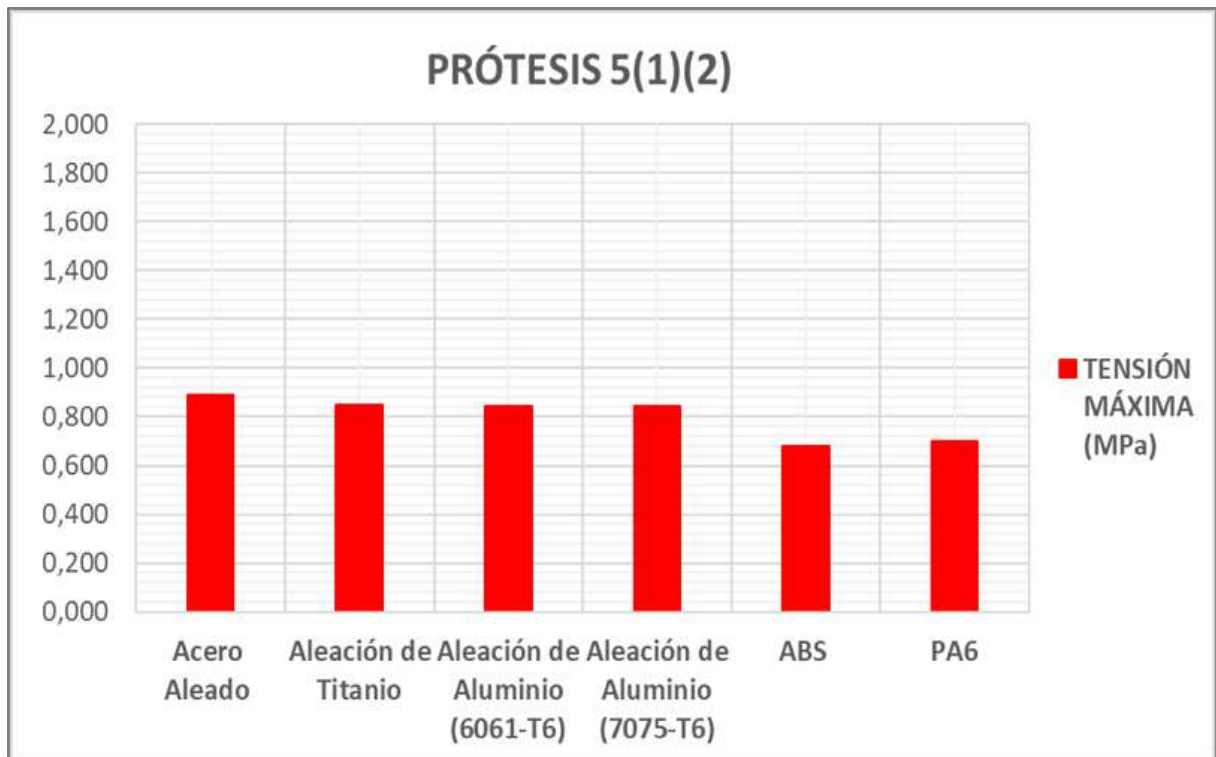


Figura 207. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(1)(2).

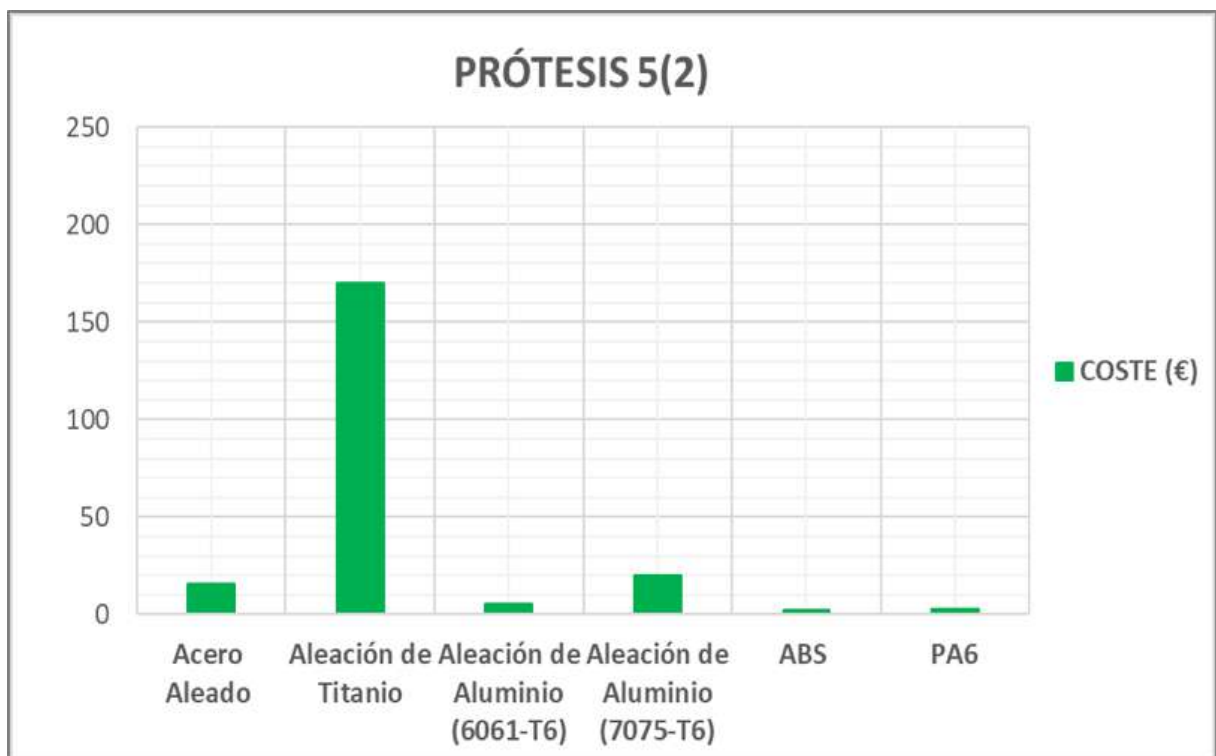


Figura 208. Coste material Prótesis 5(2).

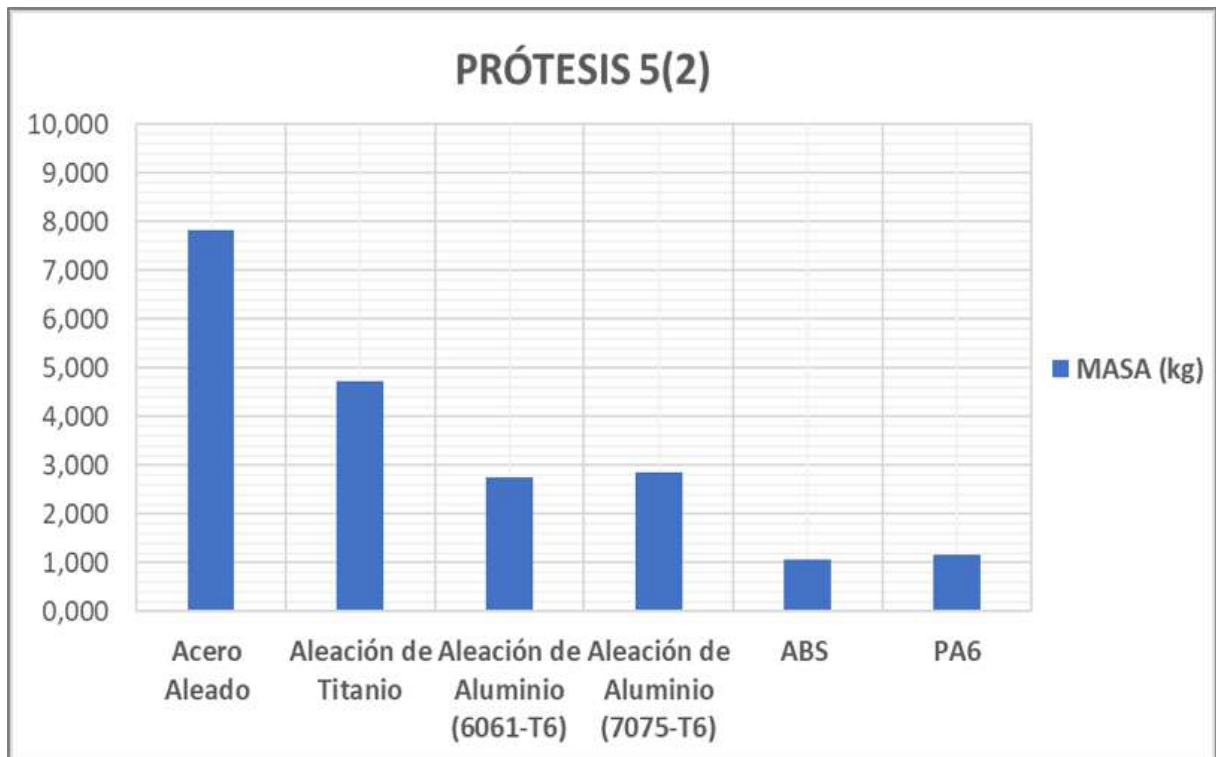


Figura 209. Masa Prótesis 5(2).

En la Figura 210 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 5(2) es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente superior en el caso del acero aleado y ligeramente inferior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

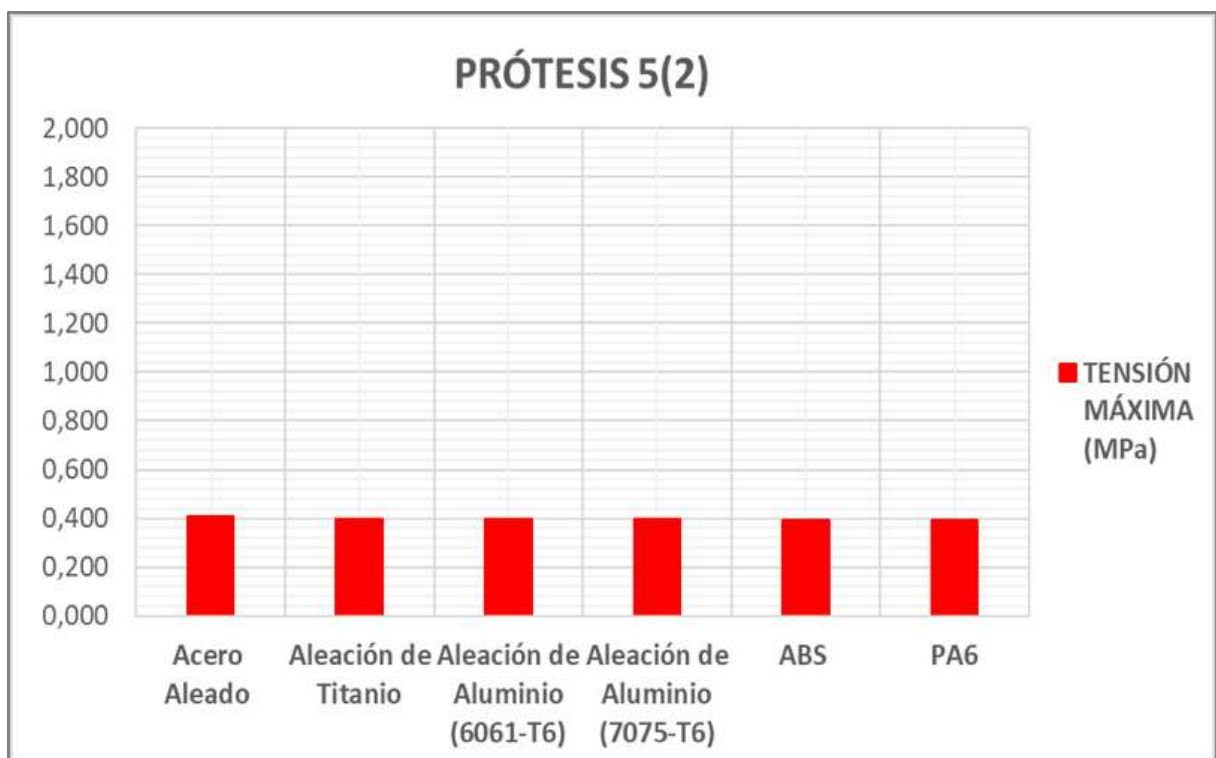


Figura 210. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(2).

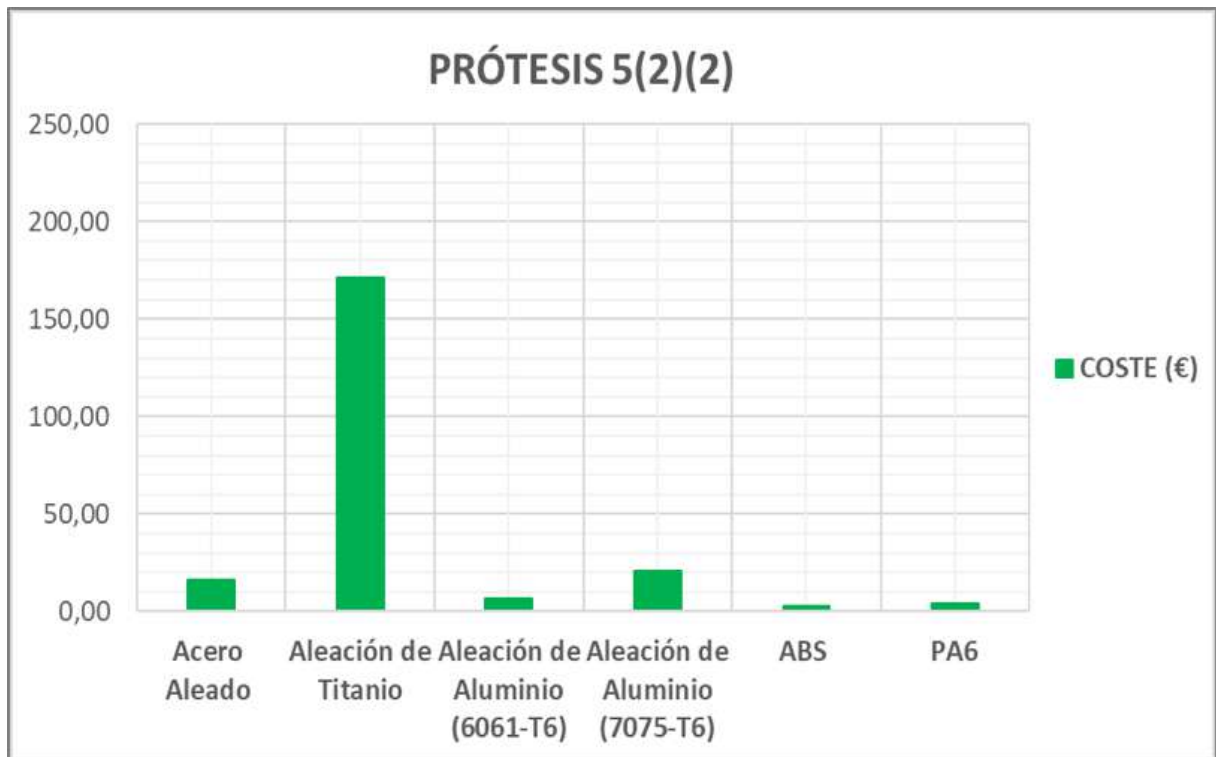


Figura 211. Coste material Prótesis 5(2)(2).

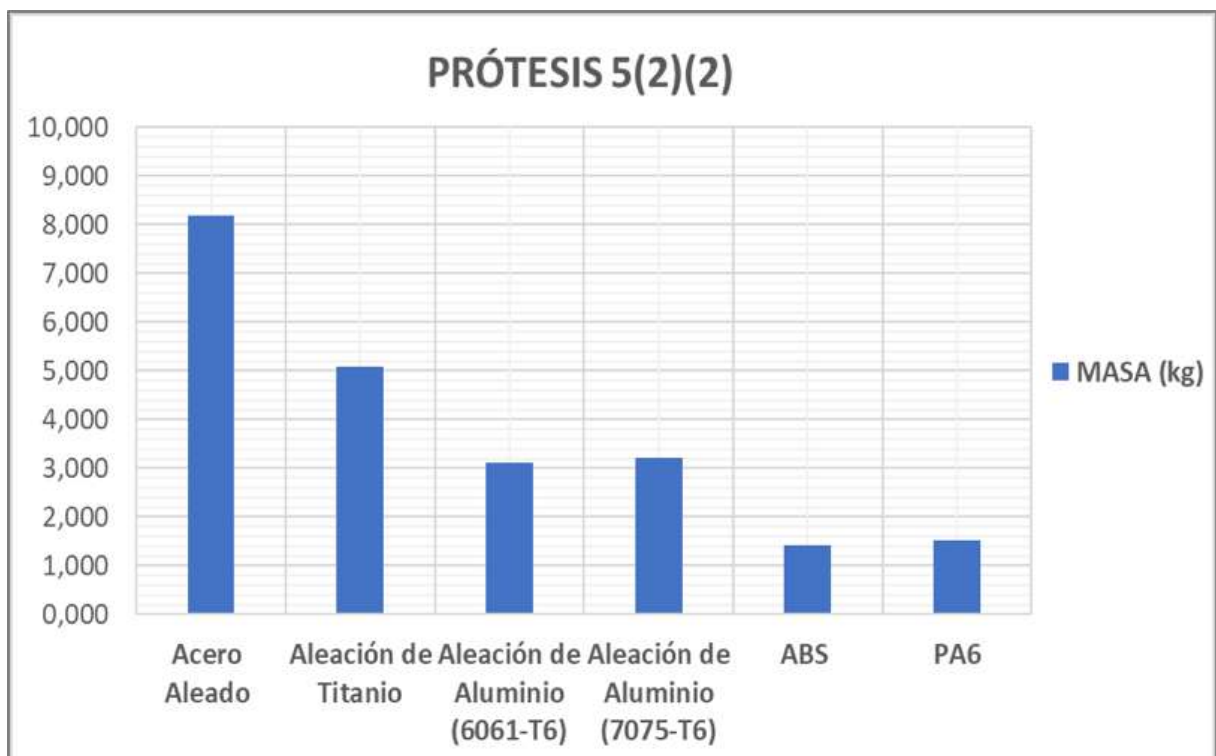


Figura 212. Masa Prótesis 5(2)(2).

En la Figura 213 se observa cómo la tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 5(2)(2) es similar para todos los materiales de estudio, siendo ligeramente inferior en el caso del acero aleado y ligeramente superior en el caso de los materiales termoplásticos (ABS y PA6).

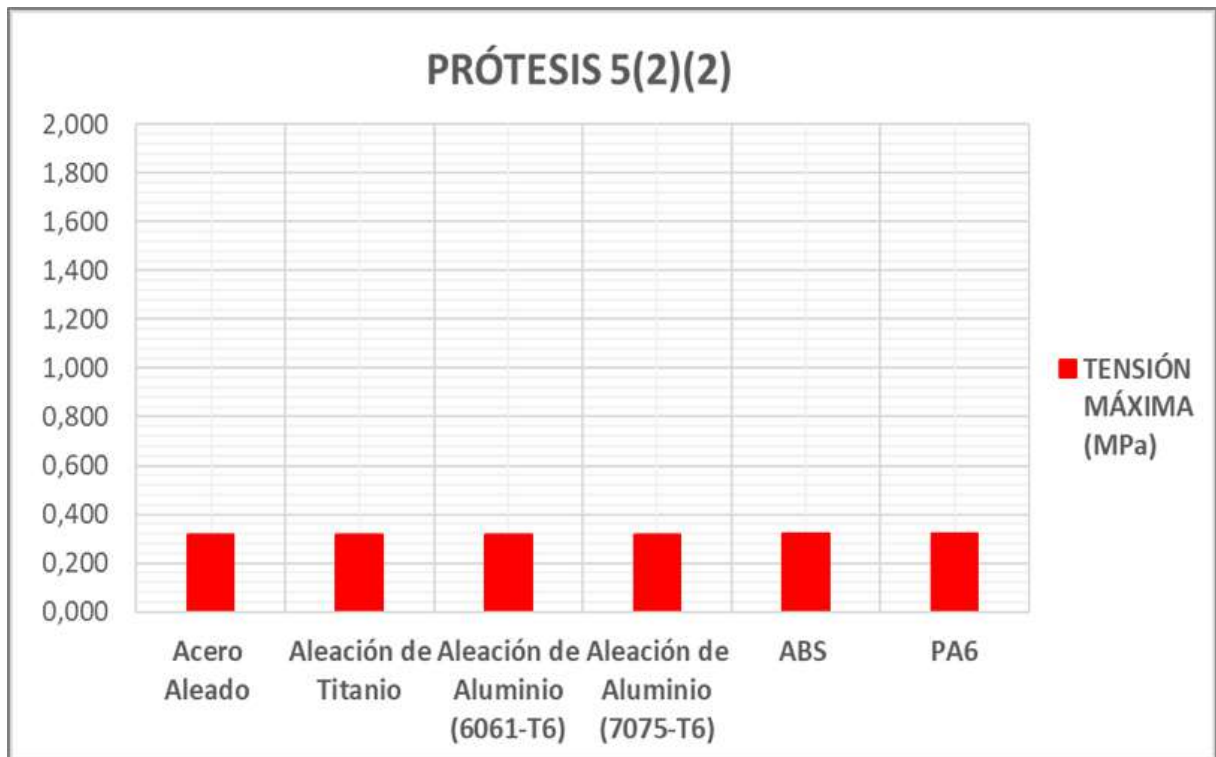


Figura 213. Tensión de Von Mises máxima Prótesis 5(2)(2).

Tras estas primeras gráficas podemos descartar los materiales acero aleado y aleación de titanio; para así seguir nuestro estudio con otras gráficas en las que mostramos los distintos factores de diseño (coste (euros), masa (kg) y tensión de Von Mises máxima (MPa)) en función de las prótesis para cada material, véase Figura 214, Figura 215, Figura 216 y Figura 217.

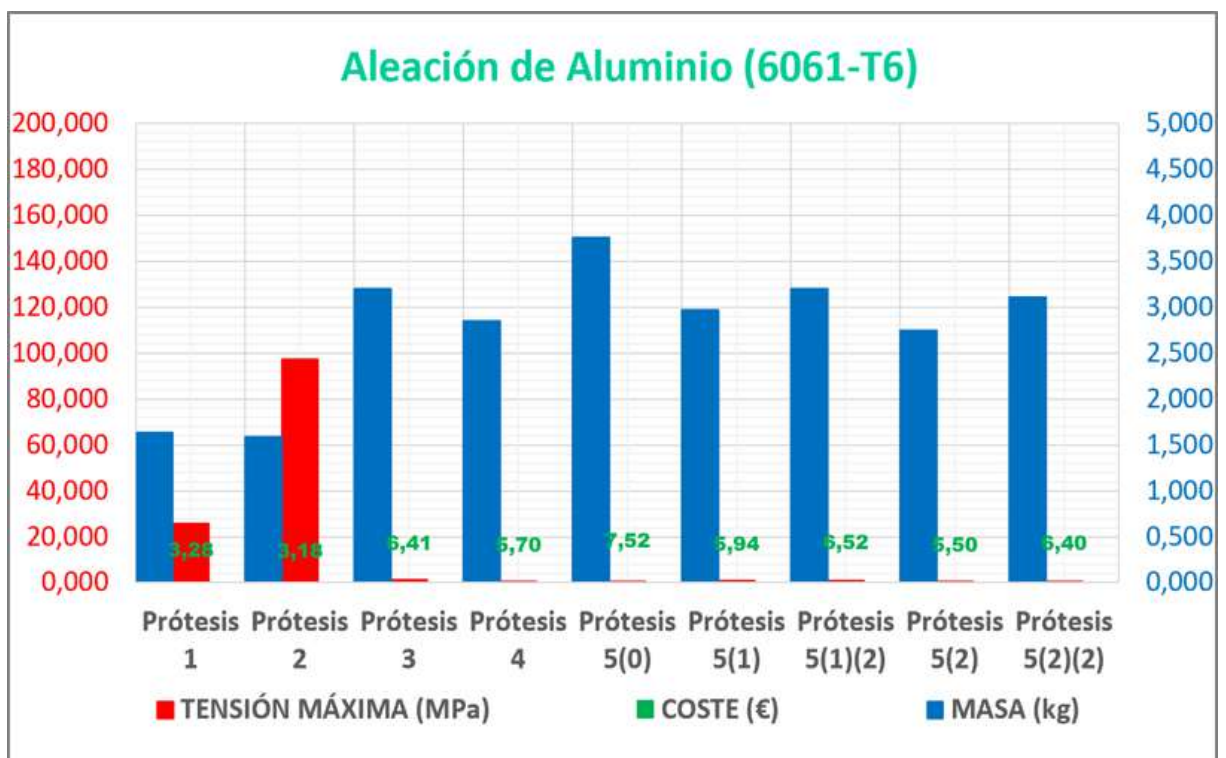


Figura 214. Comparativa prótesis aleación de aluminio 6061-T6.

En la Figura 214 se advierte claramente cómo el coste de la materia prima necesaria para la fabricación de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es parecido, siendo considerablemente menor el coste de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, al ser éstas menos masivas que las demás.

La masa de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es semejante, siendo notablemente menor en el caso de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, por ser éstas menos masivas que el resto.

La tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 3 hasta la Prótesis 5(2)(2) es muy reducida y similar en todos los casos, siendo claramente mayor su valor en el caso de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, pero sin que este hecho afecte a su resistencia estructural, véase Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

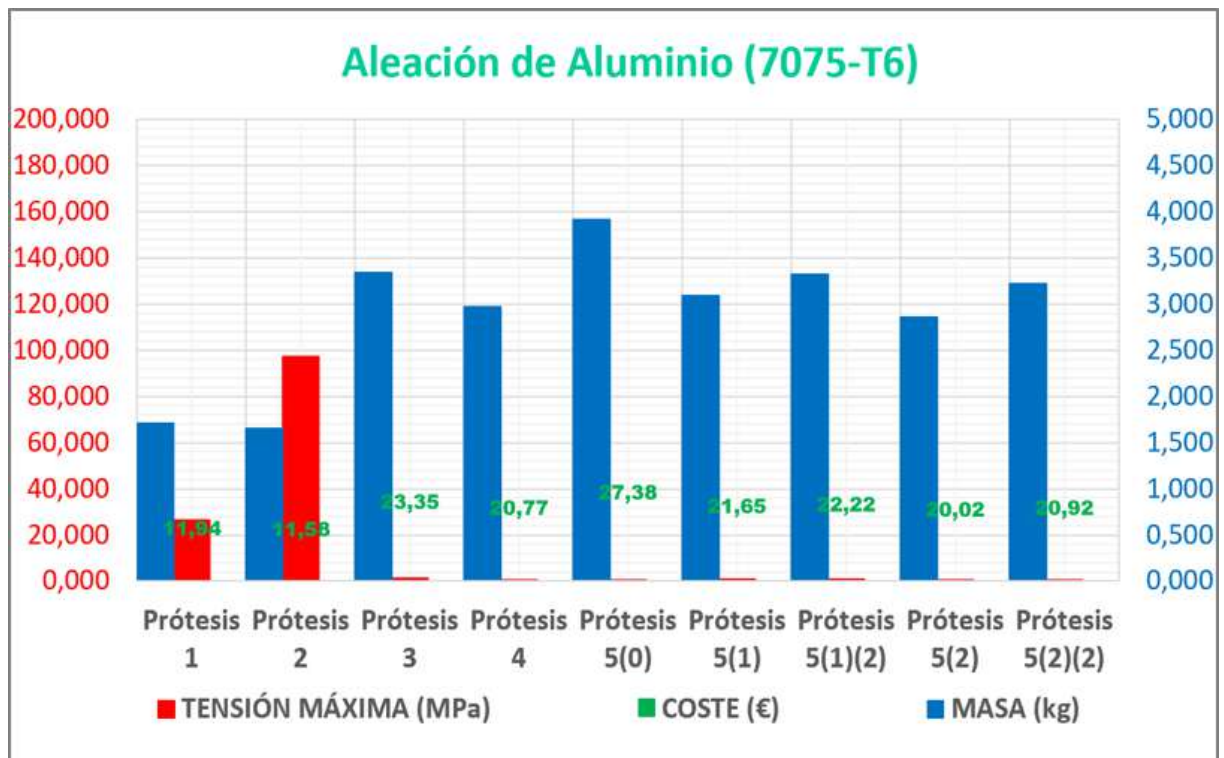


Figura 215. Comparativa prótesis aleación de aluminio 7075-T6.

En la Figura 215 se advierte claramente cómo el coste de la materia prima necesaria para la fabricación de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es parecido, siendo considerablemente menor el coste de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, por ser éstas menos masivas que el resto.

La masa de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es semejante, siendo notablemente menor en el caso de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, al ser éstas menos masivas que las demás.

La tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 3 hasta la Prótesis 5(2)(2) es muy reducida y similar en todos los casos, siendo claramente mayor su valor en el caso de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, pero sin que este hecho comprometa su resistencia estructural, véase Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

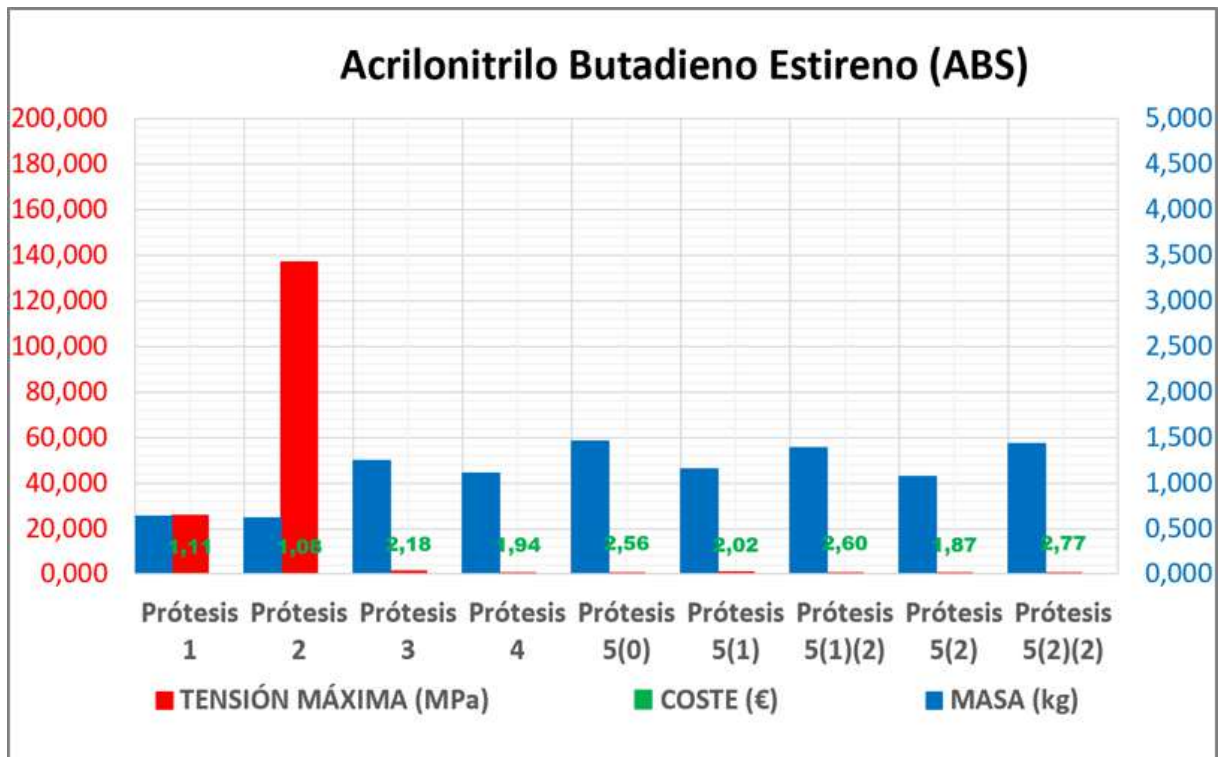


Figura 216. Comparativa prótesis ABS.

En la Figura 216 se advierte claramente cómo el coste de la materia prima necesaria para la fabricación de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es parecido, siendo considerablemente menor el coste de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, al ser éstas menos masivas que las demás.

La masa de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es semejante, siendo notablemente menor en el caso de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, por ser éstas menos masivas que el resto.

La tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 3 hasta la Prótesis 5(2)(2) es muy reducida y similar en todos los casos, siendo claramente mayor su valor en el caso de la Prótesis 1, cuyo coeficiente de seguridad resultante ($n_s = 1,25$) no es suficiente para aceptarla como válida, y, especialmente, en el caso de la Prótesis 2, que hipotéticamente llegaría a romperse, motivo por el cual las descartamos para ser fabricadas en el material termoplástico ABS, véase Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

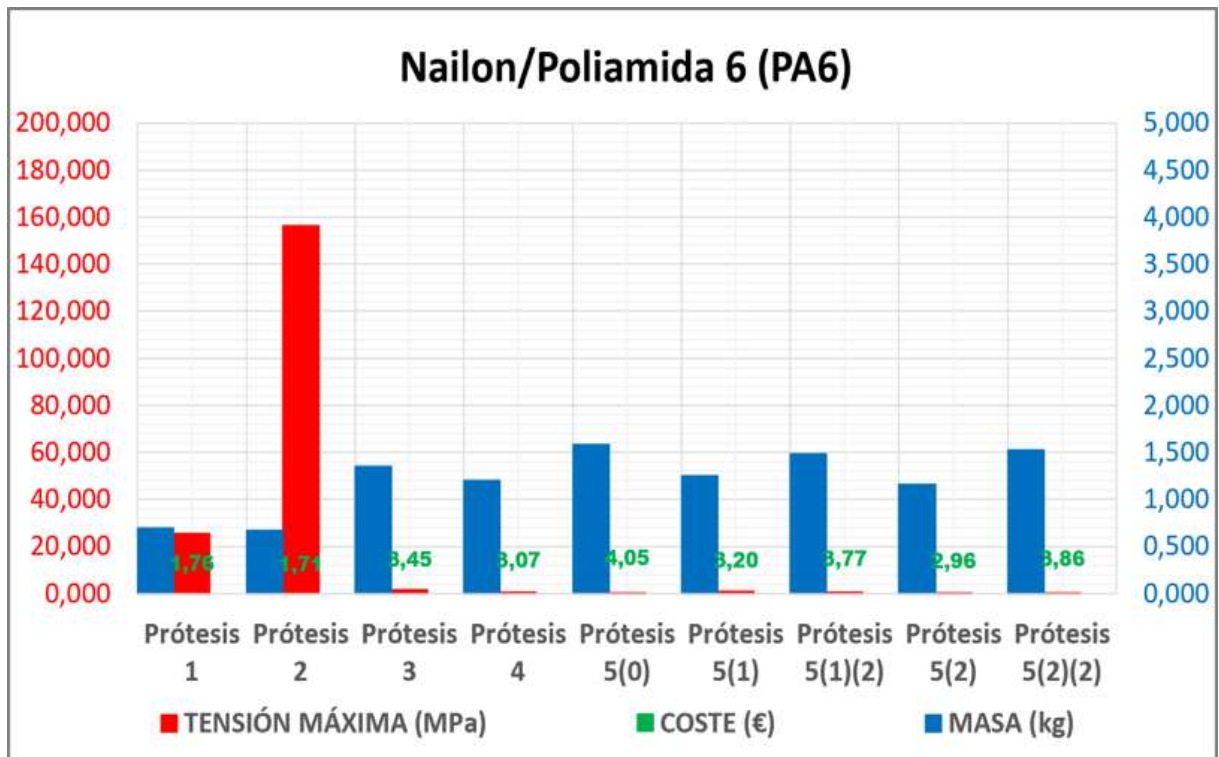


Figura 217. Comparativa prótesis PA6.

En la Figura 217 se advierte claramente cómo el coste de la materia prima necesaria para la fabricación de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es parecido, siendo considerablemente menor el coste de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, por ser éstas menos masivas que el resto.

La masa de la Prótesis 3 a la Prótesis 5(2)(2) es semejante, siendo notablemente menor en el caso de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2, al ser éstas menos masivas que las demás.

La tensión de Von Mises máxima que soporta la Prótesis 3 hasta la Prótesis 5(2)(2) es muy reducida y similar en todos los casos, siendo claramente mayor su valor en el caso de la Prótesis 1, cuyo coeficiente de seguridad se encuentra al límite de lo admisible ($n_s = 3,04$), y, fundamentalmente, en el caso de la Prótesis 2, que hipotéticamente se rompería, razón por la cual la descartamos para ser fabricada en el material termoplástico PA6, véase Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4, Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7, Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10.

6.2. Conclusiones

A la vista de los resultados, descartamos el acero aleado y la aleación de titanio para la fabricación de los pies protésicos, ya que el empleo de acero aleado aumenta considerablemente la masa de las prótesis debido a su elevada densidad ($7700\text{kg}/\text{cm}^3$, aproximadamente) véase Tabla 1, mientras que la utilización de la aleación de titanio encarece notablemente el coste de la materia prima necesaria para la fabricación de las mismas, debido a su alto precio de mercado (36 euros por kg, aproximadamente) véase Tabla 1.

Con respecto al resto de los materiales de estudio, las aleaciones ligeras de aluminio (6061-T6 y 7075-T6) resultan ser las más adecuadas para la fabricación de la Prótesis 1 y de la Prótesis 2 véase Figura 214 y Figura 215, al resultar éstas las menos costosas (en lo que al coste del material necesario para su fabricación se refiere) y pesadas, sin comprometer su resistencia como previsiblemente ocurriría si empleásemos los materiales termoplásticos (en concreto el ABS) en su manufacturación, véase Anexo C y Tabla 3. En cambio, dichos materiales termoplásticos (ABS y PA6) resultan ser los más apropiados para la fabricación de las demás prótesis de pie (desde la Prótesis 3 hasta la Prótesis 5(2), ambas inclusive), que por ser más compactas y masivas permiten la utilización de materiales más baratos y ligeros, los cuales no sean necesariamente tan resistentes.

Por tanto, podemos afirmar que hemos cumplido el objetivo de diseñar y desarrollar un pie protésico con *SolidWorks* para su posible fabricación mediante técnicas de fabricación aditiva (impresión 3D) y/o inyección de plástico de bajo coste, puesto que ambas tecnologías de fabricación emplean como materiales base, entre otros, los polímeros termoplásticos tales como el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) y la poliamida 6 (PA6), véase de la Figura 187 hasta la Figura 213. Concretamente, el acrilonitrilo butadieno estireno (ABS) resulta ser el termoplástico idóneo para la fabricación de la Prótesis 3 y la Prótesis 4, ya existentes en el mercado, así como de la Prótesis 5(0), tomada como prótesis base, y de la Prótesis 5(1) y la Prótesis 5(2), de diseño propio, ya que es el material más barato para el cual los pies protésicos resultan ser más ligeros y resistentes en todos los casos, véase Figura 216.

Asimismo, de entre todas las prótesis más compactas y masivas (desde la Prótesis 3 hasta la Prótesis 5(2), ambas inclusive) la Prótesis 5(2), la cual hemos diseñado y desarrollado a partir de la Prótesis 5(0), tomada como prótesis base, y como resultado de una mejora de la Prótesis 5(1), también diseñada y desarrollada a partir de la anterior, es la más ligera y resistente de todas, comparando todos los materiales de estudio.

Por tanto, podemos afirmar igualmente que hemos cumplido el objetivo de optimizar un pie protésico gracias al manejo del software de diseño 3D *SolidWorks*, con respecto a los diseños ya existentes en el mercado, puesto que los resultados que se obtienen de las simulaciones de la Prótesis 5(2), los cuales son el fruto de las mejoras realizadas a la Prótesis 5(1) tomando como base de partida la Prótesis 5(0), resultan ser, desde un punto de vista ingenieril, mejores que aquéllos derivados de la Prótesis 3 y la Prótesis 4, en tanto en cuanto optimizan los tres factores de diseño establecidos: el coste del material (euros), la masa de la prótesis (kg) y la tensión de Von Mises máxima (MPa) que sufre ésta, véase Figura 214, Figura 215, Figura 216 y Figura 217.

Con esto y con todo, llegamos a la conclusión de que la mejor y más equilibrada combinación de los tres factores de diseño establecidos: el coste del material (euros), la masa de la prótesis (kg) y la tensión de Von Mises máxima (MPa) que sufre ésta, se logra fabricando la Prótesis 5(2) en acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).

Por último y no menos importante, tenemos que reseñar que la incorporación de los amortiguadores de caucho butadieno estireno (SBR) a los diseños de la Prótesis 5(1), dando lugar a la Prótesis 5(1)(2), y de la Prótesis 5(2), dando lugar a la Prótesis 5(2)(2), no conlleva una gran mejora en los resultados obtenidos de las prótesis primigenias, en tanto en cuanto sólo optimizan un factor de diseño, la tensión de Von Mises máxima (MPa), en detrimento de los otros dos: la masa (kg) de las prótesis que aumenta al incluir los amortiguadores, y el consiguiente incremento del coste (euros) de los materiales requeridos para su fabricación, véase Figura 214, Figura 215, Figura 216 y Figura 217, resultando así prescindibles en el diseño final de los pies protésicos, en favor de una mayor simplicidad y uniformidad de los mismos.

6.2.1. Líneas futuras

Analizando el alcance y los objetivos de nuestro trabajo se nos ocurre plantear como posible línea futura de investigación más inmediata la realización de nuevos estudios, más allá del análisis estático llevado a cabo para la optimización de las prótesis ya diseñadas (haciéndolas huecas en vez de macizas para reducir su masa, por ejemplo), tales como un análisis de fatiga, de frecuencia, de pandeo, dinámico, topológico y/o térmico, empleando igualmente el módulo de simulación de *SolidWorks Simulation*, de cara a la posterior implementación de la técnica más apropiada de fabricación aditiva (impresión 3D) o inyección de plástico, para la comprobación y verificación de los resultados obtenidos en éste y en futuros TFG.

También cabe la posibilidad de estudiar el diseño, desarrollo y fabricación de prótesis de pie modulares, donde más allá de crear pies protésicos compactos y uniformes, éstos pueden estar conformados por varios componentes (empeine, planta y talón, por ejemplo) del mismo o de distintos materiales ensamblados entre sí e integrados en el conjunto de la prótesis, de modo que puedan ser fácilmente reemplazables.

Incluso se podría investigar la conexión del pie protésico (ya sea éste modular o no) con una hipotética pierna a través de un tobillo protésico, tomando como información de partida la referente a dicha articulación, la cual hemos decidido incluir en el estado del arte de este TFG.

Finalmente, consideramos que sería muy interesante llevar a cabo una investigación acerca de cómo puede tratarse y procesarse el plástico presente en los mares y océanos, una vez recolectado, con el fin de fabricar bobinas destinadas a la impresión 3D de todas estas prótesis de pie, de manera que podamos reducir el impacto ambiental sobre nuestro planeta a la vez que contribuimos al desarrollo de TFGs más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente como éste que, dado lo extraordinario y grave de la situación que estamos atravesando como es la pandemia del COVID-19, será entregado de forma virtual sin necesidad de ser impreso, con el ahorro de papel que ello conlleva.

Bibliografía

- [ABC20] **ABC Sociedad**, *Crean un corazón que palpita con una impresora en 3D*. Última consulta: 11/08/2020
<https://www.abc.es/sociedad/abci-crean-corazon-palpita-impresora-201904160244-noticia.html>
- [AMS20] **Alacermas**, *6061-ALUMINIO-MAGNESIO-SILICIO*. Última consulta: 29/06/2020
[https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa-6061-aluminio\(1\).pdf](https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa-6061-aluminio(1).pdf)
- [AZ20] **Alacermas**, *6061-ALUMINIO-ZINC*. Última consulta: 29/06/2020
<https://www.alacermas.com/img/galeria/files/aluminio/chapa-7075-aluminio.pdf>
- [ALAM20] **Alamy**, *Marqués de Anglesey*. Última consulta: 29/07/2020
<https://www.alamy.es/marques-de-anglesey-2-image8248337.html>
- [AMPU19] **Amputee Coalition**, *Historia de las prótesis*. Última consulta: 12/07/2019
<https://www.amputee-coalition.org/resources/spanish-history-prosthetics/>
- [AYUD20] **Ayúdame 3D**, *Fabricación de “trésdesis”*. Última consulta: 15/07/2020
<https://ayudame3d.org/>
- [PODO19] **Blog de podoactiva**, *Partes y huesos del pie*. Última consulta: 12/08/2019
<https://www.podoactiva.com/es/blog/huesos-del-pie-nombres-partes-y-funciones-de-esta-anatomia-osea>
- [CAMP19] **Blog del Curso de Diseño Biomecánico del Profesor Oscar Campo, en la Universidad Autónoma de Occidente, Cali, Colombia**, *Diseño Prótesis 1*. Última consulta: 01/12/2019
<https://biomechanicaldesign.wordpress.com/category/2014-2/grupo-2/>
- [BONV09] **Bonvicini Menéndez, P. F.**, *Estructura y propiedades de las aleaciones*. Departamento de Materiales, Universidad Nacional de La Plata, 2009.
- [CALD10] **Calderón, J. M., Erazo, L. A., Lenis, A. M.**, *Diseño de una prótesis transtibial que permita realizar la marcha humana de forma más natural*. Universidad Autónoma de Occidente, 2010.
- [CIMW20] **CIM Works**, *Precio licencia SolidWorks*. Última consulta: 01/08/2020
<https://www.cimworks.es/precios-solidworks/>
- [DASS20] **Dassault Systèmes**, *Ayuda SolidWorks*. Última consulta: 01/07/2020
<http://help.solidworks.com/2010/spanish/SolidWorks/cworks/LegacyHelp/Simulation/>
- [DRAE19] **Diccionario de la Real Academia Española**, *Definición de pie*. Última consulta: 29/07/2019
<https://dle.rae.es/pie?m=form>

- [DRAK10] **Drake, R.L., Vogl, A.W., Mitchell, A.M.**, *Gray. Anatomía para estudiantes*. StudentConsult. 2ª edición. Elsevier España SL. Barcelona, 2010.
- [ECOG20] **Ecogomas**, *Pisos de goma*. Última consulta: 29/06/2020
<http://www.ecogomas.com/nuestros-productos.html>
- [ECUR20] **EcuRed**, *Prótesis de Ambroise Parlé*. Última consulta: 29/07/2020
<https://www.ecured.cu/Ambroise-Par>
- [ELAV20] **El avance de las prótesis**, *Evolución de las prótesis*. Última consulta: 21/07/2020
<https://elavancedelasprotesis.wordpress.com/category/historia-de-las-protesis/>
- [FISI19] **El blog de fisioterapia**, *Arcos del pie*. Última consulta: 20/08/2019
<https://www.blogdefisioterapia.com/arcos-del-pie/>
- [ELAP20] **Elaplas. Elastomeros y plasticos**, *Cauchos y elastómeros*. Última consulta: 29/06/2020
<http://www.elaplas.es/materiales/cauchos-y-elastomeros/>
- [FILL19] **Fillauer Europe AB**, *Ortopedia*. Última consulta: 20/11/2019
<http://fillauer.eu/feet>
- [FION19] **Fisio online**, *El pie, su estructura, sus arcos y los tipos de pies según estos arcos*. Última consulta: 20/08/2019
<https://www.fisioterapia-online.com/articulos/el-pie-su-estructura-sus-arcos-y-los-tipos-de-pies-segun-estos-arcos>
- [FORU19] **ForumSur Argentina**, *Rehabilitación. Mejorar la Calidad de Vida, por la vida misma*. Última consulta: 29/07/2019
<http://re-habilitacion.blogspot.com/2012/03/musculos-de-la-pierna.html>
- [GOOD20] **GoodFellow. Su proveedor global de materiales**, *Poliamida -Nylon 6(PA 6)*. Última consulta: 13/06/2020
<http://www.goodfellow.com/S/Poliamida-Nilon-6.html>
- [HAOM20] **Haomei Aluminium**, *Catálogo aluminio*. Última consulta: 29/06/2020
<https://www.emtalescola.es/aluminio1/1505.html>
- [HIST20] **Historia para no dormir**, *Douglas Bader, "Piernas de lata"*. Última consulta: 30/07/2020
<http://historiaparadormiranhell.blogspot.com/2018/11/colditz-oflag-iv-c-8-parte-douglas.html>
- [HXX20] **Hxx**, *Materiales de impresión 3D (II): ABS (acrilonitrilo butadieno estireno)*. Última consulta: 29/06/2020
<http://hxx.es/2015/03/23/materiales-de-impresion-3d-ii-abs-acrilonitrilo-butadieno-estireno/>
- [INAL20] **Inalcoa**, *Especialistas en metal*. Última consulta: 11/06/2020
<https://www.inalcoa.net/catalogo/plasticos-2/plasticos-poliamida-6/>
- [INDU20] **Industria de la goma**, *SBR CAUCHO COMÚN - GOMA SOLA*. Última consulta: 11/06/2020
<https://www.industriadelagoma.com/productos/goma/plancha-de-goma/caucho-sbr/>

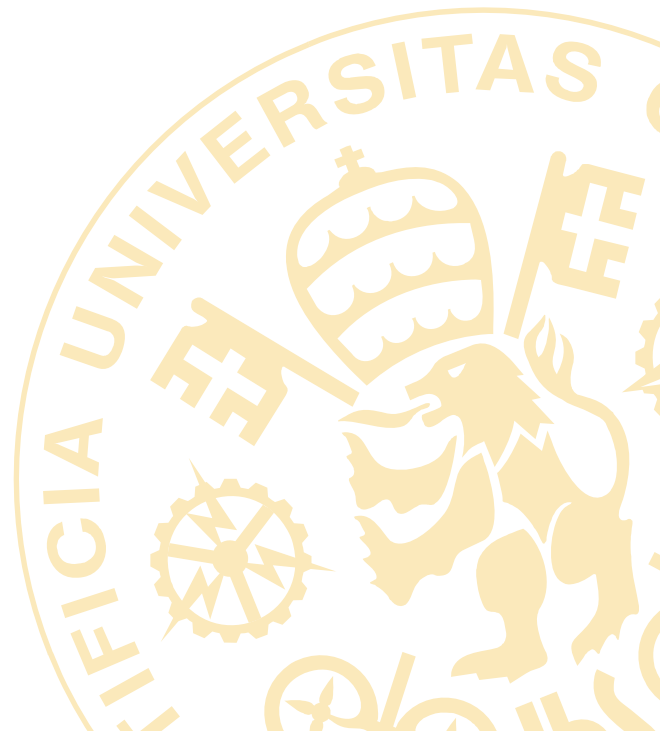
- [IMTM20] **Ingemecanica. Tecnología mecánica y formación**, *Clasificación de los aceros*. Última consulta: 30/06/2020
<https://www.ingemecanica.com/aceros/aceros01.html>
- [IMTF20] **Ingemecanica. Tecnología mecánica y formación**, *Propiedades Mecánico-Químicas del Aluminios*. Última consulta: 30/06/2020
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn110.html>
- [INGM12] **Ingeniería de Materiales**, *Manual del Titanio y sus Aleaciones*.
<https://ingenieriademateriales.wordpress.com/2012/03/03/manual-del-titanio-y-sus-aleaciones/>
- [JIME91] **Jiménez-Castellanos y Calvo-Rubio, J.**, *Lecciones Anatómicas*. Ed. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones; Sevilla, 1991.
- [JULI20] **Julier**, *Gránulos de ABS ABS Gránulos de plástico ABS GF30*. Última consulta: 30/06/2020
<http://www.custom-plastic-molds.com>
- [LAGO19] **Lagos, L.**, *Prótesis bajo rodilla, evaluación y biomecánica*. Última consulta: 30/11/2019
<https://es.slideshare.net/leonardolagos/leo-lagos-prtesis-bajo-rodilla>
- [LAVA20] **La Vanguardia**, *Un continente flotante de basura*. Última consulta: 03/08/2020
<https://www.lavanguardia.com/natural/20160609/402387225954/isla-basura-pacifico.html>
- [MAKE20] **MakeitFrom**. *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, Última consulta: 13/06/2020
<https://www.makeitfrom.com/material-properties/Acrylonitrile-Butadiene-Styrene-ABS/>
- [MARI13] **Marino, L., González, Y., González, C., Rucich, M.**, *Propuesta de modelo multisegmento del pie para el análisis de marcha*, Rev. Fac. Ing. UCV, nº4, Vol 28, Caracas, 2013. Disponible en <http://ve.scielo.org/pdf/rfiucv/v28n4/art15.pdf>
- [META20] **Metal Suppliers Online**. *Material Property Data: Titanium 6-2-2-2-2-.25*, Última consulta: 30/06/2020
<https://www.metalsuppliersonline.com/propertypages/6-2-2-2-2-.25.asp>
- [MILL20] **Million waves project**, *Basura convertida en prótesis*. Última consulta: 30/07/2020
<https://www.millionwavesproject.com/>
- [MTSC20] **Mtsco**, *Acero de aleación de níquel*. Última consulta: 27/06/2020
<http://es.mtstainlesssteel.com/about.php>
- [MULL07] **Müller-Karger, C., Wong, S., La Cruz, A.**, *IV Latin American Congress on Biomedical Engineering 2007, Bioengineering Solutions for Latin America Health*. Springer Science and Business Media, Isla de Margarita, Venezuela, 2007.
- [NEON20] **Neonickel**, *Proveedores de aceros aleados*. Última consulta: 29/06/2020
<https://www.neonickel.com/es/proveedores-de-aceros-aleados/>
- [NETT11] **Netter, F.H.**, *Atlas de Anatomía Humana*. 5ª ed. Elsevier-Masson. Madrid, 2011.

- [ORLI19] **Orliman Ortiopedia**, *Ortopedia*. Última consulta: 29/11/2019
<https://www.orliman.com/categoria-producto/protesica/prosthesis-pies/>
- [ORTH20] **Orthoinfo**, *Reemplazo total de cadera*. Última consulta: 11/08/2020
<https://orthoinfo.aaos.org/es/treatment/reemplazo-total-de-cadera-total-hip-replacement/>
- [ITAL19] **Ortopedia Italia**, *Prototipo Prótesis I*. Última consulta: 29/11/2019
<https://www.protesisitalia.com.mx/pies.html>
- [BARR19] **Ortotecnica Barraza**, *Sistema de movilidad MOBIS*. Última consulta: 30/11/2019
<https://www.barrazaortotecnica.com/index.php/2012-02-06-12-14-07/sistemas-de-movilidad-mobis>
- [PADI16] **Padilla Liendo, U.R.**, *Clasificación de la marcha hemipléjica utilizando las características difusas de los indicadores cinemáticos en tobillo, rodilla y cadera*. Interciencia, n°9, Vol 41, Venezuela, 2016.
- [PATI19] **Patient Education**, *Partes del pie*. Última consulta: 29/07/2019
<https://fairview.org/hlimg/krames/417494.jpg>
- [ACAS20] **Plásticos Acaso**, *Partes del pie*. Última consulta: 29/06/2020
<https://plasticosacaso.es/termoplasticos-que-son-y-tipos/>
- [POLY19] **Poly Ghosh**, *Prosthetics foot*. Última consulta: 29/11/2019
<https://es.slideshare.net/POLYGHOSH1/prosthetics-foot>
- [PSAS19] **Protesica S.A.S.**, *Pies protésicos*. Última consulta: 29/11/2019
<http://protesica.com.co/pies-proteticos/>
- [RIBA08] **Riba Romeva, C.**, *Selección de materiales en el diseño de máquinas*. Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, pp. 213-214, 2008.
- [ROUV05] **Rouvière, H., Delmas, A.**, *Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional*. 11ª Ed. Masson, Vol II, Barcelona, 2005.
- [RTVE20] **RTVE**, *Pistorius primer atleta olímpico con prótesis*. Última consulta: 11/08/2020
<https://www.rtve.es/alacarta/videos/telediario/pistorius-primer-atleta-olimpico-protesis/1454882/>
- [SALU19] **Salud y algo mas**, *Peso de distintas partes del cuerpo*. Última consulta: 24/08/2019
<http://www.saludyalgomas.com/tablasnutricionales/peso-de-distintas-partes-del-cuerpo/>
- [SIGN20] **Signi**, *Bloque de aluminio*. Última consulta: 30/06/2020.
<http://www.signialuminio.com>
- [STEE20] **Steel Tubes India**, *Titanium Grade 2 price per kg*. Última consulta: 30/06/2020.
<https://www.stindia.com/titanium-grade-2-5-price-per-kg-india.html>
- [SUTO20] **Sutori, Fabiola Birzayit**, *Evolución de las prótesis de la extremidad inferior*. Última consulta: 29/07/2020
<https://www.sutori.com/story/evolucion-de-la-protesis-de-extremidad-inferior-XZQeGdWmHMTECQKA8CzQbun>

- [THIN20] **Thingiverse**, *Prosthetic Foot for Young Children by NAS Cobalt*. Última consulta: 29/01/2020
<https://www.thingiverse.com/thing:2902462/files>
- [TIME20] **Timetoast Home Page**, *Historia y evolución de las prótesis*. Última consulta: 29/07/2020
<https://www.timetoast.com/timelines/historia-y-evolucion-de-la-protesis-5bfc7d2a-4913-46bd-b03f-fffcc6ba00f7>
- [TODO20] **Todogoma S.A.**, *Catálogo*. Última consulta: 29/07/2020
<https://todogoma.es/wp-content/uploads/2019/02/CATÁLOGO-2019-LESTARE.pdf>
- [UNPR19] **Un profesor**, *Músculos del pie*. Última consulta: 29/07/2019
<https://www.unprofesor.com/ciencias-naturales/musculos-del-pie-3285.html>
- [VIDA19] **Vida con salud**, *Partes del pie*. Última consulta: 29/07/2019
<https://micuerpo0.wordpress.com/huesos-del-pie/>
- [VINC19] **Vinchon, M.**, *Ambroise Paré, surgery, and obstetrics*. Última consulta: 13/09/2019
Childs Nerv Syst 25, 639-640, 2009. Disponible en <https://doi.org/10.1007/s00381-008-0775-5>
- [VIRT19] **Virtual Expo Group**, *Medical Expo: Prótesis externa de pie de tipo SACH*. Última consulta: 24/06/2020
<https://www.medicalexpo.es/prod/willow-wood/product-74952-464994.html>
- [WIKI19] **Wikipedia**, *Tobillo*. Última consulta: 29/07/2019
<https://es.wikipedia.org>
- [ZAGE17] **Zagel, C., Huber, S., Suessmuth, J., Obermeier, M., Bodendorf, F.**, *3DPro?Development of Low-Cost Prosthetics Using 3D Printing Technologies*. Vol. 494, pp 93-99, 2017.
- [3DHU20] **3D Hubs**, *Get instant quote*. Última consulta: 09/08/2020
<https://www.3dhubs.com/manufacture/>

DOCUMENTO II

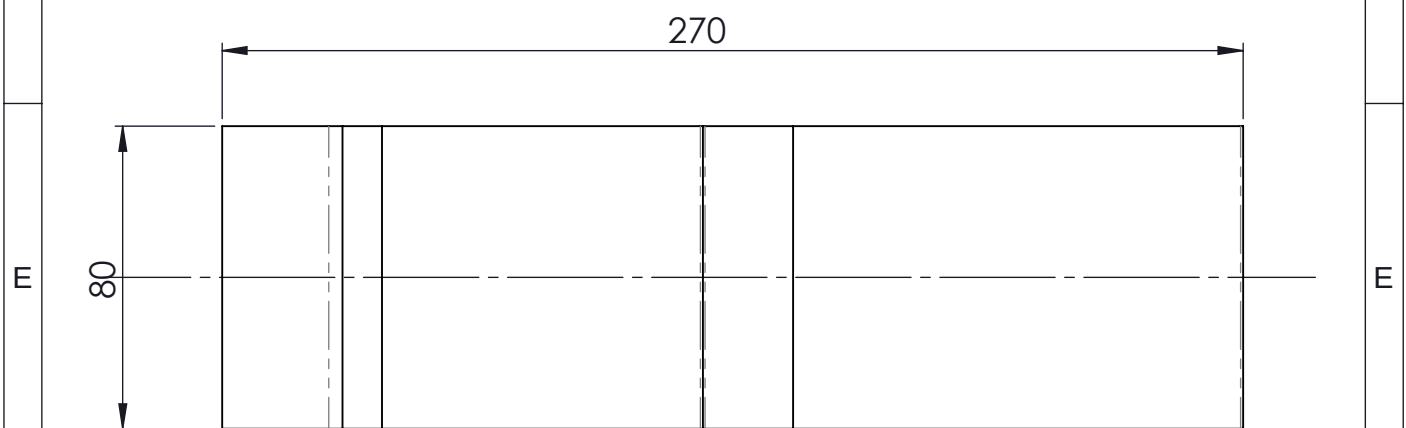
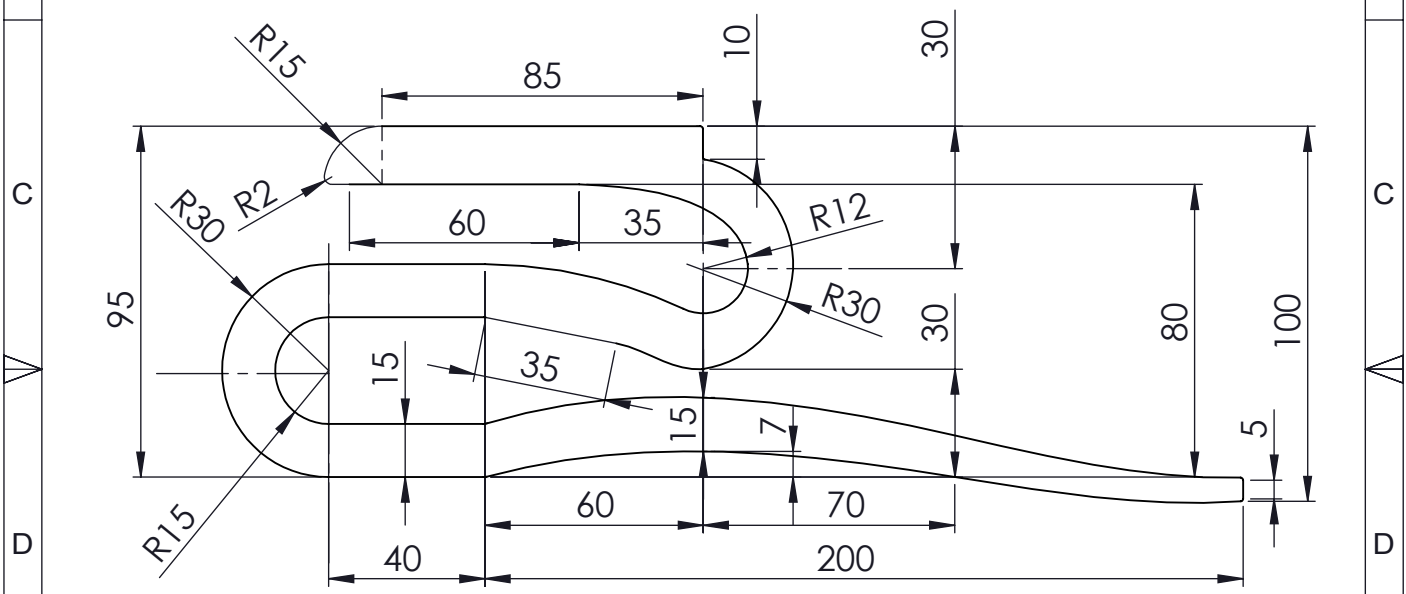
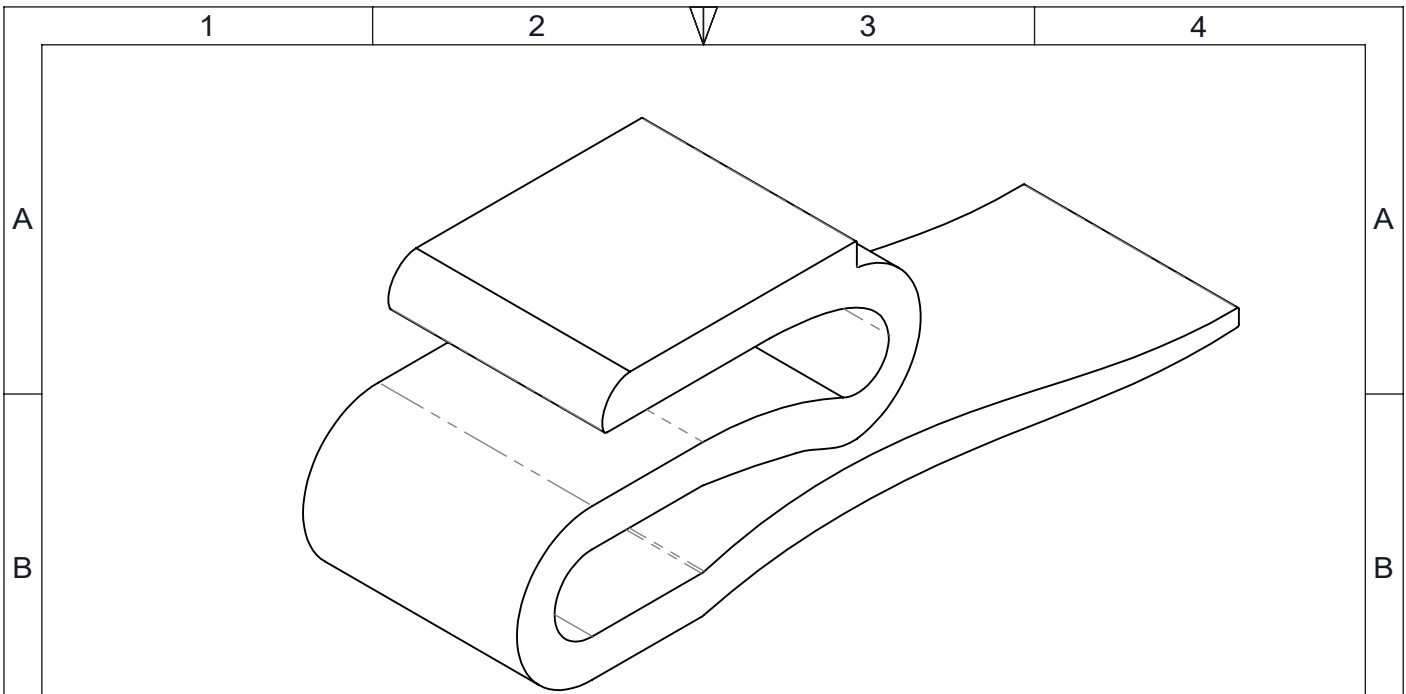
PLANOS



Lista de planos

- Plano 1. Plano Prótesis 1
- Plano 2. Plano Prótesis 2
- Plano 3. Plano Prótesis 3
- Plano 4. Plano Prótesis 4
- Plano 5. Plano Prótesis 5(0)
- Plano 6. Plano Prótesis 5(1)(2)
- Plano 7. Plano Prótesis 5(1)
- Plano 8. Plano Amortiguador Prótesis 5(1)
- Plano 9. Plano Prótesis 5(2)(2)
- Plano 10. Plano Prótesis 5(2)
- Plano 11. Plano Amortiguador Prótesis 5(2)

Nota: Debido a que los planos son simplemente para el diseño de las prótesis y no para la fabricación no se incluye ninguna tipo de tolerancia general ni específicas (dimensional, geométrica o de acabado superficial).



(*) Redondeos no acotados: R1

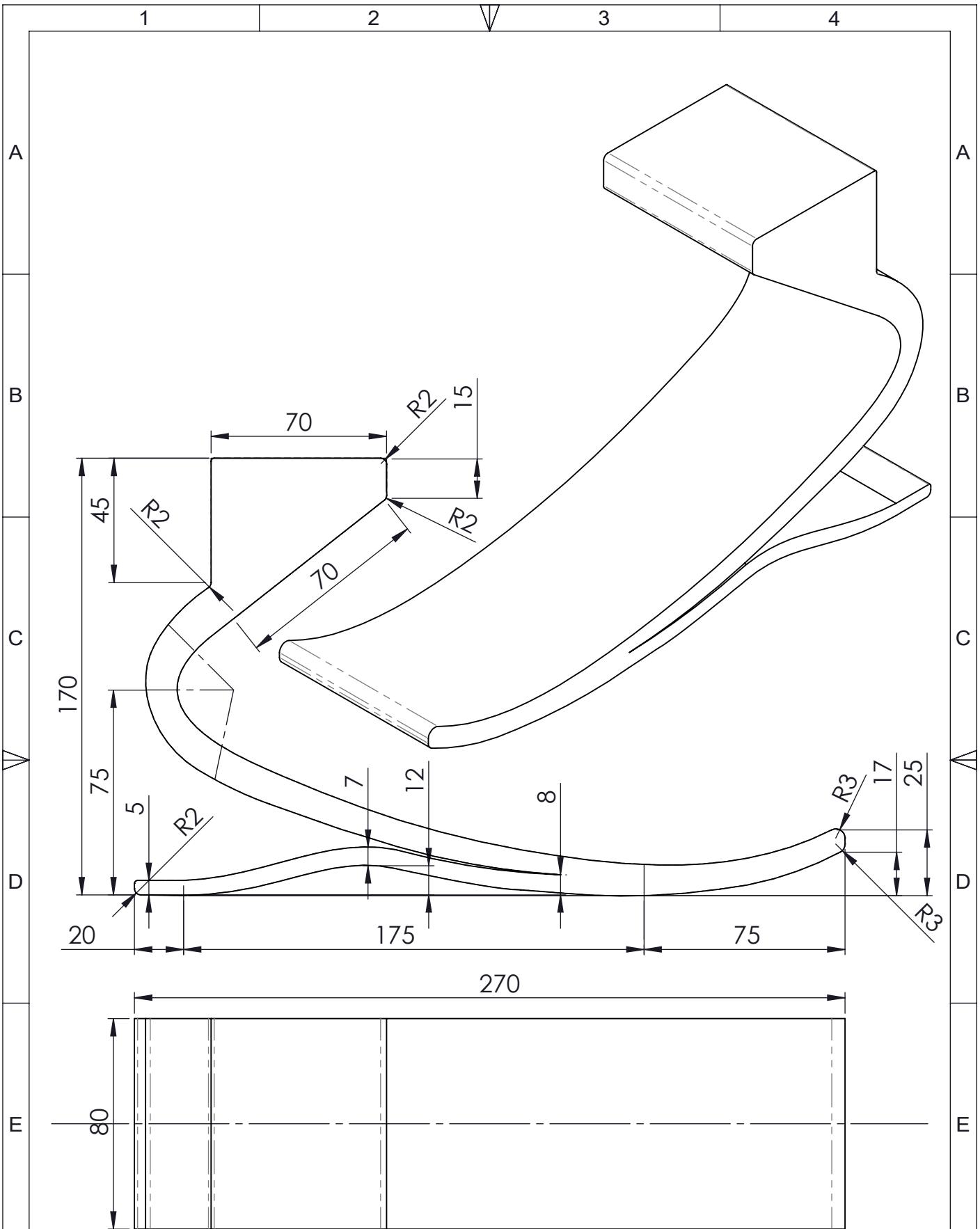
MATERIAL	ABS		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 1	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	20/VII/2020	F
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA	03/VIII/2020	
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			1

1

2

3

4



(* Redondeos no acotados: R1

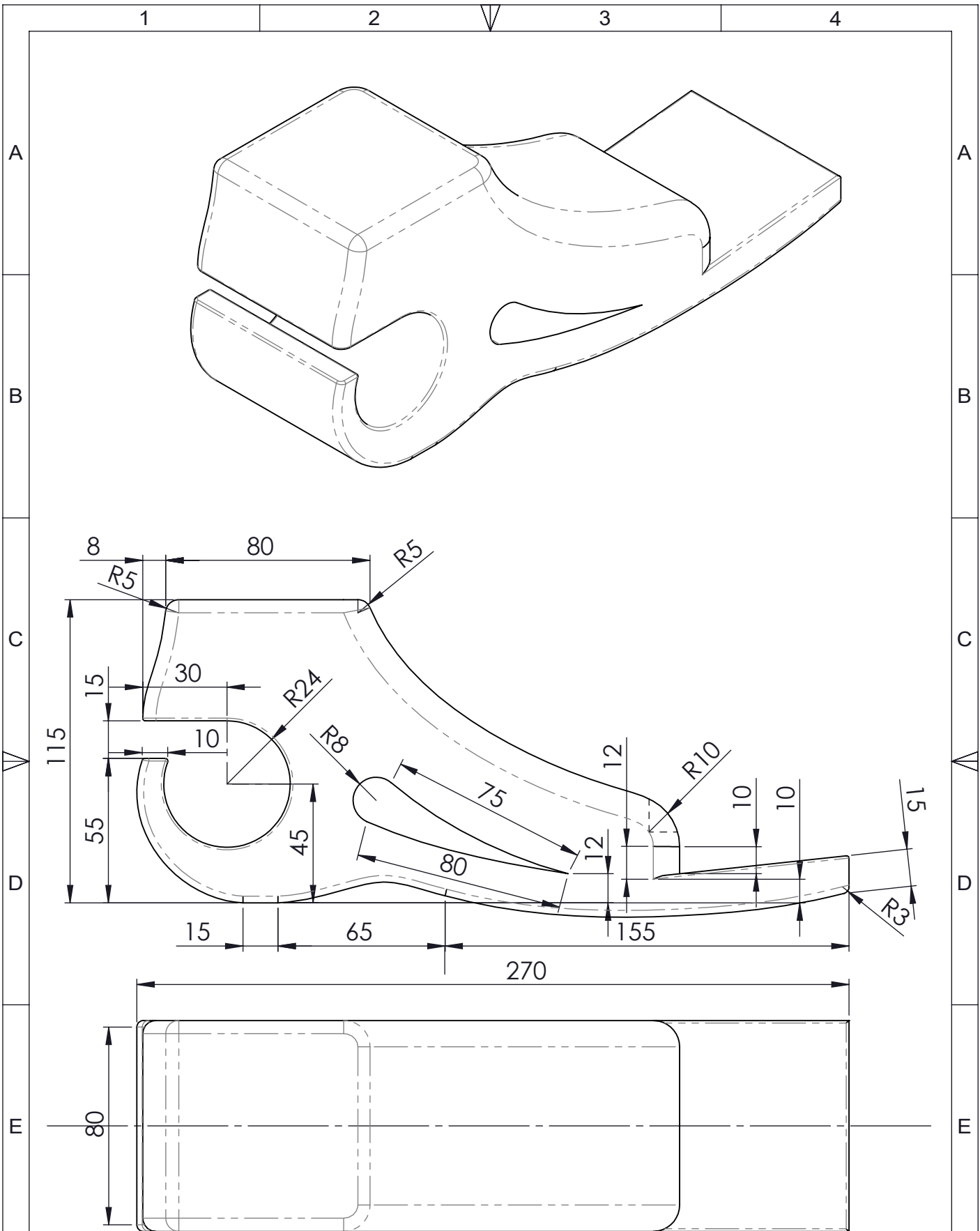
MATERIAL	ABS		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO:	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	PRÓTESIS 2	
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	03/VIII/2020		
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:2	Álvaro Aragón			2

1

2

3

4



(* Redondeos no acotados: R1

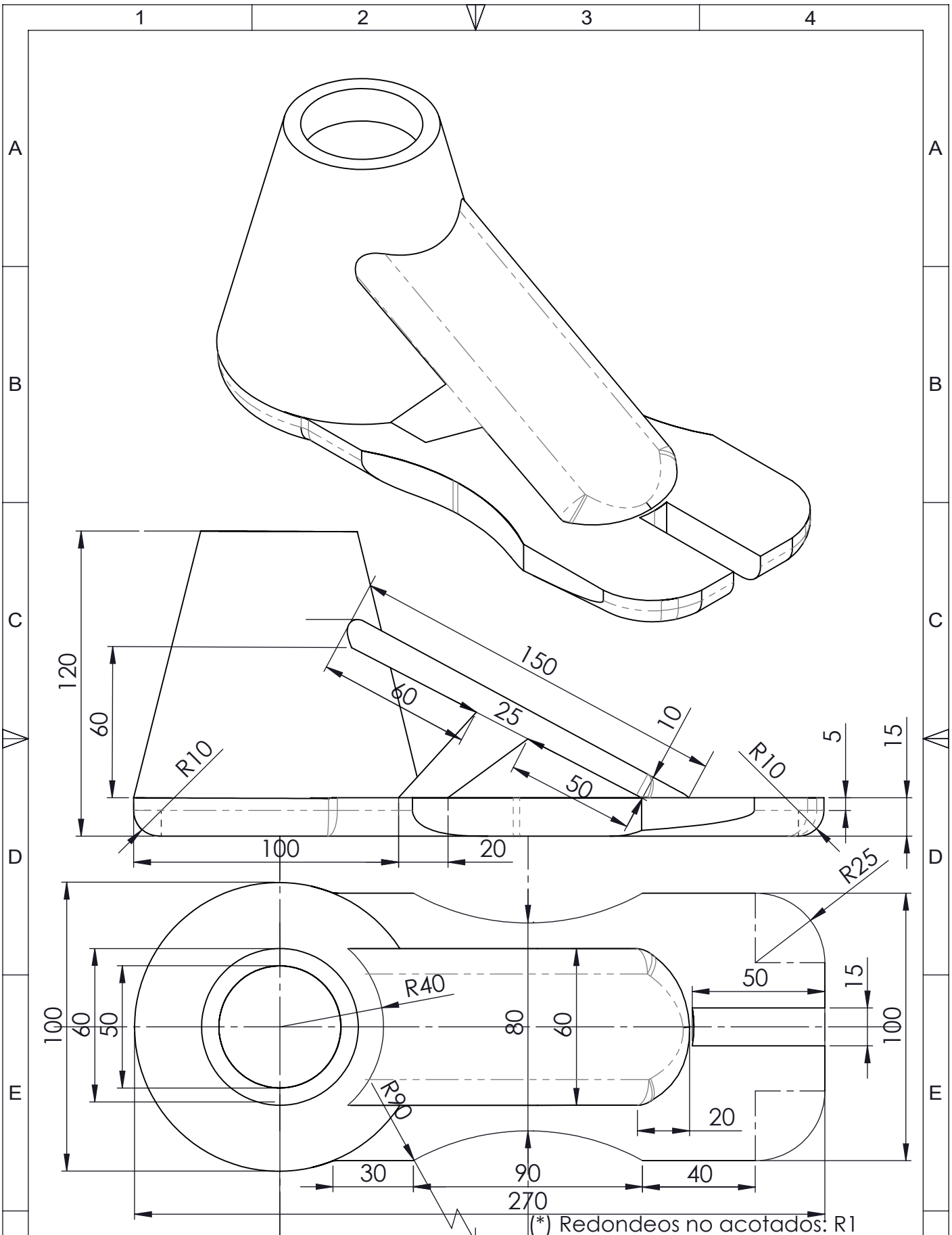
MATERIAL	ABS		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 3	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	PRÓTESIS 3	
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	21/VII/2020		
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			3

1

2

3

4



(* Redondeos no acotados: R1

MATERIAL	ABS		
TOLERANCIA	-		
DIBUJADO	NOMBRE	FECHA	TÍTULO:
COMPROBADO	Álvaro Aragón Aragón	22/VII/2020	
ESCALA:	FIRMA:		
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>		

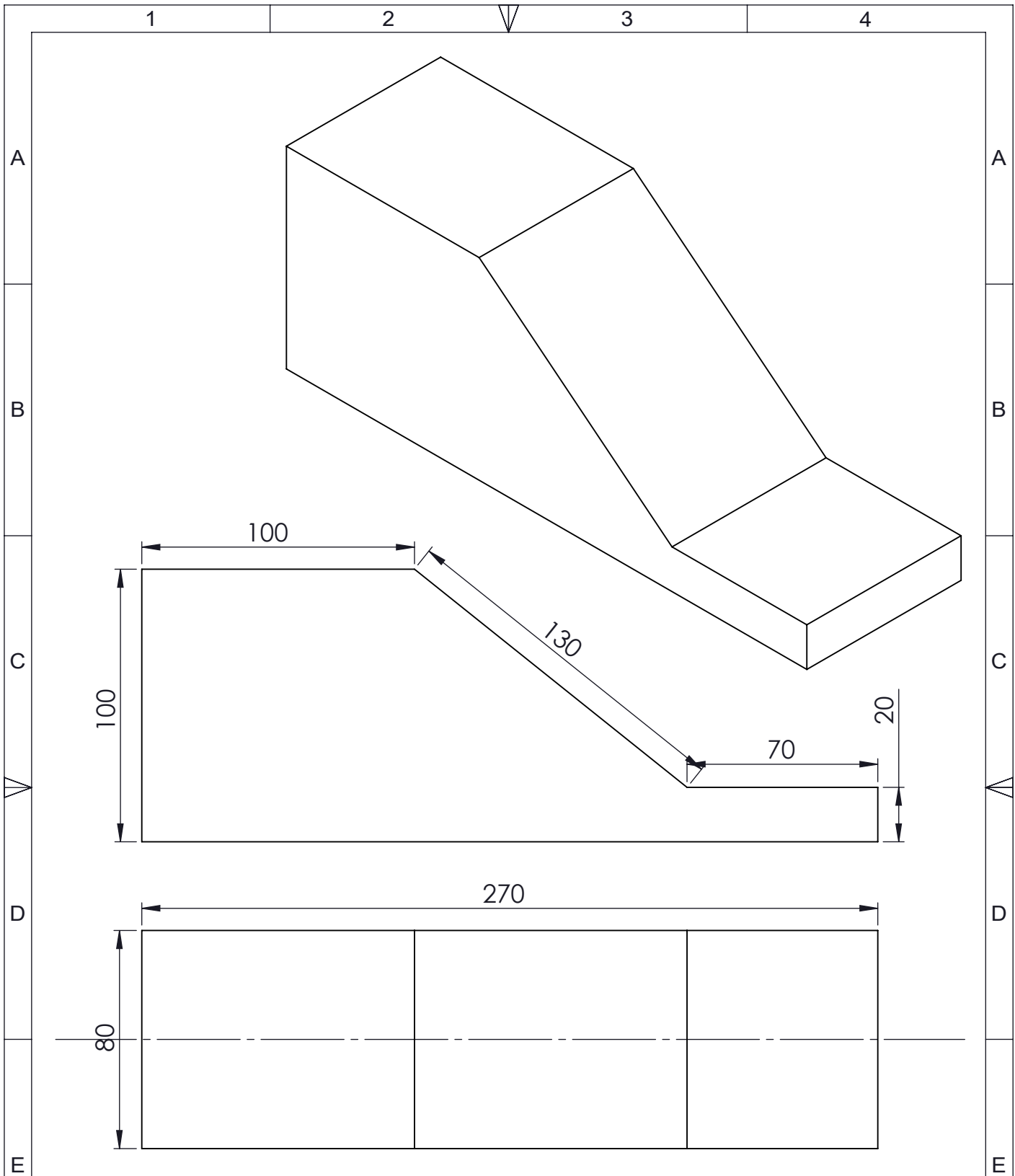
TFG - 4ª GITI Curso 2019/2020

PRÓTESIS 4

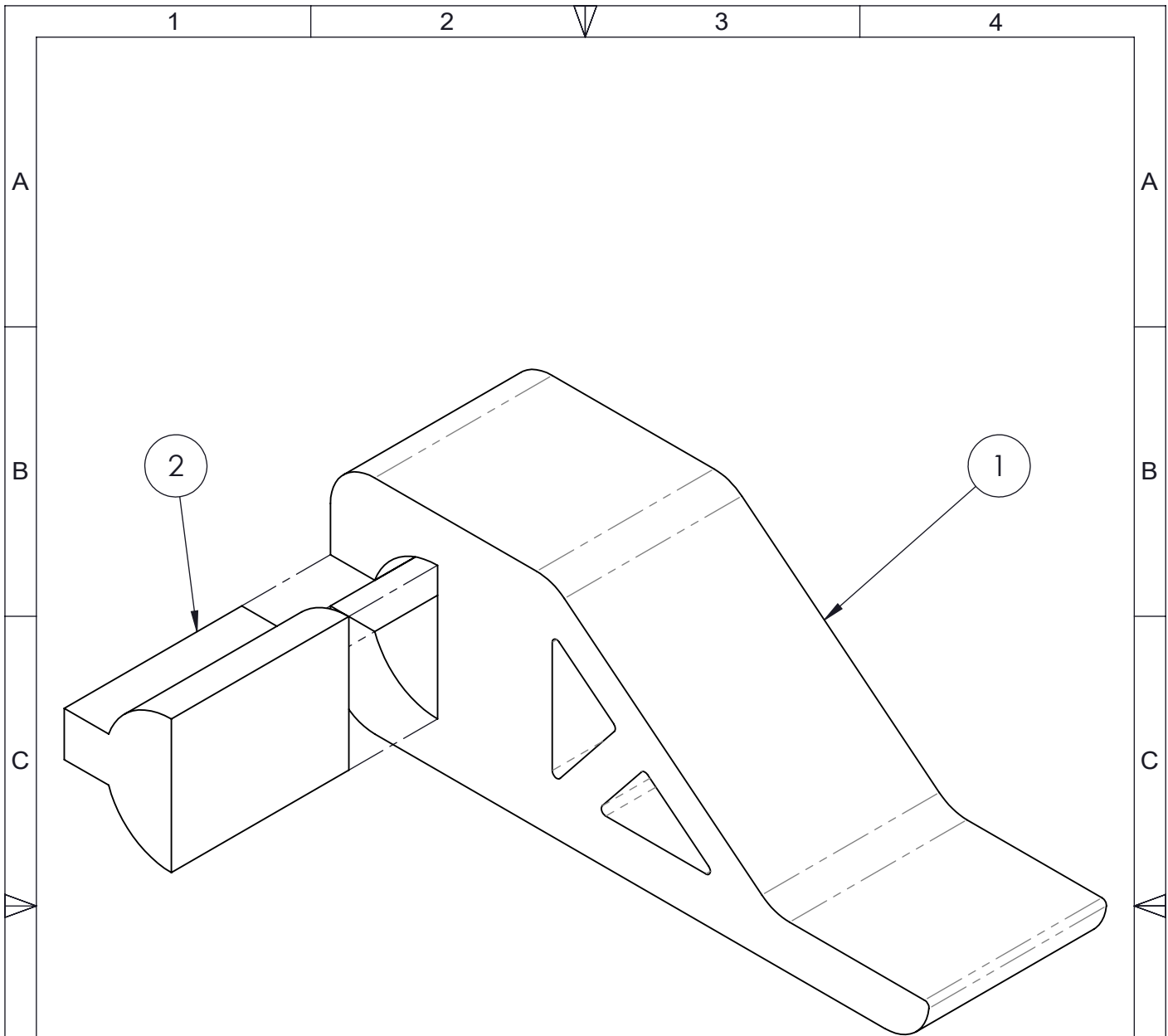
I.C.A.I.

Nº DE LÁMINA:

4

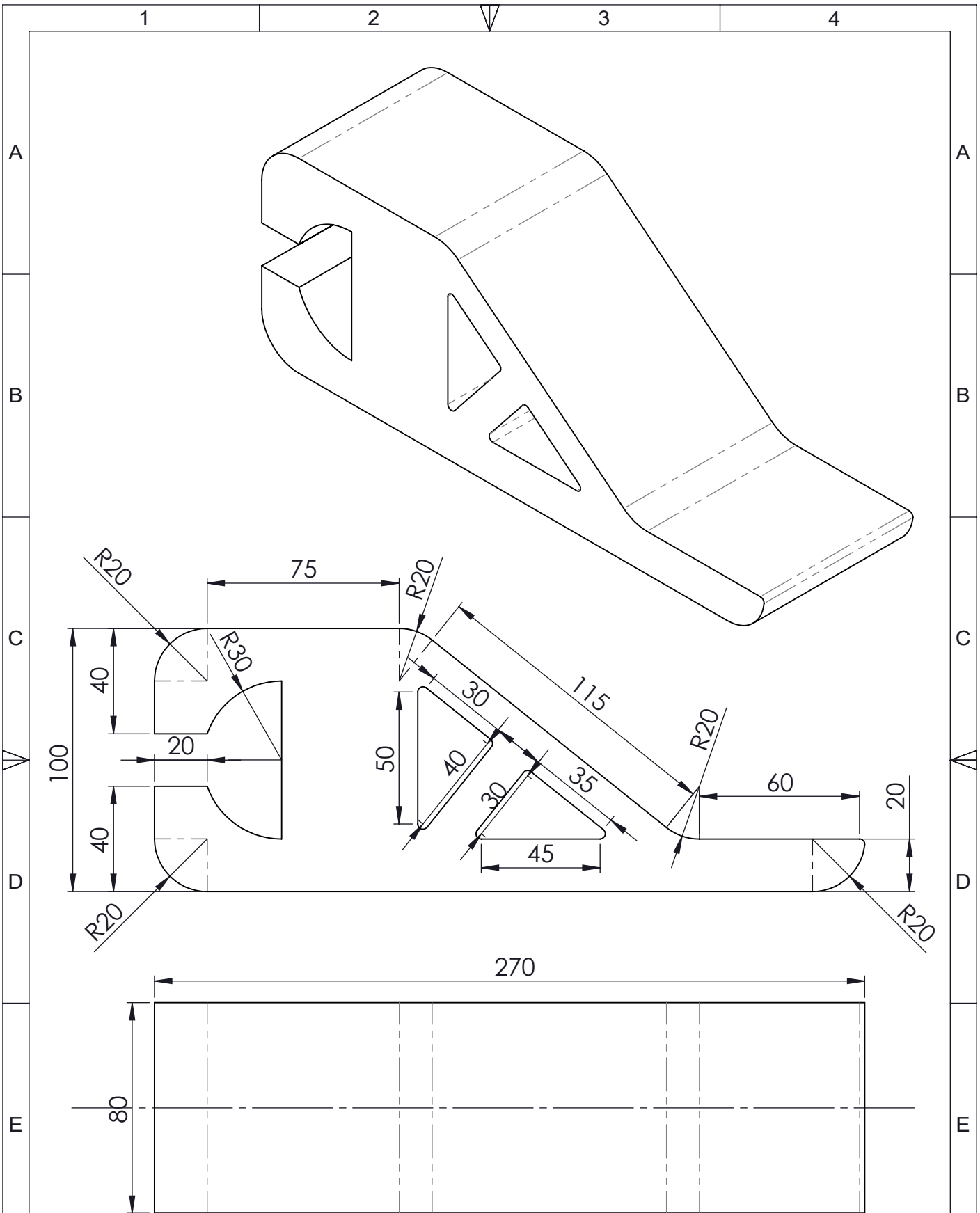


MATERIAL	ABS		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 5(0)	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	23/VII/2020	F
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA	03/VIII/2020	
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			5



2	1	Amortiguador Prótesis 5(1)	-	SBR
1	1	Prótesis 5(1)	-	ABS
MARCA	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	NORMA	MATERIAL

MATERIAL	-		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 5(1)(2)	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	24/VII/2020	
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA	03/VIII/2020	
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			6



(* Redondeos no acotados: R2

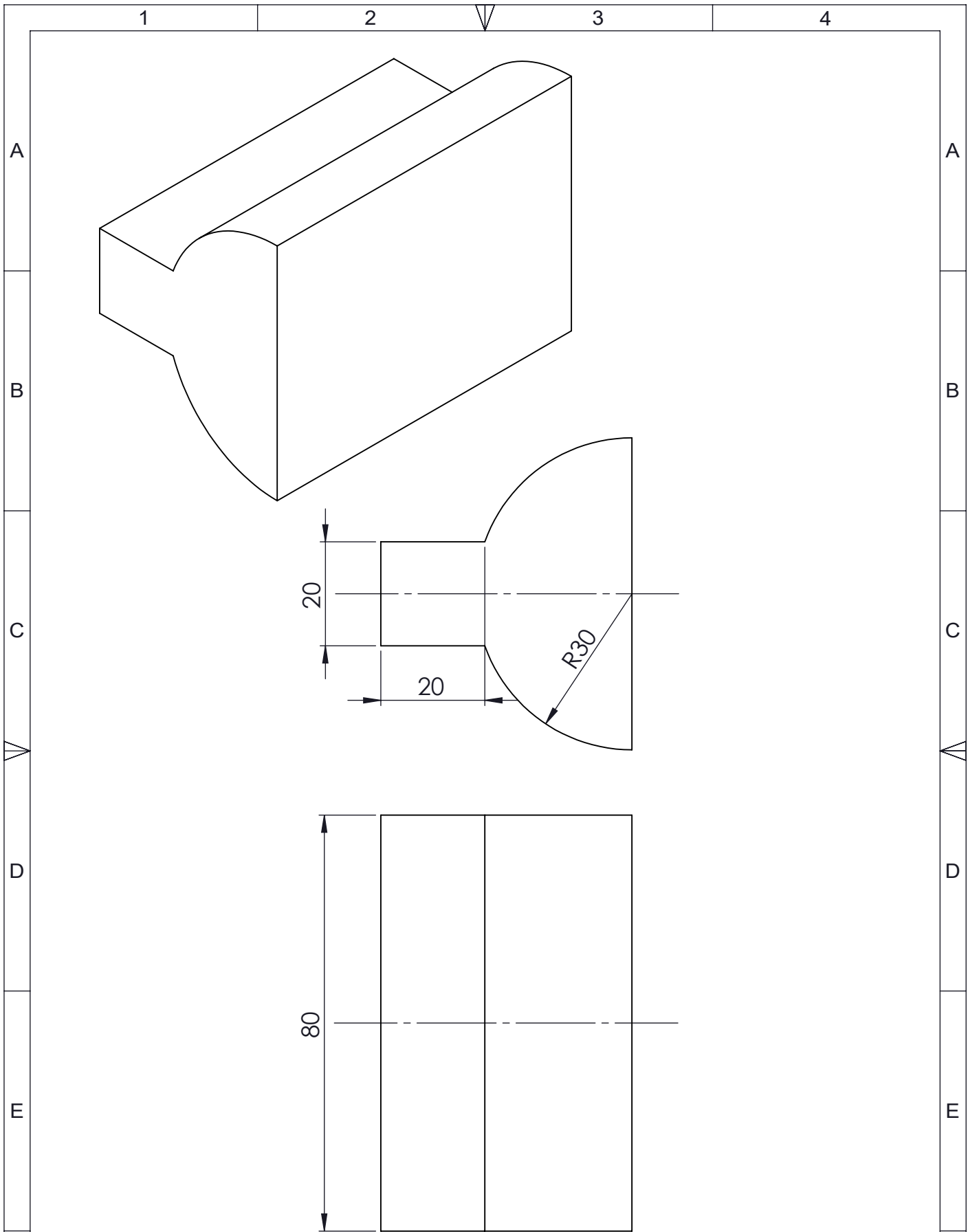
MATERIAL	ABS		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 5(1)	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	FIRMA: <i>Álvaro Aragón</i>	
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA	Nº DE LÁMINA: 6.1	
ESCALA:	1:2	I.C.A.I.		

1

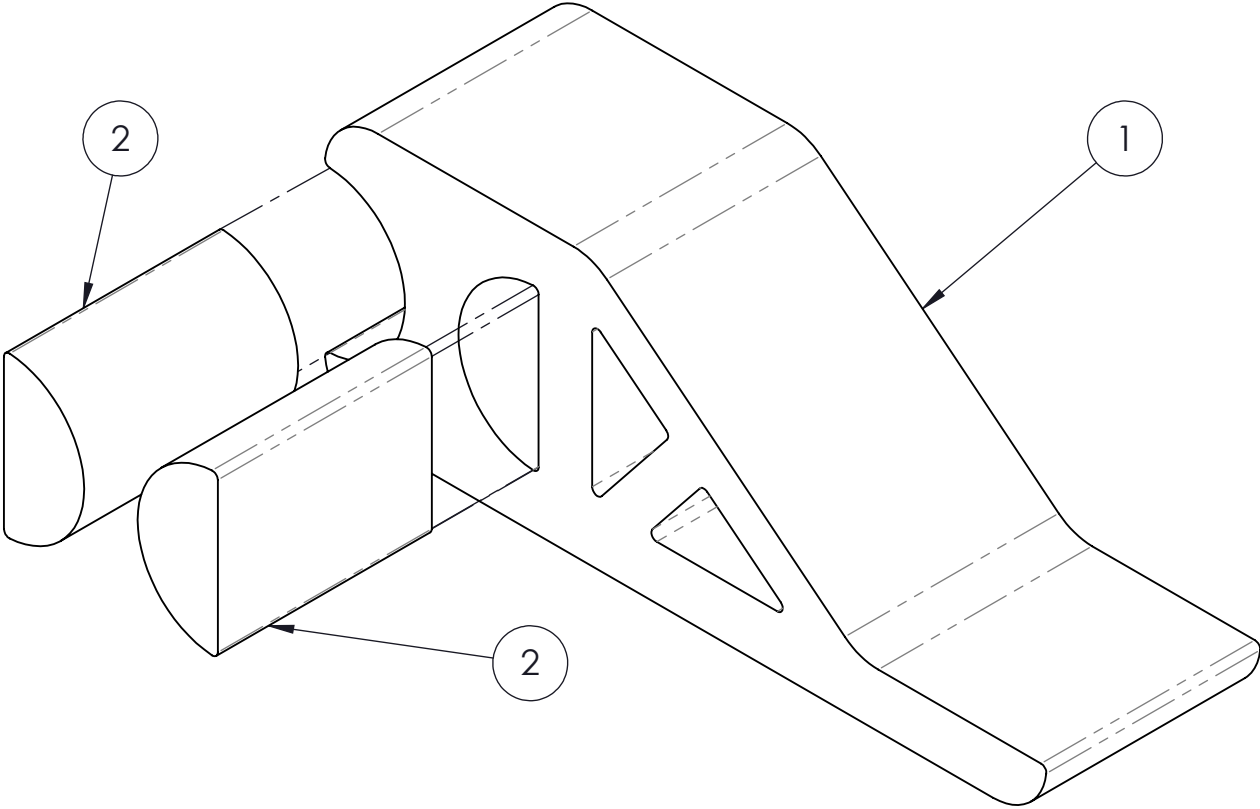
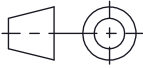
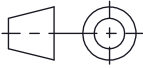
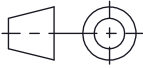
2

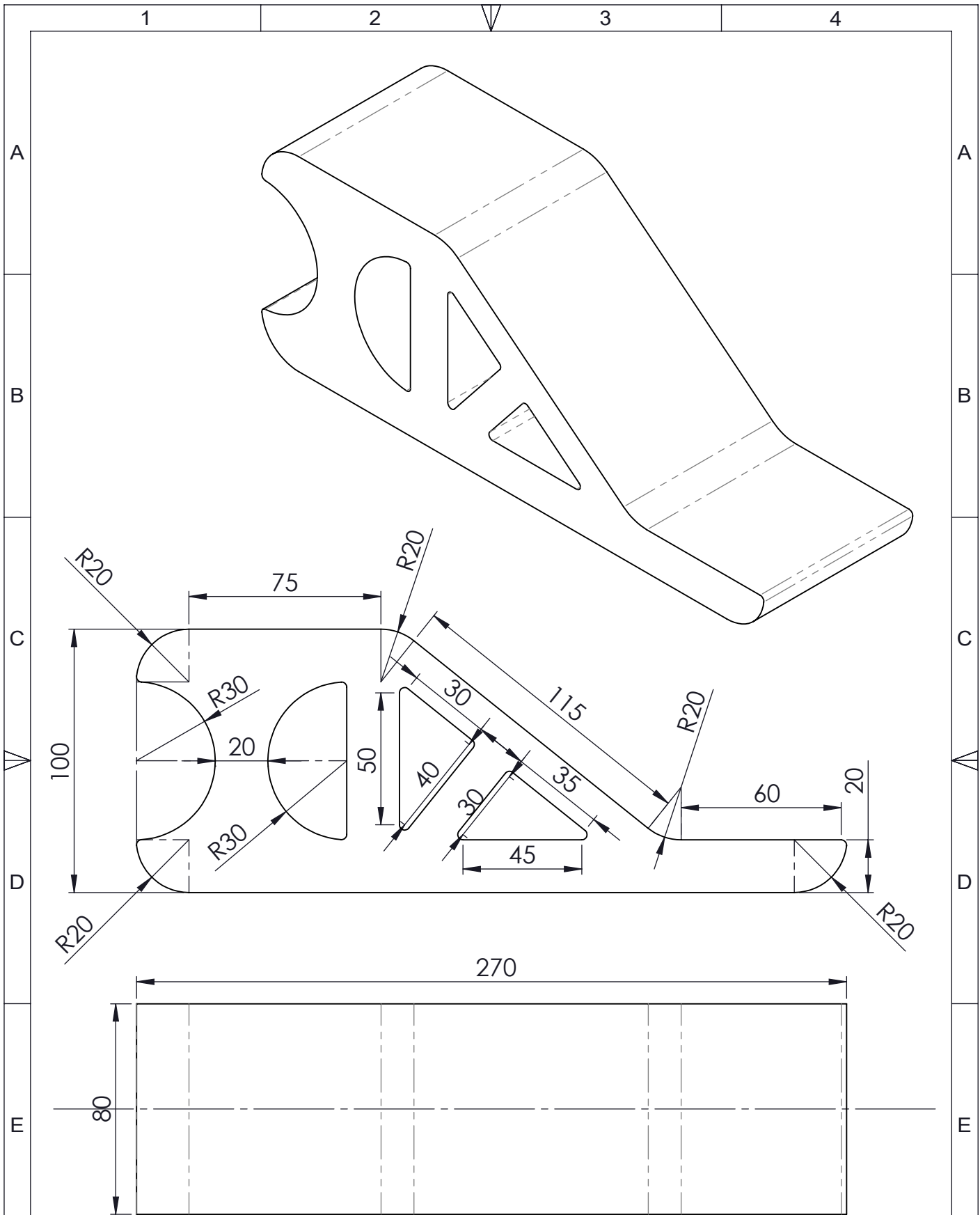
3

4



MATERIAL	SBR		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO:	
	NOMBRE	FECHA	AMORTIGUADOR PRÓTESIS 5(1)	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	24/VII/2020		
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	03/VIII/2020		
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:1	<i>Álvaro Aragón</i>			6.2

1	2	3	4																												
A			A																												
B			B																												
C			C																												
D			D																												
E	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%; text-align: center;">2</td> <td style="width: 15%; text-align: center;">2</td> <td style="width: 40%;">Amortiguador Prótesis 5(2)</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">-</td> <td style="width: 20%;">SBR</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">1</td> <td>Prótesis 5(2)</td> <td style="text-align: center;">-</td> <td>ABS</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">MARCA</td> <td style="text-align: center;">CANTIDAD</td> <td style="text-align: center;">DENOMINACIÓN</td> <td style="text-align: center;">NORMA</td> <td style="text-align: center;">MATERIAL</td> </tr> </table>			2	2	Amortiguador Prótesis 5(2)	-	SBR	1	1	Prótesis 5(2)	-	ABS	MARCA	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	NORMA	MATERIAL	E												
2	2	Amortiguador Prótesis 5(2)	-	SBR																											
1	1	Prótesis 5(2)	-	ABS																											
MARCA	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	NORMA	MATERIAL																											
F	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">MATERIAL</td> <td style="width: 15%;">-</td> <td rowspan="2" style="width: 15%; text-align: center;">  </td> <td colspan="2" style="text-align: center;">TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020</td> </tr> <tr> <td>TOLERANCIA</td> <td>-</td> <td colspan="2" rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> TÍTULO: PRÓTESIS 5(2)(2) </td> </tr> <tr> <td>DIBUJADO</td> <td>Álvaro Aragón Aragón</td> <td>FECHA</td> <td>25/VII/2020</td> </tr> <tr> <td>COMPROBADO</td> <td>María Ana Sáenz Nuño</td> <td>FECHA</td> <td>03/VIII/2020</td> </tr> <tr> <td>ESCALA:</td> <td>FIRMA:</td> <td colspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> I.C.A.I. </td> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;"> Nº DE LÁMINA: 7 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1:2</td> <td style="text-align: center;"><i>Álvaro Aragón</i></td> <td colspan="2"></td> <td style="text-align: center;">7</td> </tr> </table>			MATERIAL	-		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020		TOLERANCIA	-	TÍTULO: PRÓTESIS 5(2)(2)		DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	25/VII/2020	COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA	03/VIII/2020	ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA: 7	1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			7	F
MATERIAL	-		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020																												
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 5(2)(2)																												
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA			25/VII/2020																										
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA			03/VIII/2020																										
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA: 7																											
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			7																											
1	2	3	4																												



(* Redondeos no acotados: R2

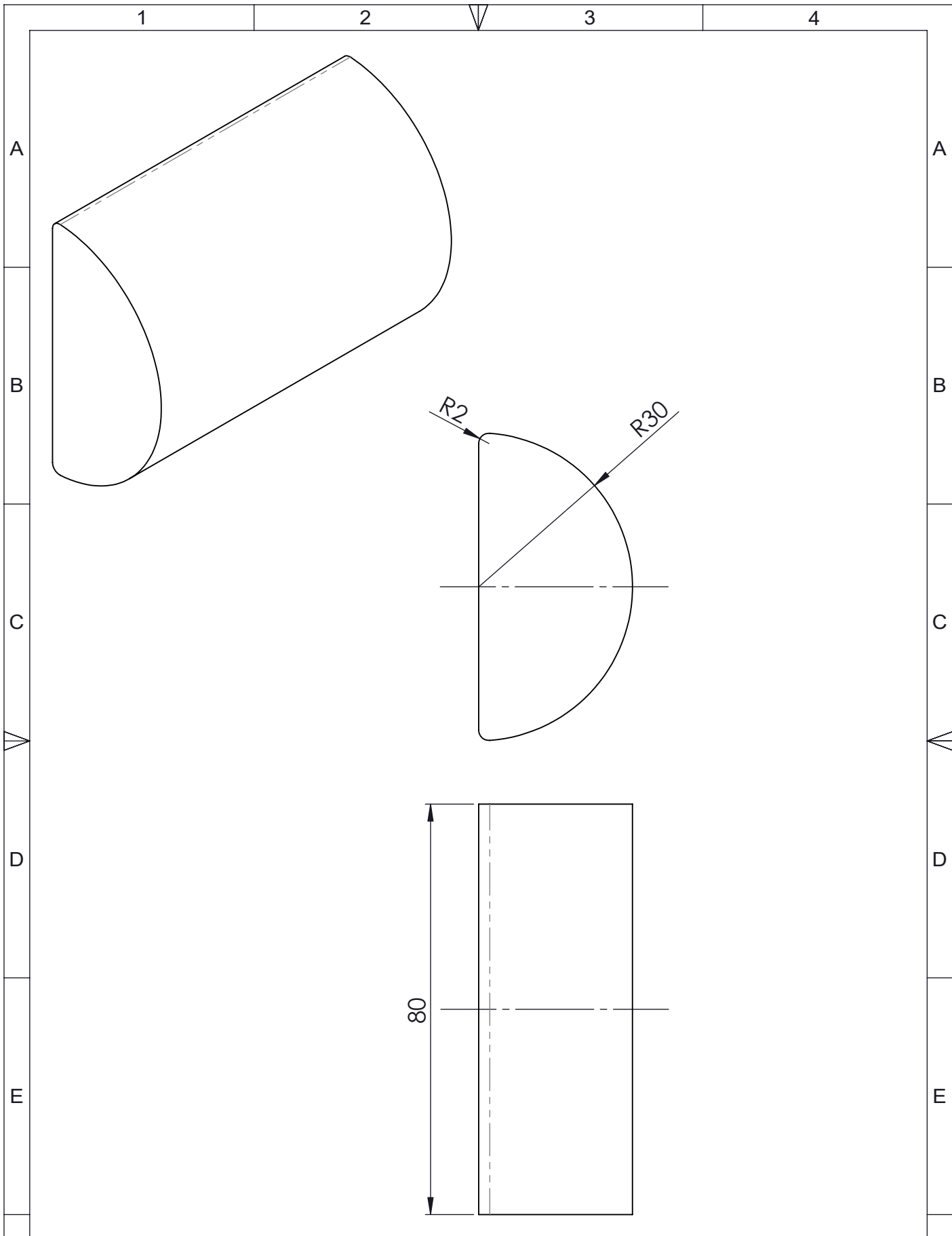
MATERIAL	ABS		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO: PRÓTESIS 5(2)	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	FECHA	25/VII/2020	
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	FECHA	03/VIII/2020	
ESCALA:	FIRMA:	I.C.A.I.		Nº DE LÁMINA:
1:2	<i>Álvaro Aragón</i>			7.1

1

2

3

4

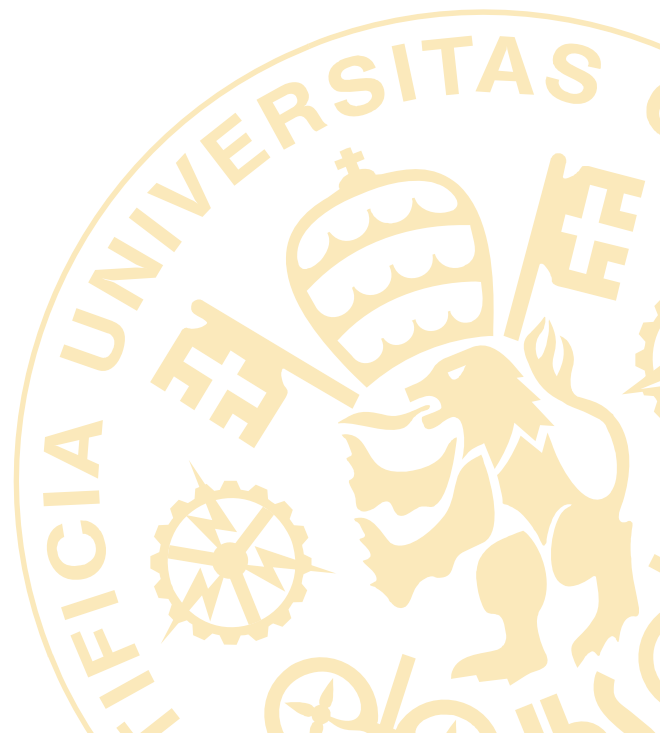


MATERIAL	SBR		TFG - 4ºA GITI Curso 2019/2020	
TOLERANCIA	-		TÍTULO:	
	NOMBRE	FECHA	AMORTIGUADOR PRÓTESIS 5(2)	
DIBUJADO	Álvaro Aragón Aragón	25/VII/2020	F	
COMPROBADO	María Ana Sáenz Nuño	03/VIII/2020	F	
ESCALA:	FIRMA:			Nº DE LÁMINA:
1:1	<i>Álvaro Aragón</i>		I.C.A.I.	7.2
1	2	3	4	

DOCUMENTO III



ANEXOS



Índice

Anexo A: Objetivos de Desarrollo Sostenible	3
Anexo B: Presupuesto	5
Anexo C: Simulaciones <i>SolidWorks</i>	8

Anexo A: Objetivos de Desarrollo Sostenible

En este apartado queremos mencionar específicamente cuáles son los objetivos que están relacionados con nuestro trabajo. El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron un conjunto de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad para todos como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible. Cada objetivo tiene metas específicas que se debían alcanzarse en los próximos 15 años, véase Figura 1.



Figura 1. Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Principalmente vemos que este proyecto está estrechamente relacionado con el objetivo número 3 “Salud y bienestar”, ya que nuestra finalidad es diseñar una prótesis que mejore la calidad de vida de las personas que viven en Colombia.

Según estadísticas oficiales de la Vicepresidencia de la República de Colombia, y avalado por Unicef, uno de los principales elementos que está provocando lesiones y amputaciones en los habitantes de Colombia son las minas antipersonas. Estos artefactos explosivos producen heridas de diversos tipos, las más comunes son las amputaciones de una o varias extremidades. Por tanto, los habitantes afectados en su mayoría de poblaciones rurales y sin recursos se ven en la necesidad de seguir con su vida anterior pero con una discapacidad y sin medios económicos para tratarla.

Más de 2200 jóvenes y más de 5200 niños colombianos se han visto afectados por la detonación de las minas antipersonas y en 31 de los 32 departamentos de Colombia tienen en sus territorios explosivos sin detonar, según datos del Comando General de las Fuerzas Militares de Colombia y del Comité Internacional de la Cruz Roja.

Así nuestro trabajo pretende ayudar a todas estas personas en su mayoría jóvenes de manera que nuestra prótesis sea una ayuda para que puedan vivir lo mejor posible y no tengan limitaciones debido a su amputación del pie.

Por otro lado, este trabajo también está relacionado con el objetivo número 10 “Reducción de las desigualdades”, ya que otro hecho importante de este trabajo es que queremos diseñar nuestra prótesis de manera que sean accesibles y asequibles para los campesinos colombianos que se encuentran en una situación muy desigual a la de las personas discapacitadas de los países denominados del primer mundo.

Por ello con nuestro proyecto queremos colaborar para que la vida de estas personas pueda mejorar y así ayudar a reducir las desigualdades entre las personas, de ahí que el precio de nuestras prótesis sea inferior al de las prótesis que se venden actualmente en el mercado y puedan adquirirla más fácilmente.

Por último, nos gustaría destacar la propuesta de que todas estas prótesis se puedan fabricar con el plástico que se recoge de las playas y los océanos, y así contribuir a reducir dicha problemática medioambiental.

En la actualidad existen varias instituciones que financian y llevan a cabo proyectos de esta índole, como por ejemplo, el proyecto Million Waves, mencionada en el Capítulo 2. Así mediante la recolección de desechos que son directamente vertidos a nuestros mares y océanos, o que bien son arrastrados hasta nuestras playas, se procesan para ser transformados en bobinas de plástico empleadas en la impresión 3D. Como dato a tener en cuenta podemos mencionar que con 30 botellas es posible crear una prótesis de pie o de mano.

Por todo esto, nos gustaría colaborar con este proyecto y sumarnos a dicha corriente de impresión con plástico reciclado, contribuyendo igualmente con el objetivo número 14 “Vida submarina”, favoreciendo así que nuestro proyecto sea más ecológico y respetuoso con el medio ambiente.



Figura 2. Continentes de plásticos, [LAVA20].

Anexo B: Presupuesto

Si bien el objetivo de este TFG es el diseño, desarrollo y optimización de una prótesis de pie, que no su fabricación, no está de más elaborar un presupuesto acerca del coste de diseño y fabricación de las prótesis calificadas como aceptables, véase de Tabla 2 a la Tabla 10, empleando para ello las técnicas de fabricación aditiva (o impresión 3D), moldeo por inyección de plástico y mecanizado CNC, el cual adjuntamos a continuación Tabla 1.

PRÓTESIS	Material	^(*) Coste diseño 3D y simulación (€)	^(***) Coste estimado fabricación impresión 3D (€)	^(****) Coste estimado fabricación inyección de plástico (€)	^(*****) Coste estimado fabricación mecanizado CNC (€)	^(**) COSTE MEDIO ESTIMADO TOTAL (€)
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	0	3381,37	NP	389,18	1885,28
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	0	3411,37	NP	419,18	1915,28
	PA6	0	1062,39	143,10	NP	602,75
	Aleación de Aluminio 6061-T6 (SS)	0	3871,13	NP	485,91	2178,52
	Aleación de Aluminio 7075-T6 (SS)	0	3914,22	NP	529,00	2221,61
	ABS	0	348,64	194,96	NP	271,80
	PA6	0	1876,77	215,68	NP	1046,23
	ABS	0	279,76	208,80	NP	244,28
	PA6	0	1419,23	221,01	NP	820,12





	ABS	0	225,38	177,69	NP	201,54
	PA6	0	869,53	218,85	NP	544,19
	ABS	0	187,93	189,14	NP	188,54
	PA6	0	999,97	216,91	NP	608,44
	ABS	0	188,50	189,71	NP	189,11
	PA6	0	1000,54	217,48	NP	609,01
	ABS	0	174,85	178,36	NP	176,61
	PA6	0	967,23	204,93	NP	586,08
	ABS	0	175,75	179,26	NP	177,51
	PA6	0	968,13	205,83	NP	586,98

Tabla 1. Presupuesto para el diseño y fabricación de las prótesis de pie.

(*)**Nota:** El coste del diseño y simulación 3D de las prótesis de pie ha sido estimado en 0 euros (coste nulo), teniendo en cuenta que teníamos acceso libre a la versión premium para estudiantes y docentes *SolidWorks Education Edition* que ICAI pone a disposición tanto del alumnado como del profesorado de manera completamente gratuita.

Si no fuera así, y tuviéramos en cuenta el precio del paquete *SolidWorks Premium*, el coste del diseño y simulación 3D de los pies protésicos ascendería a un total de 13200 euros (10950 euros la licencia de instalación y uso + 2250 euros la suscripción anual), véase [CIMW20].

(**) **Nota:** El coste medio estimado total del diseño y simulación 3D y fabricación de las prótesis se ha obtenido haciendo la media ponderada del coste de todas las tecnologías consideradas para la hipotética fabricación de cada una de las prótesis de estudio, asumiendo que el coste del diseño y simulación 3D de estas es nulo.

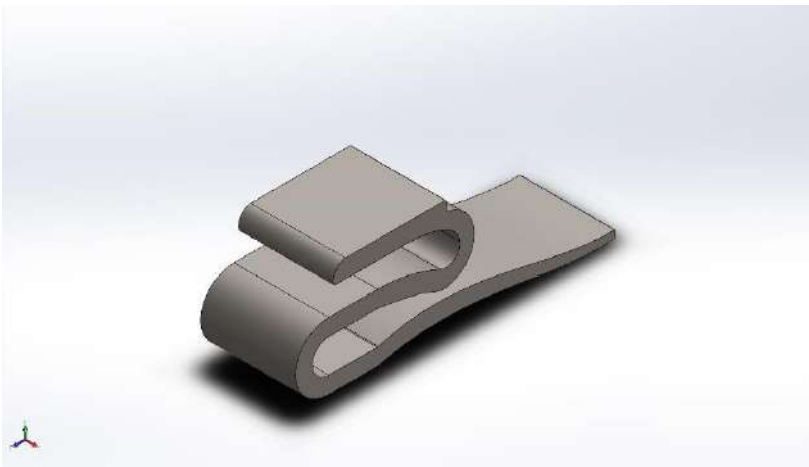
(***) **Nota:** El coste de fabricación mediante impresión 3D ha sido estimado gracias a la plataforma digital de fabricación online *3D HUBS*, véase [3DHU20], considerando el empleo de la tecnología DMLS para las aleaciones metálicas, concretamente las de aluminio, el uso del proceso FDM para el termoplástico ABS, y la utilización de la tecnología MJF para el termoplástico PA6, también conocido como Nailon. Para ello, basta con subir un archivo en formato *.obj, *.sldprt o *.stl de cada uno de los pies protésicos y, a continuación, seleccionar el tipo de material a emplear, así como determinados parámetros de impresión tales como la altura de capa, la densidad de la malla de relleno y la orientación de la pieza a imprimir.

(****) **Nota:** El coste de fabricación mediante moldeo por inyección de plástico ha sido estimado gracias a la plataforma digital de fabricación online *3D HUBS* véase [3DHU20] únicamente para las prótesis de pie diseñadas en materiales termoplásticos, concretamente en ABS y/o PA6, no así para aquellas diseñadas en materiales metálicos. Para ello, basta con subir un archivo en formato *.obj, *.sldprt o *.stl de cada de los pies protésicos correspondientes y, a continuación, seleccionar el tipo de plástico a emplear, así como determinados parámetros de fabricación tales como el tipo de molde (rápido o de producción), el acabado (rugosidad y tolerancias de acabado superficial) y el color de las piezas (por defecto o personalizado).

(*****) **Nota:** El coste de fabricación mediante mecanizado CNC ha sido estimado gracias a la plataforma digital de fabricación online *3D HUBS* véase [3DHU20] únicamente para las prótesis de pie diseñadas en materiales metálicos, concretamente en las aleaciones de aluminio 6061-T6 y 7075-T6, no así para aquellas diseñadas en materiales termoplásticos. Para ello, basta con subir un archivo en formato *.obj, *.sldprt o *.stl de cada de los pies protésicos correspondientes y, a continuación, seleccionar el tipo de material metálico a emplear, así como determinados parámetros de fabricación tales como el acabado de las piezas (rugosidad y tolerancias de acabado superficial) y el color de las mismas (por defecto o personalizado).

Anexo C: Simulaciones *SolidWorks*

A continuación, incluimos los informes de resultados de las simulaciones de las distintas prótesis de pie llevadas a cabo con *SolidWorks*.



Simulación de Prótesis_1

Fecha: domingo, 5 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P1-A1

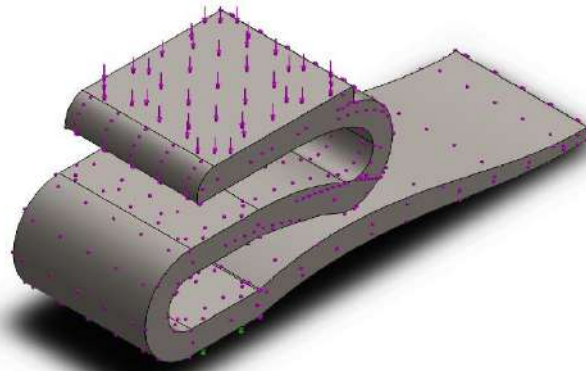
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Fuerzas resultantes	6
Resultados del estudio	7




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_1 	Sólido	Masa:4,6723 kg Volumen:0,00060671 m ³ Densidad:7.701,05 kg/m ³ Peso:45,7886 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_1.SLDPRT Nov 26 12:40:06 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P1-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades


Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

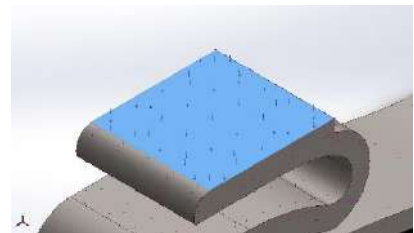


Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Acero aleado (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 6,20422e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,1e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,28</p> <p>Densidad: 7.700 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,9e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin</p>	Sólido 1(Escala1)(Prótesis_1)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00274551	613,132	-0,00562048	613,132
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 613,125 N</p>



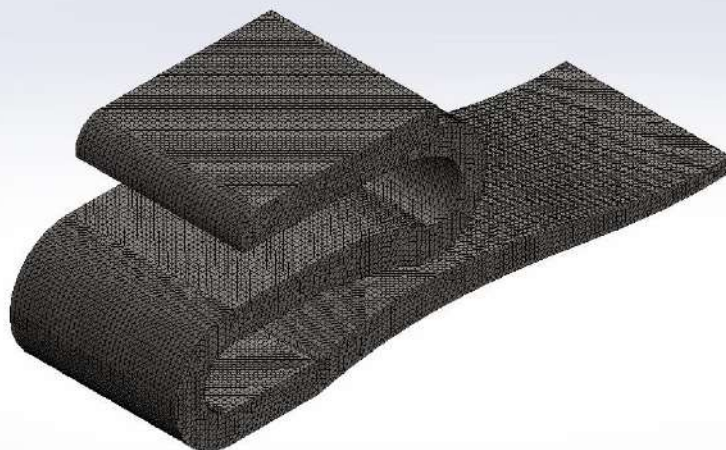
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	8,46818 mm
Tolerancia	0,423409 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	591557
Número total de elementos	407434
Cociente máximo de aspecto	10,34
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,000491
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:17
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A1(-Predefinido-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

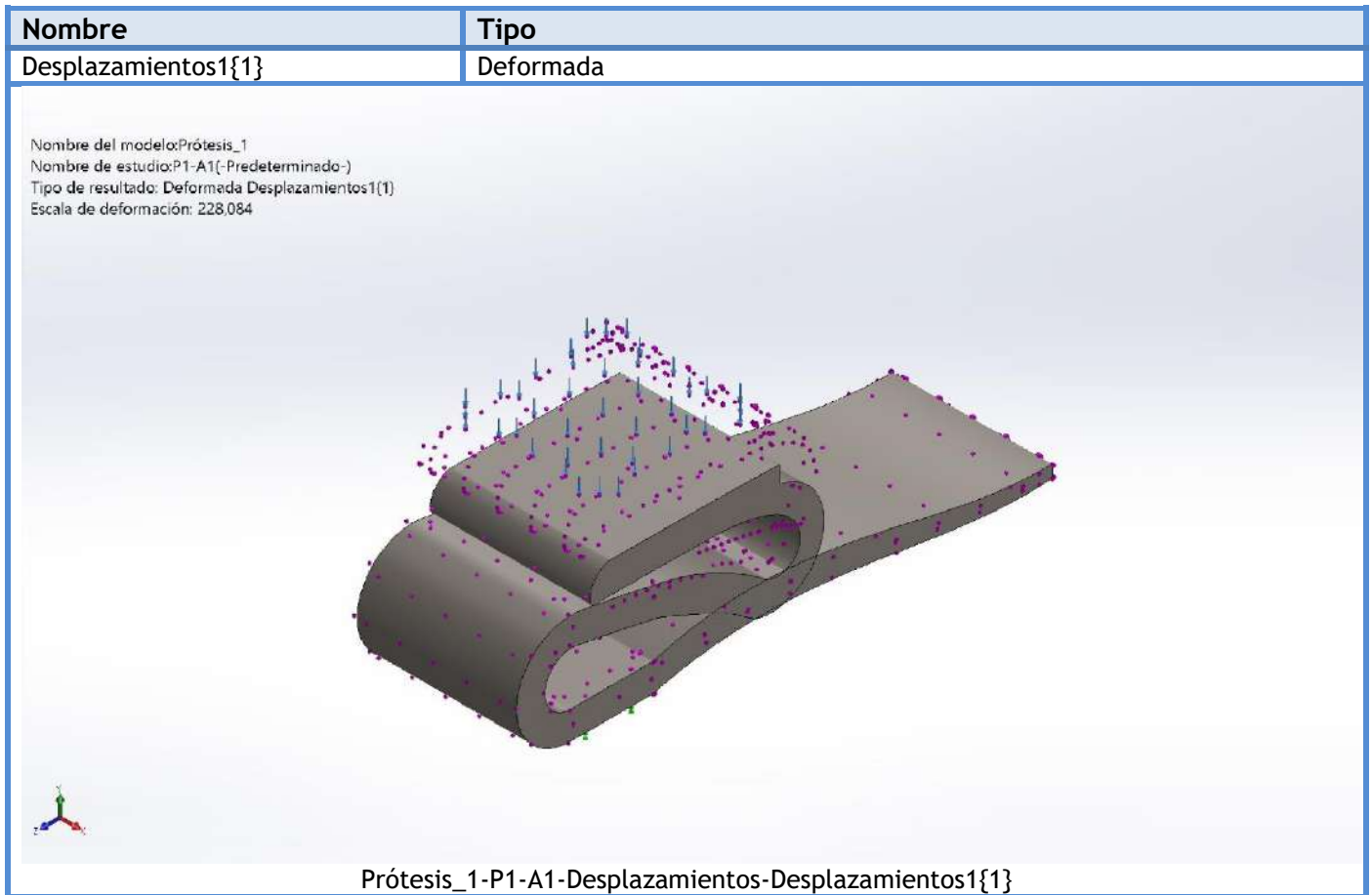
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00274551	613,132	-0,00562048	613,132

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

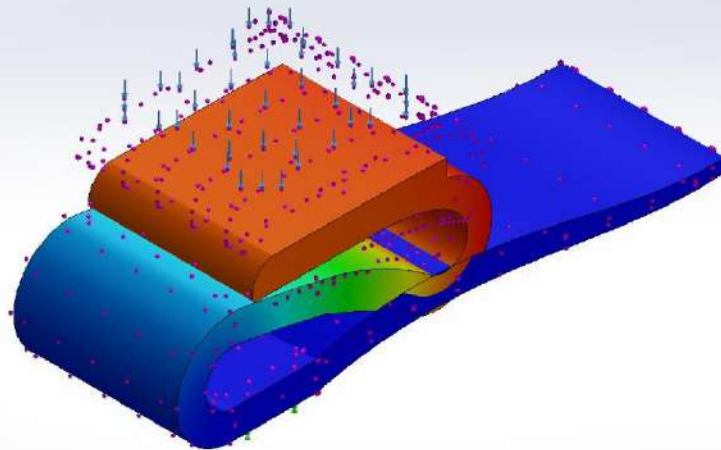


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 13587	1,196e-01 mm Nodo: 1347



Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 228,084

URES (mm)

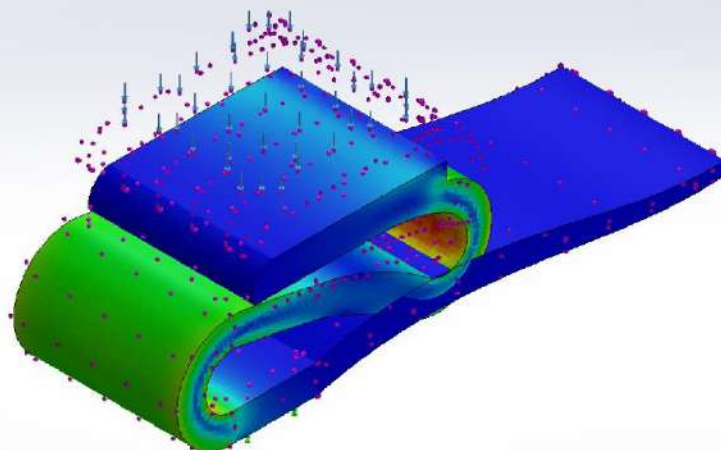


Prótesis_1-P1-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,141e-14 Elemento: 22025	9,148e-05 Elemento: 29698

Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 228,084

ESTRN

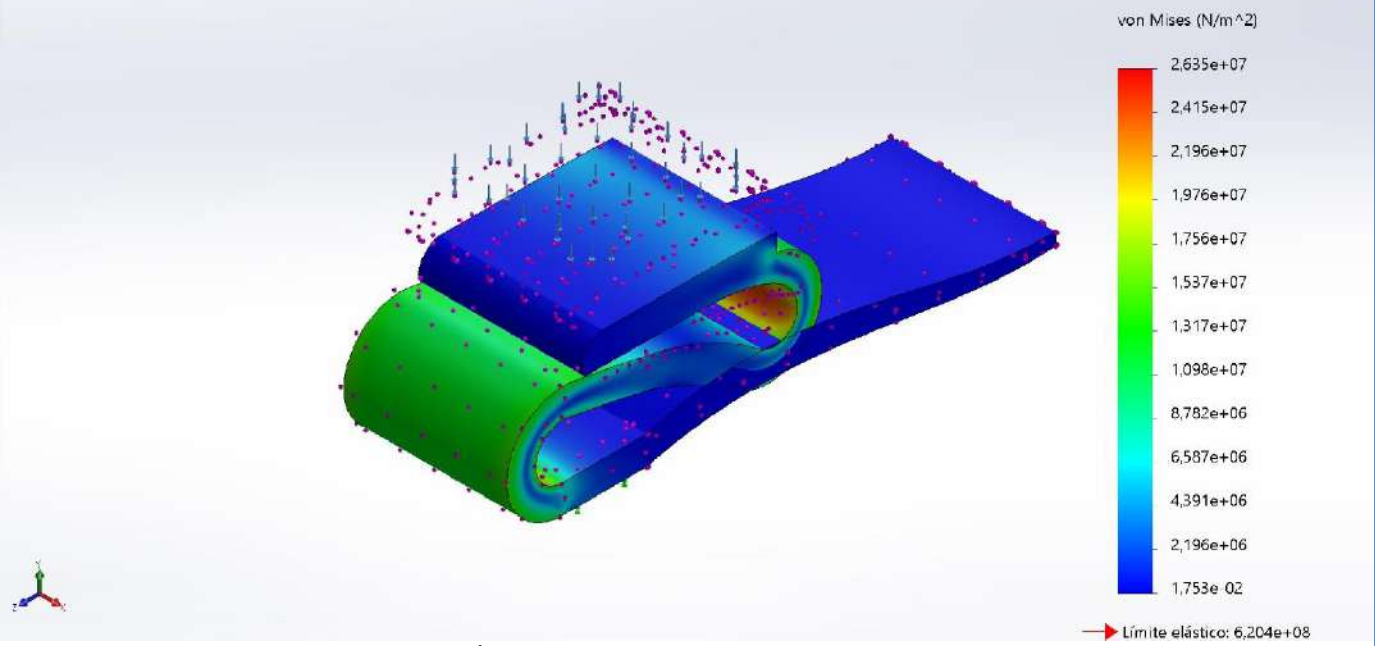


Prótesis_1-P1-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,753e-02 N/m ² Nodo: 546755	2,635e+07 N/m ² Nodo: 575552

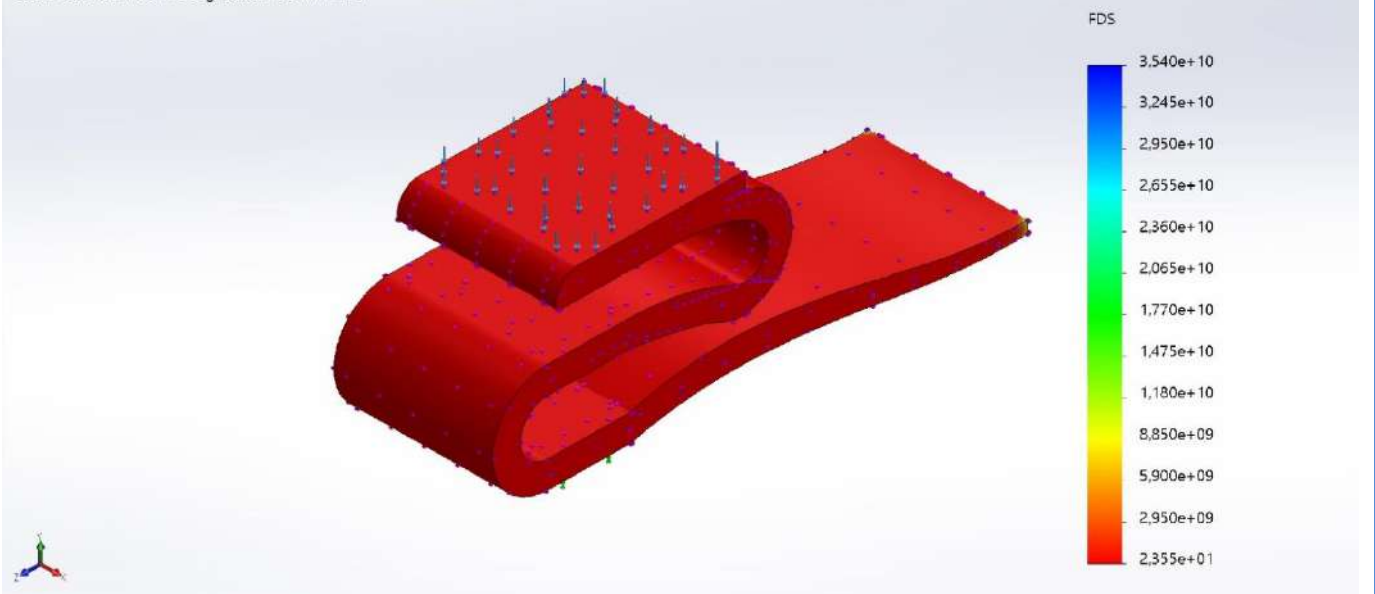
Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 228,084



Prótesis_1-P1-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2,355e+01 Nodo: 575552	3,540e+10 Nodo: 546755

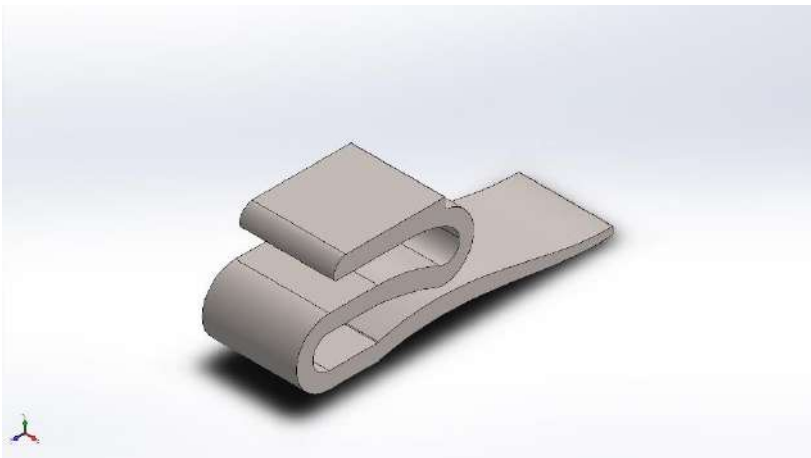
Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 24



Prótesis_1-P1-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_1

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P1-A2

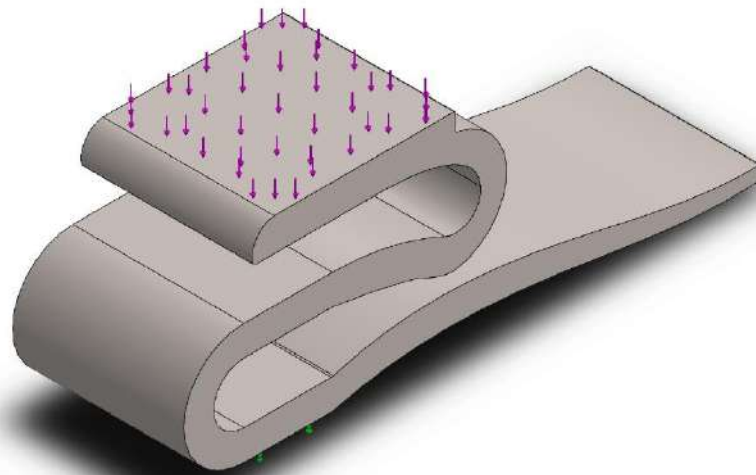
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_1 	Sólido	Masa:2,82159 kg Volumen:0,00060671 m ³ Densidad:4.650,63 kg/m ³ Peso:27,6515 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_1.SLDPRT Nov 26 12:40:06 2019



Propiedades de estudio

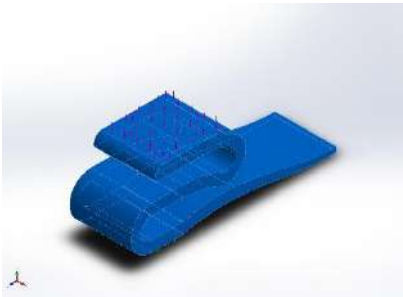
Nombre de estudio	P1-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

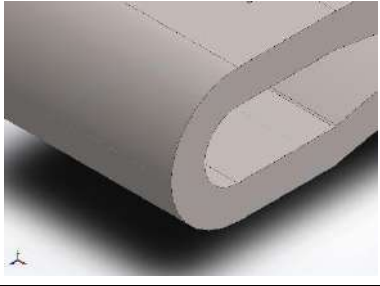


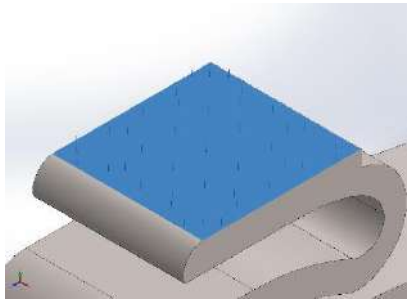
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_1)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,0209464	613,13	-0,0138559	613,13
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		

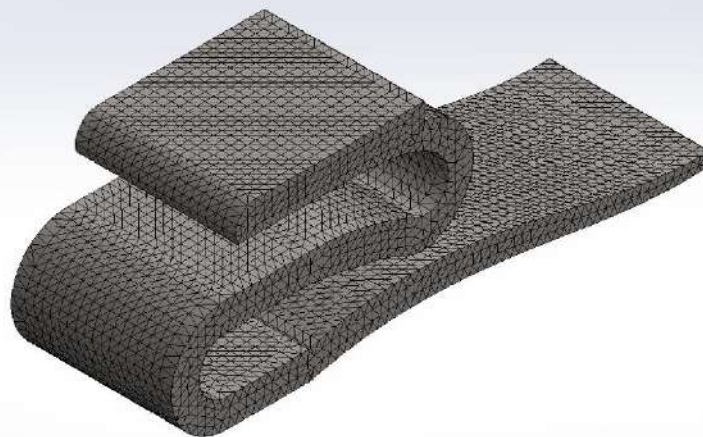
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,23409 mm
Tolerancia	0,211705 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	85882
Número total de elementos	55148
Cociente máximo de aspecto	21,664
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,116
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

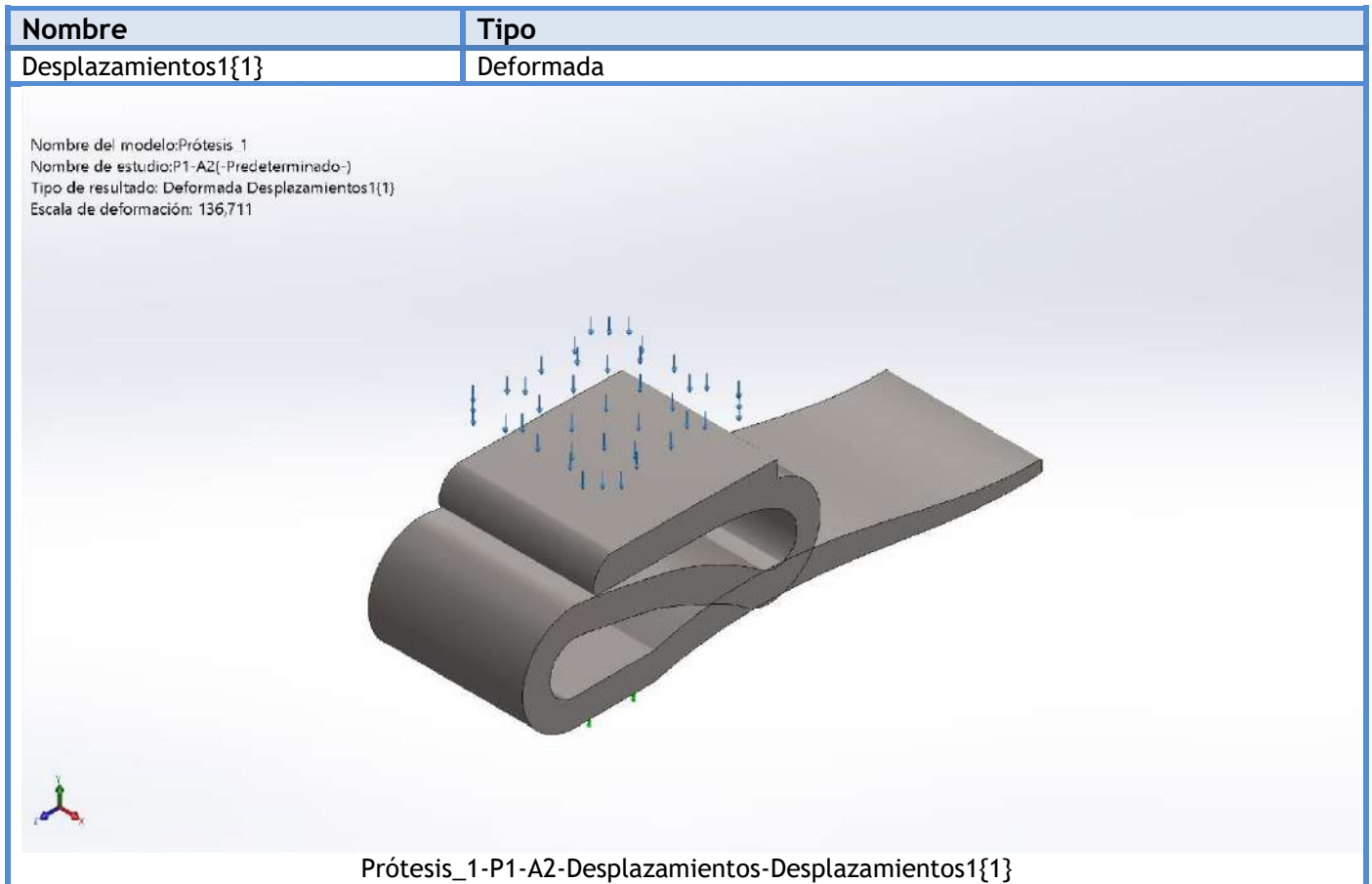
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0209464	613,13	-0,0138559	613,13

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



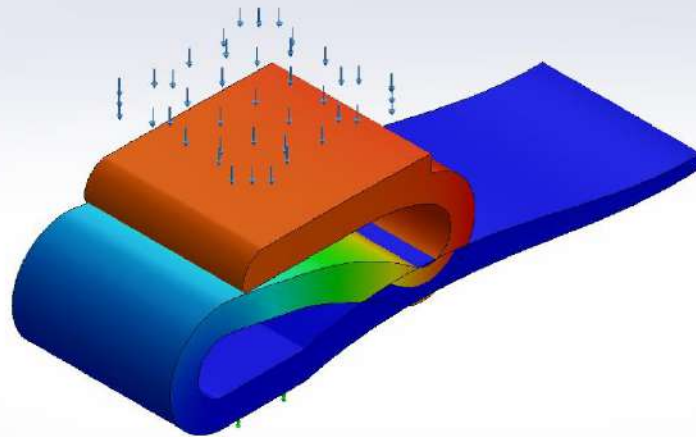
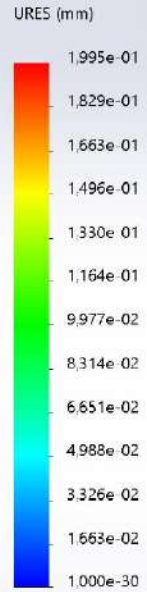
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 3537	1,995e-01 mm Nodo: 343



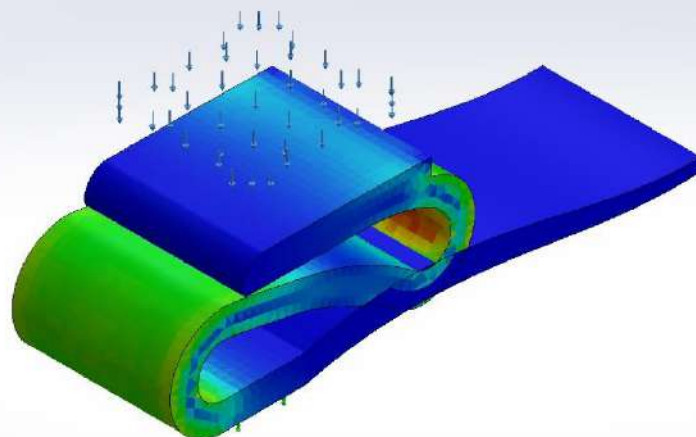
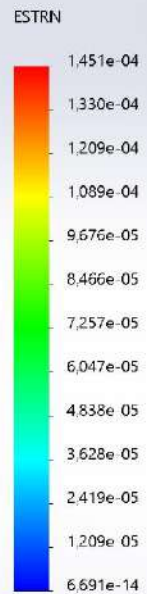
Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 136,711



Prótesis_1-P1-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6,691e-14 Elemento: 49312	1,451e-04 Elemento: 31831

Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 136,711

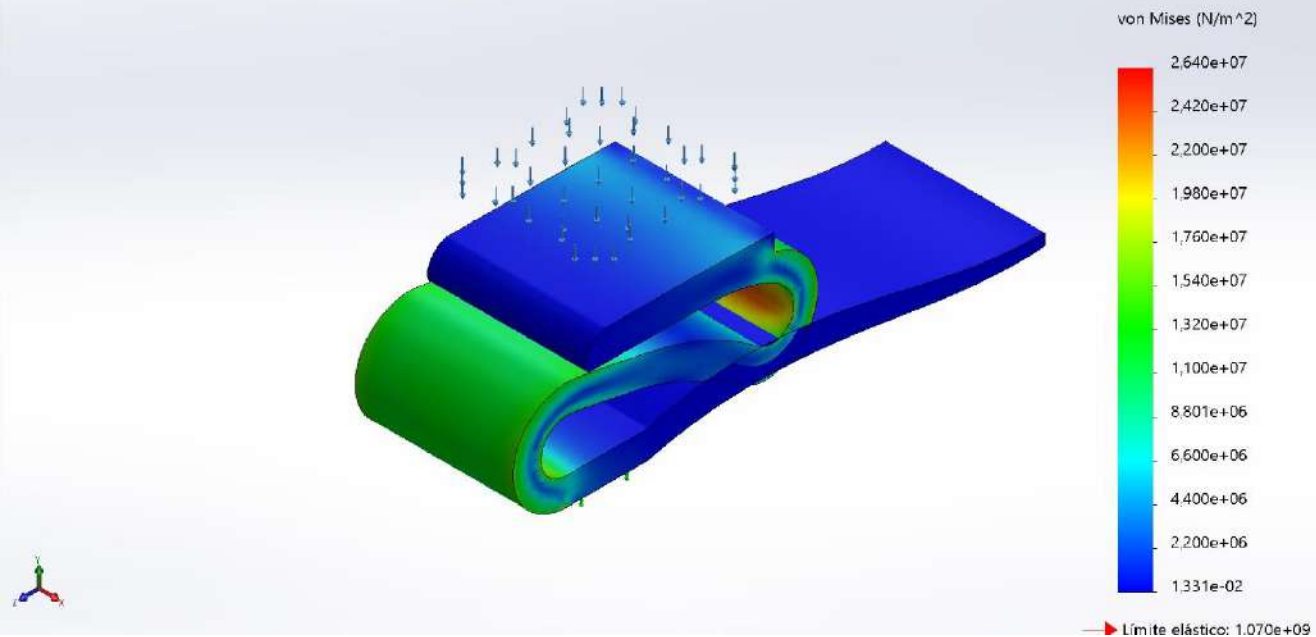


Prótesis_1-P1-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,331e-02 N/m ² Nodo: 45935	2,640e+07 N/m ² Nodo: 81580

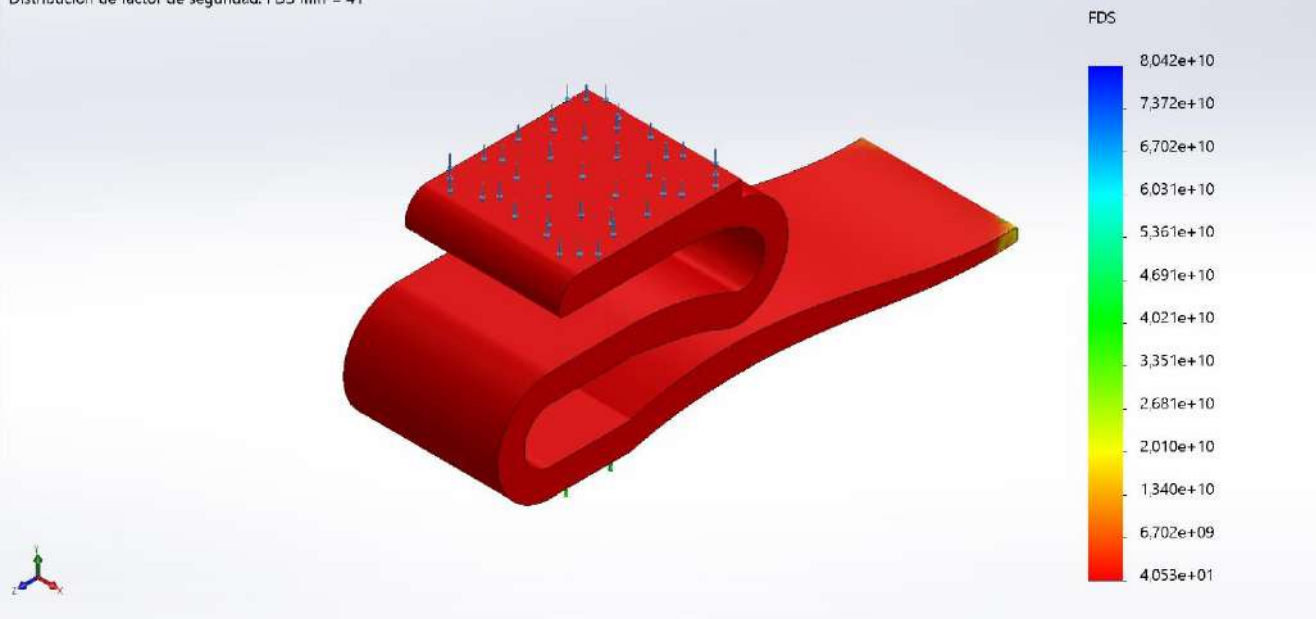
Nombre del modelo: Prótesis 1
Nombre de estudio: P1-A2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 136,711



Prótesis_1-P1-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	4,053e+01 Nodo: 81580	8,042e+10 Nodo: 45935

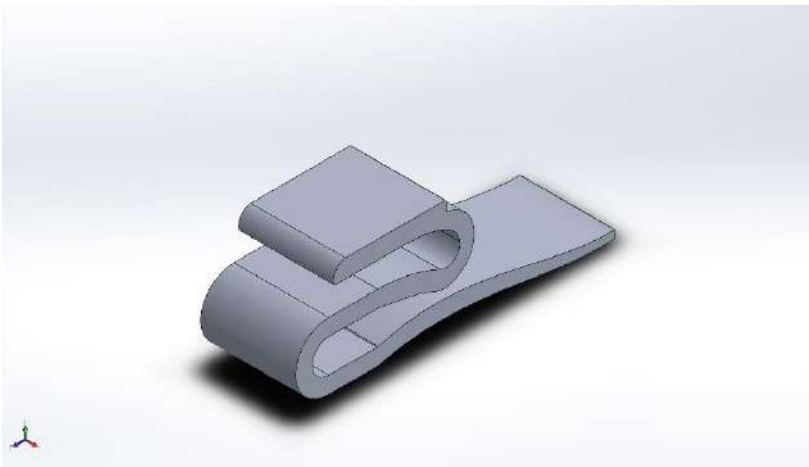
Nombre del modelo: Prótesis 1
Nombre de estudio: P1-A2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 41



Prótesis_1-P1-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_1

Fecha: domingo, 5 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P1-A3

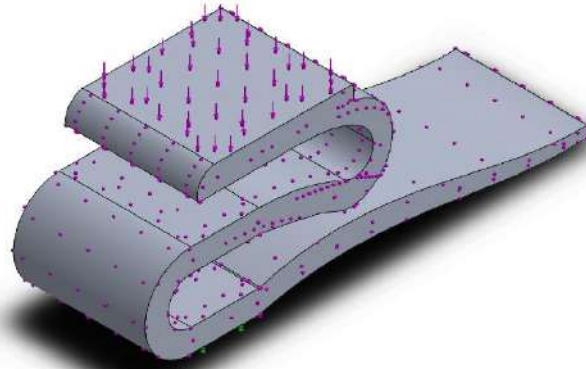
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	4
Información de malla	5
Fuerzas resultantes	6
Resultados del estudio	7




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_1 	Sólido	Masa: 1,63834 kg Volumen: 0,00060671 m ³ Densidad: 2.700,37 kg/m ³ Peso: 16,0557 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_1.SLDPRT Nov 26 12:40:06 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P1-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

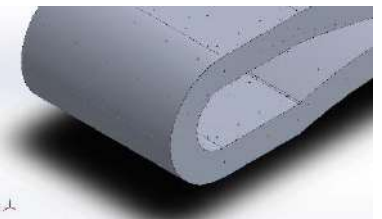
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: 6061-T6 (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 2,75e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3,1e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 6,9e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 2.700 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 2,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin</p>	Sólido 1(Escala1)(Prótesis_1)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00933099	613,114	-0,00477266	613,114
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s)</p> <p>Tipo: Aplicar fuerza normal</p> <p>Valor: 613,125 N</p>



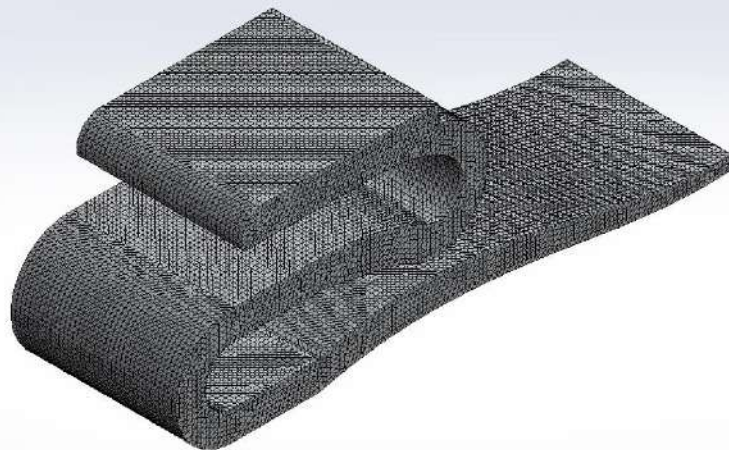
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	8,46818 mm
Tolerancia	0,423409 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	591557
Número total de elementos	407434
Cociente máximo de aspecto	10,34
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,9
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,000491
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:17
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A3(-Predefinido-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

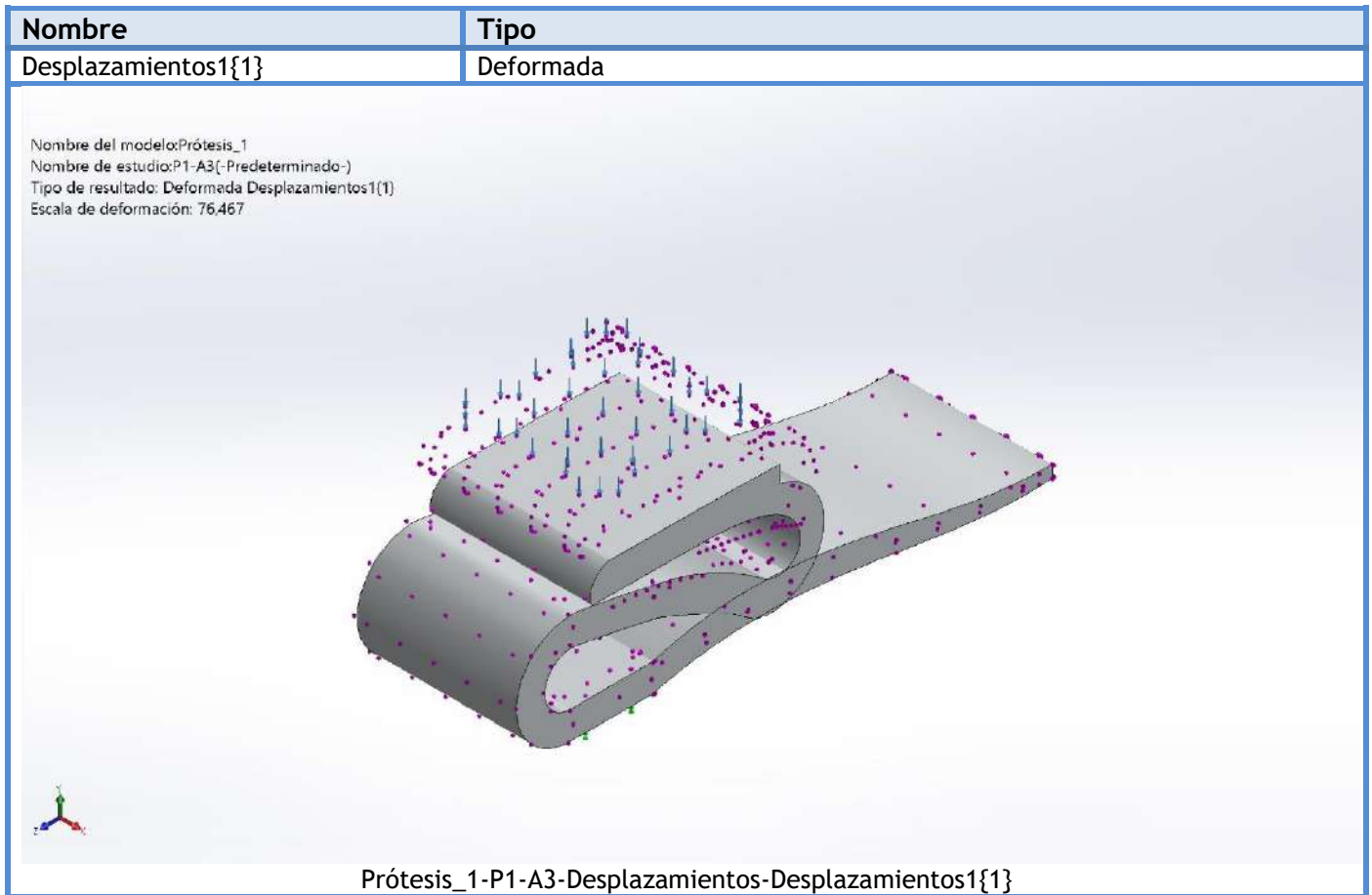
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00933099	613,114	-0,00477266	613,114

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



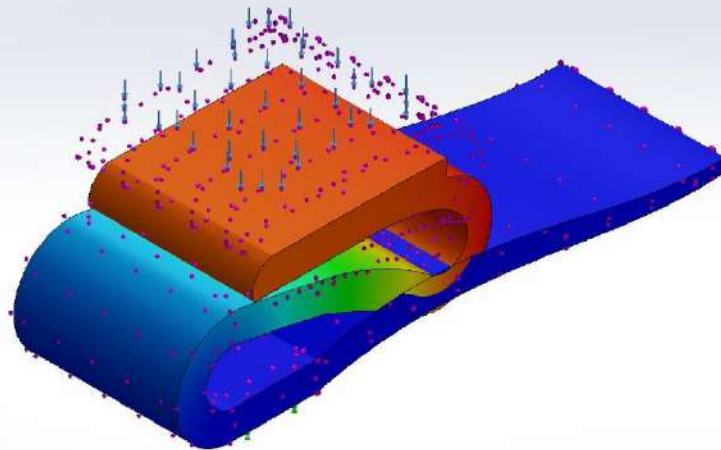
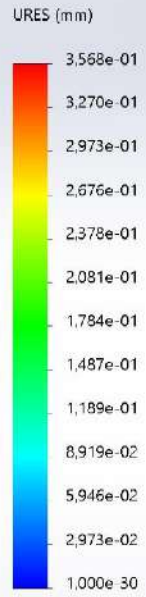
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 13587	3,568e-01 mm Nodo: 1347



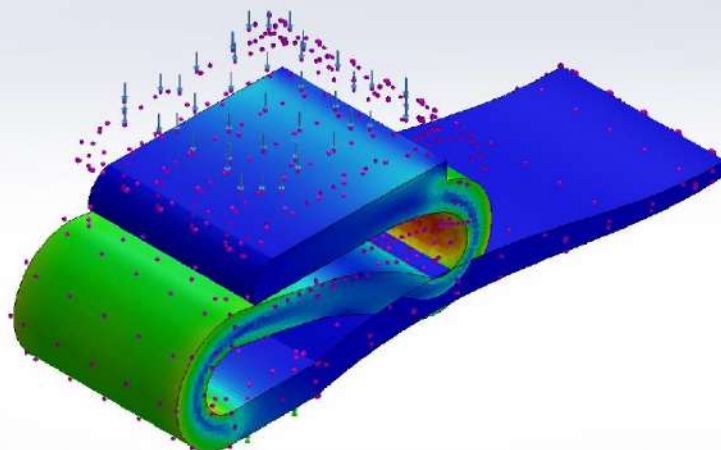
Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 76.467



Prótesis_1-P1-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,877e-13 Elemento: 22025	2,871e-04 Elemento: 29698

Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 76.467

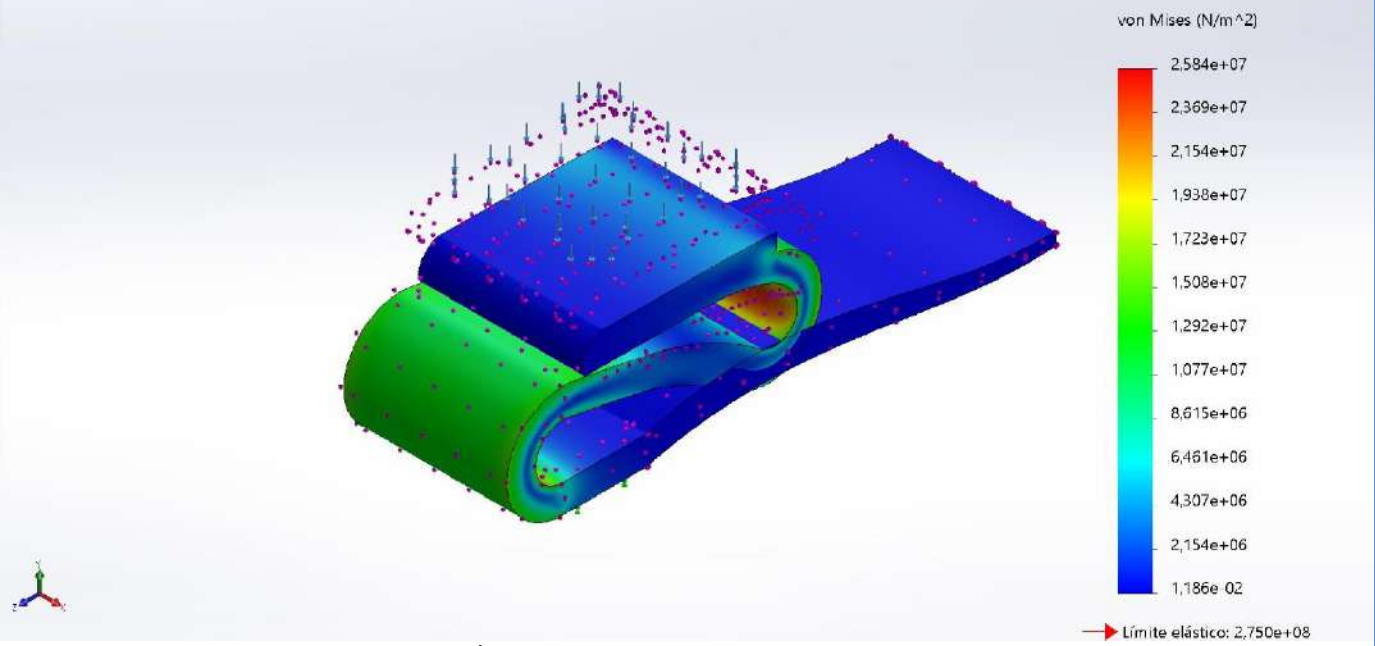


Prótesis_1-P1-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,186e-02 N/m ² Nodo: 546746	2,584e+07 N/m ² Nodo: 575554

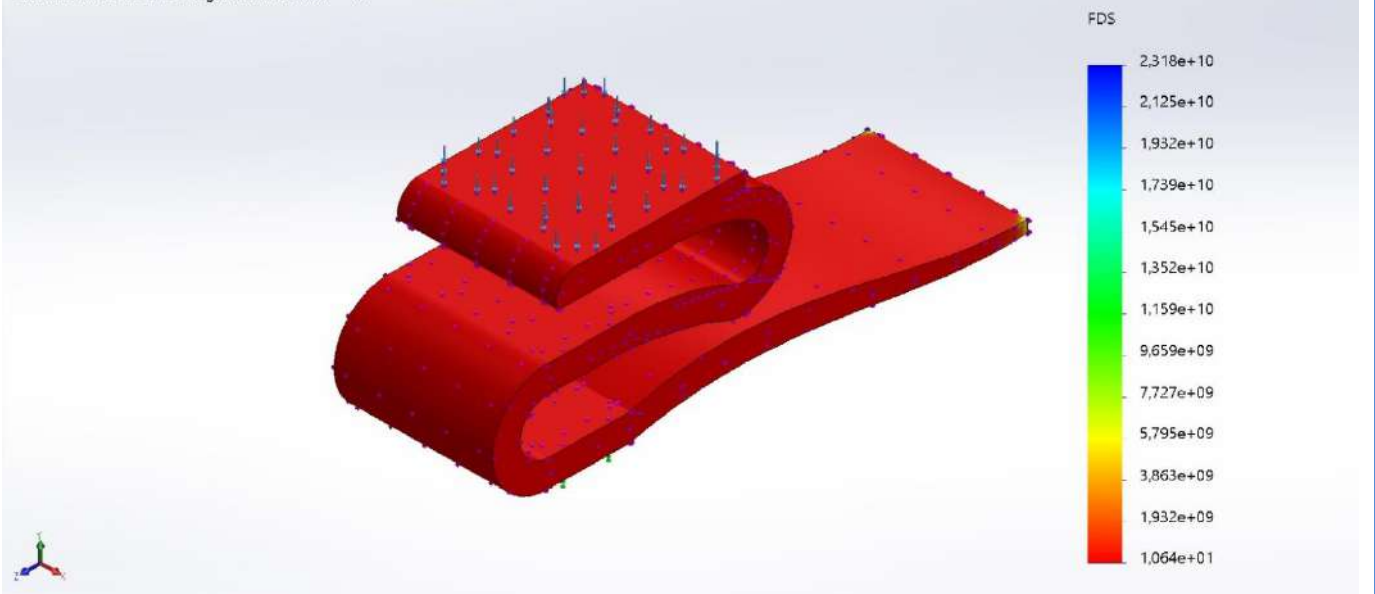
Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 76,467



Prótesis_1-P1-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,064e+01 Nodo: 575554	2,318e+10 Nodo: 546746

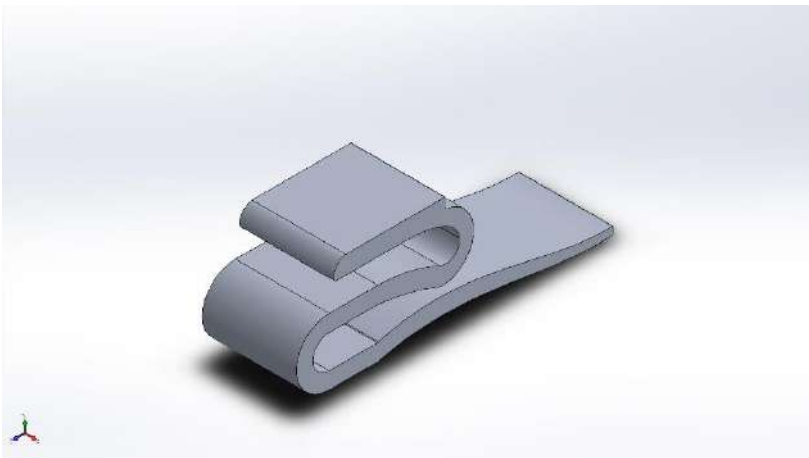
Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 11



Prótesis_1-P1-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_1

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P1-A4

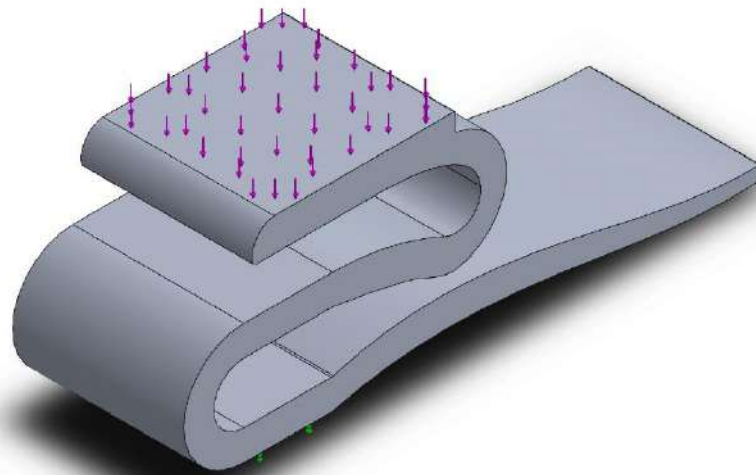
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_1 	Sólido	Masa:1,70509 kg Volumen:0,00060671 m ³ Densidad:2.810,38 kg/m ³ Peso:16,7099 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_1.SLDPRT Nov 26 12:40:06 2019



Propiedades de estudio

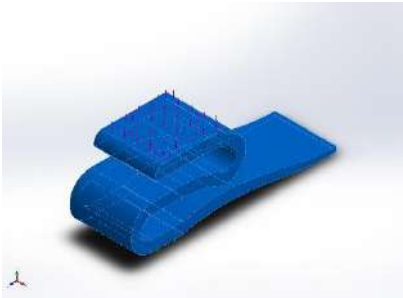
Nombre de estudio	P1-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

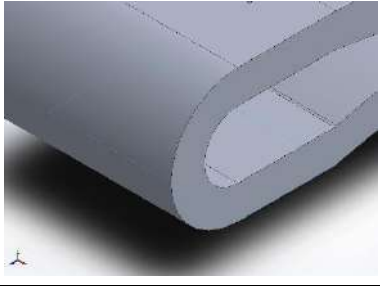


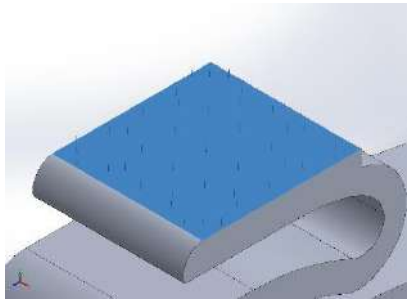
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_1)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,0209464	613,13	-0,0138559	613,13
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



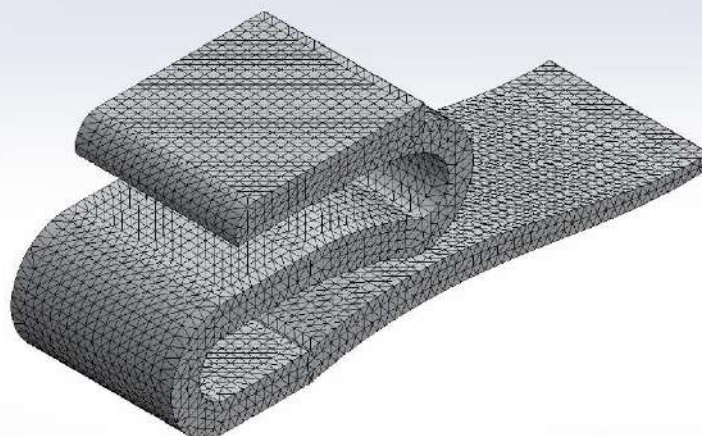
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,23409 mm
Tolerancia	0,211705 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	85882
Número total de elementos	55148
Cociente máximo de aspecto	21,664
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,116
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A4(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

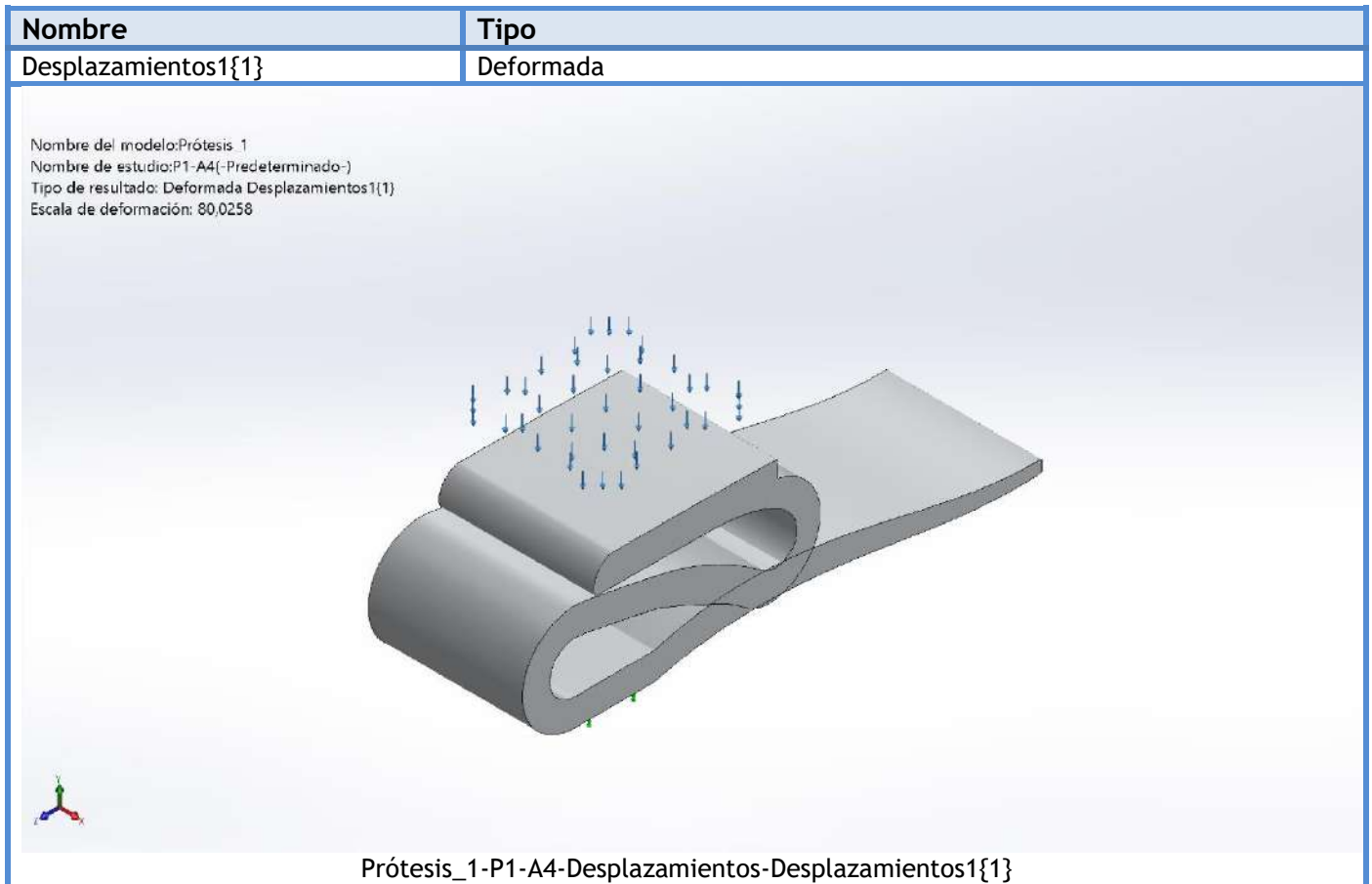
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0209464	613,13	-0,0138559	613,13

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

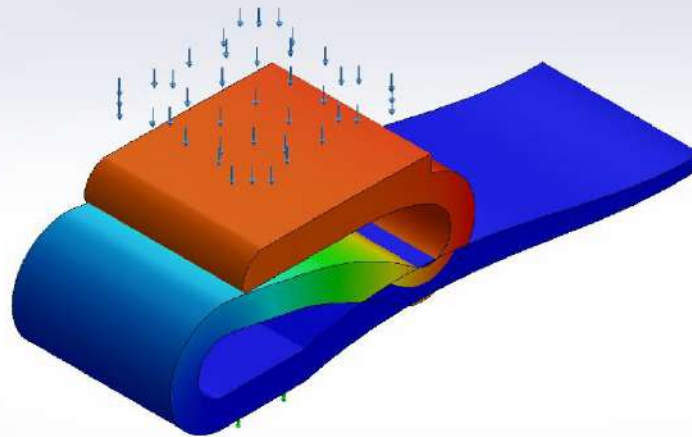
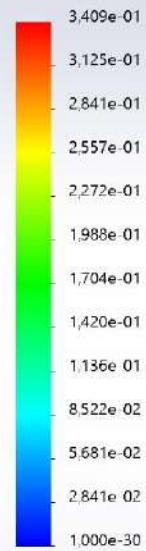


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 3537	3,409e-01 mm Nodo: 343



Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A4(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 80,0258

URES (mm)

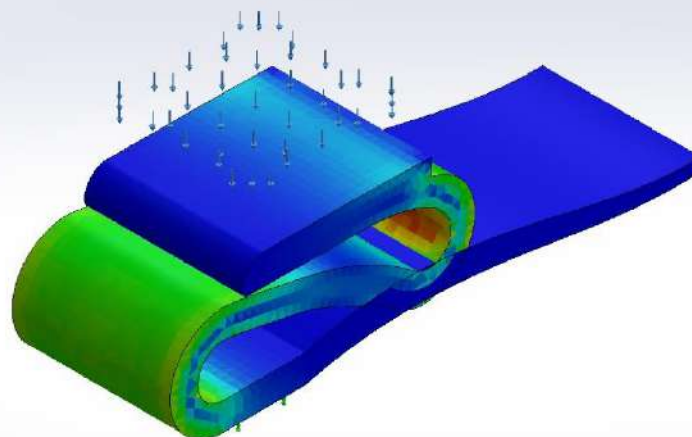


Prótesis_1-P1-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,143e-13 Elemento: 49312	2,479e-04 Elemento: 31831

Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A4(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 80,0258

ESTRN

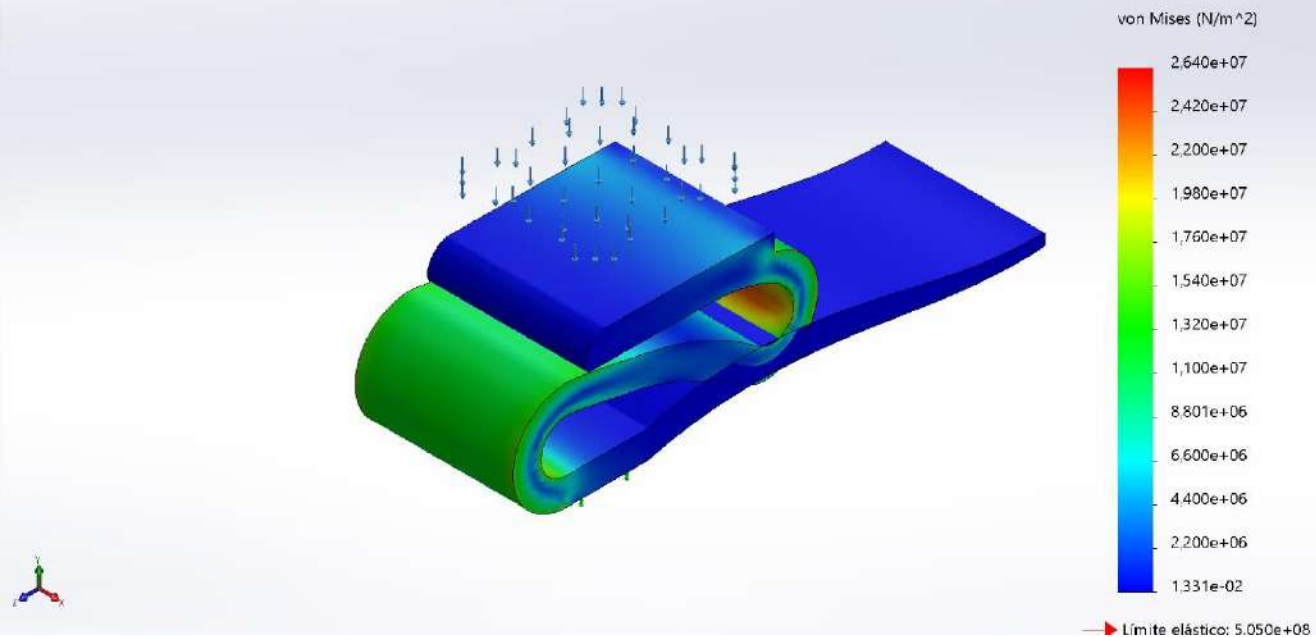


Prótesis_1-P1-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,331e-02 N/m ² Nodo: 45935	2,640e+07 N/m ² Nodo: 81580

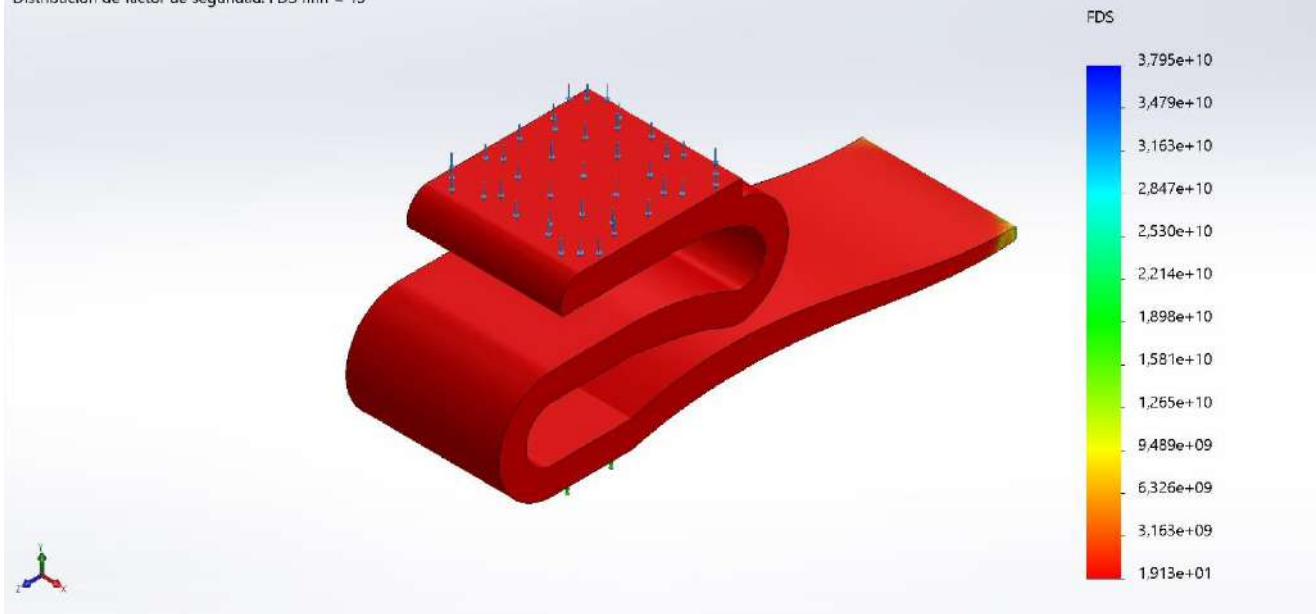
Nombre del modelo: Prótesis 1
Nombre de estudio: P1-A4(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 80,0258



Prótesis_1-P1-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,913e+01 Nodo: 81580	3,795e+10 Nodo: 45935

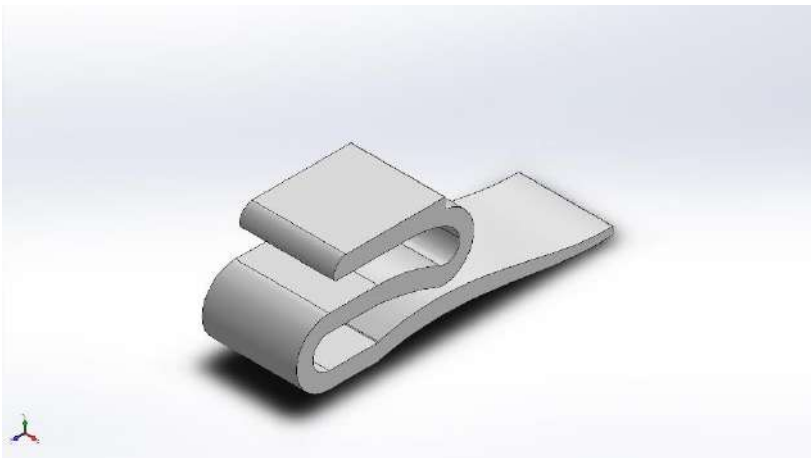
Nombre del modelo: Prótesis 1
Nombre de estudio: P1-A4(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 19



Prótesis_1-P1-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_1

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P1-A5

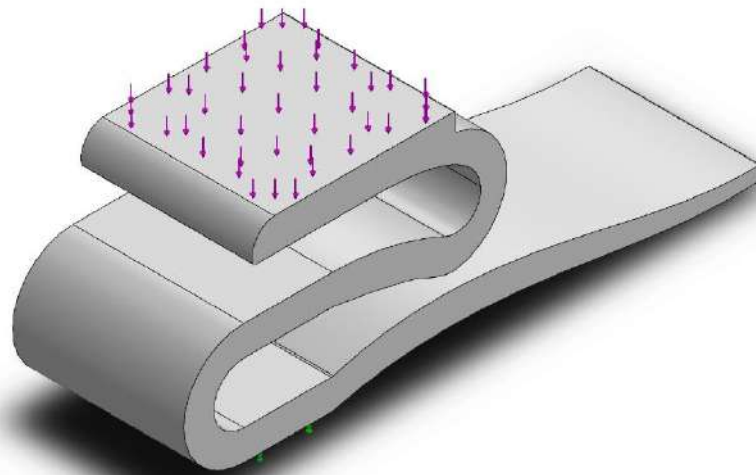
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_1 	Sólido	Masa:0,637132 kg Volumen:0,00060671 m ³ Densidad:1.050,14 kg/m ³ Peso:6,2439 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_1.SLDPRT Nov 26 12:40:06 2019



Propiedades de estudio

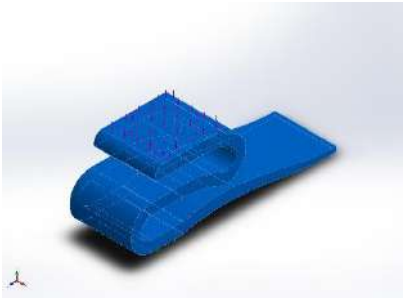
Nombre de estudio	P1-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

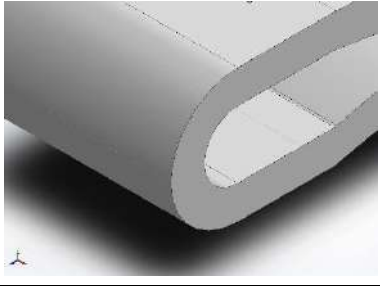


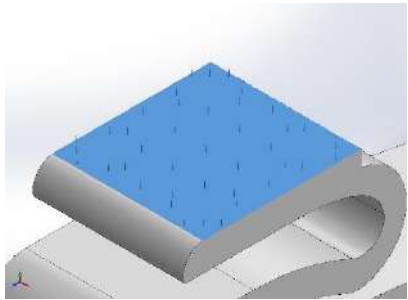
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_1)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00213897	613,125	0,000844955	613,125
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



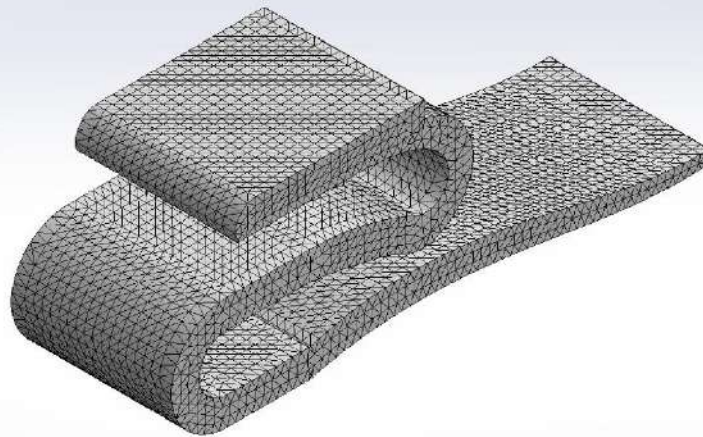
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,23409 mm
Tolerancia	0,211705 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	85882
Número total de elementos	55148
Cociente máximo de aspecto	21,664
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,116
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A5 (-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00213897	613,125	0,000844955	613,125

Momentos de reacción

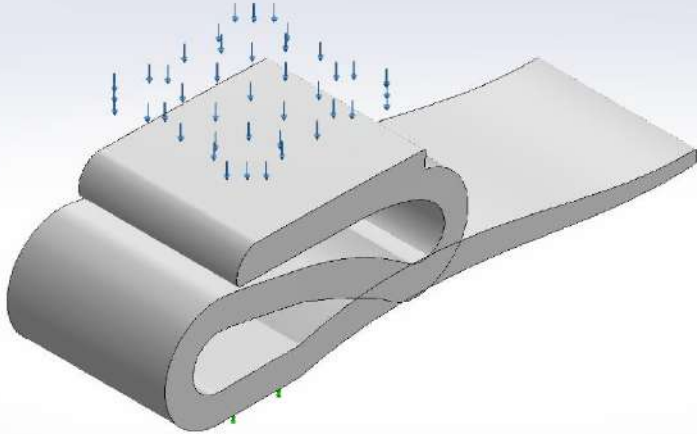
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Prótesis 1
 Nombre de estudio: P1-A5 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 2,56197



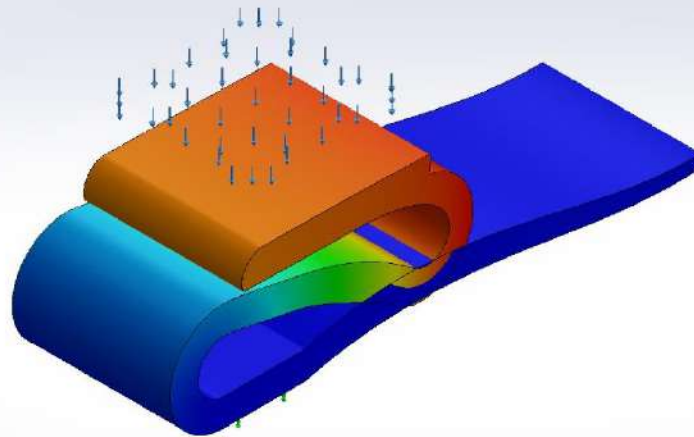
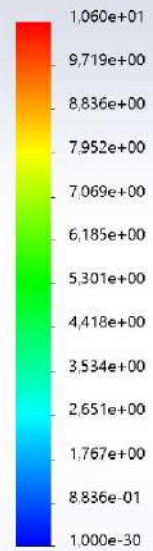
Prótesis_1-P1-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 3537	1,060e+01 mm Nodo: 343



Nombre del modelo:Prótesis_1
 Nombre de estudio:P1-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 2,56197

URES (mm)

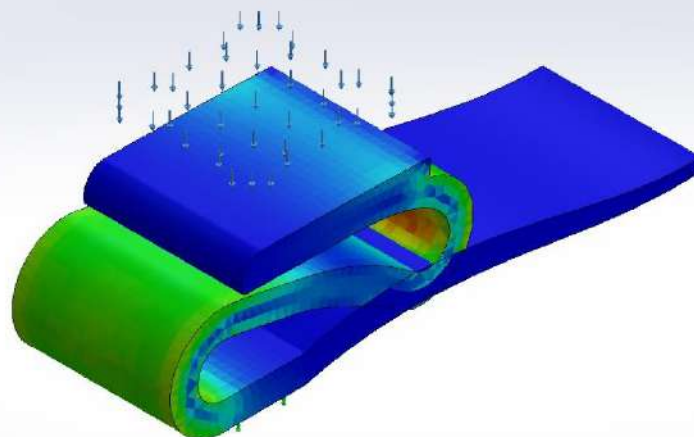
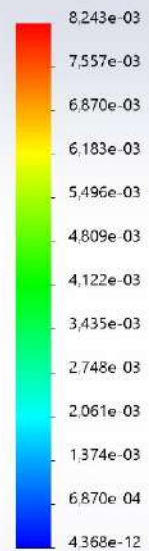


Prótesis_1-P1-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4,368e-12 Elemento: 9812	8,243e-03 Elemento: 42503

Nombre del modelo:Prótesis_1
 Nombre de estudio:P1-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 2,56197

ESTRN

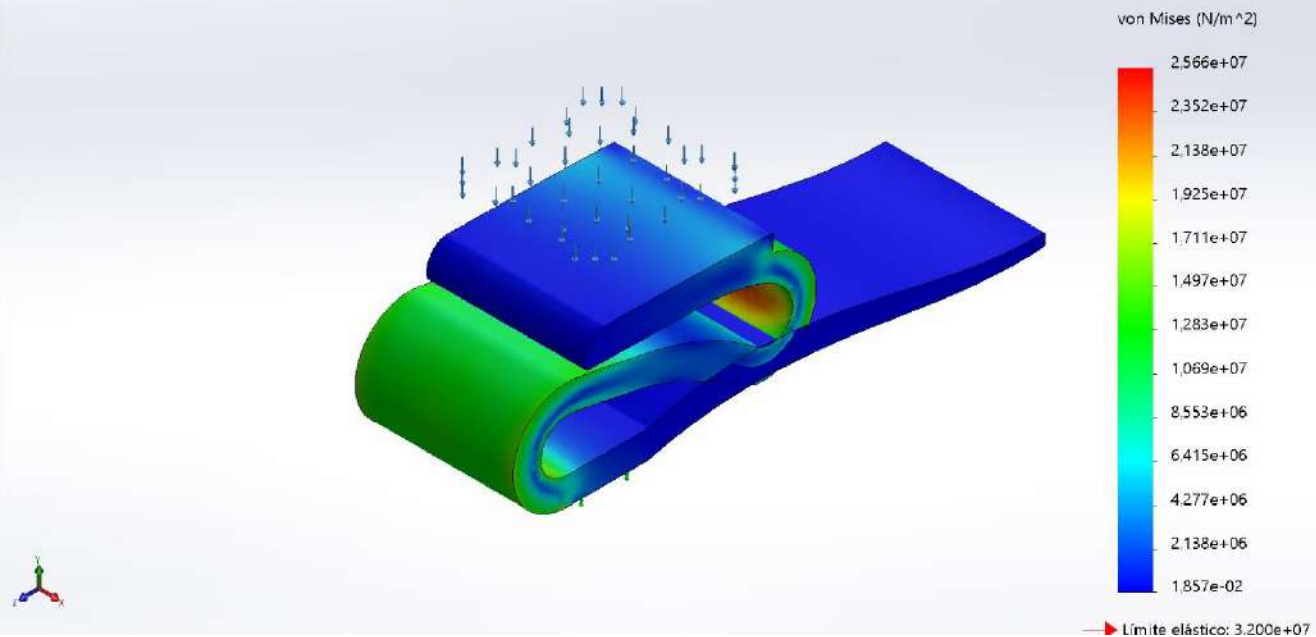


Prótesis_1-P1-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,857e-02 N/m ² Nodo: 68084	2,566e+07 N/m ² Nodo: 81580

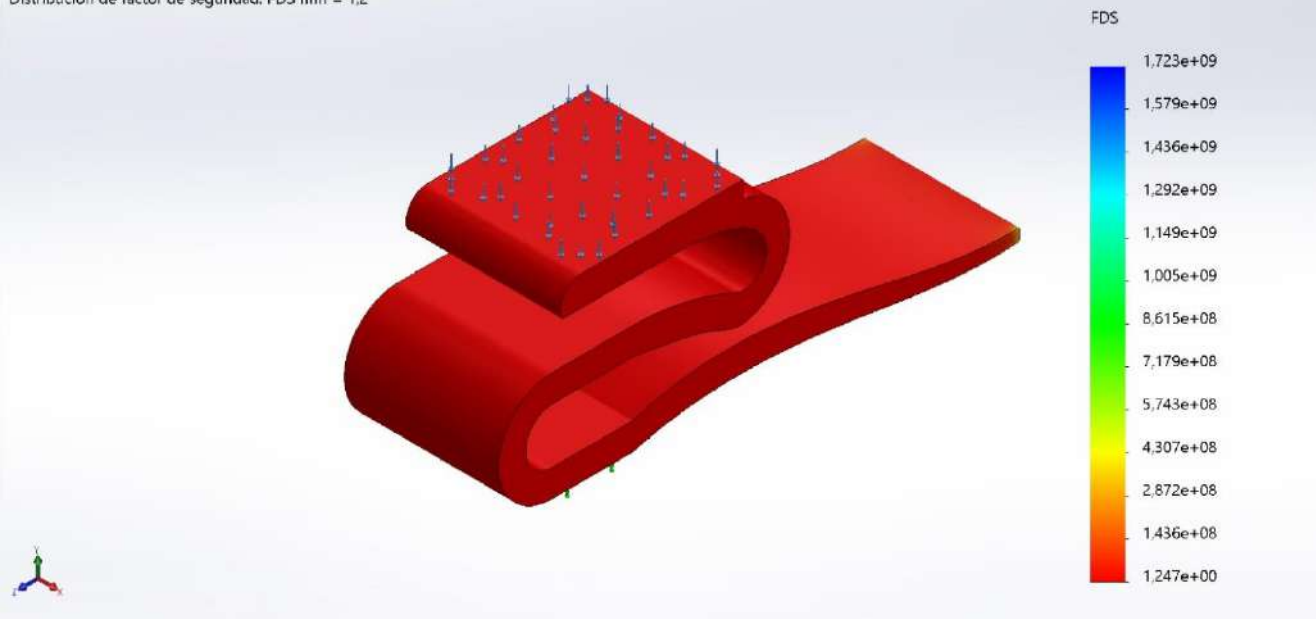
Nombre del modelo: Prótesis 1
Nombre de estudio: P1-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 2,56197



Prótesis_1-P1-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,247e+00 Nodo: 81580	1,723e+09 Nodo: 68084

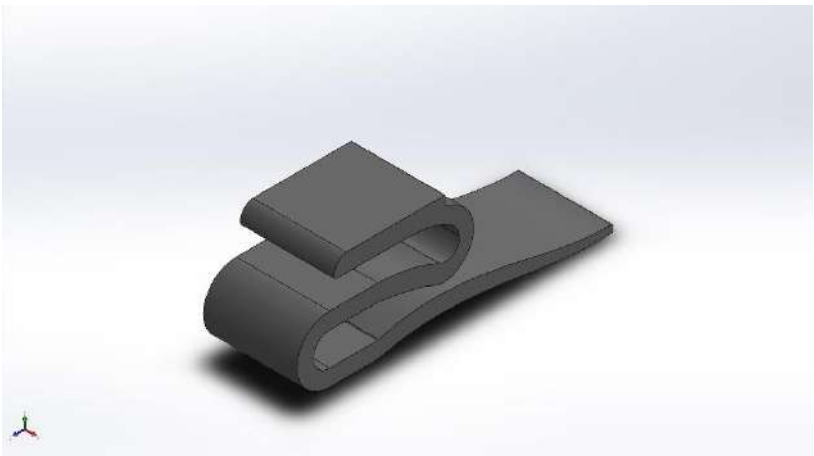
Nombre del modelo: Prótesis 1
Nombre de estudio: P1-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,2



Prótesis_1-P1-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_1

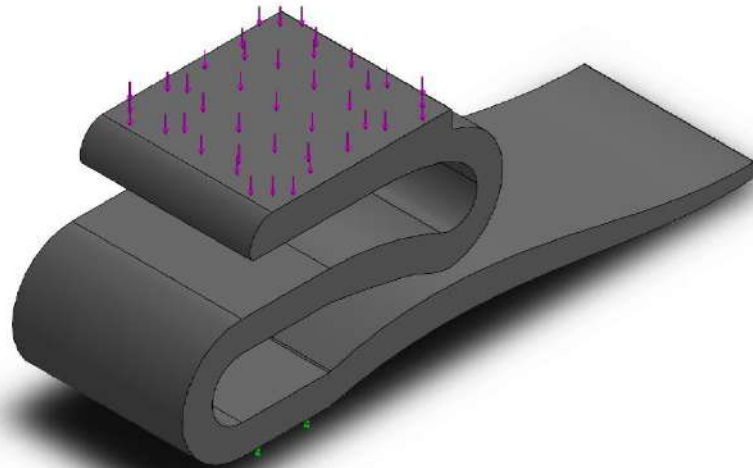
Fecha: viernes, 17 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P1-A6
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_1
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_1 	Sólido	Masa:0,691744 kg Volumen:0,00060671 m ³ Densidad:1.140,15 kg/m ³ Peso:6,77909 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_1.SLDPRT Nov 26 12:40:06 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P1-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

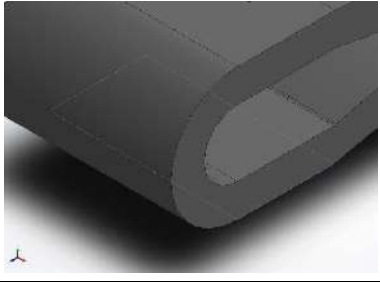


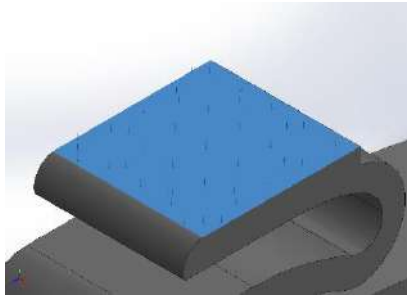
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_1)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00144732	613,126	-0,00299454	613,126
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



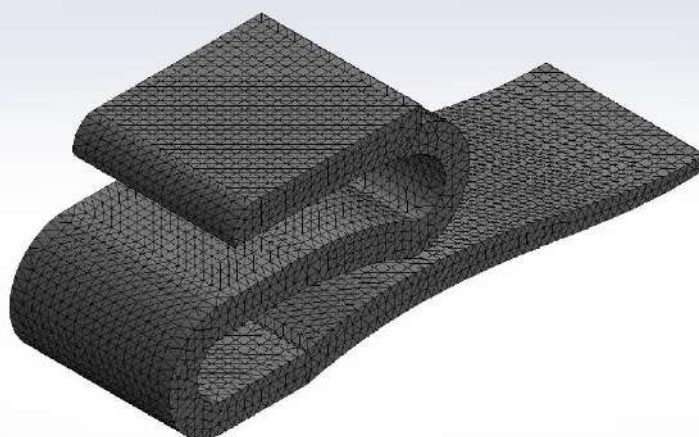
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,23409 mm
Tolerancia	0,211705 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	85882
Número total de elementos	55148
Cociente máximo de aspecto	21,664
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,116
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_1
 Nombre de estudio: P1-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

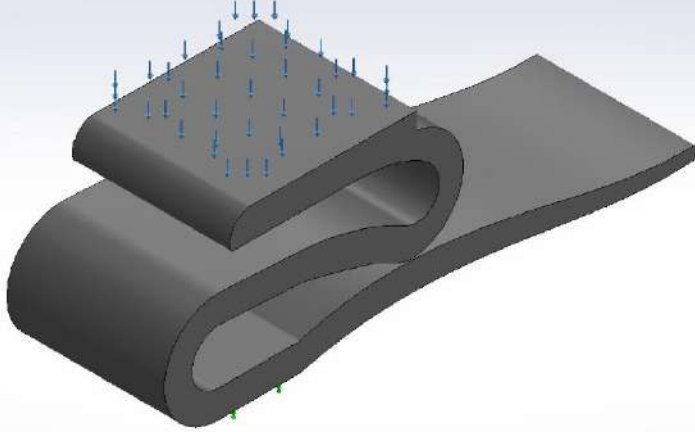
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00144732	613,126	-0,00299454	613,126

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



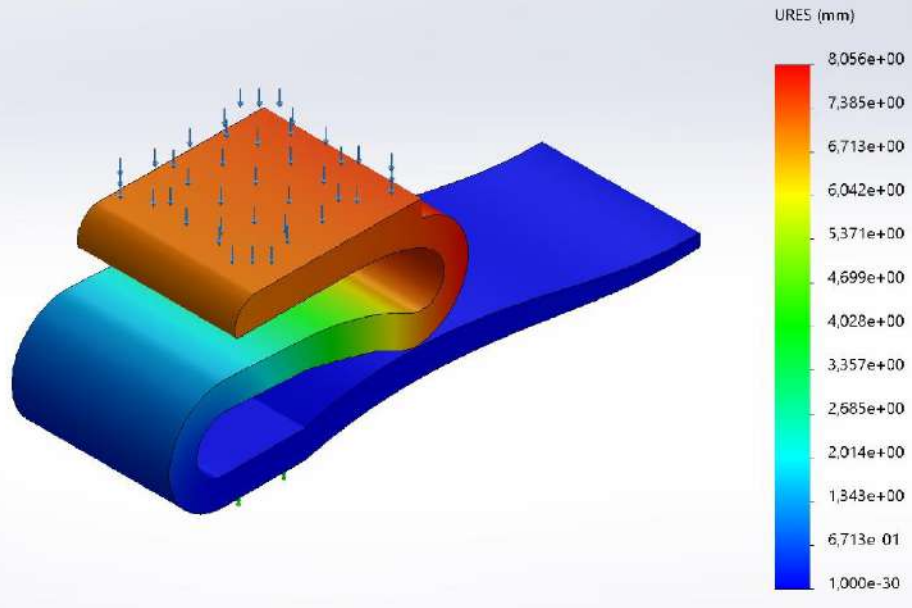
Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada
<p>Nombre del modelo: Prótesis_1 Nombre de estudio: P1-A6(-Predeterminado-) Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1} Escala de deformación: 1</p>  <p>Prótesis_1-P1-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}</p>	

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 3537	8,056e+00 mm Nodo: 343



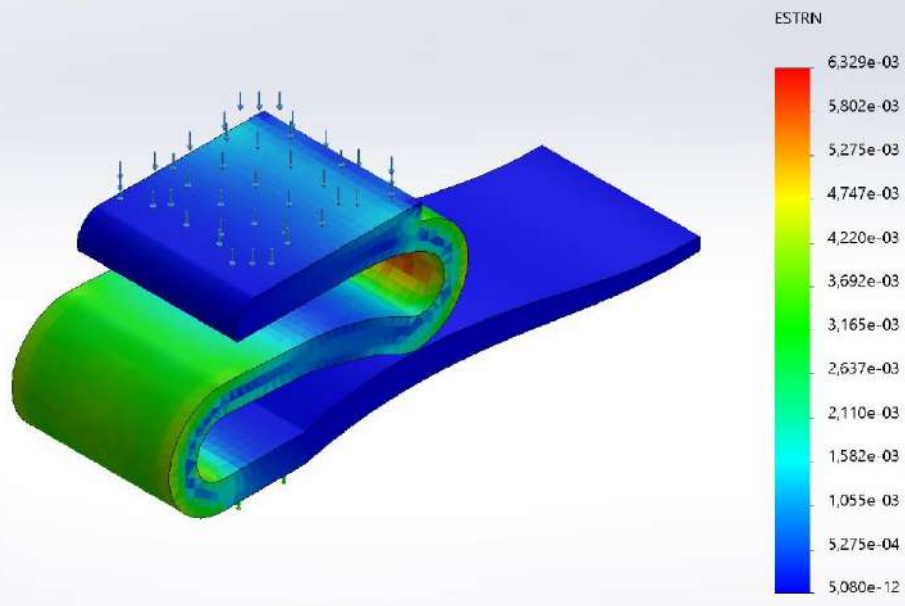
Nombre del modelo:Prótesis_1
 Nombre de estudio:P1-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1



Prótesis_1-P1-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5,080e-12 Elemento: 9812	6,329e-03 Elemento: 42503

Nombre del modelo:Prótesis_1
 Nombre de estudio:P1-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1

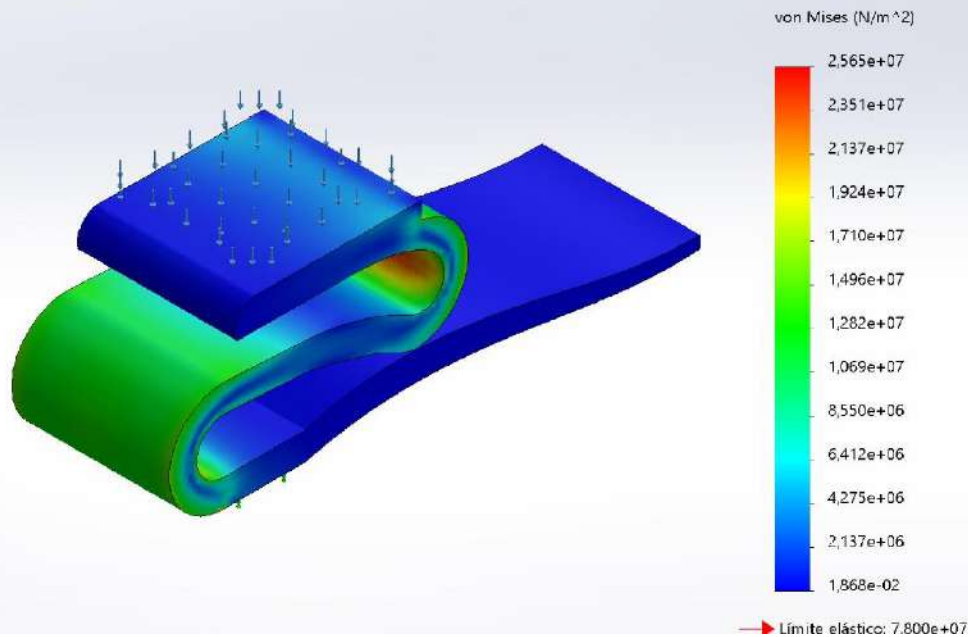


Prótesis_1-P1-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,868e-02 N/m ² Nodo: 68084	2,565e+07 N/m ² Nodo: 81580

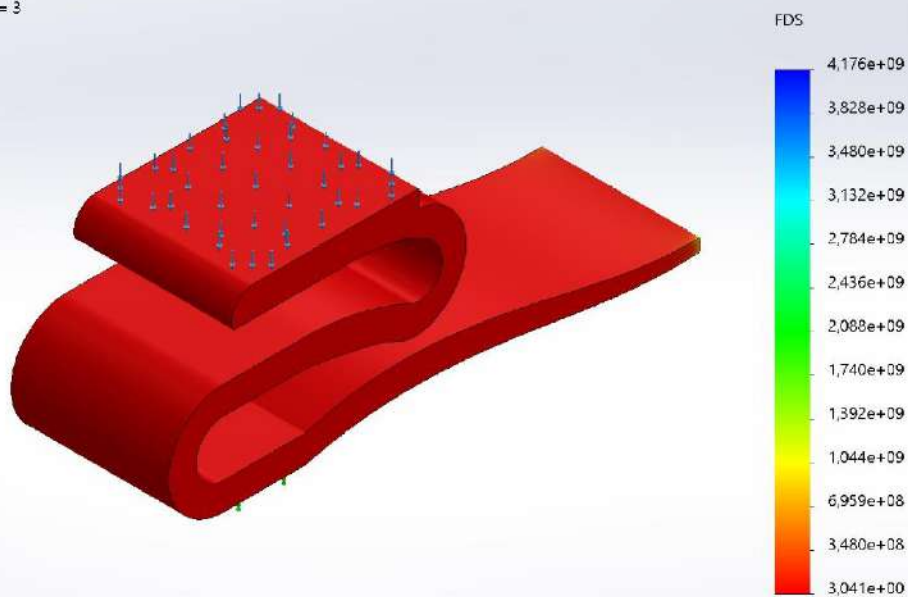
Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



Prótesis_1-P1-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	3,041e+00 Nodo: 81580	4,176e+09 Nodo: 68084

Nombre del modelo: Prótesis_1
Nombre de estudio: P1-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3



Prótesis_1-P1-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_2

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P2-A1

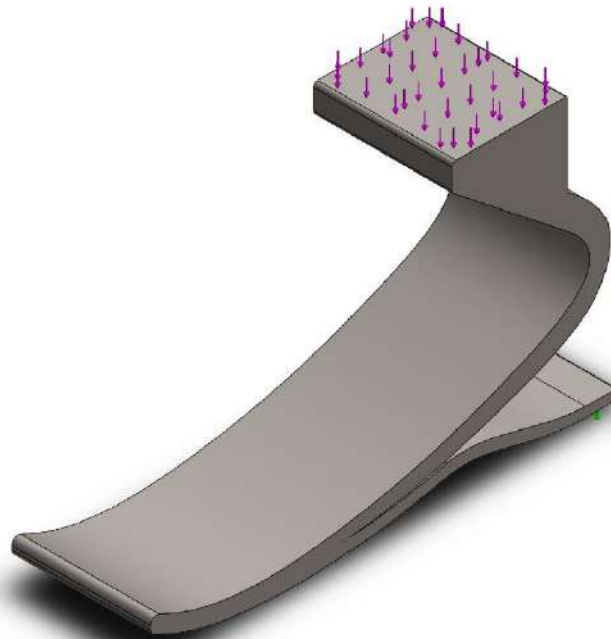
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_2 	Sólido	Masa:4,53323 kg Volumen:0,000588797 m ³ Densidad:7.699,14 kg/m ³ Peso:44,4257 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_2.SLDPR2 Nov 26 12:40:36 2019




Propiedades de estudio

Nombre de estudio	P2-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

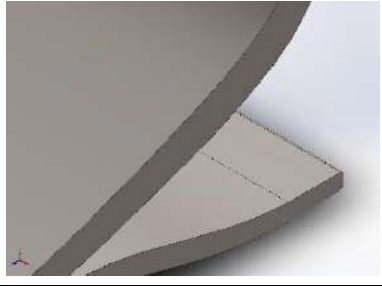
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

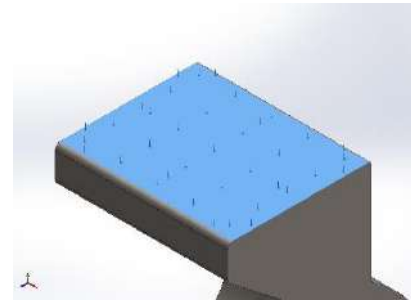
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00914526	613,122	-0,0638494	613,123
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,3997 mm
Tolerancia	0,219985 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	75566
Número total de elementos	47745
Cociente máximo de aspecto	10,83
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00838
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

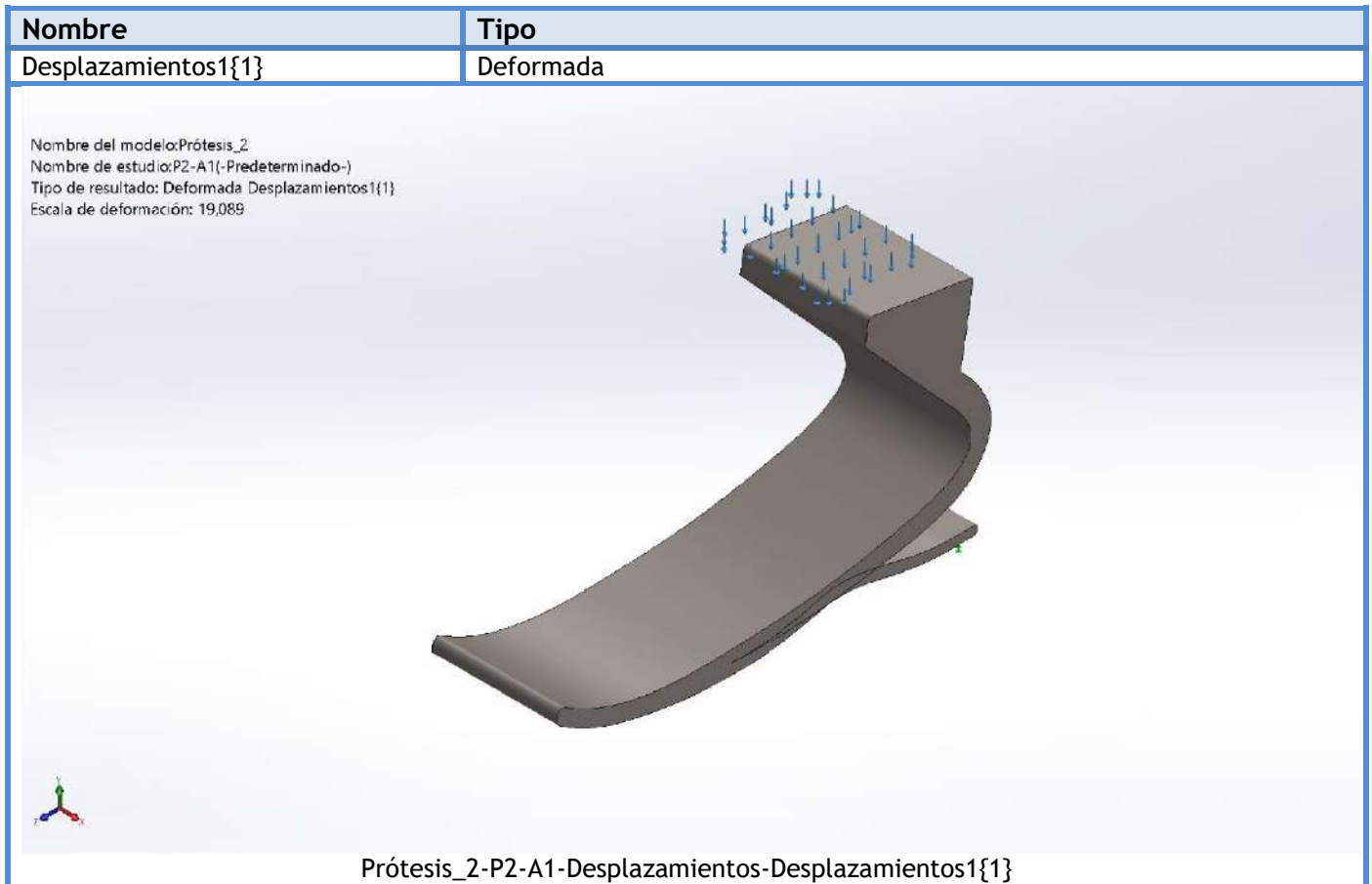
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00914526	613,122	-0,0638494	613,122

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



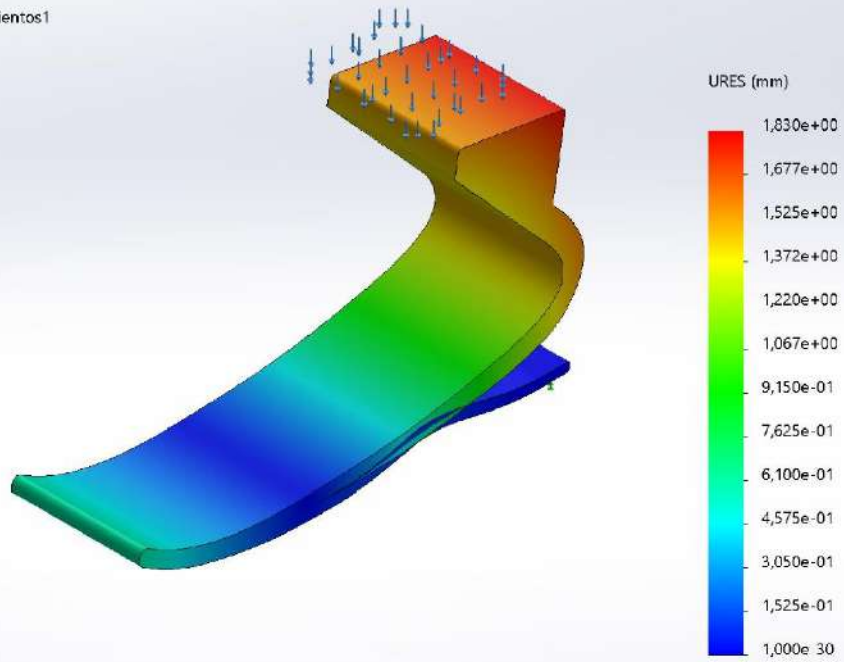
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 4076	1,830e+00 mm Nodo: 5286



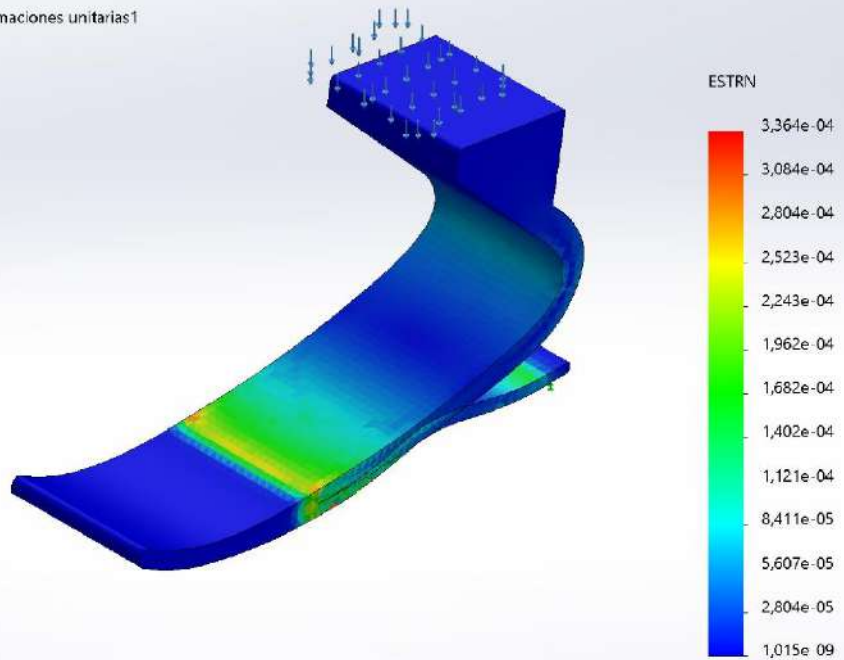
Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 19,089



Prótesis_2-P2-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,015e-09 Elemento: 11014	3,364e-04 Elemento: 14074

Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 19,089

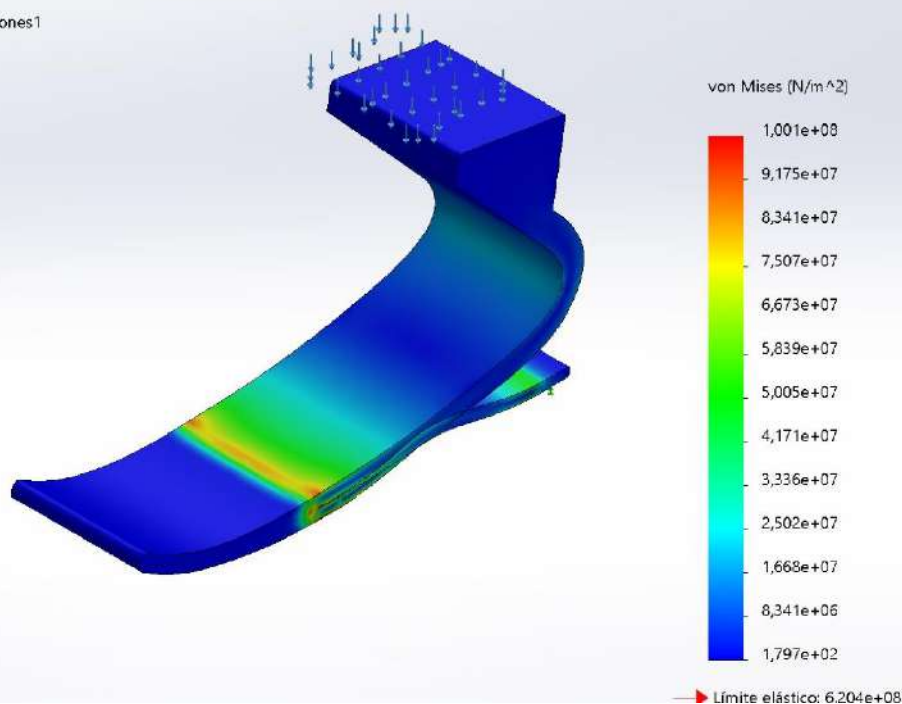


Prótesis_2-P2-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,797e+02 N/m ² Nodo: 70671	1,001e+08 N/m ² Nodo: 4746

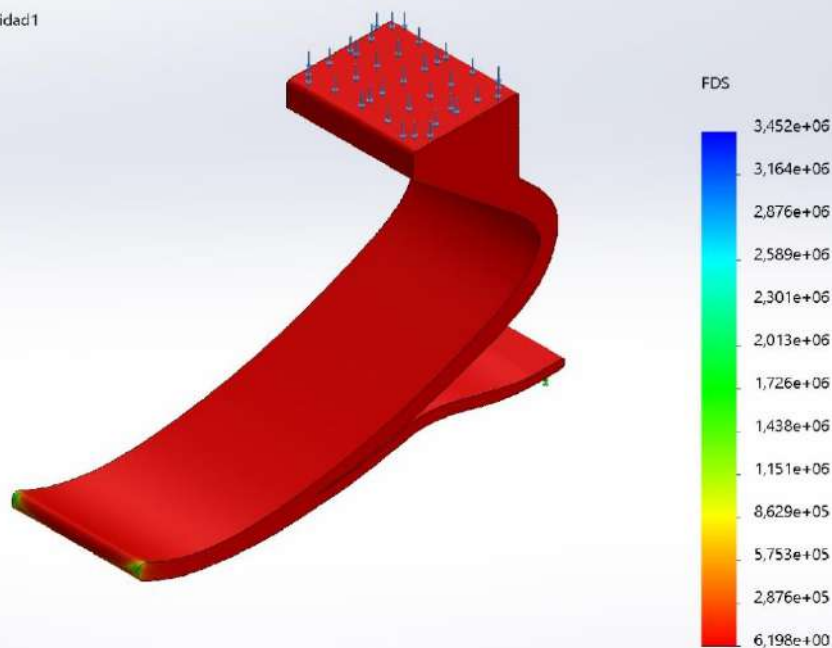
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 19,089



Prótesis_2-P2-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	6,198e+00 Nodo: 4746	3,452e+06 Nodo: 70671

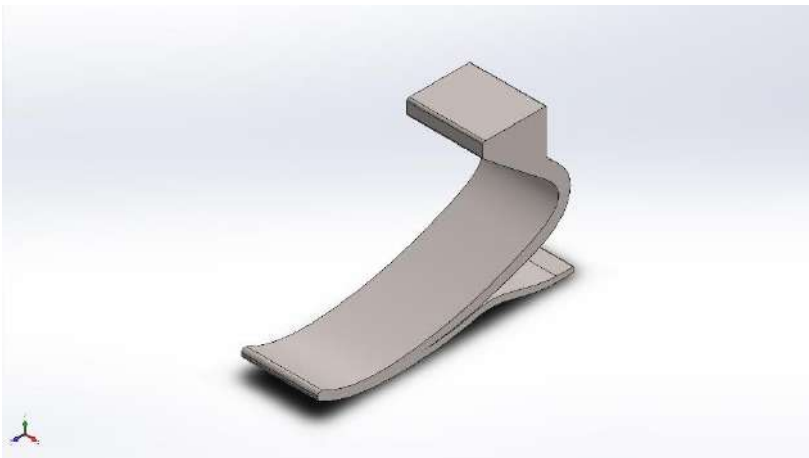
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6,2



Prótesis_2-P2-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_2

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P2-A2

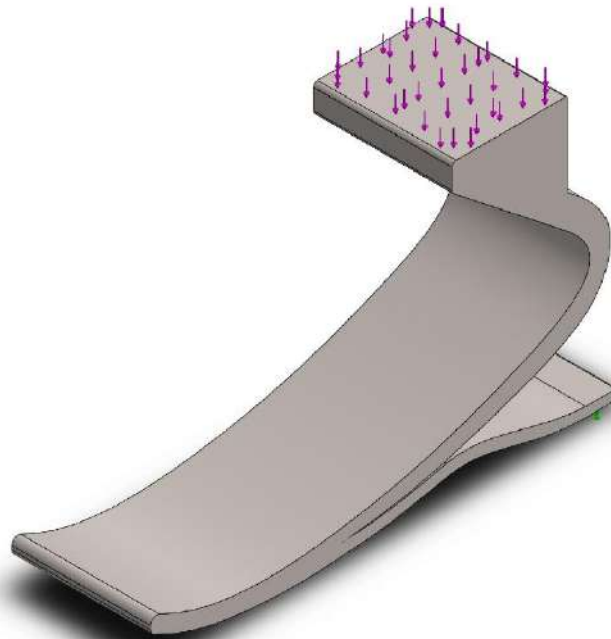
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_2 	Sólido	Masa: 2,7376 kg Volumen: 0,000588797 m ³ Densidad: 4.649,48 kg/m ³ Peso: 26,8285 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_2.SLDPRT Nov 26 12:40:36 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P2-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

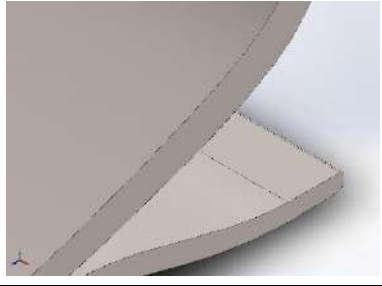


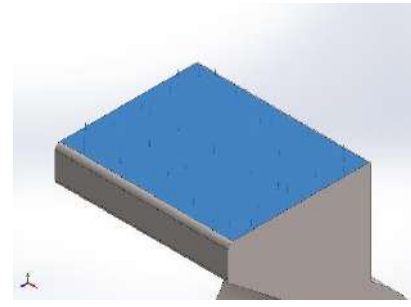
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0195165	613,261	0,0146303	613,261
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,3997 mm
Tolerancia	0,219985 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	75566
Número total de elementos	47745
Cociente máximo de aspecto	10,83
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00838
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

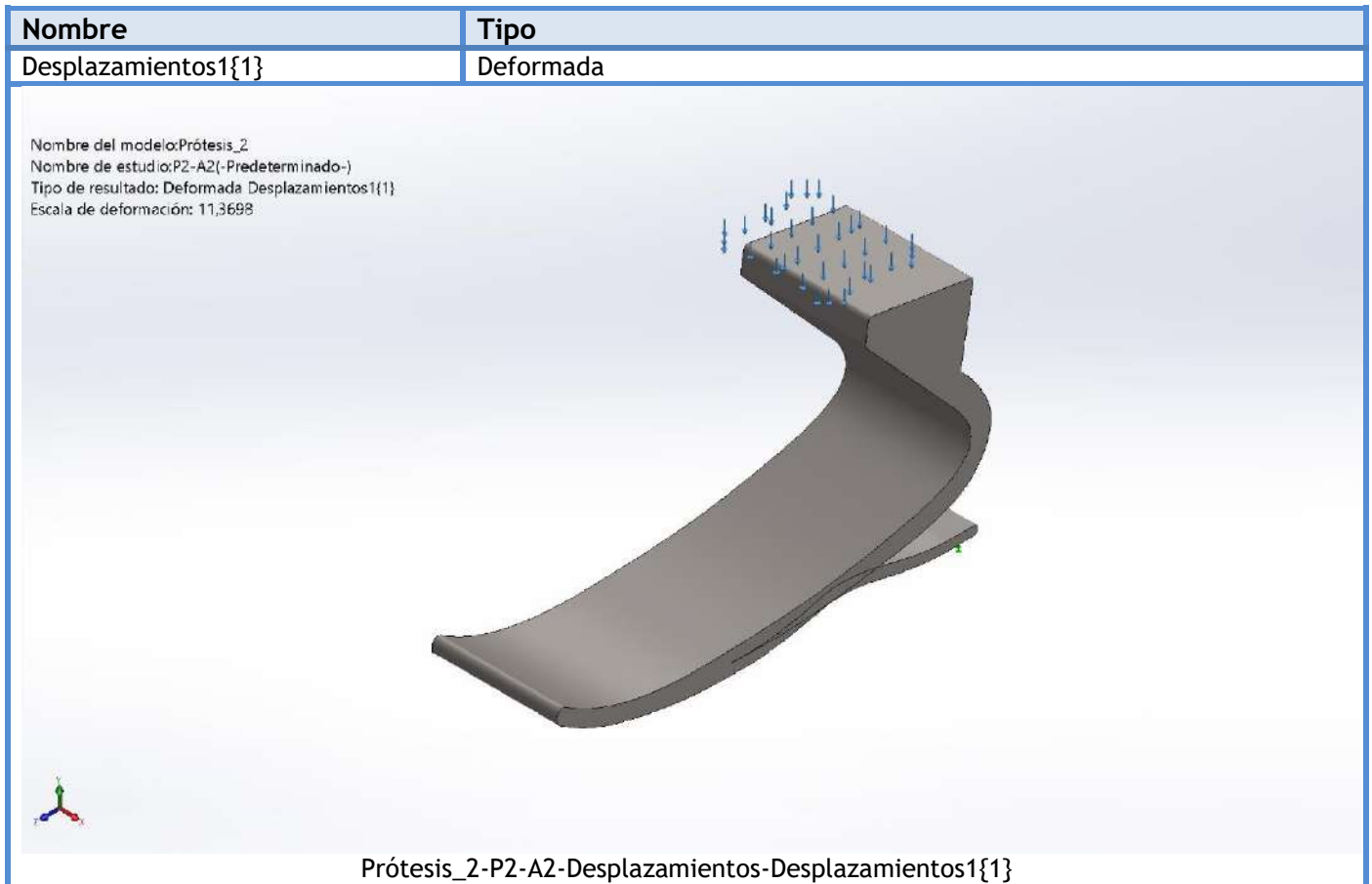
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0195165	613,261	0,0146303	613,261

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

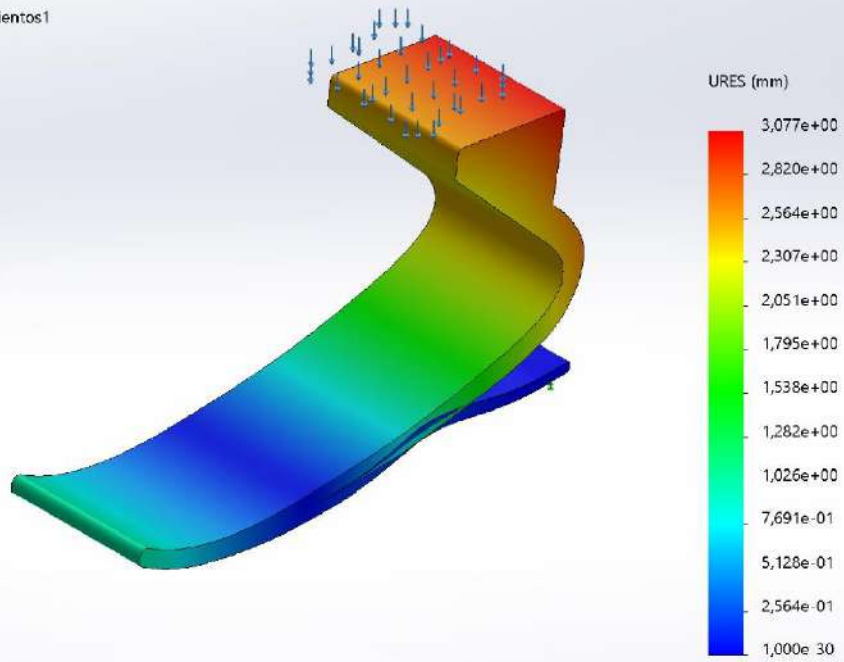


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 4076	3,077e+00 mm Nodo: 5286

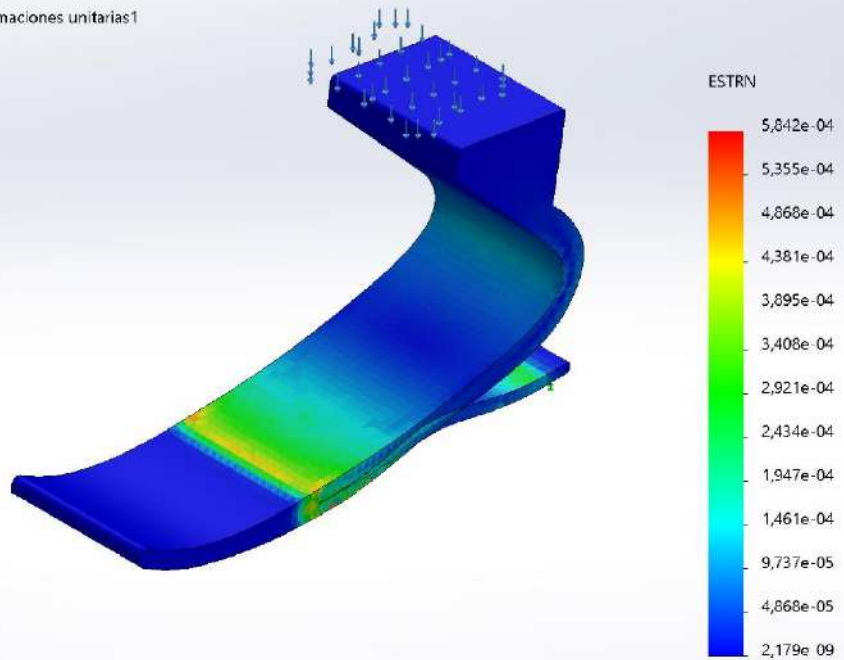
Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A2(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 11,3698



Prótesis_2-P2-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,179e-09 Elemento: 11273	5,842e-04 Elemento: 22048

Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A2(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 11,3698

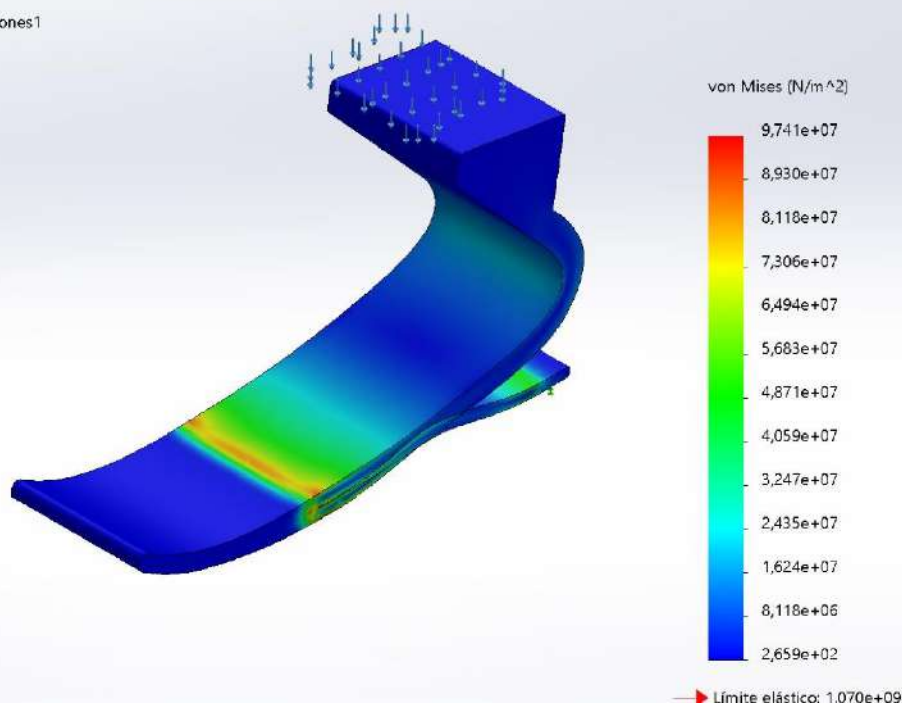


Prótesis_2-P2-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2,659e+02 N/m ² Nodo: 740	9,741e+07 N/m ² Nodo: 3399

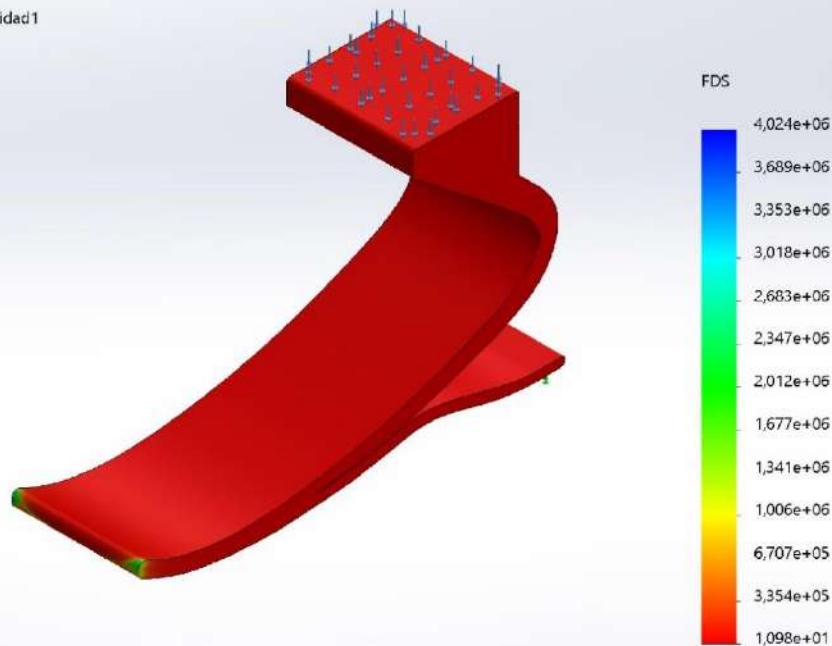
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A2(- Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 11,3698



Prótesis_2-P2-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,098e+01 Nodo: 3399	4,024e+06 Nodo: 740

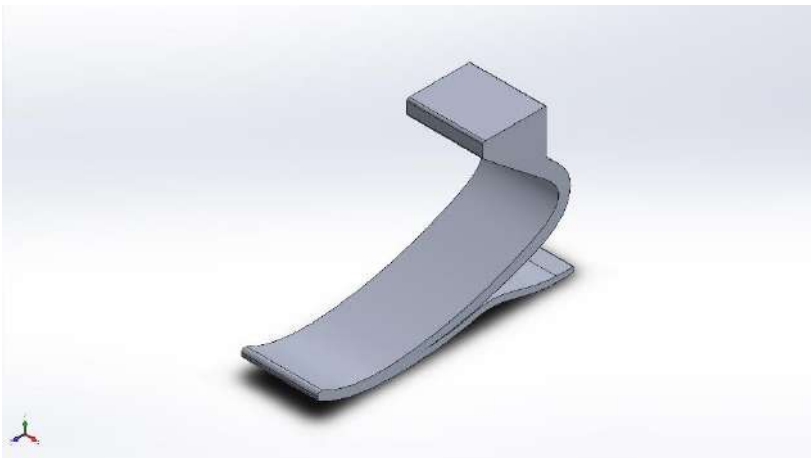
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A2(- Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 11



Prótesis_2-P2-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_2

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P2-A3

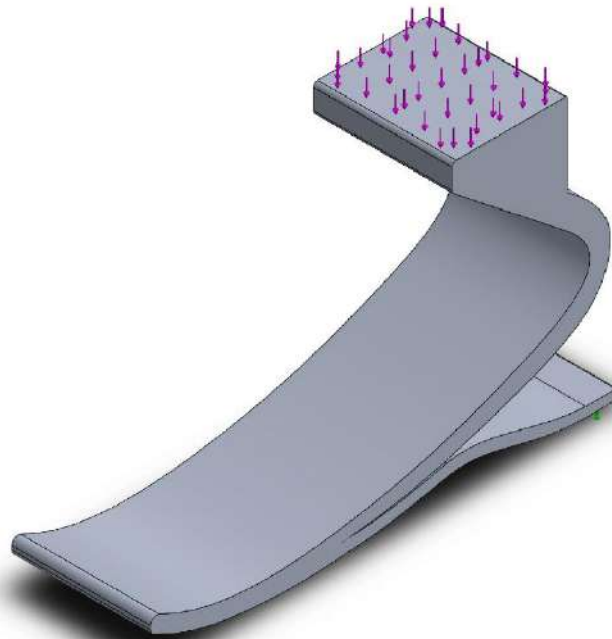
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_2 	Sólido	Masa: 1,58958 kg Volumen: 0,000588797 m ³ Densidad: 2.699,7 kg/m ³ Peso: 15,5778 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_2.SLDPRT Nov 26 12:40:36 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P2-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

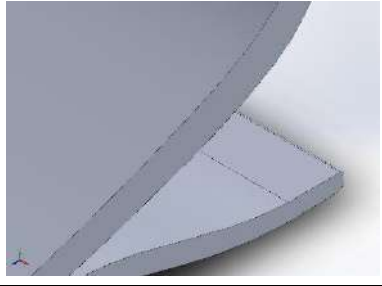


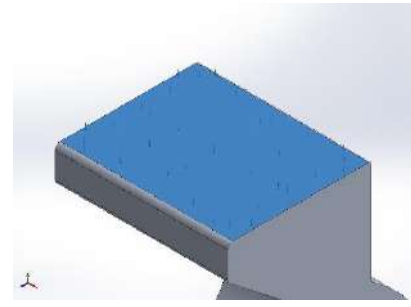
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0195165	613,261	0,0146303	613,261
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,3997 mm
Tolerancia	0,219985 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	75566
Número total de elementos	47745
Cociente máximo de aspecto	10,83
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00838
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A3(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

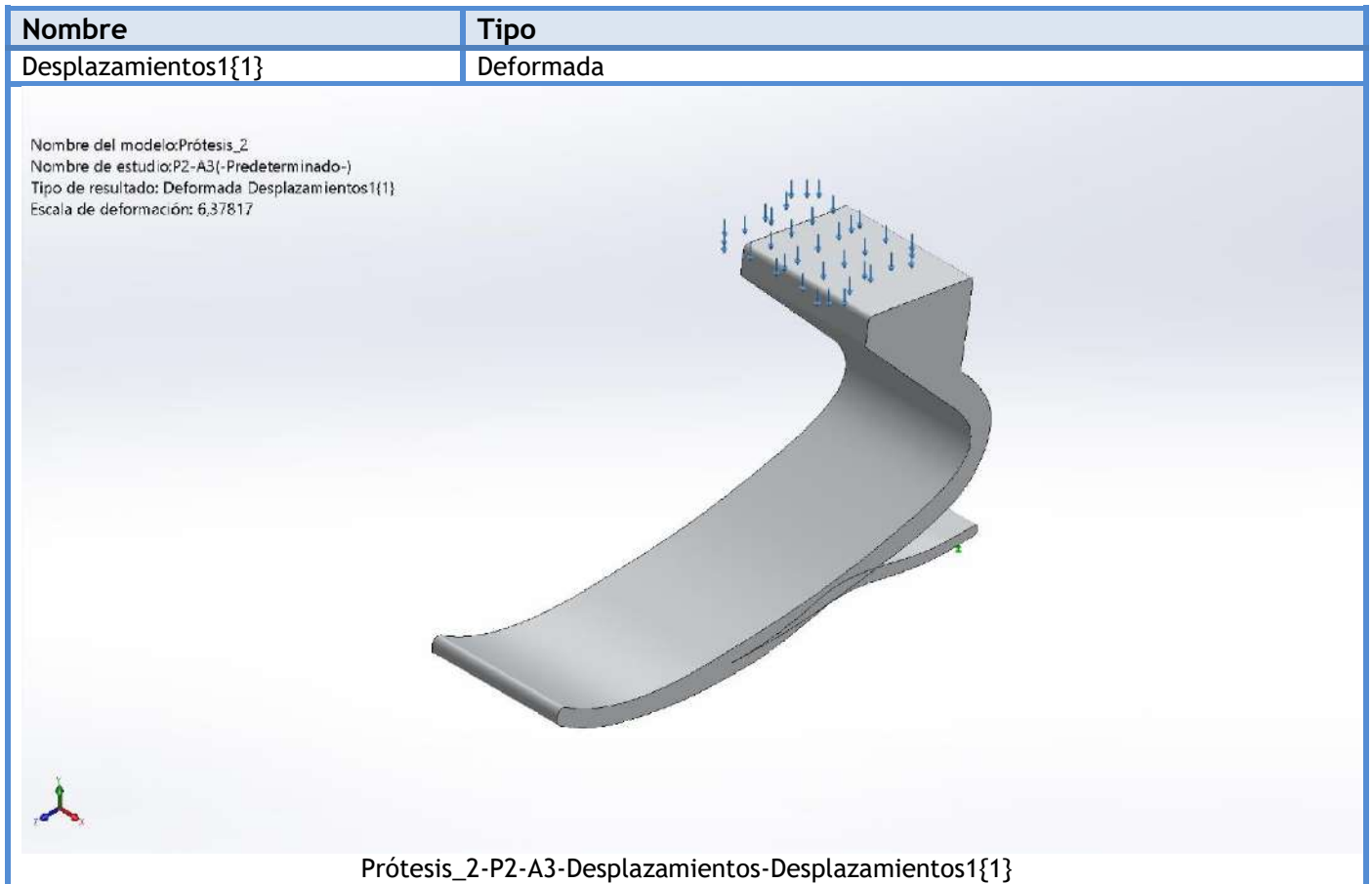
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0195165	613,261	0,0146303	613,261

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

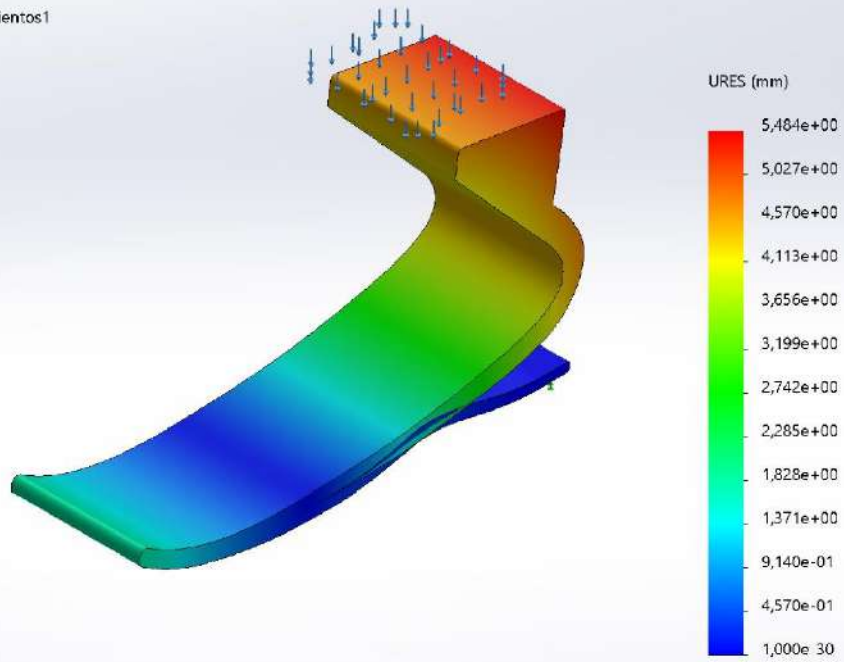


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 4076	5,484e+00 mm Nodo: 5286

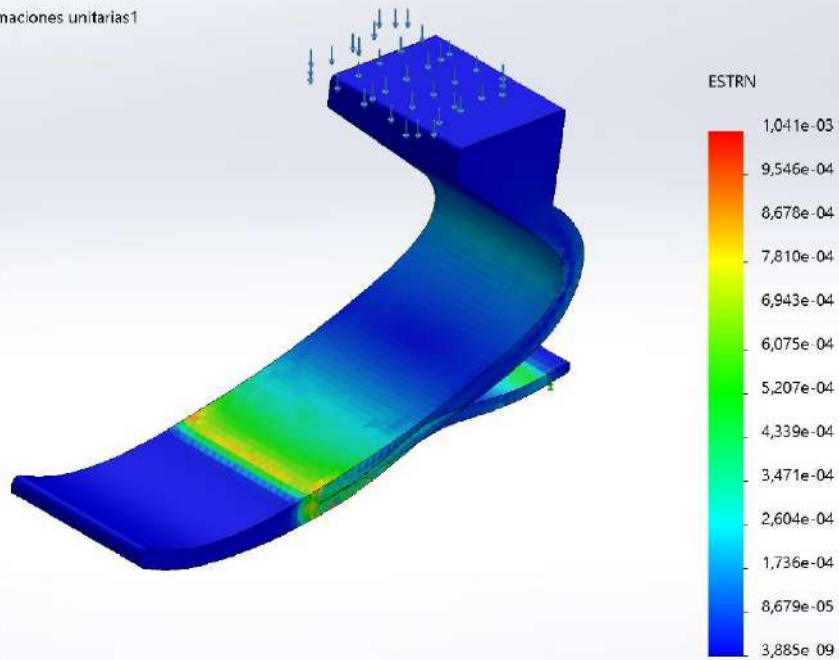
Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A3(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 6,37817



Prótesis_2-P2-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,885e-09 Elemento: 11273	1,041e-03 Elemento: 22048

Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A3(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 6,37817

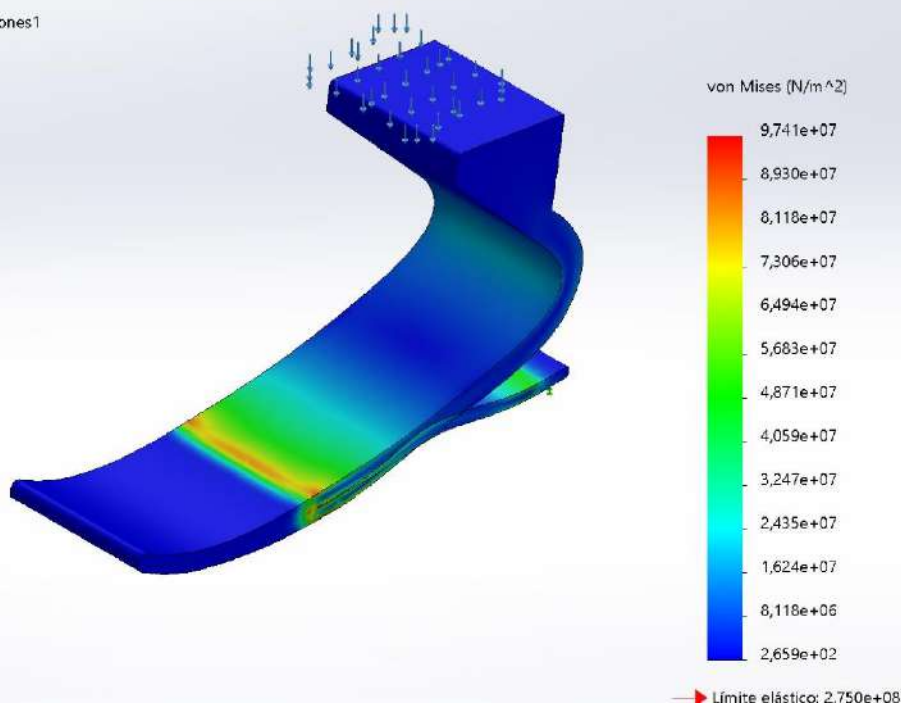


Prótesis_2-P2-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2,659e+02 N/m ² Nodo: 740	9,741e+07 N/m ² Nodo: 3399

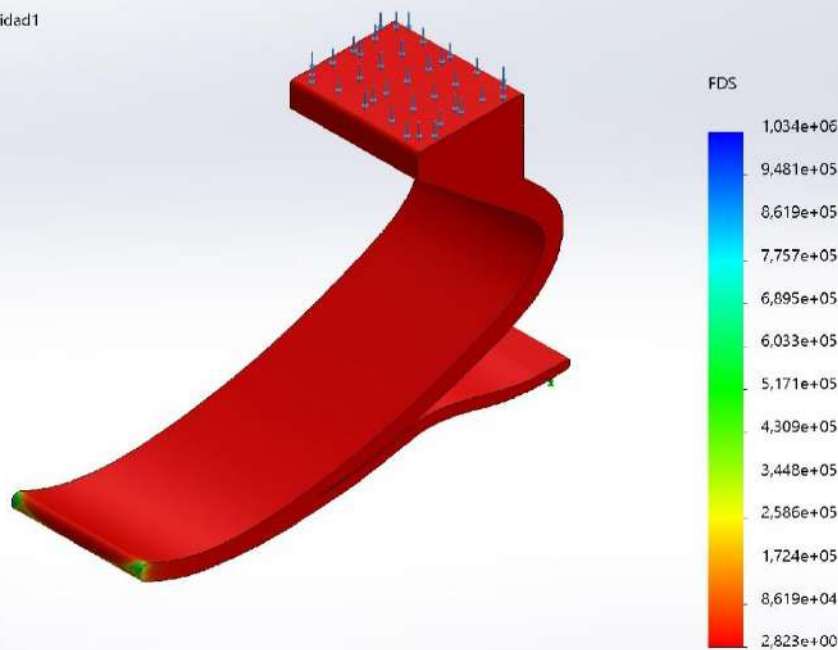
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A3 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 6,37817



Prótesis_2-P2-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,823e+00 Nodo: 3399	1,034e+06 Nodo: 740

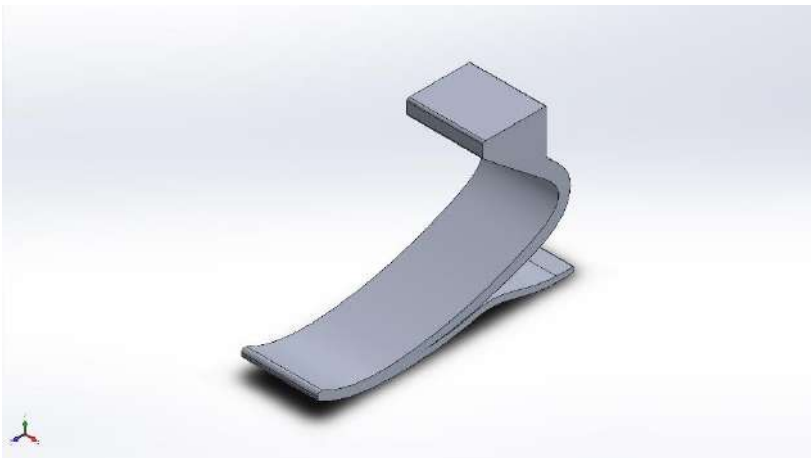
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A3 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 2,8



Prótesis_2-P2-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_2

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P2-A4

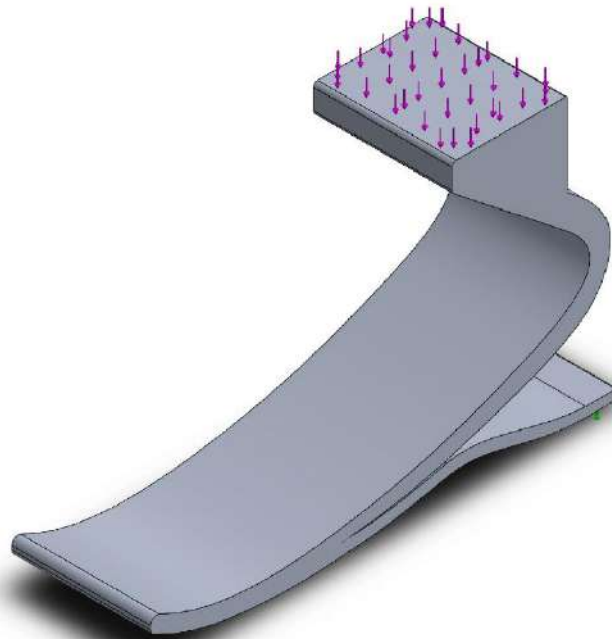
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_2 	Sólido	Masa: 1,65434 kg Volumen: 0,000588797 m ³ Densidad: 2.809,69 kg/m ³ Peso: 16,2125 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_2.SLDPRT Nov 26 12:40:36 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P2-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

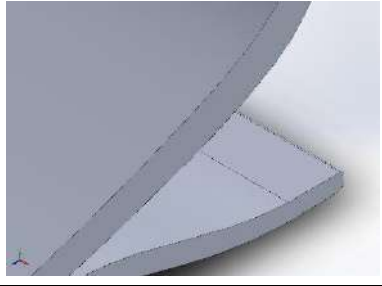


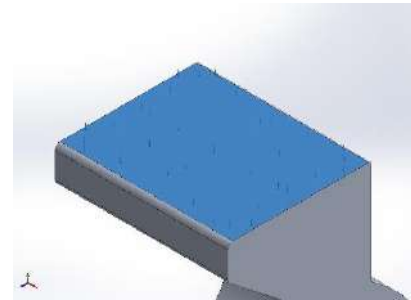
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0195165	613,261	0,0146303	613,261
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,3997 mm
Tolerancia	0,219985 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	75566
Número total de elementos	47745
Cociente máximo de aspecto	10,83
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00838
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A4(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

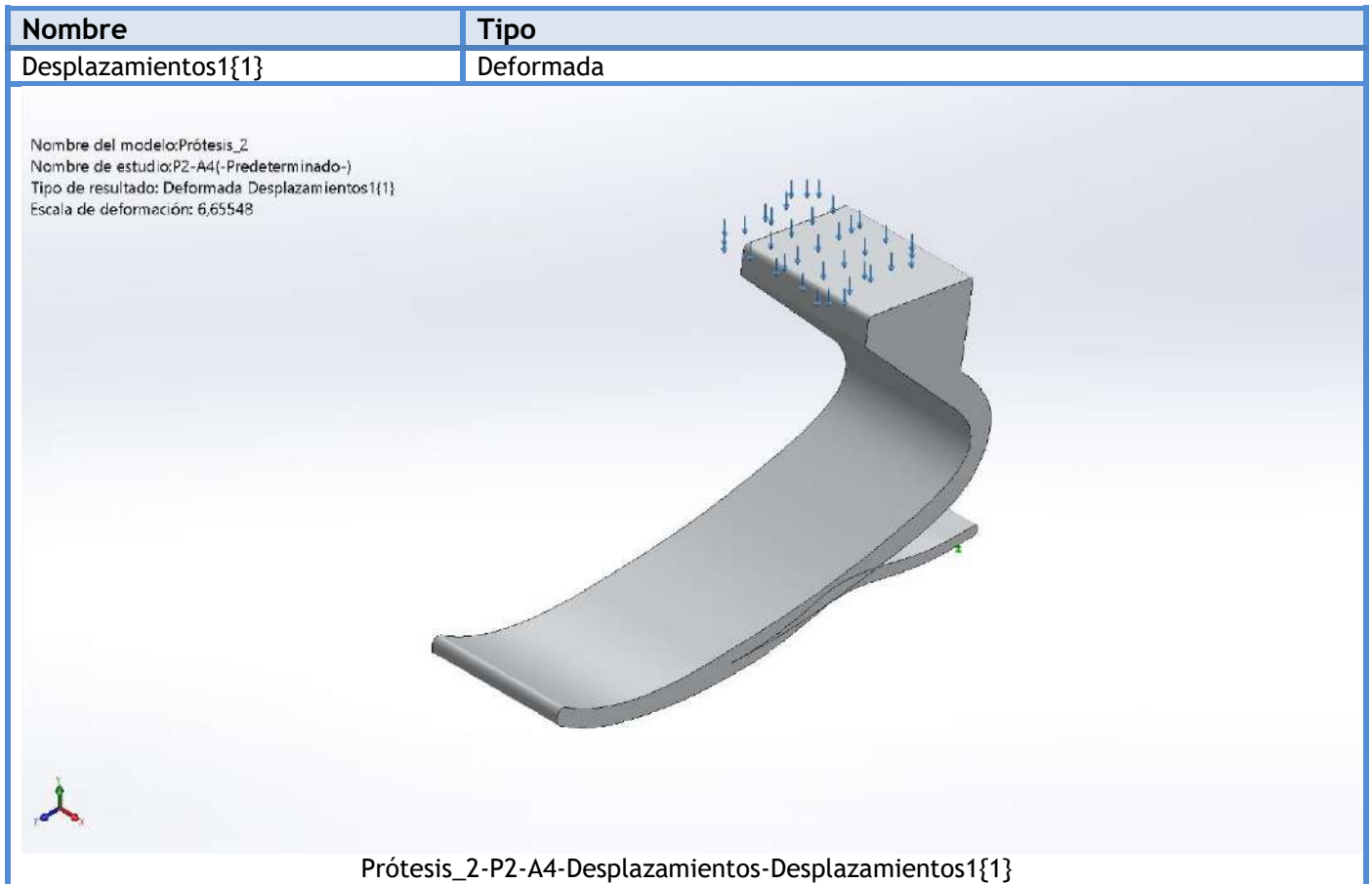
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0195165	613,261	0,0146303	613,261

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



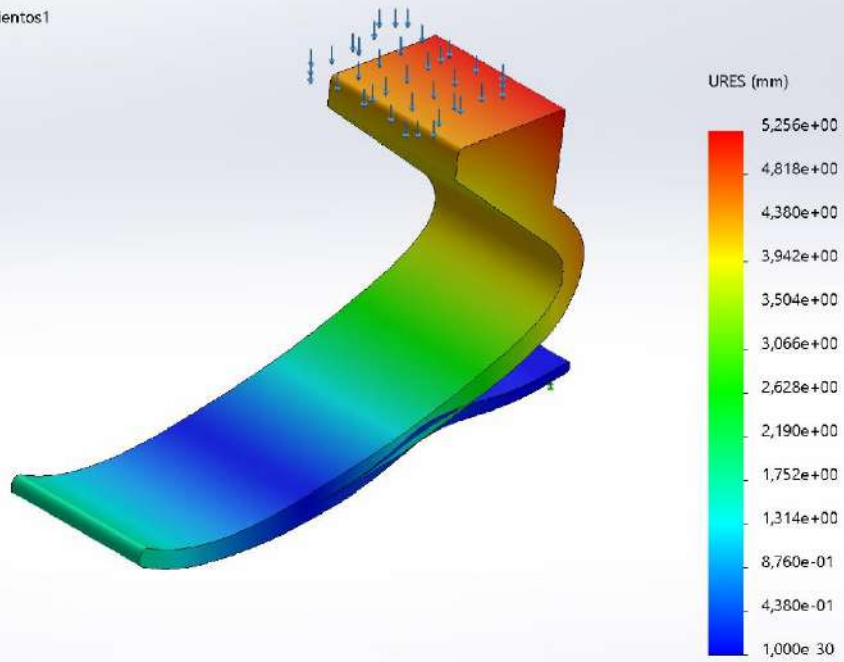
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 4076	5,256e+00 mm Nodo: 5286



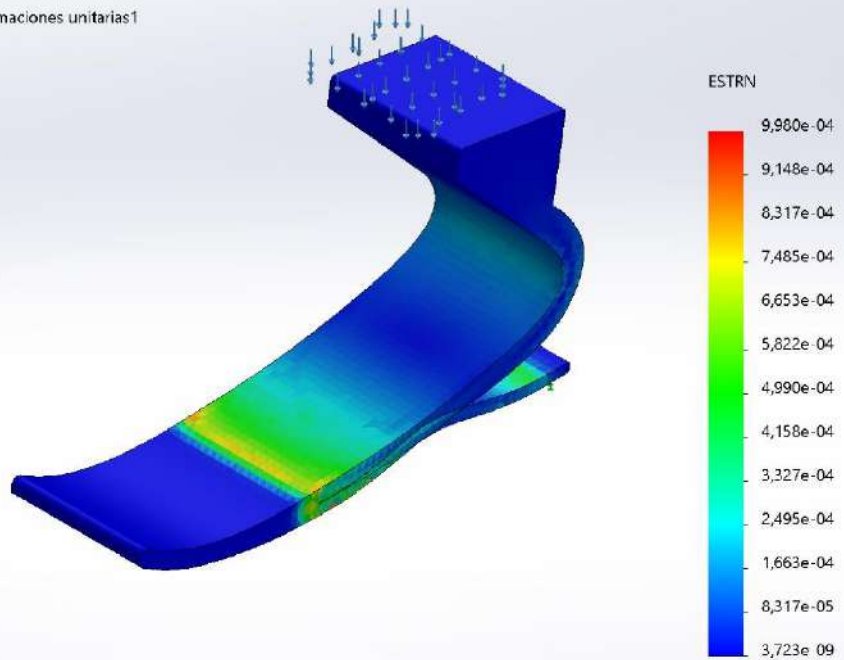
Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A4(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 6,65548



Prótesis_2-P2-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,723e-09 Elemento: 11273	9,980e-04 Elemento: 22048

Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A4(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 6,65548

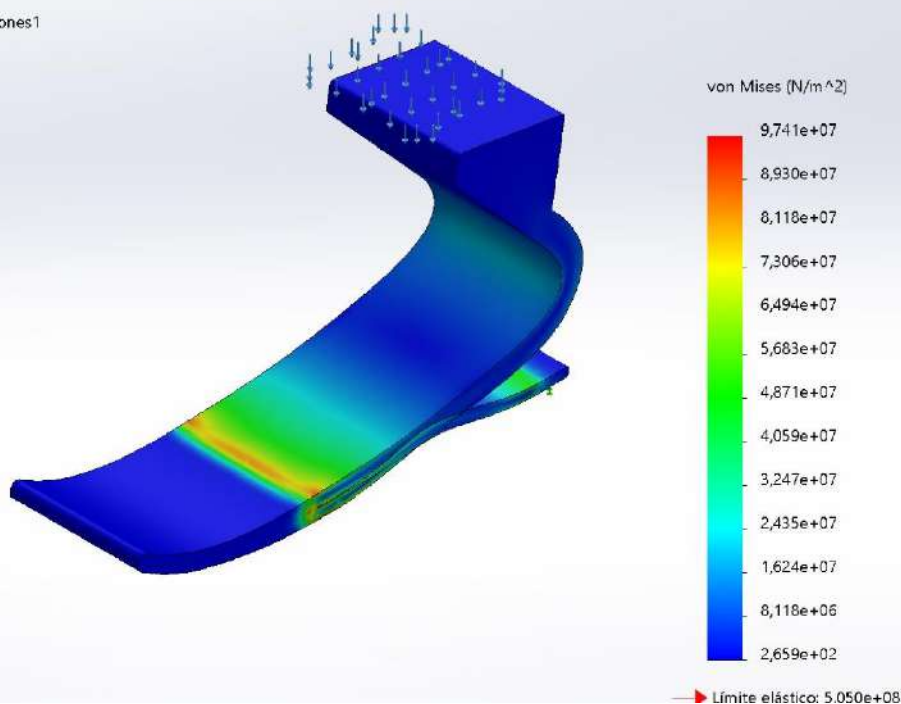


Prótesis_2-P2-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2,659e+02 N/m ² Nodo: 740	9,741e+07 N/m ² Nodo: 3399

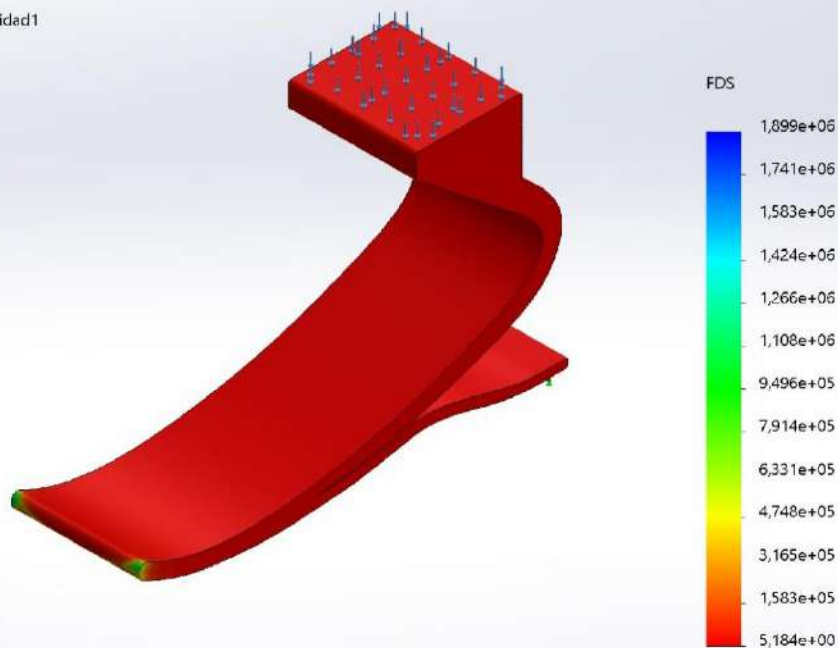
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A4 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 6,65548



Prótesis_2-P2-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5,184e+00 Nodo: 3399	1,899e+06 Nodo: 740

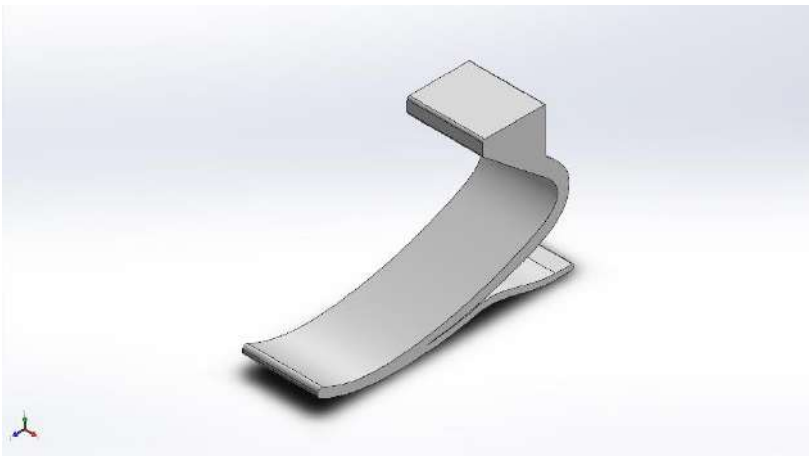
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A4 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 5,2



Prótesis_2-P2-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_2

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P2-A5

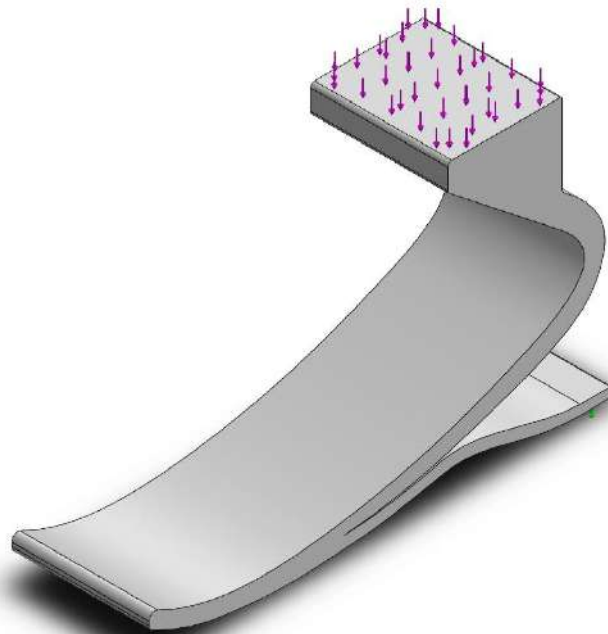
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_2 	Sólido	Masa:0,618168 kg Volumen:0,000588797 m ³ Densidad:1.049,88 kg/m ³ Peso:6,05805 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_2.SLDPRT Nov 26 12:40:36 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P2-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

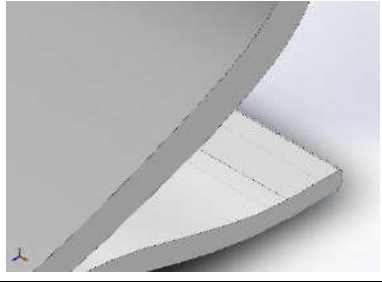


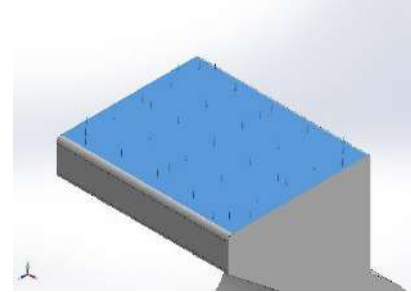
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00342274	613,124	-0,0122232	613,124
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



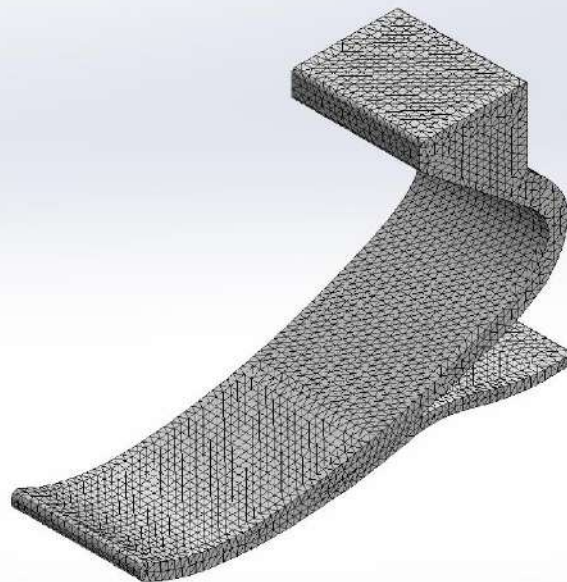
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,3997 mm
Tolerancia	0,219985 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	75566
Número total de elementos	47745
Cociente máximo de aspecto	10,83
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00838
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A5(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

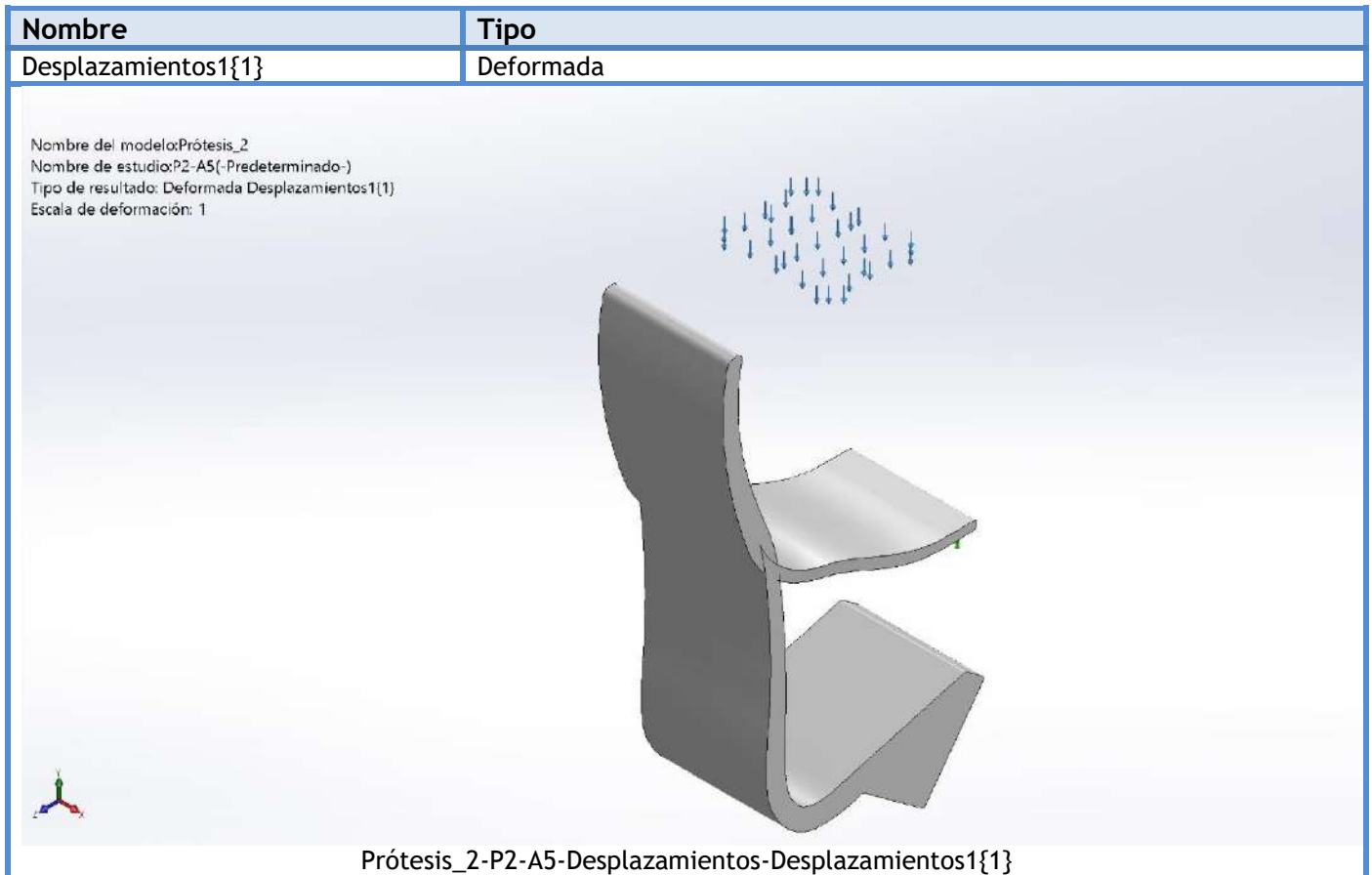
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00342274	613,124	-0,0122232	613,124

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



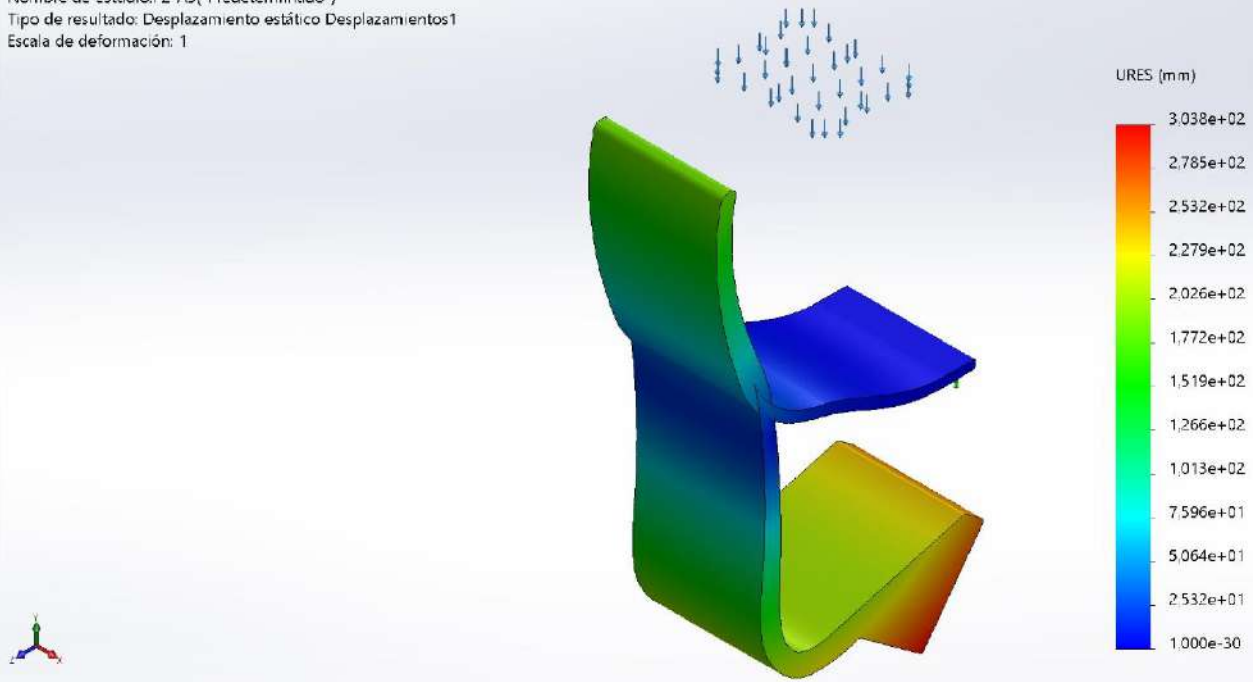
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 4076	3,038e+02 mm Nodo: 63194



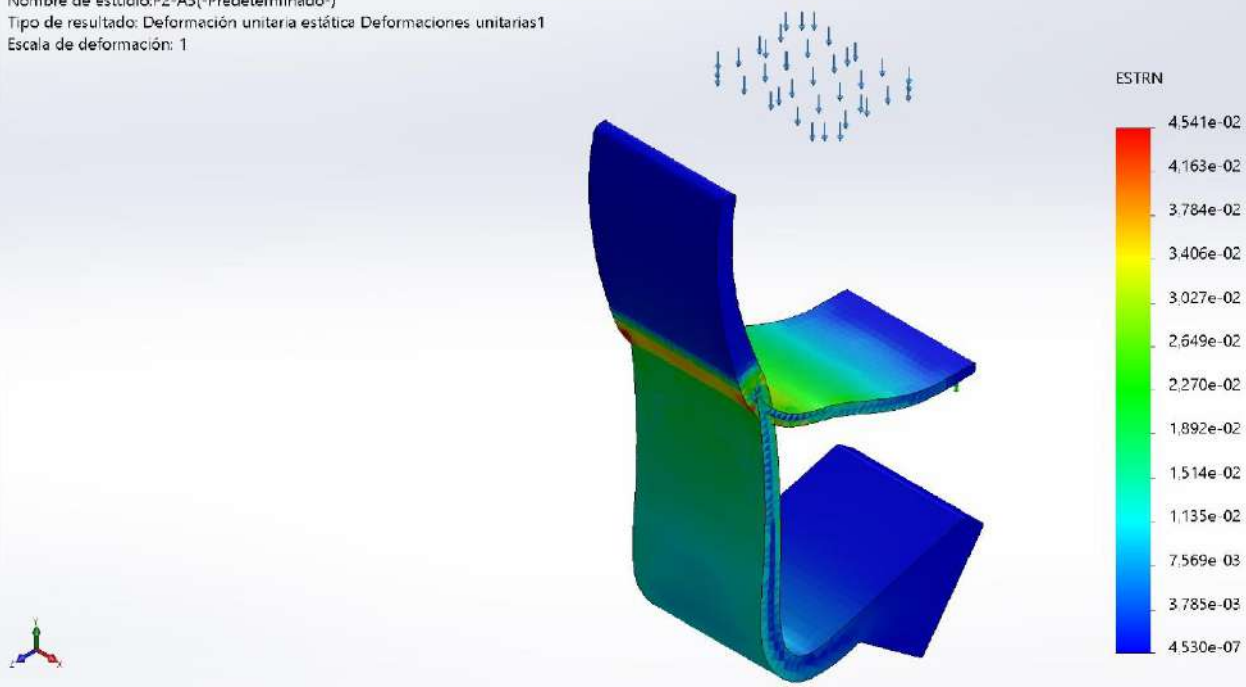
Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1



Prótesis_2-P2-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4,530e-07 Elemento: 11273	4,541e-02 Elemento: 22048

Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1

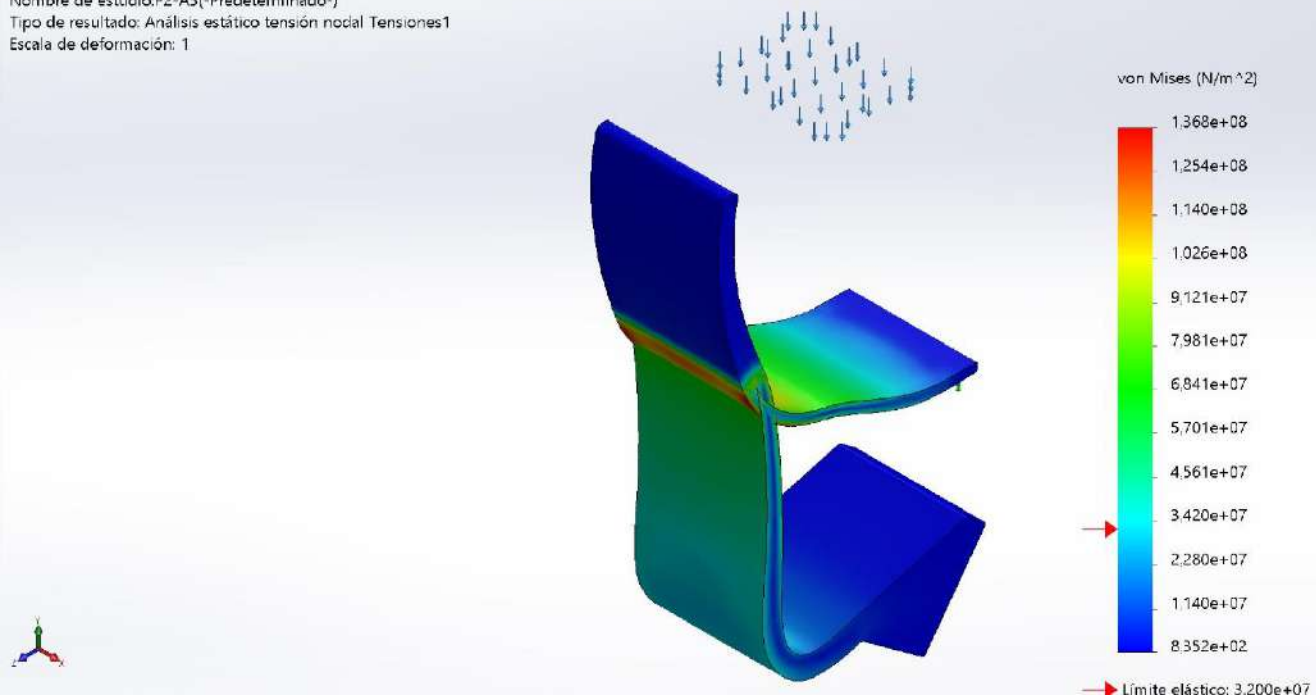


Prótesis_2-P2-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,352e+02 N/m ² Nodo: 37800	1,368e+08 N/m ² Nodo: 44266

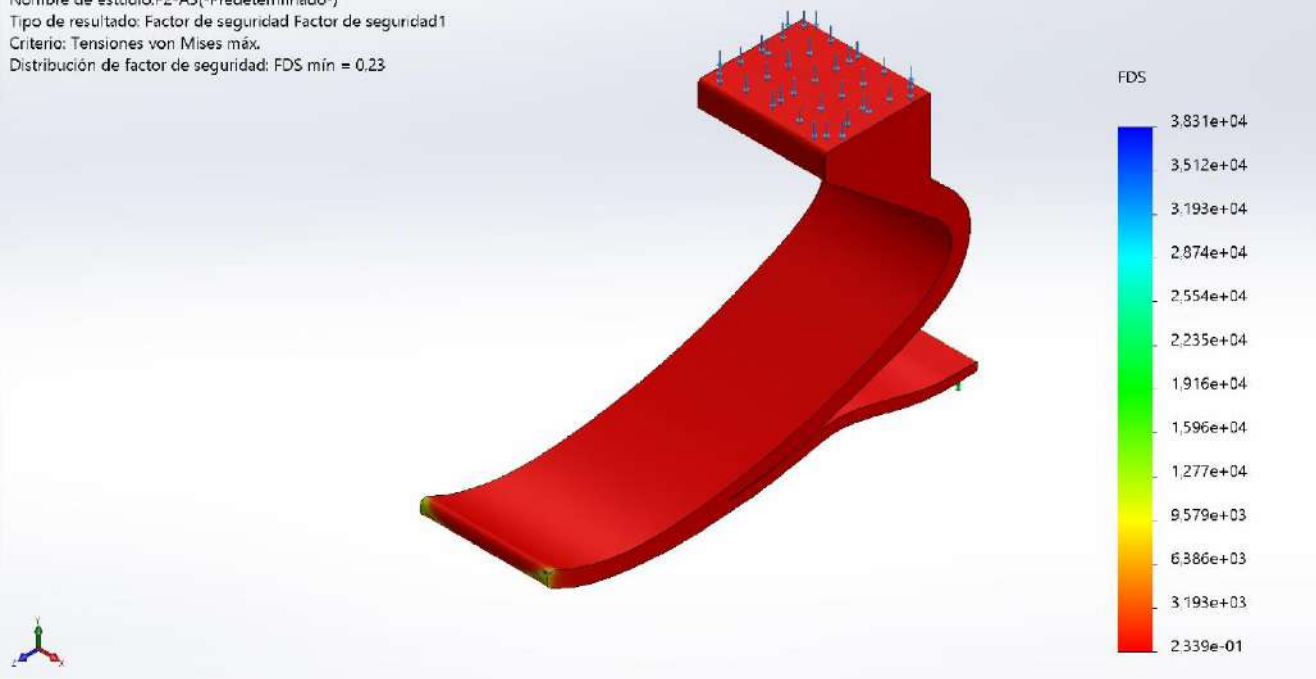
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



Prótesis_2-P2-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,339e-01 Nodo: 44266	3,831e+04 Nodo: 37800

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0,23



Prótesis_2-P2-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_2

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P2-A6

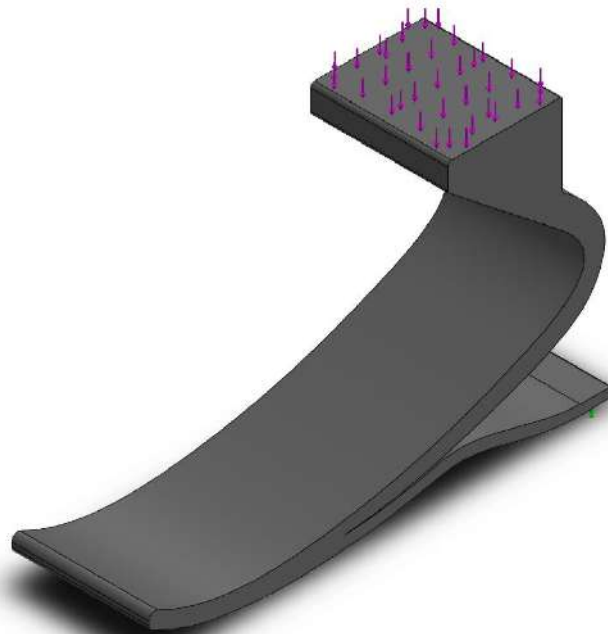
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_2
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_2 	Sólido	Masa:0,671154 kg Volumen:0,000588797 m ³ Densidad:1.139,87 kg/m ³ Peso:6,57731 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_2.SLDPRT Nov 26 12:40:36 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P2-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Activar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

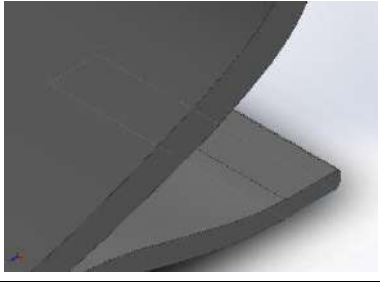


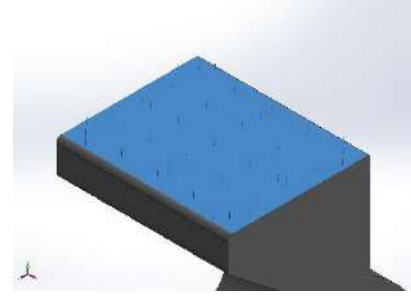
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Escala1)(Prótesis_2)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00720596	613,111	-0,0345001	613,111
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



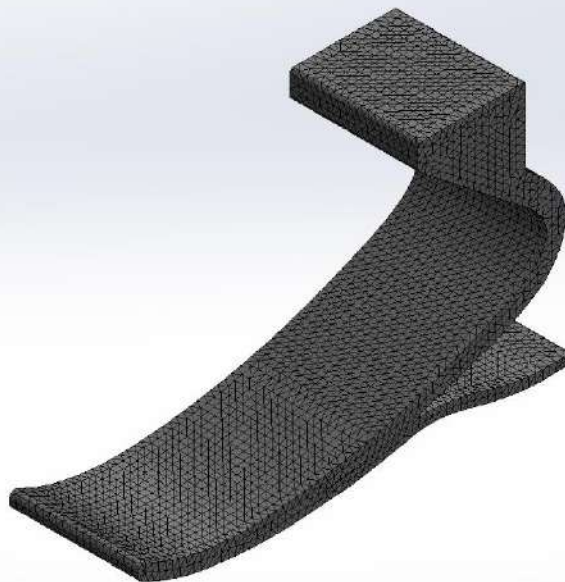
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	4,3997 mm
Tolerancia	0,219985 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	75566
Número total de elementos	47745
Cociente máximo de aspecto	10,83
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00838
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A6(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

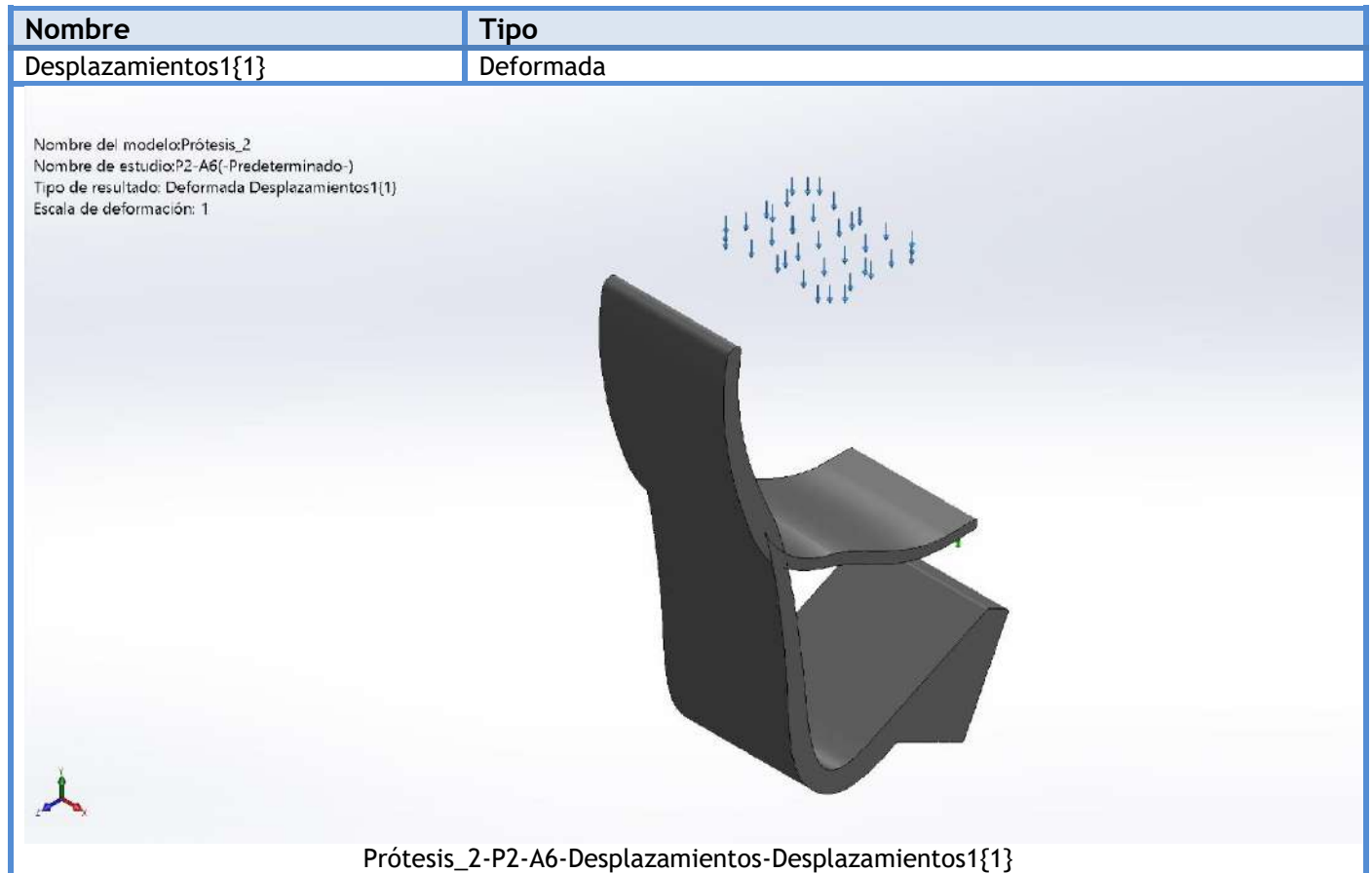
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00720596	613,111	-0,0345001	613,111

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



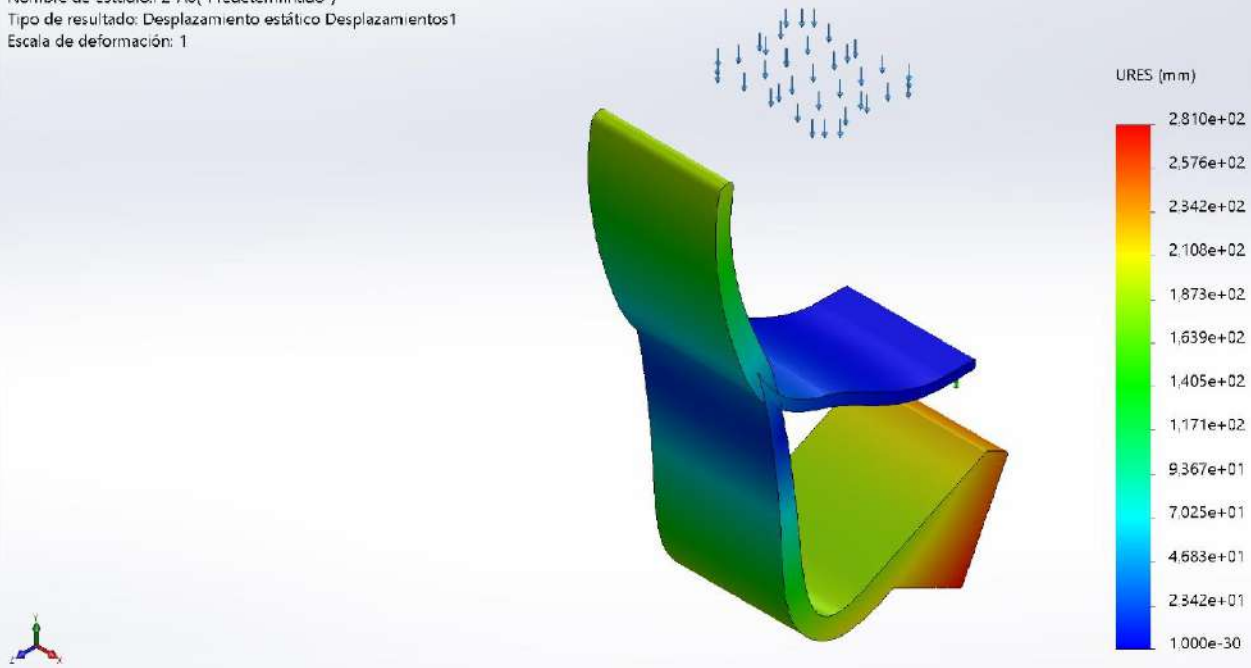
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 4076	2,810e+02 mm Nodo: 63194



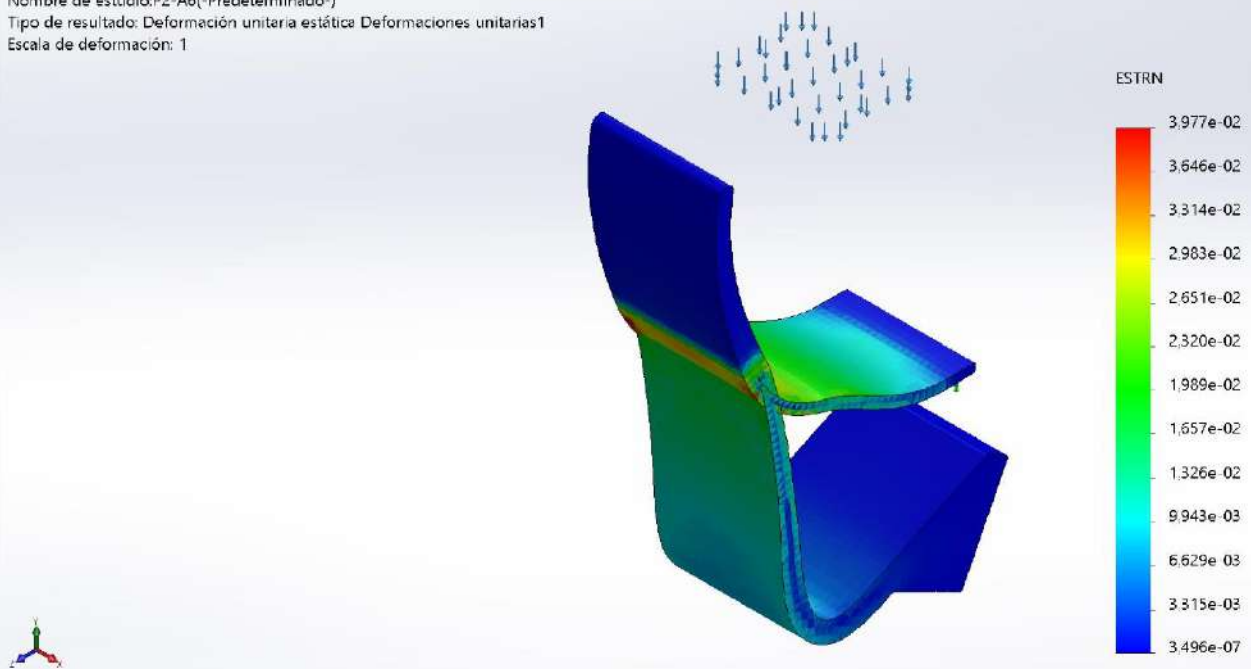
Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 1



Prótesis_2-P2-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,496e-07 Elemento: 11273	3,977e-02 Elemento: 22048

Nombre del modelo: Prótesis_2
 Nombre de estudio: P2-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 1

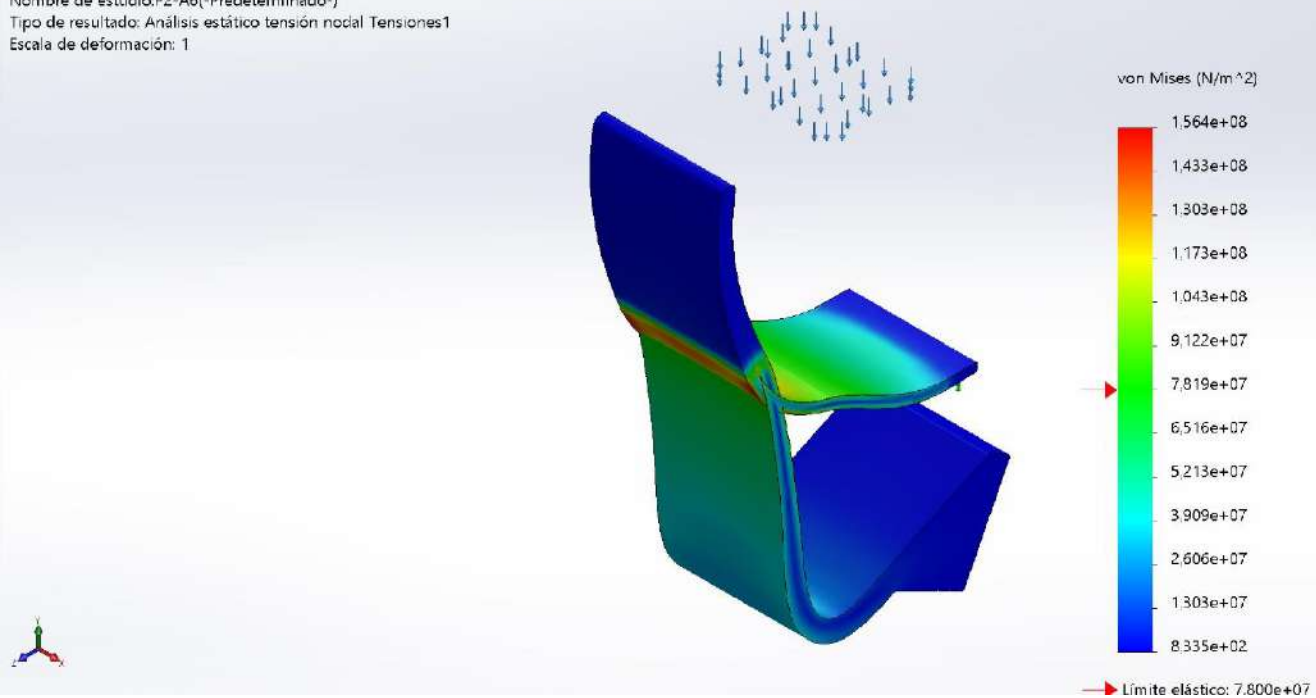


Prótesis_2-P2-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,335e+02 N/m ² Nodo: 37800	1,564e+08 N/m ² Nodo: 44266

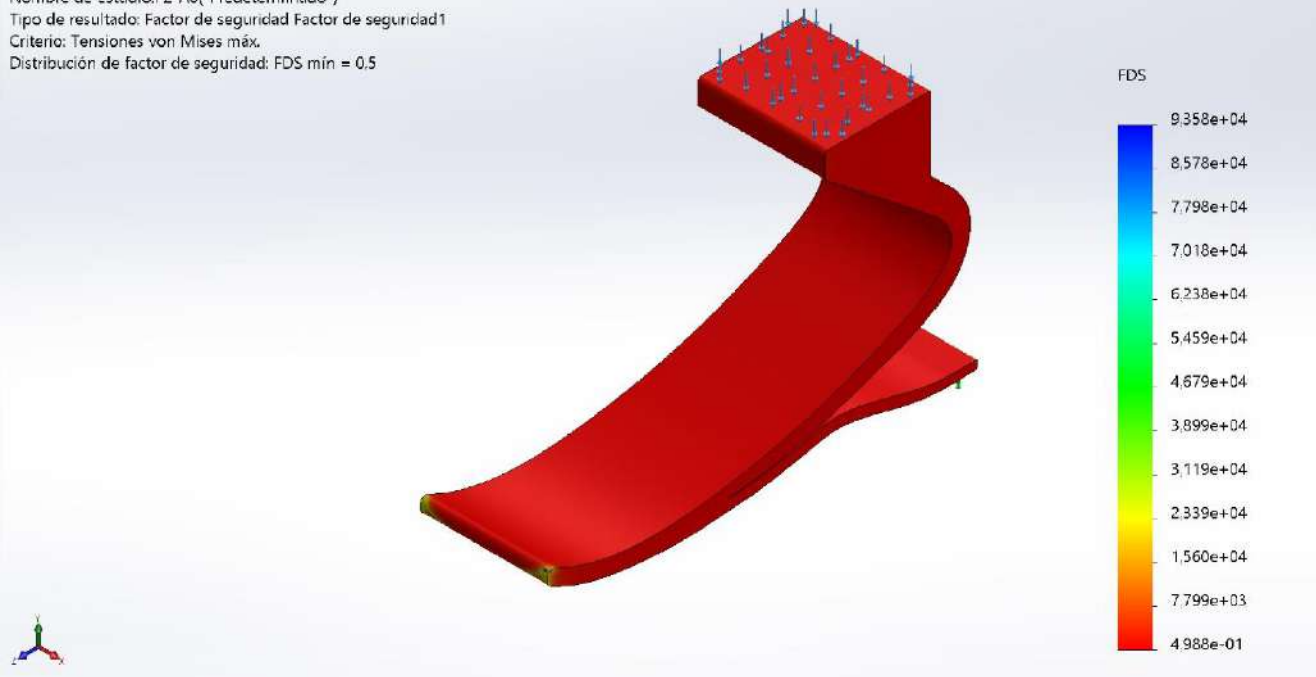
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 1



Prótesis_2-P2-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	4,988e-01 Nodo: 44266	9,358e+04 Nodo: 37800

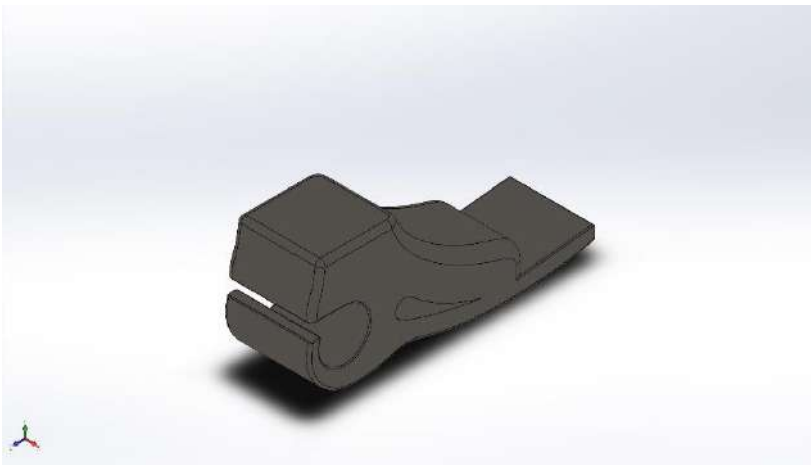
Nombre del modelo: Prótesis_2
Nombre de estudio: P2-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 0.5



Prótesis_2-P2-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_3

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P3-A1

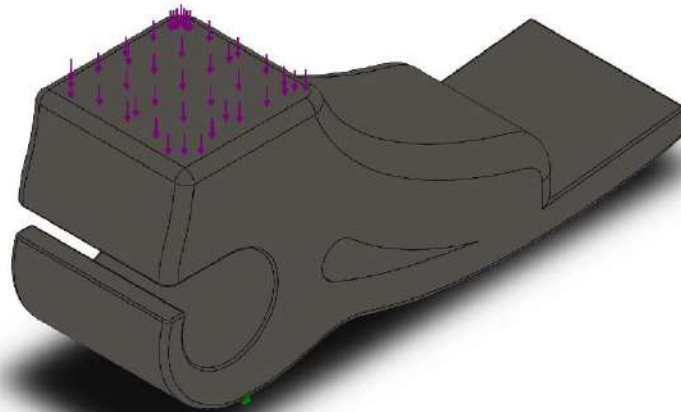
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

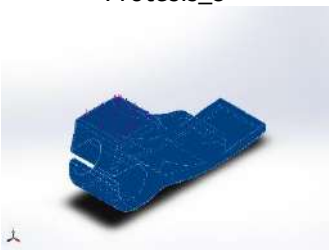


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_3
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_3 	Sólido	Masa:9,14065 kg Volumen:0,00118711 m ³ Densidad:7.699,89 kg/m ³ Peso:89,5784 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_3.SLDPRT Jul 7 20:50:17 2020



Propiedades de estudio

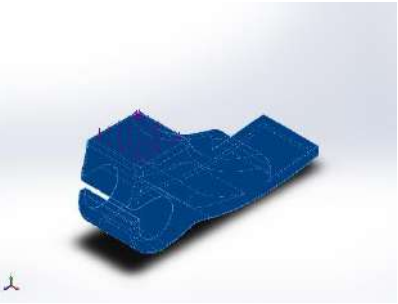
Nombre de estudio	P3-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

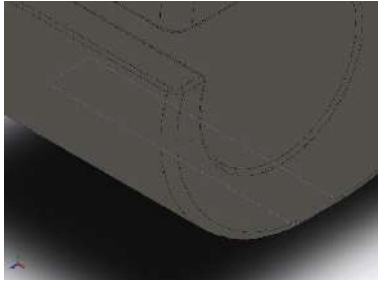


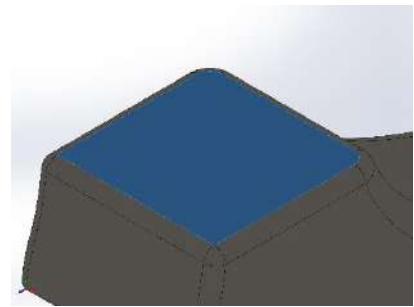
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo5)(Prótesis_3)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00154865	613,109	0,00661218	613,109
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



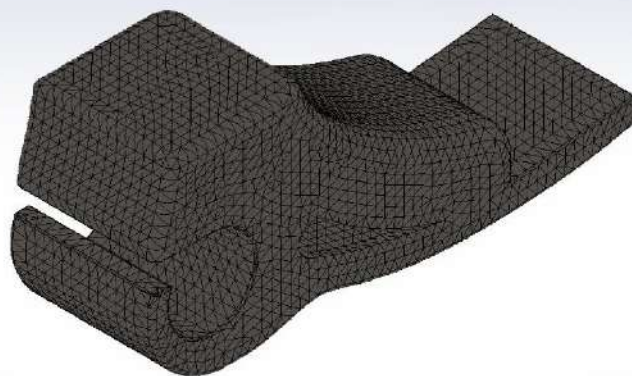
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,29543 mm
Tolerancia	0,264771 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	78868
Número total de elementos	52887
Cociente máximo de aspecto	21,922
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,017
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_3
Nombre de estudio: P3-A1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

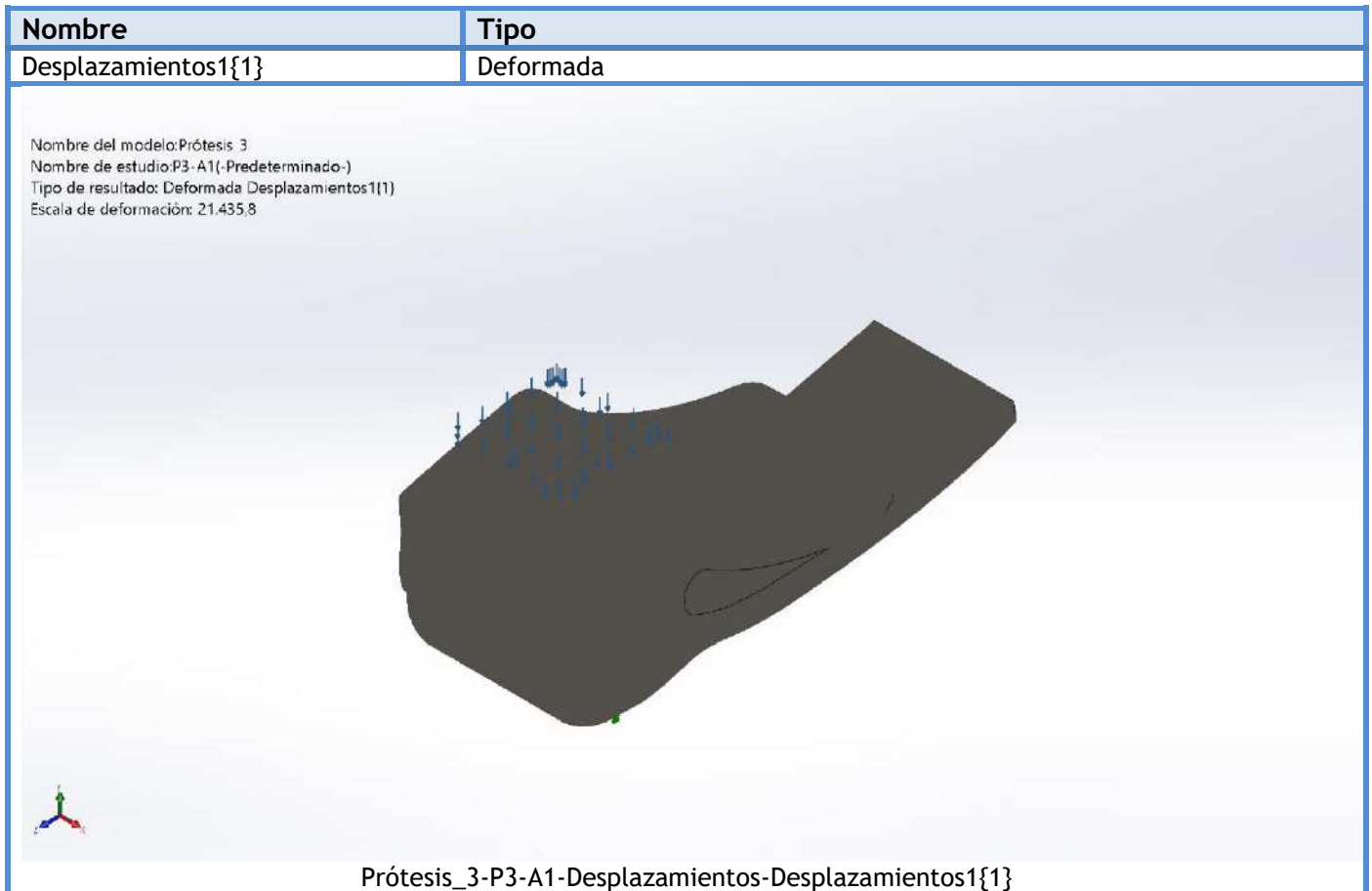
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00154865	613,109	0,00661218	613,109

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

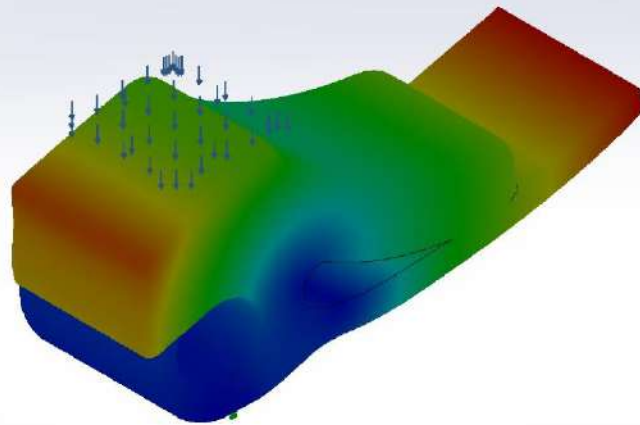


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1602	1,271e-03 mm Nodo: 1144



Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 21.435.8

URES (mm)

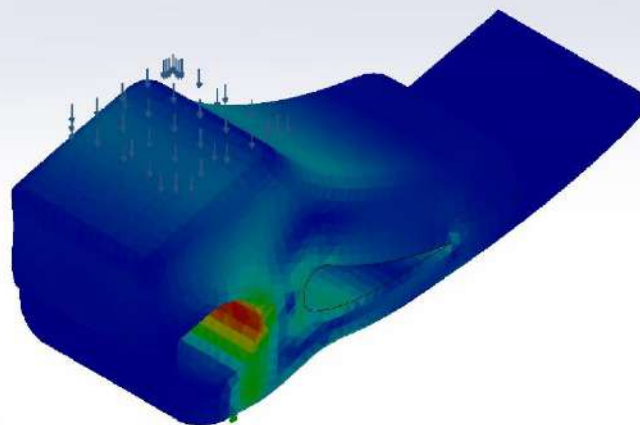


Prótesis_3-P3-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6,278e-12 Elemento: 627	5,163e-06 Elemento: 27696

Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 21.435.8

ESTRN

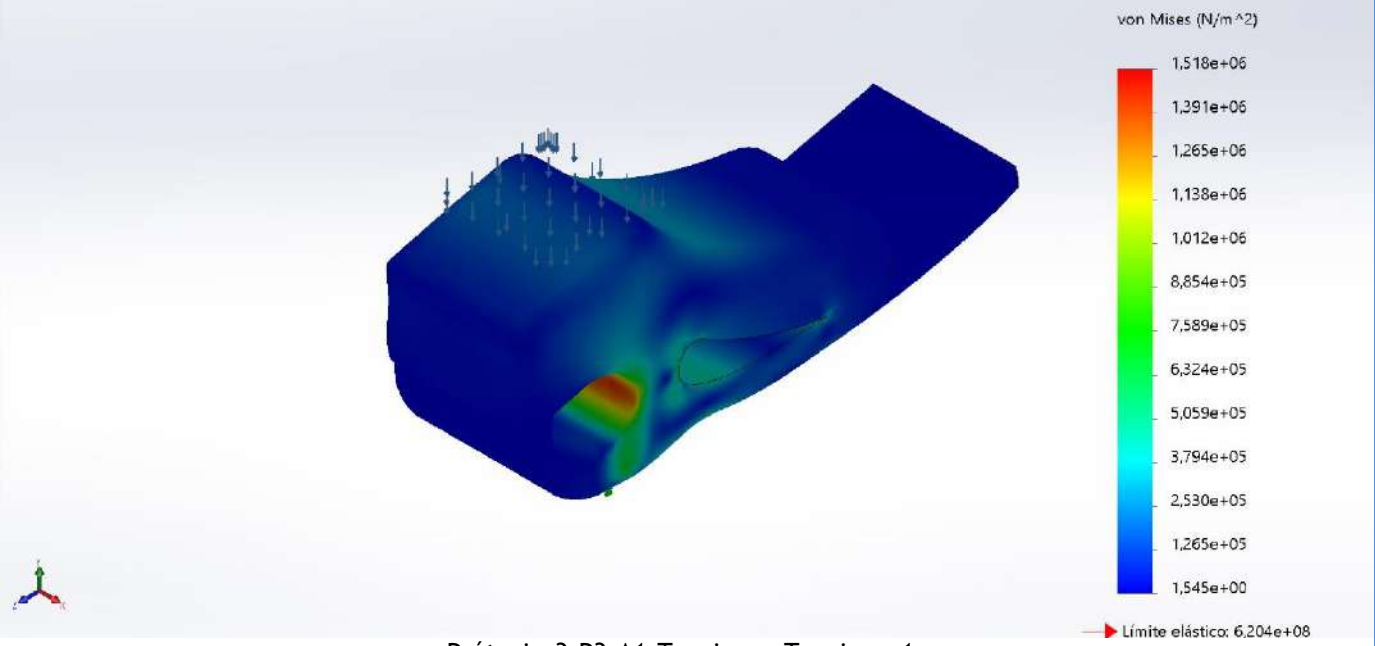


Prótesis_3-P3-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,545e+00 N/m ² Nodo: 70956	1,518e+06 N/m ² Nodo: 1617

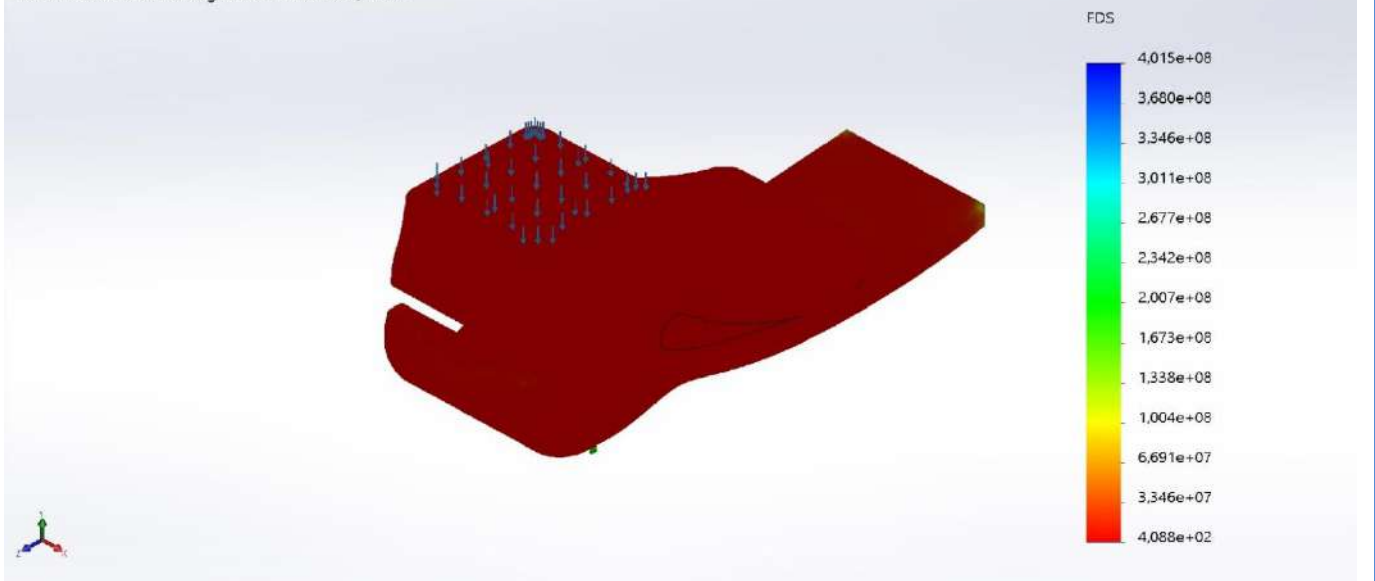
Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 21.435,8



Prótesis_3-P3-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	4,088e+02 Nodo: 1617	4,015e+08 Nodo: 70956

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4,1e+02



Prótesis_3-P3-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_3

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P3-A2

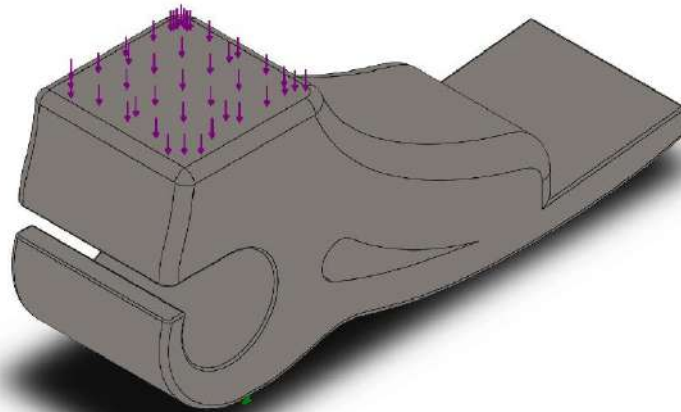
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_3
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_3 	Sólido	Masa:5,52 kg Volumen:0,00118711 m ³ Densidad:4.649,93 kg/m ³ Peso:54,096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_3.SLDPRT Jul 7 20:50:17 2020



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P3-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

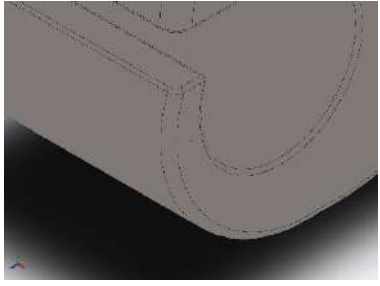


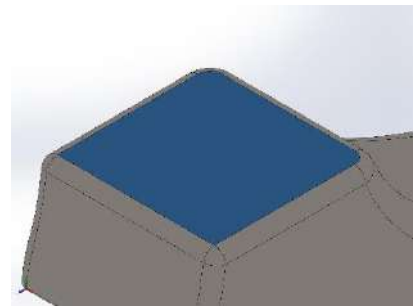
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Redondeo5)(Prótesis_3)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00534025	613,11	0,0147972	613,11
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



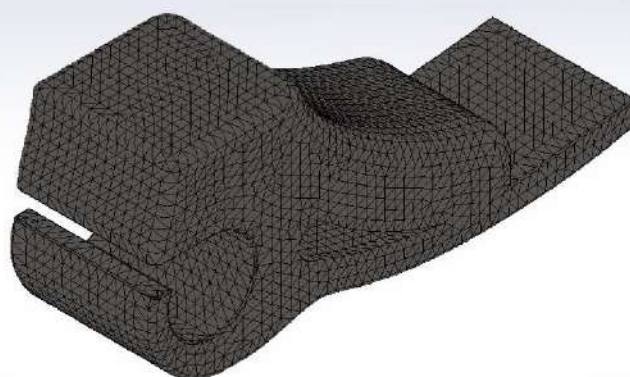
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,29543 mm
Tolerancia	0,264771 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	78868
Número total de elementos	52887
Cociente máximo de aspecto	21,922
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,017
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_3
Nombre de estudio: P3-A2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

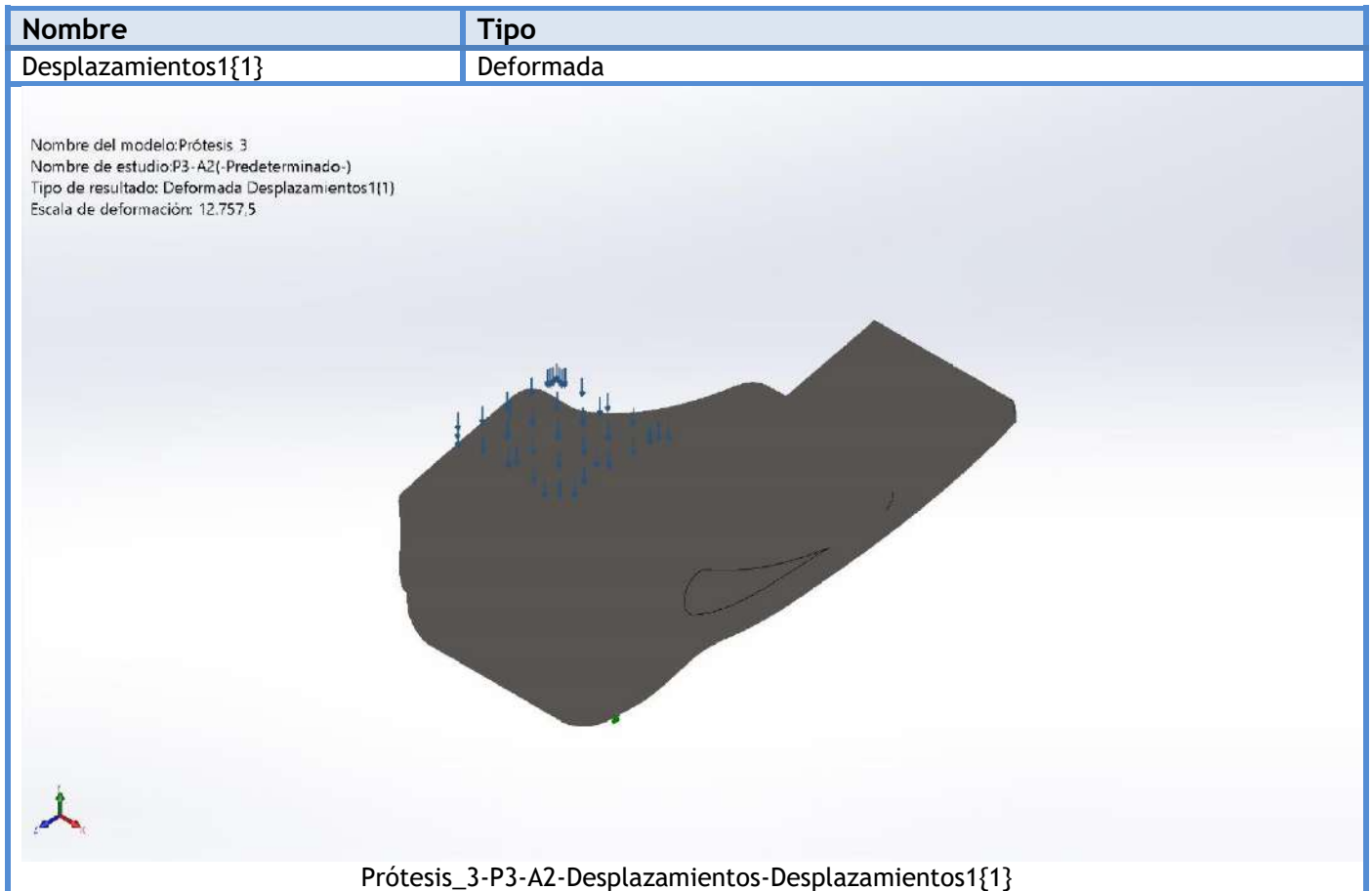
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00534025	613,11	0,0147972	613,11

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

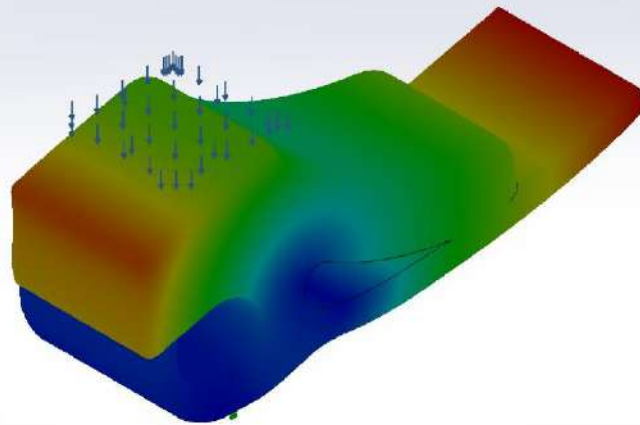


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1602	2,137e-03 mm Nodo: 1144



Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 12.757,5

URES (mm)

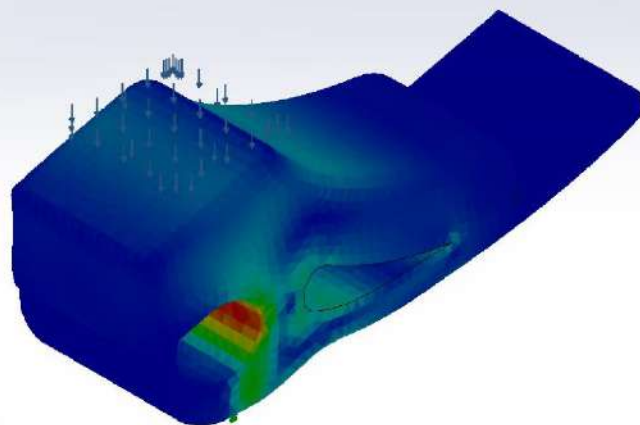


Prótesis_3-P3-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,461e-11 Elemento: 627	9,097e-06 Elemento: 27696

Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 12.757,5

ESTRN



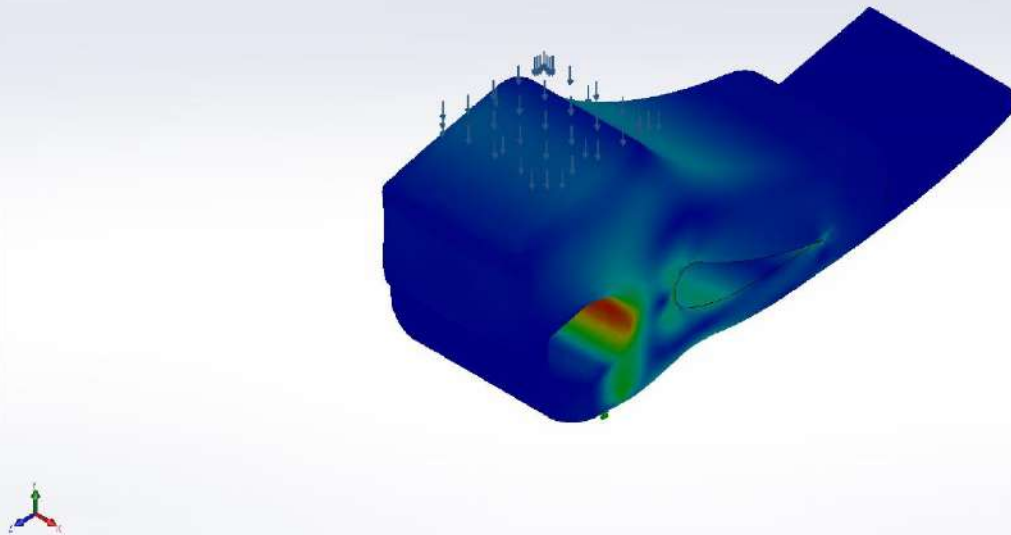
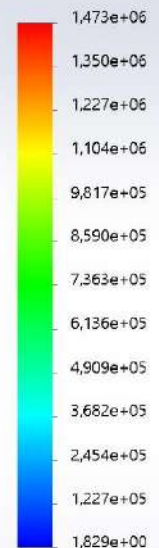
Prótesis_3-P3-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,829e+00 N/m ² Nodo: 70956	1,473e+06 N/m ² Nodo: 1617

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 12.757,5

von Mises (N/m²)



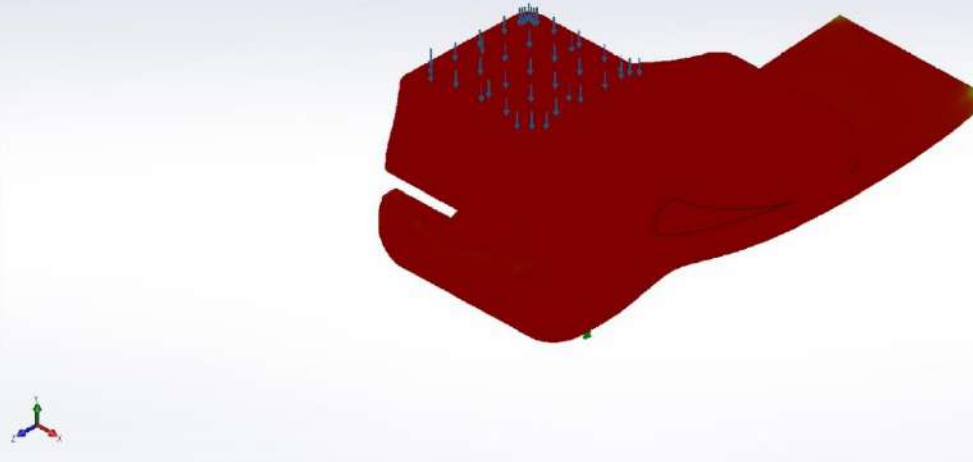
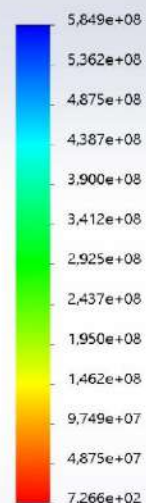
→ Límite elástico: 1,070e+09

Prótesis_3-P3-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	7,266e+02 Nodo: 1617	5,849e+08 Nodo: 70956

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 7,3e+02

FDS



Prótesis_3-P3-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_3

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P3-A3

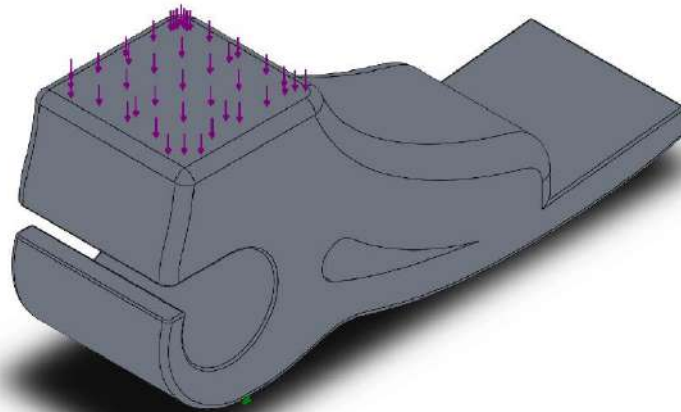
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_3
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_3 	Sólido	Masa:3,20516 kg Volumen:0,00118711 m ³ Densidad:2.699,96 kg/m ³ Peso:31,4106 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_3.SLDPRT Jul 7 20:50:17 2020



Propiedades de estudio

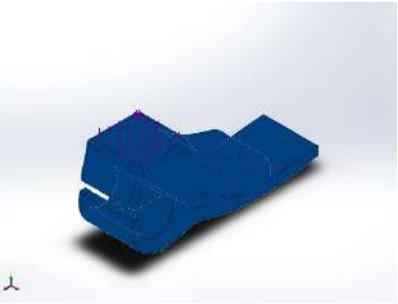
Nombre de estudio	P3-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

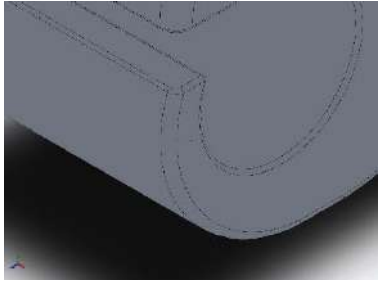


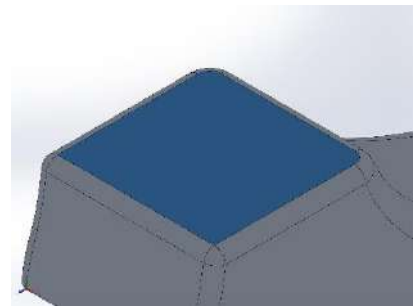
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo5)(Prótesis_3)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00534025	613,11	0,0147972	613,11
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



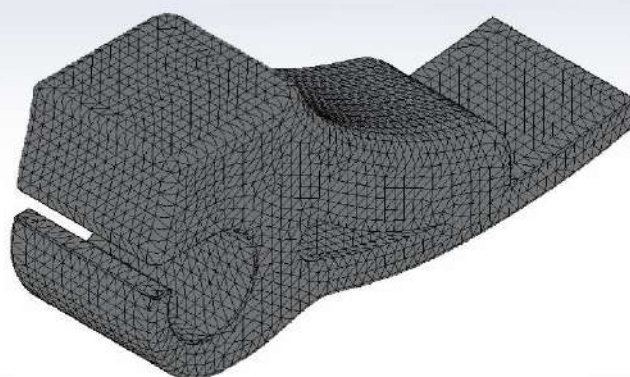
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,29543 mm
Tolerancia	0,264771 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	78868
Número total de elementos	52887
Cociente máximo de aspecto	21,922
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,017
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_3
 Nombre de estudio: P3-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

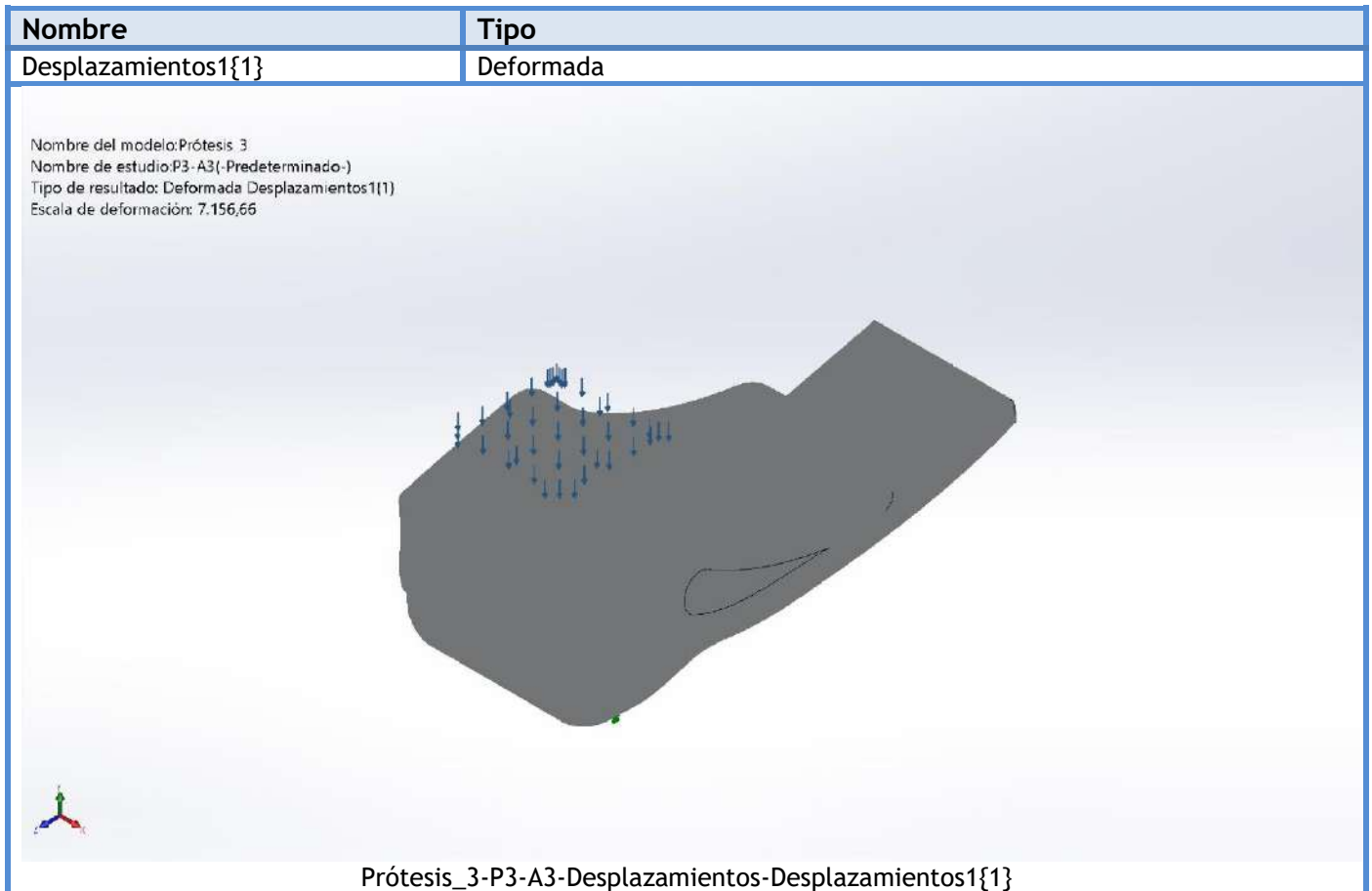
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00534025	613,11	0,0147972	613,11

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

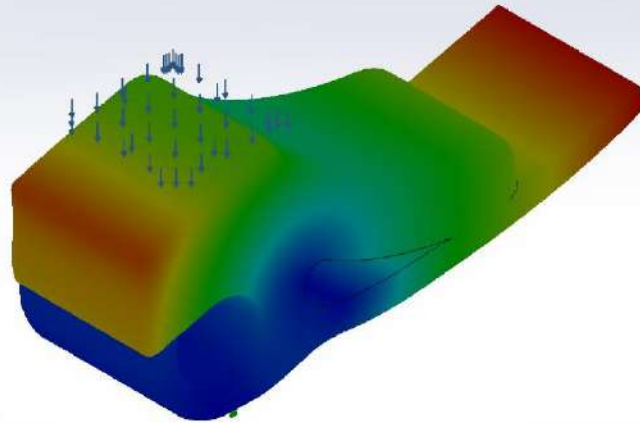


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1602	3,809e-03 mm Nodo: 1144



Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 7.156,66

URES (mm)

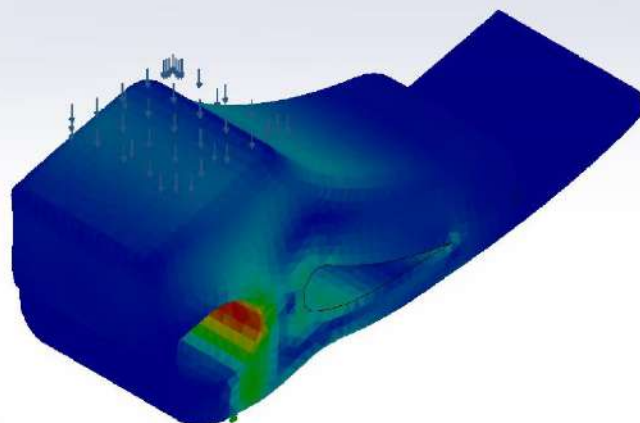


Prótesis_3-P3-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,604e-11 Elemento: 627	1,622e-05 Elemento: 27696

Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 7.156,66

ESTRN

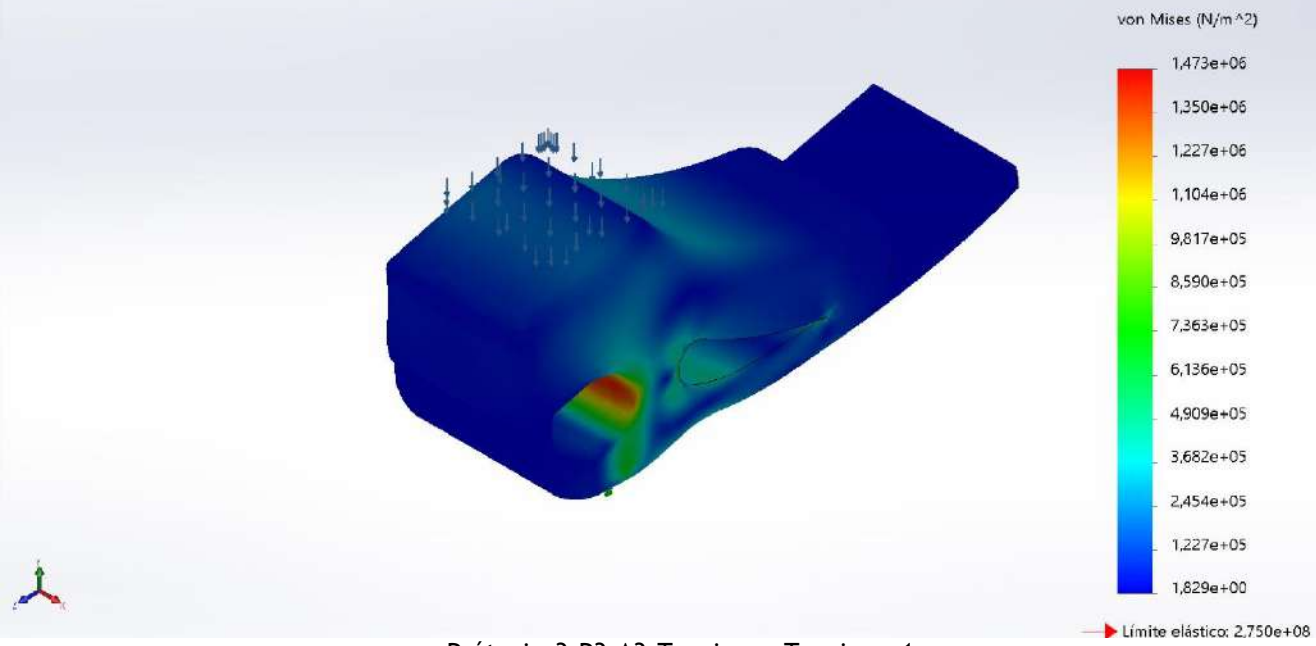


Prótesis_3-P3-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,829e+00 N/m ² Nodo: 70956	1,473e+06 N/m ² Nodo: 1617

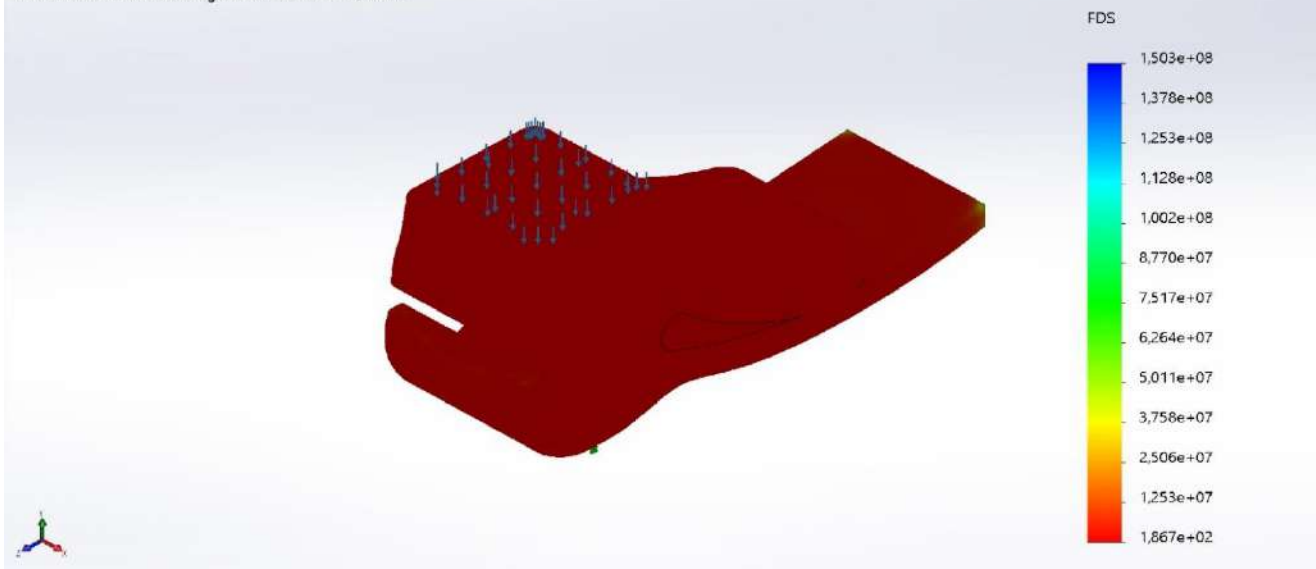
Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 7.156,66



Prótesis_3-P3-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,867e+02 Nodo: 1617	1,503e+08 Nodo: 70956

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,9e+02



Prótesis_3-P3-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_3

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P3-A4

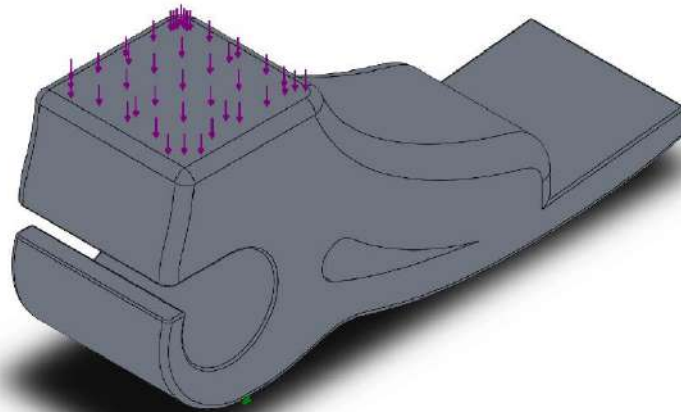
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_3
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_3 	Sólido	Masa:3,33574 kg Volumen:0,00118711 m ³ Densidad:2.809,96 kg/m ³ Peso:32,6903 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_3.SLDPRT Jul 7 20:50:17 2020



Propiedades de estudio

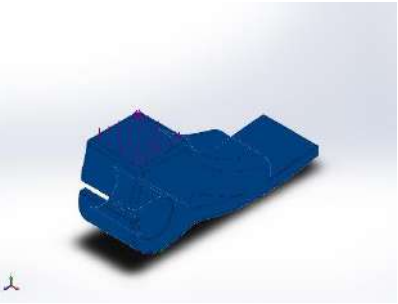
Nombre de estudio	P3-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

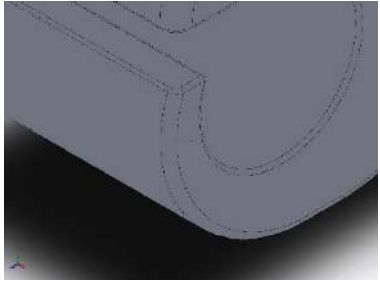


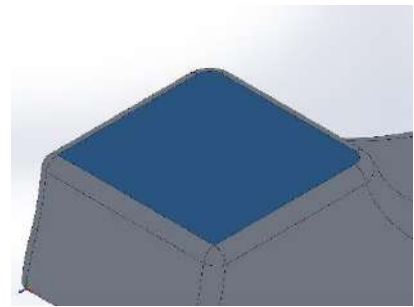
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo5)(Prótesis_3)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00534025	613,11	0,0147972	613,11
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



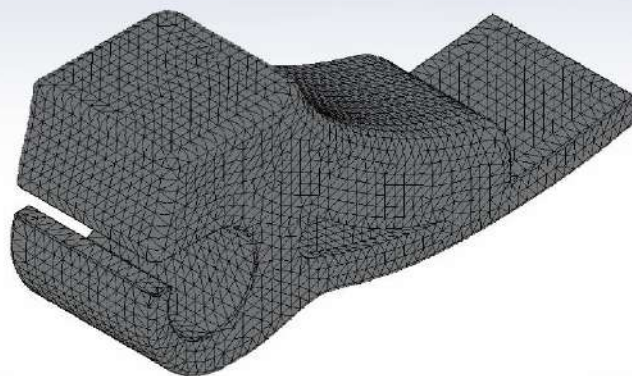
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,29543 mm
Tolerancia	0,264771 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	78868
Número total de elementos	52887
Cociente máximo de aspecto	21,922
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,017
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_3
Nombre de estudio: P3-A4(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

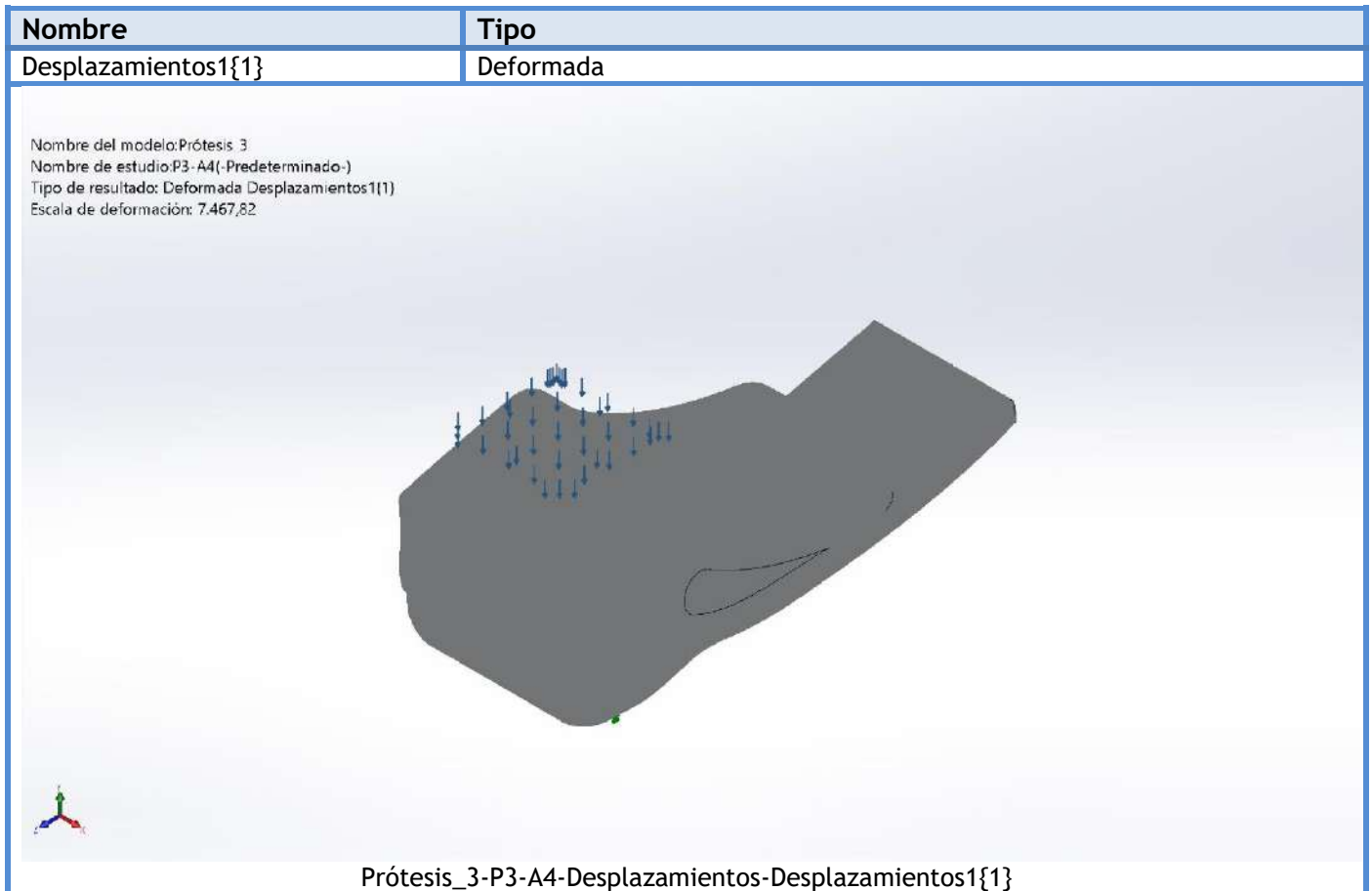
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00534025	613,11	0,0147972	613,11

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

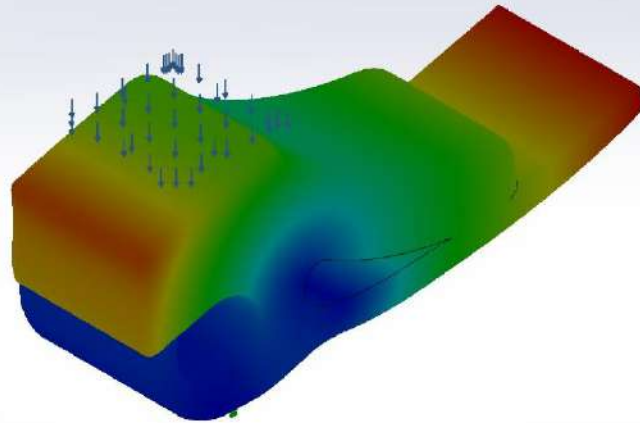


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1602	3,650e-03 mm Nodo: 1144



Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A4(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 7.467,82

URES (mm)

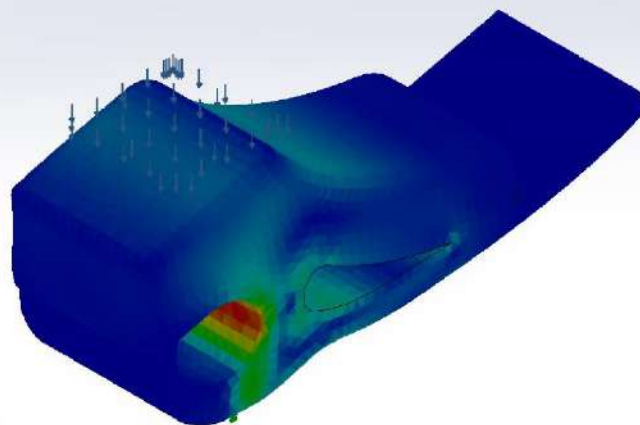


Prótesis_3-P3-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,496e-11 Elemento: 627	1,554e-05 Elemento: 27696

Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A4(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 7.467,82

ESTRN



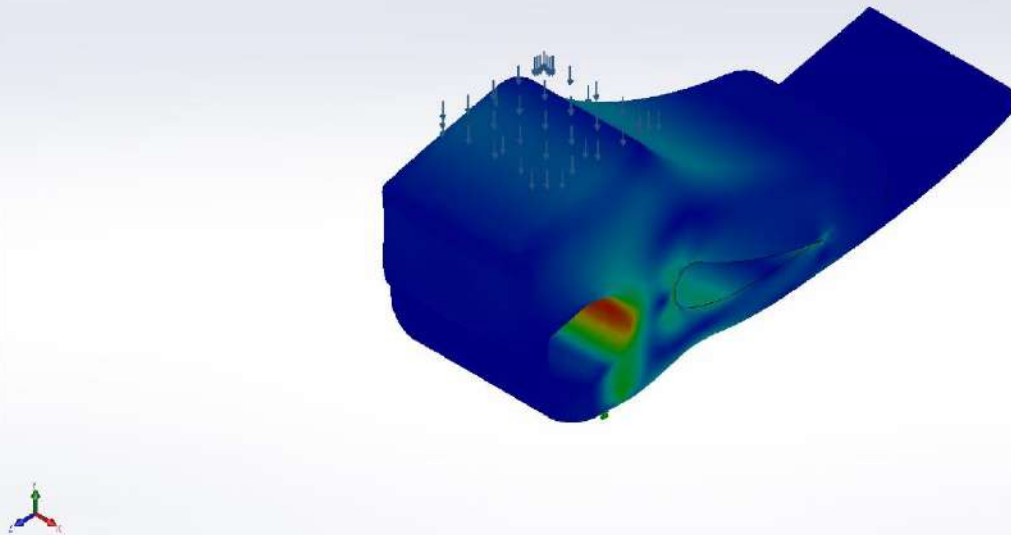
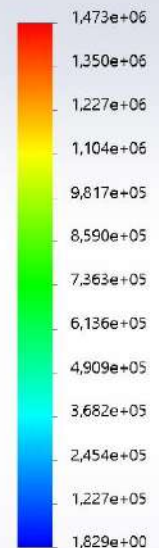
Prótesis_3-P3-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,829e+00 N/m ² Nodo: 70956	1,473e+06 N/m ² Nodo: 1617

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A4(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 7.467,82

von Mises (N/m²)



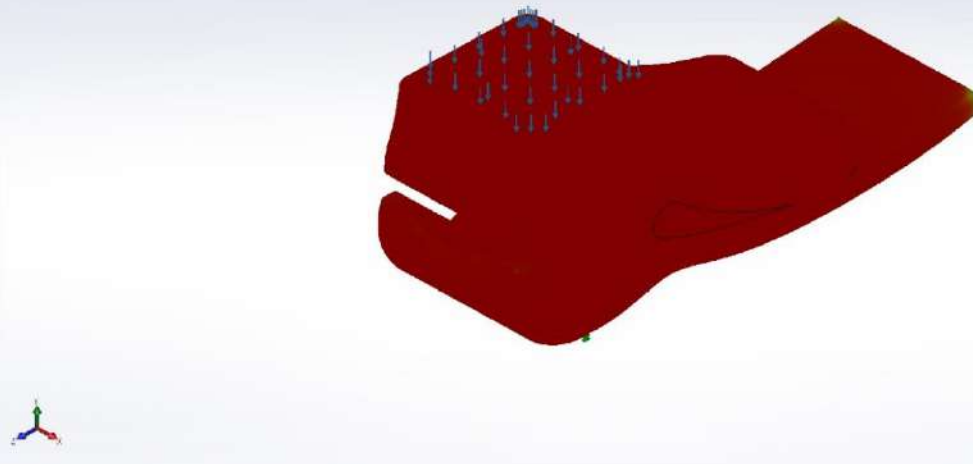
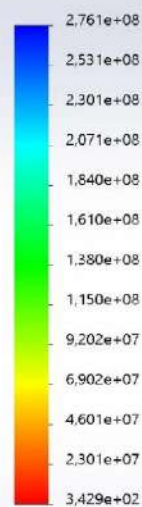
→ Límite elástico: 5,050e+08

Prótesis_3-P3-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	3,429e+02 Nodo: 1617	2,761e+08 Nodo: 70956

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A4(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,4e+02

FDS



Prótesis_3-P3-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_3

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P3-A5

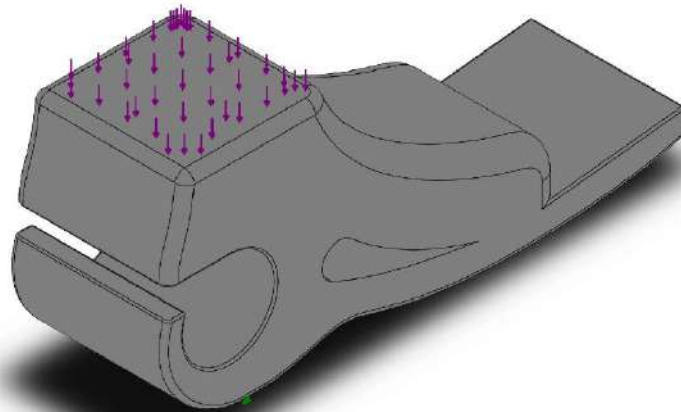
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_3
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_3 	Sólido	Masa: 1,24645 kg Volumen: 0,00118711 m ³ Densidad: 1.049,99 kg/m ³ Peso: 12,2152 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_3.SLDPRT Jul 7 20:50:17 2020



Propiedades de estudio

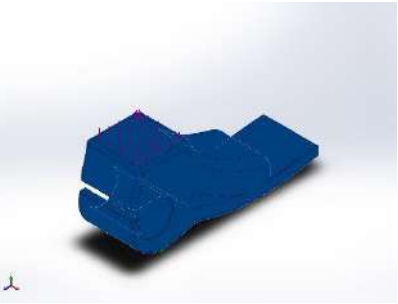
Nombre de estudio	P3-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

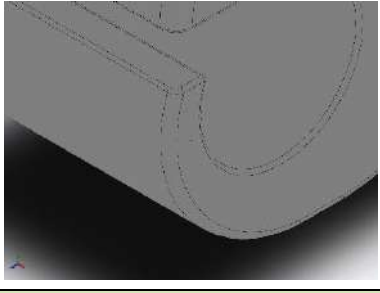


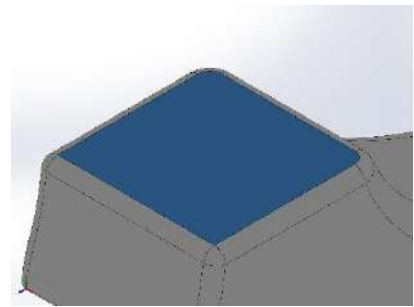
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo5)(Prótesis_3)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,0054847	613,141	-0,00752822	613,141
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



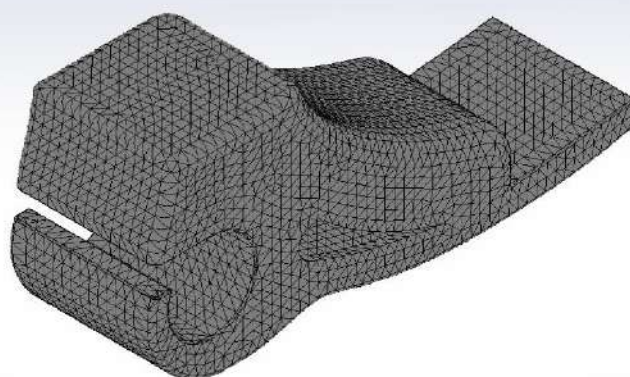
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,29543 mm
Tolerancia	0,264771 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	78868
Número total de elementos	52887
Cociente máximo de aspecto	21,922
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,017
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_3
Nombre de estudio: P3-A5(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

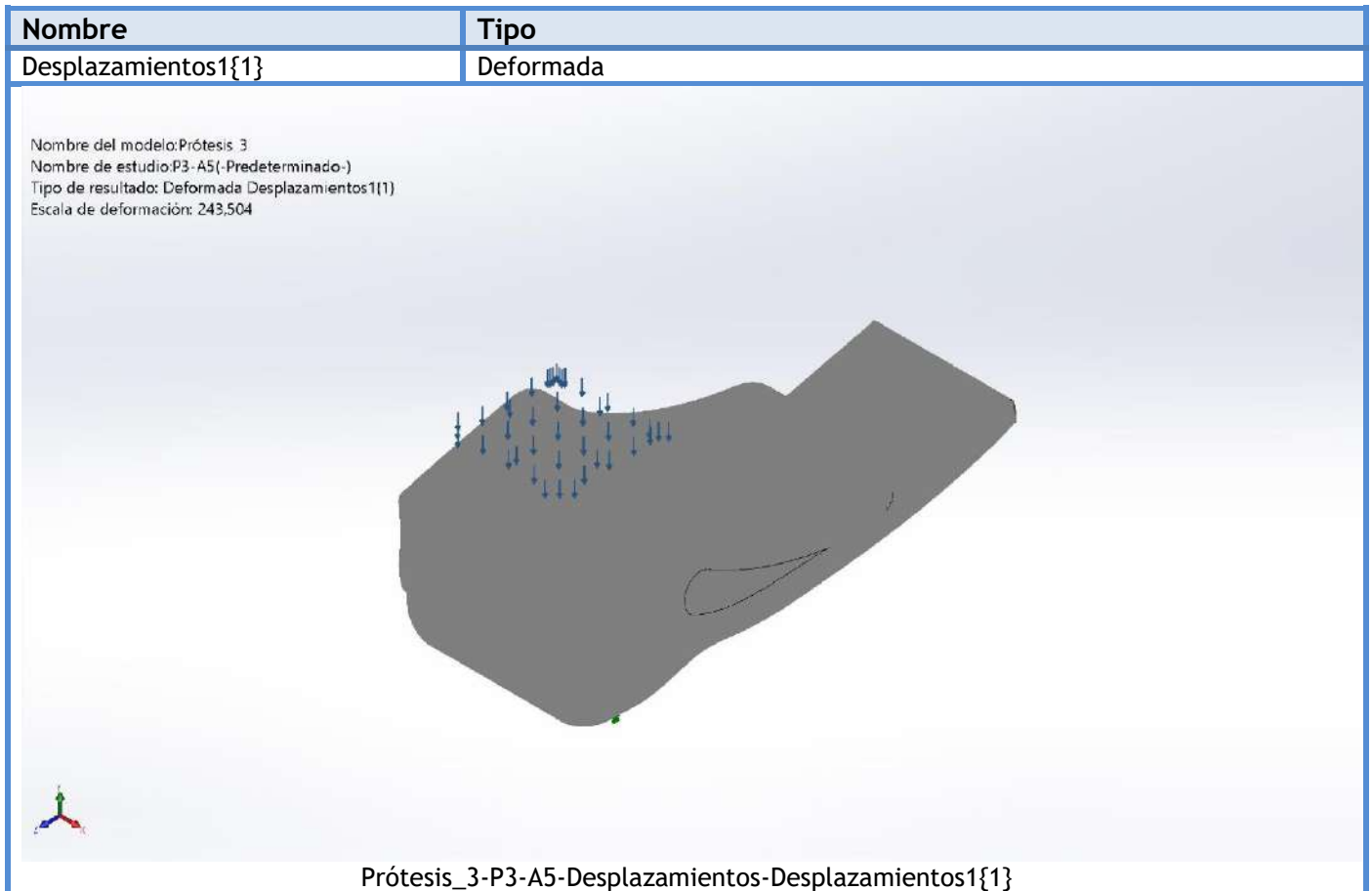
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0054847	613,141	-0,00752822	613,141

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

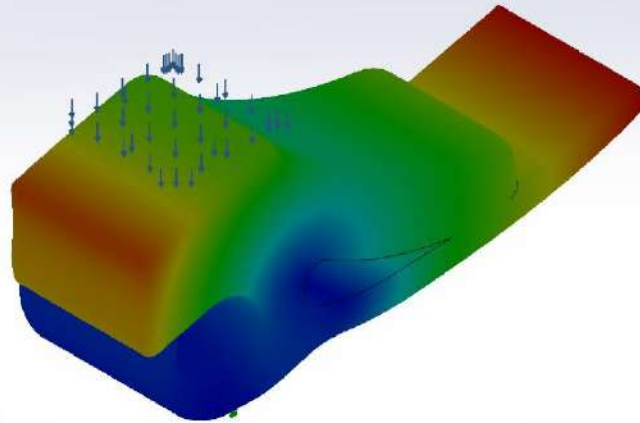


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1602	1,119e-01 mm Nodo: 1144



Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 243,504

URES (mm)

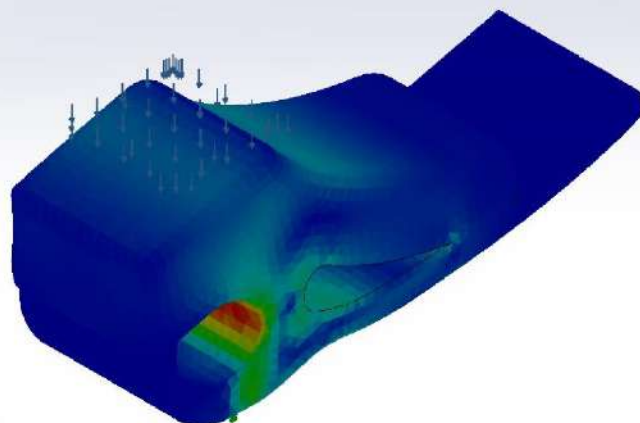


Prótesis_3-P3-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,180e-09 Elemento: 627	5,107e-04 Elemento: 27499

Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 243,504

ESTRN

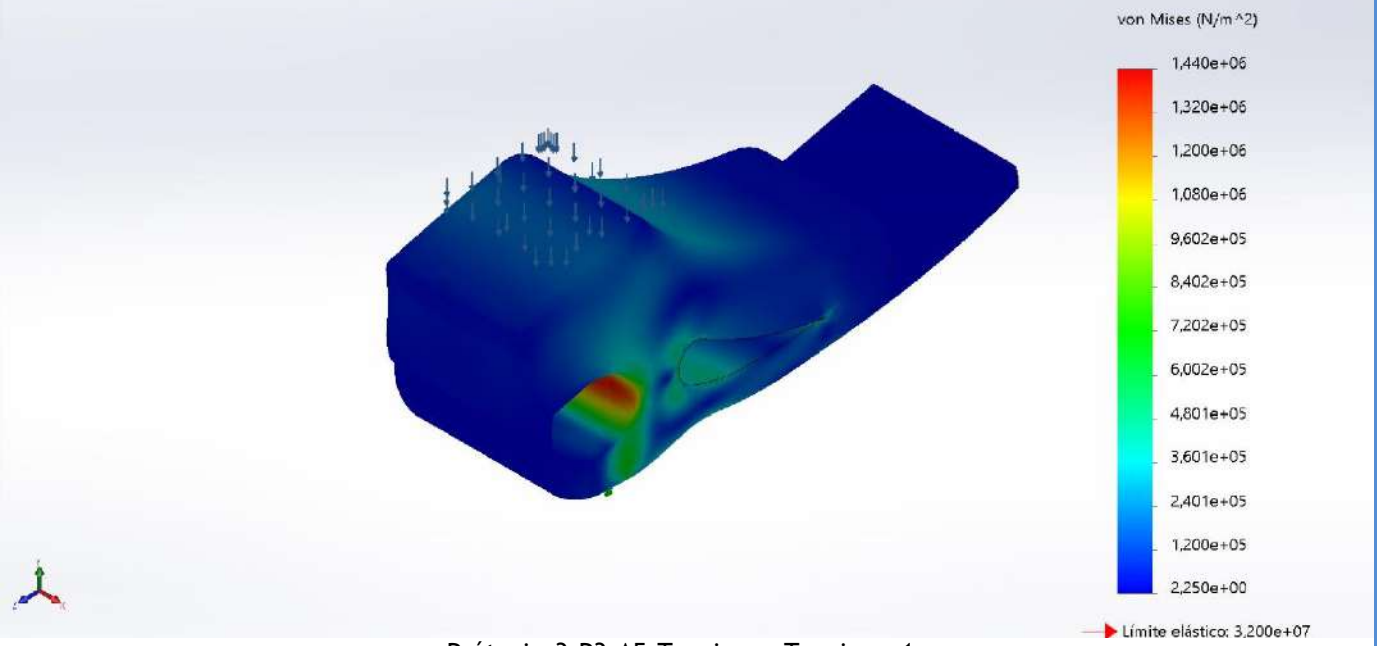


Prótesis_3-P3-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2,250e+00 N/m ² Nodo: 70956	1,440e+06 N/m ² Nodo: 77742

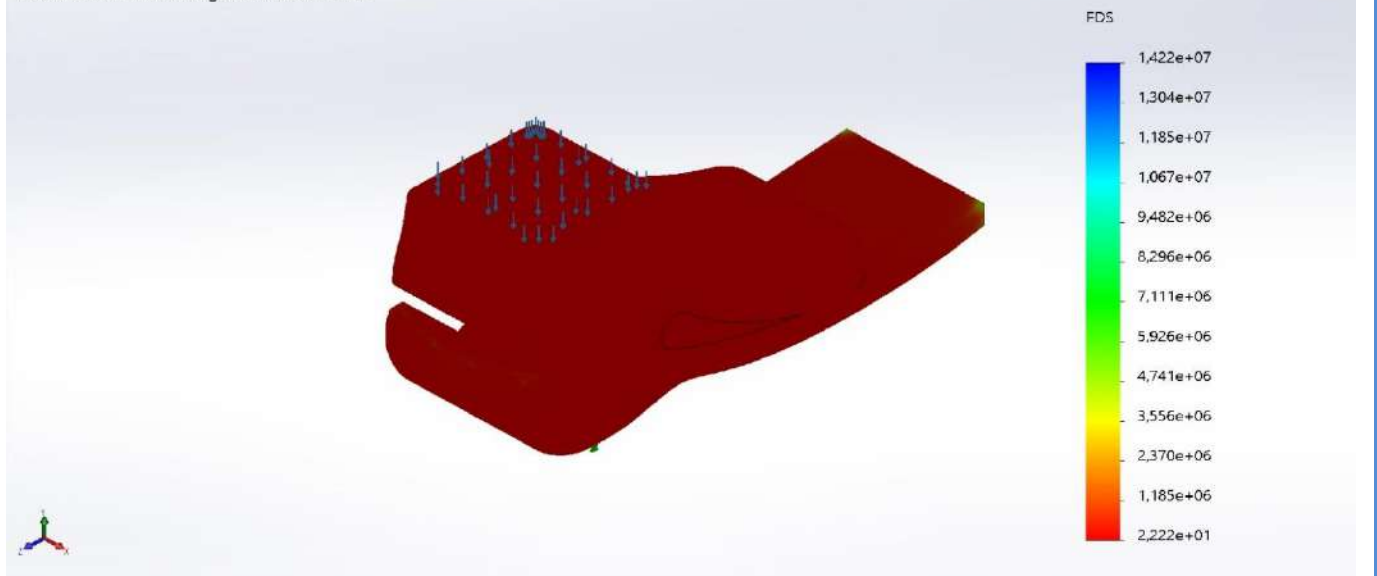
Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 243,504



Prótesis_3-P3-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,222e+01 Nodo: 77742	1,422e+07 Nodo: 70956

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 22



Prótesis_3-P3-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_3

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P3-A6

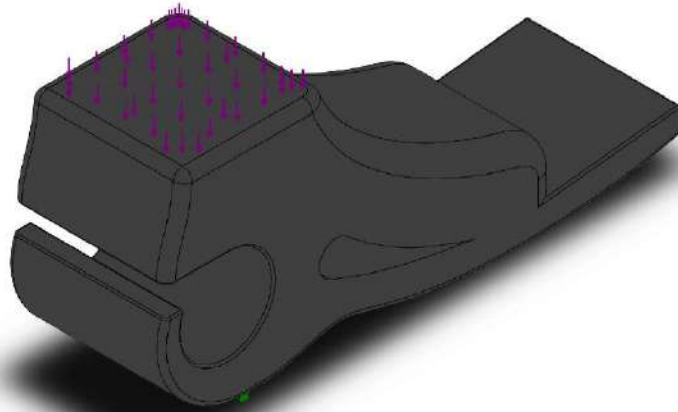
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

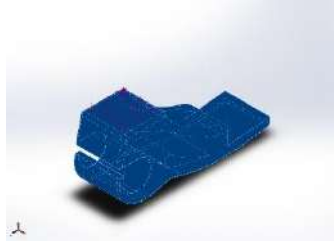


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_3
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_3</p> 	Sólido	<p>Masa: 1,35329 kg Volumen: 0,00118711 m³ Densidad: 1.139,98 kg/m³ Peso: 13,2623 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_3.SLDPRT Jul 7 20:50:17 2020</p>



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P3-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

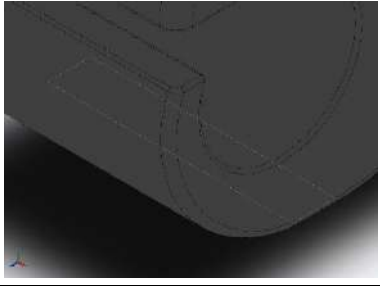


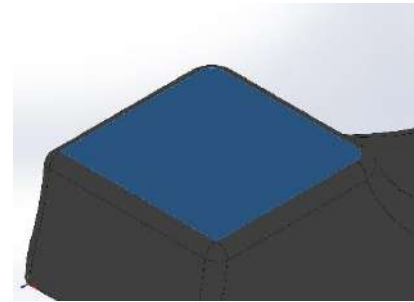
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo5)(Prótesis_3)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,0156922	613,126	-0,0088001	613,126
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



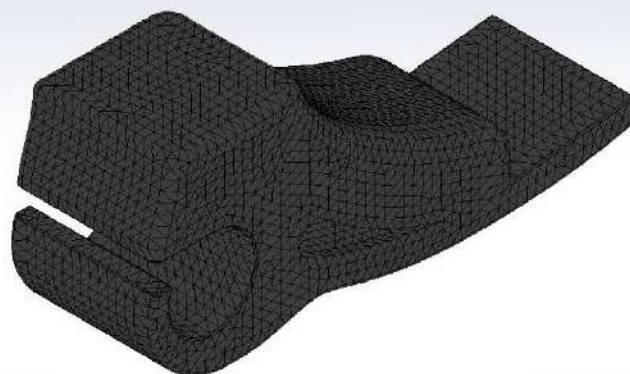
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,29543 mm
Tolerancia	0,264771 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	78868
Número total de elementos	52887
Cociente máximo de aspecto	21,922
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,8
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,017
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_3
Nombre de estudio: P3-A6(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

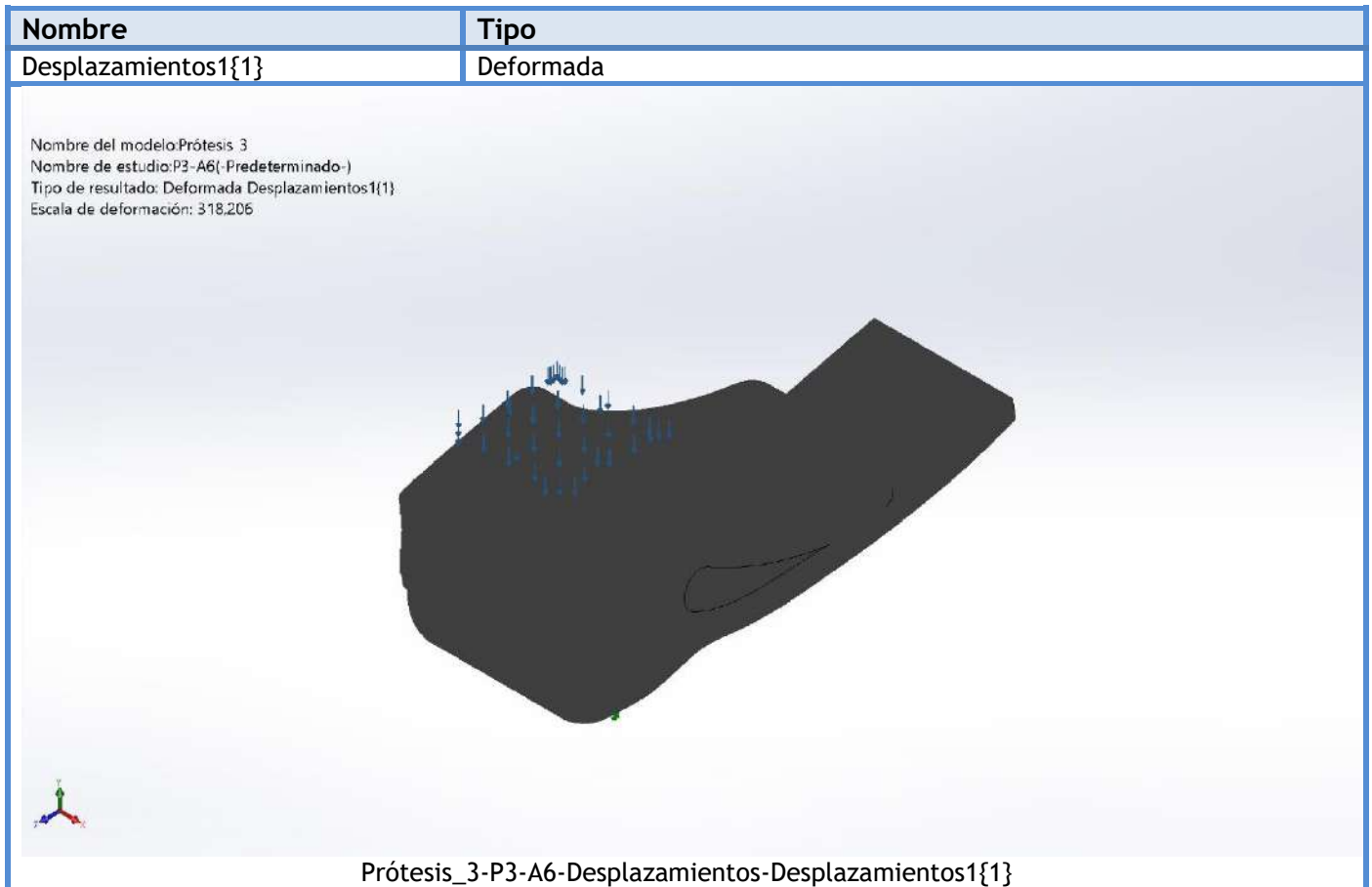
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0156922	613,126	-0,0088001	613,126

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

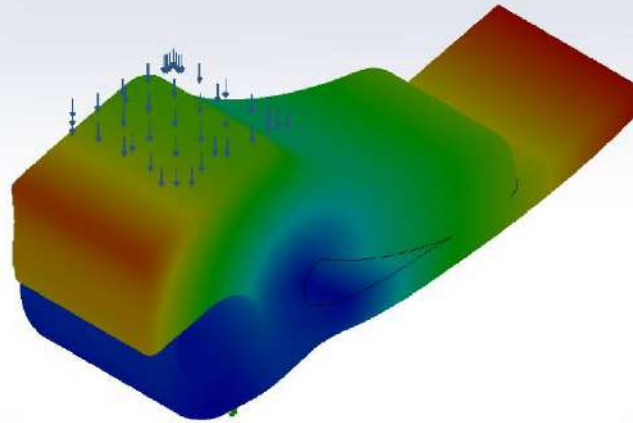
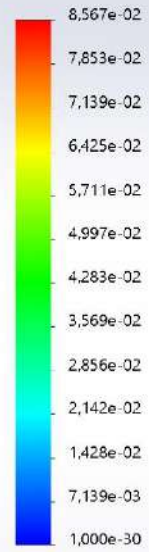


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1602	8,567e-02 mm Nodo: 1128



Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 318,206

URES (mm)

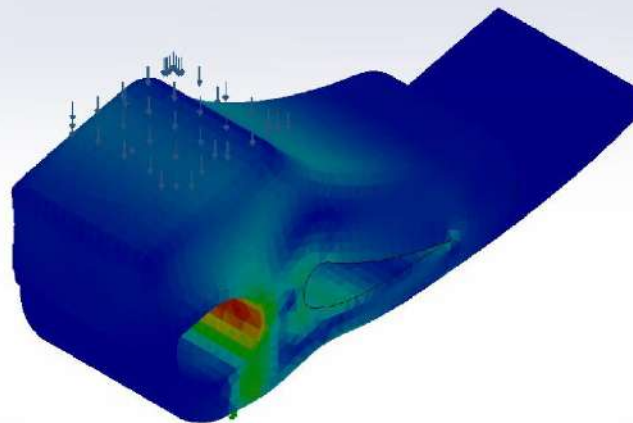


Prótesis_3-P3-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9,489e-10 Elemento: 627	3,937e-04 Elemento: 27499

Nombre del modelo: Prótesis 3
 Nombre de estudio: P3-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 318,206

ESTRN

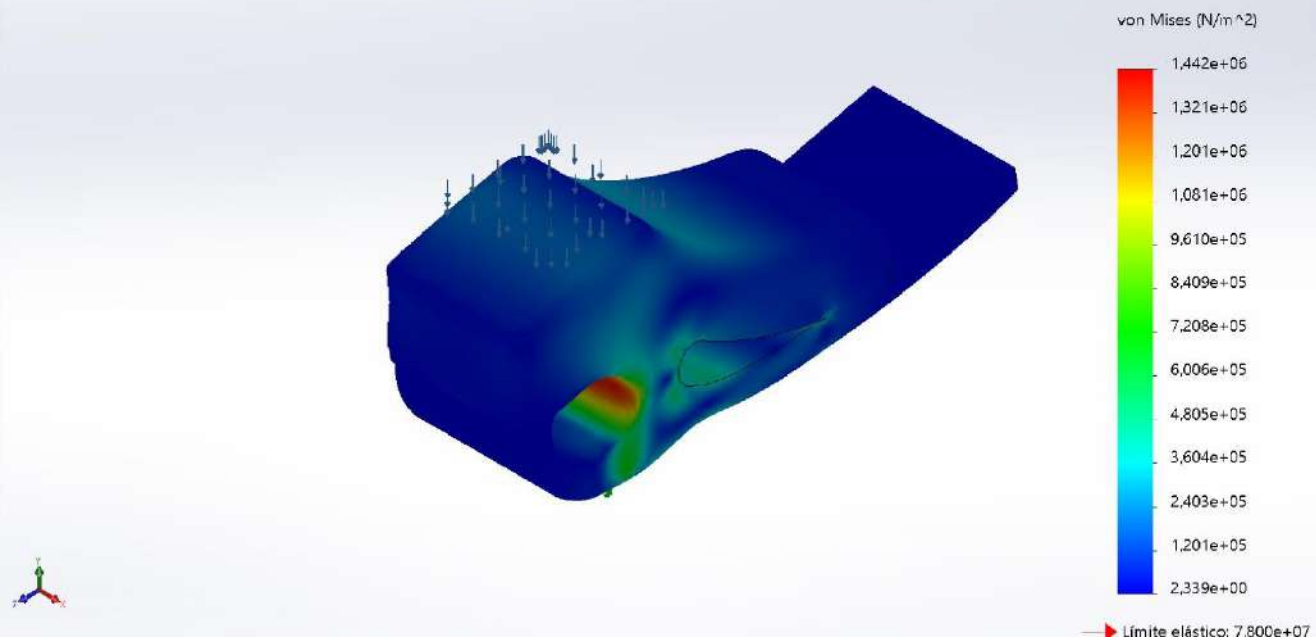


Prótesis_3-P3-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	2,339e+00 N/m ² Nodo: 70956	1,442e+06 N/m ² Nodo: 77742

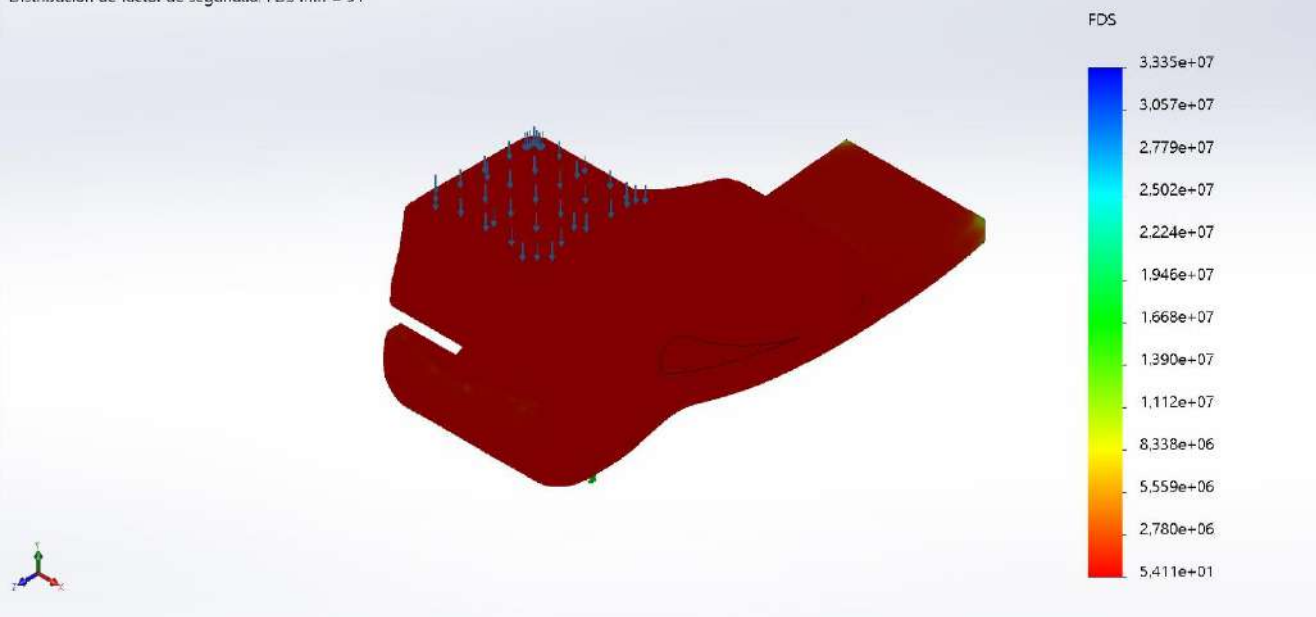
Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 318,206



Prótesis_3-P3-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5,411e+01 Nodo: 77742	3,335e+07 Nodo: 70956

Nombre del modelo: Prótesis 3
Nombre de estudio: P3-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 54



Prótesis_3-P3-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_4

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P4-A1

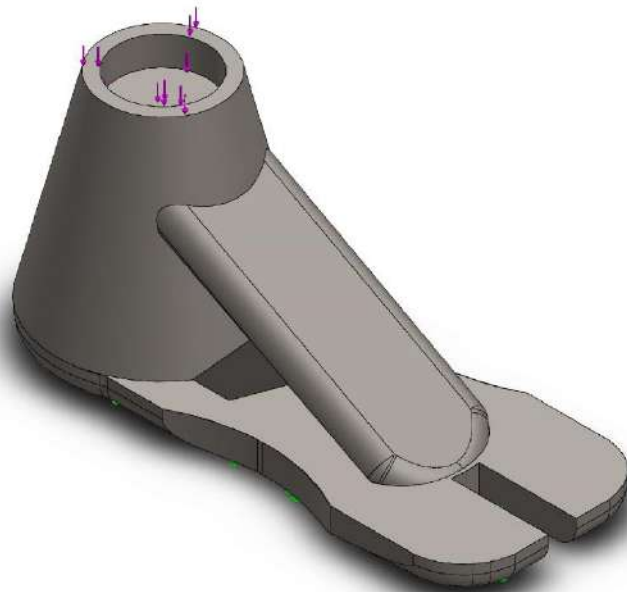
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_4
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_4</p> 	Sólido	<p>Masa:8,13111 kg Volumen:0,00105599 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:79,6849 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_4.SLDPRT Jul 7 23:30:52 2020</p>



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P4-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²




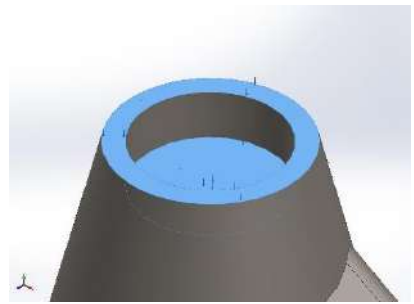
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo6)(Prótesis_4)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,6979	1.226	0,0505168	1.226,01
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,60191 mm
Tolerancia	0,280096 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	57140
Número total de elementos	37524
Cociente máximo de aspecto	118,08
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,389
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4-A1(- Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,6979	1.226	0,0505168	1.226,01

Momentos de reacción

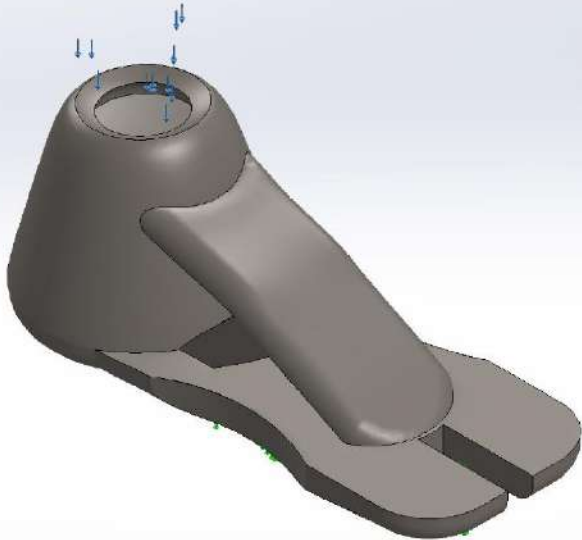
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformada: Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 191.967

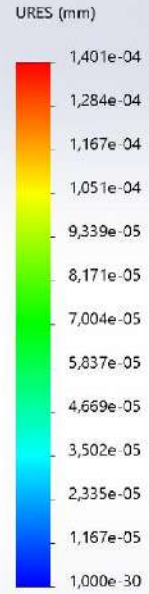
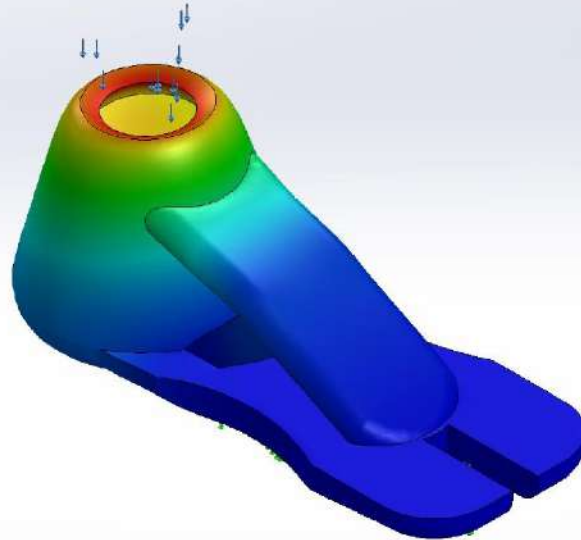


Prótesis_4-P4-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1357	1,401e-04 mm Nodo: 1



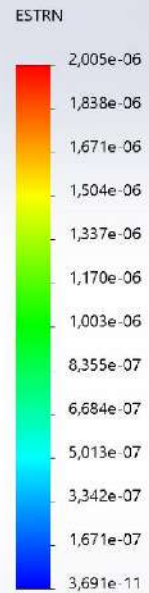
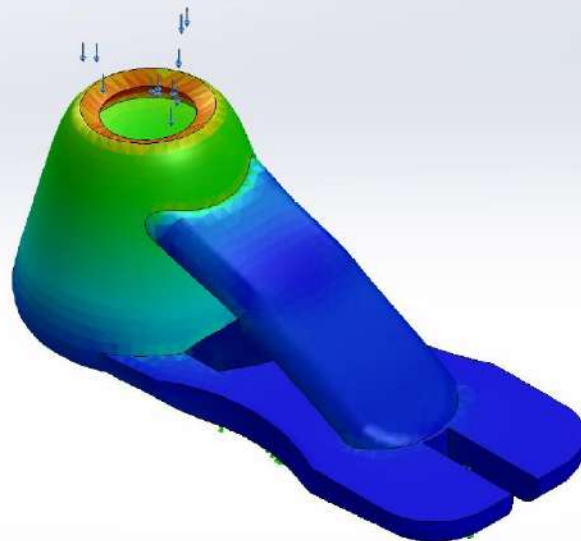
Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 191.967



Prótesis_4-P4-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,691e-11 Elemento: 11173	2,005e-06 Elemento: 15870

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 191.967

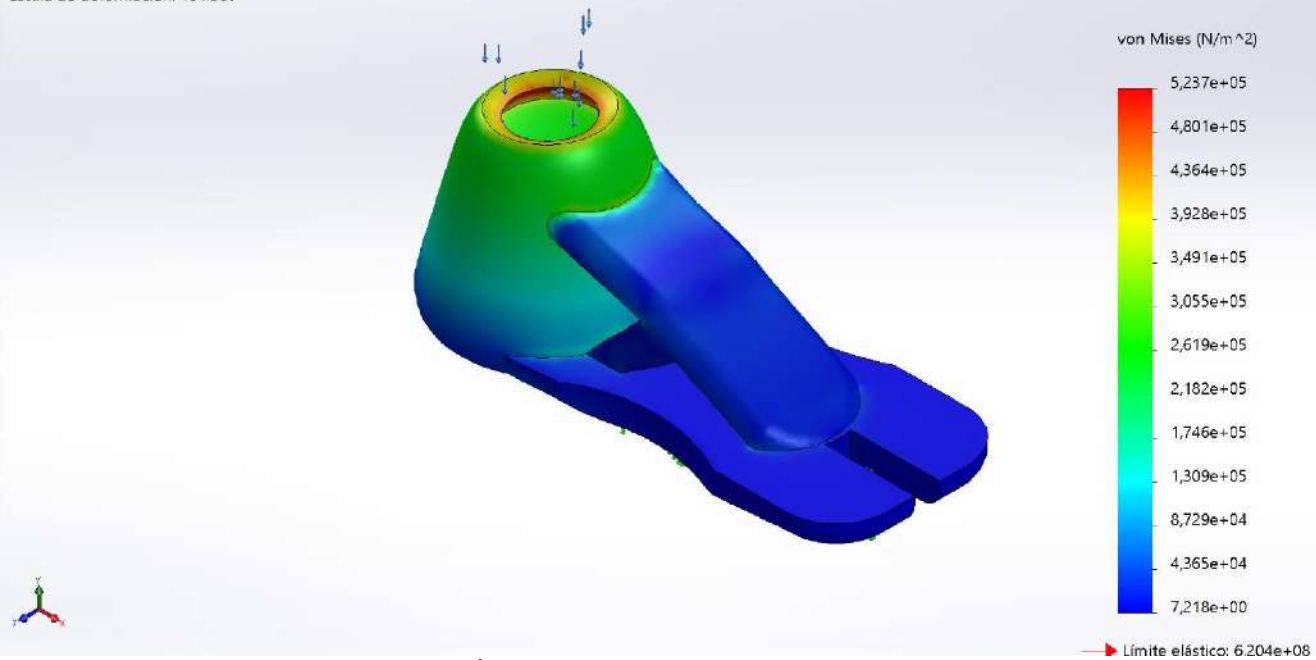


Prótesis_4-P4-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,218e+00 N/m ² Nodo: 46076	5,237e+05 N/m ² Nodo: 3025

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4 A1(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 191.967



Prótesis_4-P4-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,185e+03 Nodo: 3025	8,596e+07 Nodo: 46076

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4 A1(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,2e+03



Prótesis_4-P4-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_4

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P4-A2

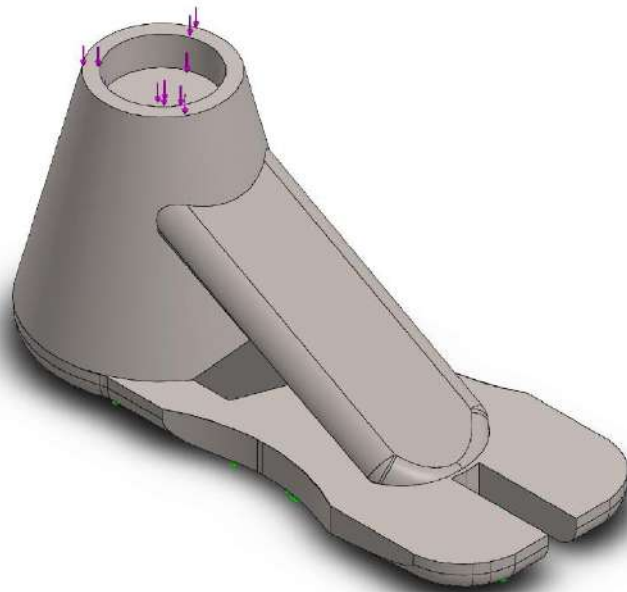
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_4
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_4</p> 	Sólido	<p>Masa:4,91035 kg Volumen:0,00105599 m³ Densidad:4.650 kg/m³ Peso:48,1214 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_4.SLDPRT Jul 7 23:30:52 2020</p>



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P4-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²




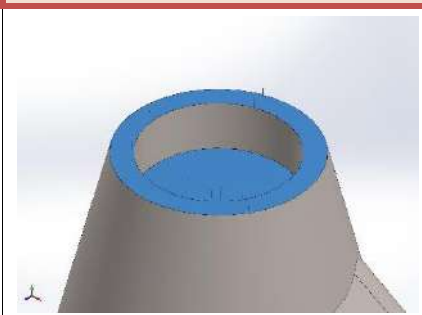
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo6)(Prótesis_4)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,69532	1.226,16	-0,00332505	1.226,17
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,60191 mm
Tolerancia	0,280096 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	57140
Número total de elementos	37524
Cociente máximo de aspecto	118,08
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,389
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4-A2(- Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,69532	1.226,16	-0,00332505	1.226,17

Momentos de reacción

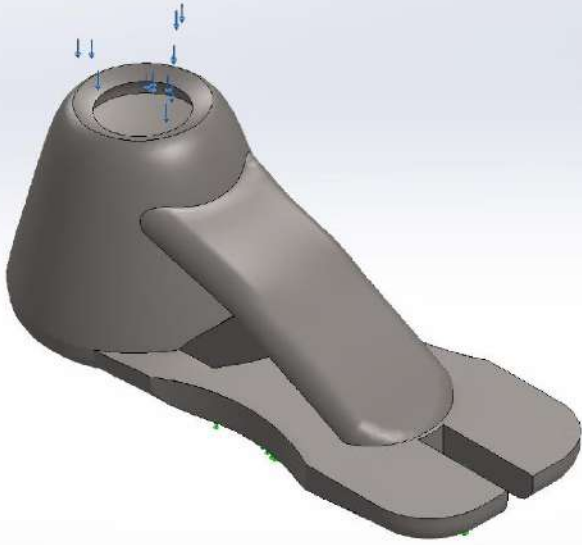
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformada: Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 113.485

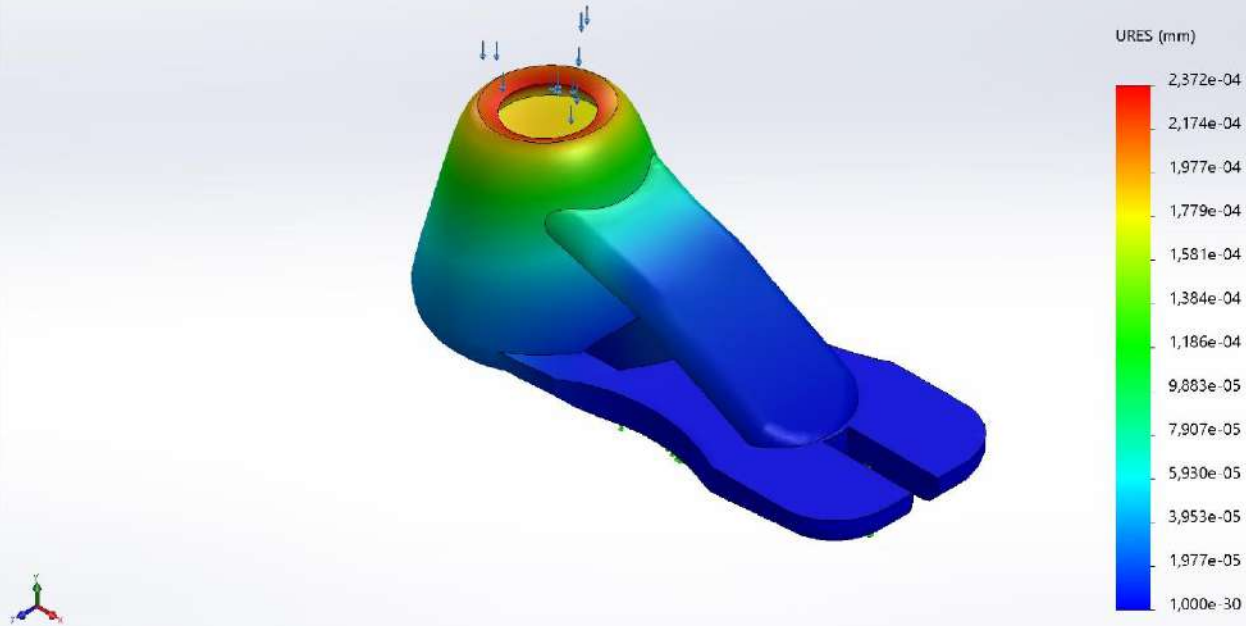


Prótesis_4-P4-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1357	2,372e-04 mm Nodo: 1



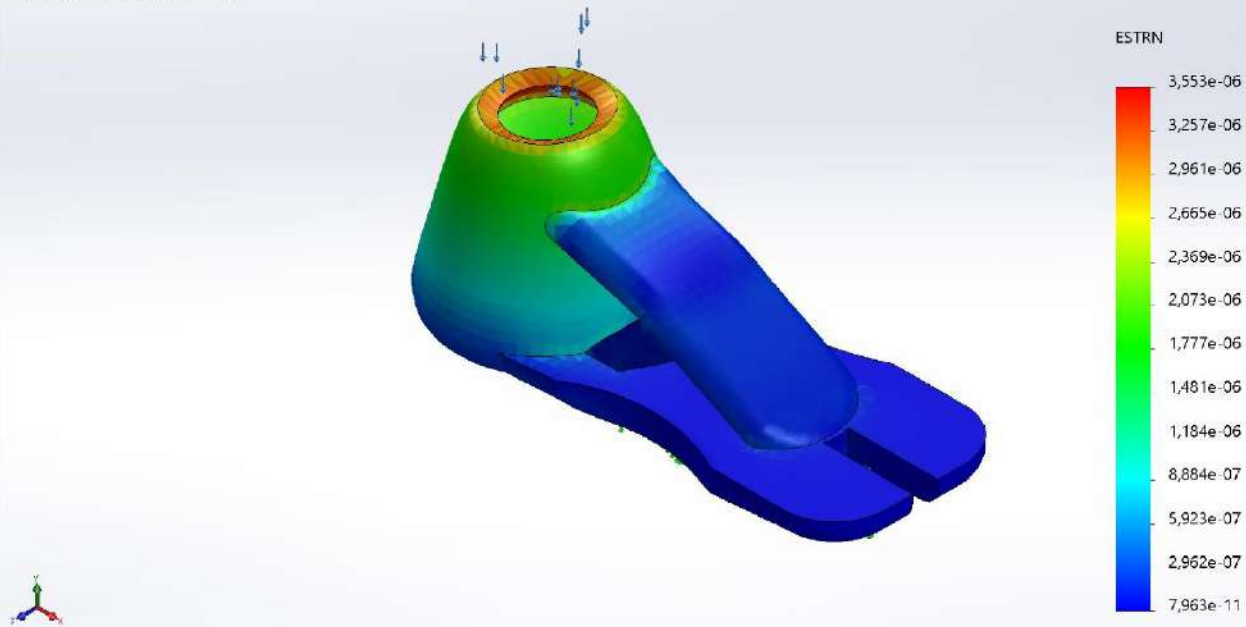
Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 113.485



Prótesis_4-P4-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,963e-11 Elemento: 10971	3,553e-06 Elemento: 15870

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 113.485

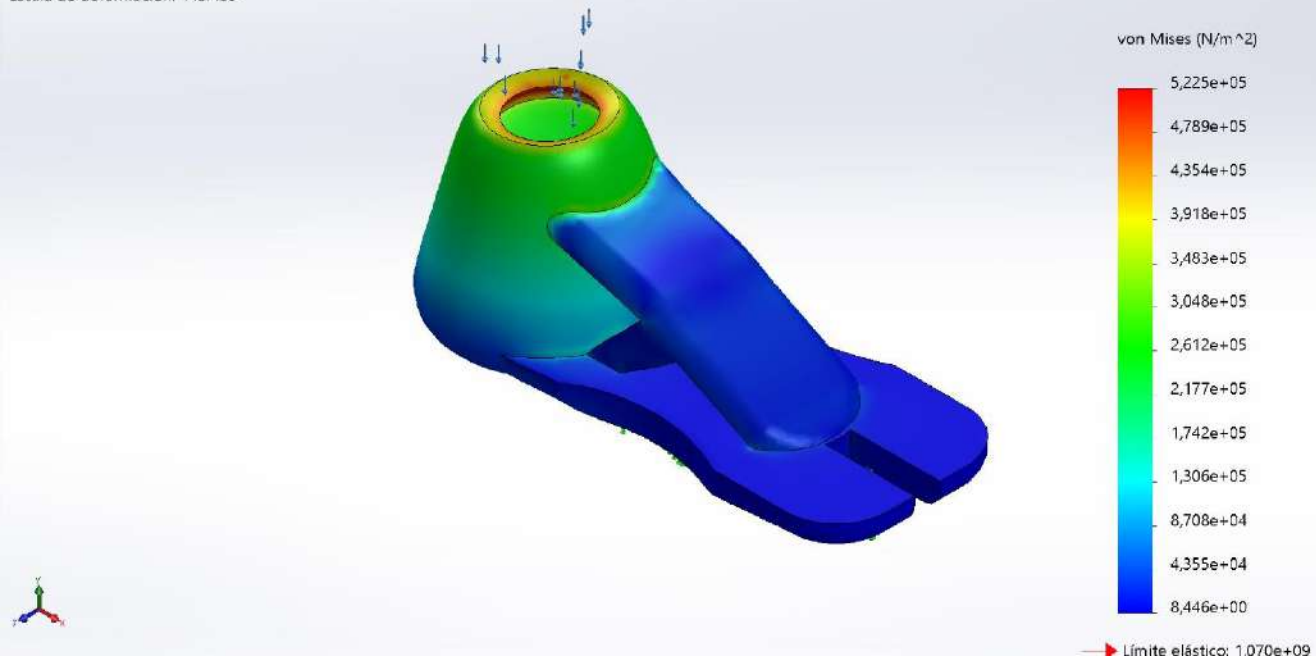


Prótesis_4-P4-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,446e+00 N/m ² Nodo: 46076	5,225e+05 N/m ² Nodo: 3025

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4_A2(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 113,485



Prótesis_4-P4-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,048e+03 Nodo: 3025	1,267e+08 Nodo: 46076

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4_A2(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2e+03



Prótesis_4-P4-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_4

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P4-A3

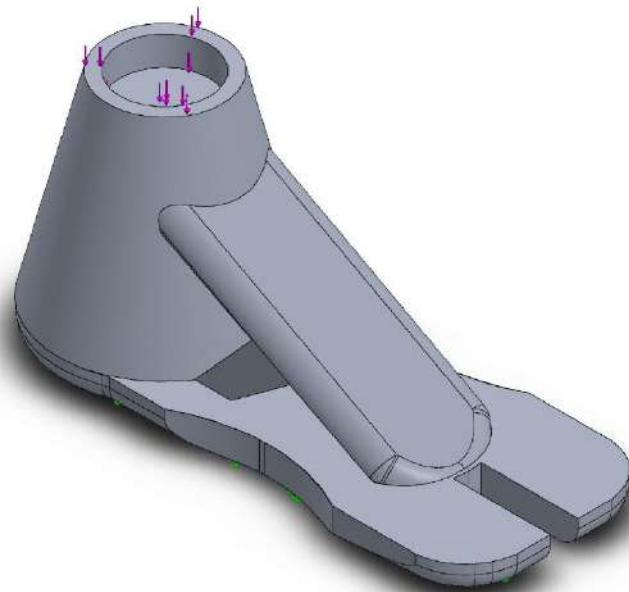
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_4
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_4</p> 	Sólido	<p>Masa:2,85117 kg Volumen:0,00105599 m³ Densidad:2.700 kg/m³ Peso:27,9415 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_4.SLDPRT Jul 7 23:30:52 2020</p>



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P4-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²




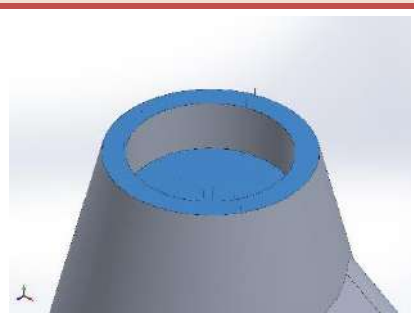
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo6)(Prótesis_4)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,69532	1.226,16	-0,00332505	1.226,17
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N</p>



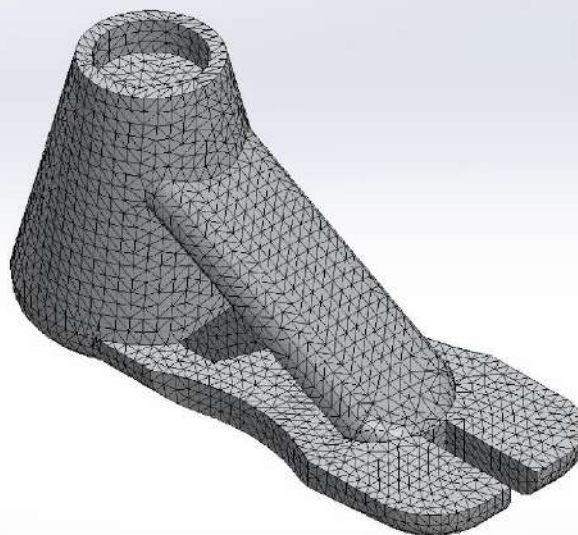
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,60191 mm
Tolerancia	0,280096 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	57140
Número total de elementos	37524
Cociente máximo de aspecto	118,08
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,389
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4-A3(- Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,69532	1.226,16	-0,00332505	1.226,17

Momentos de reacción

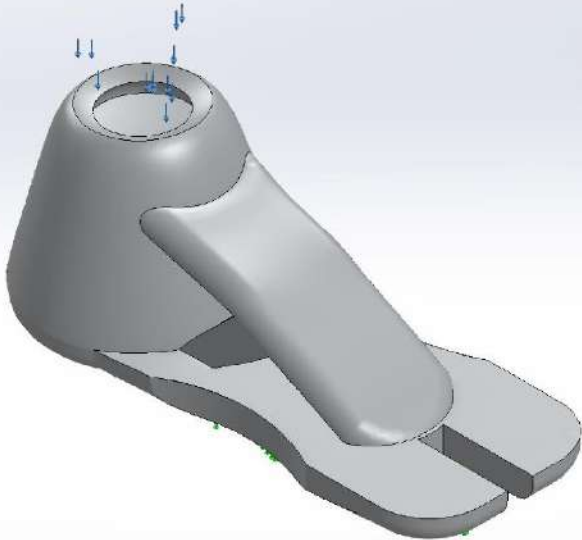
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformada: Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 63.662,3

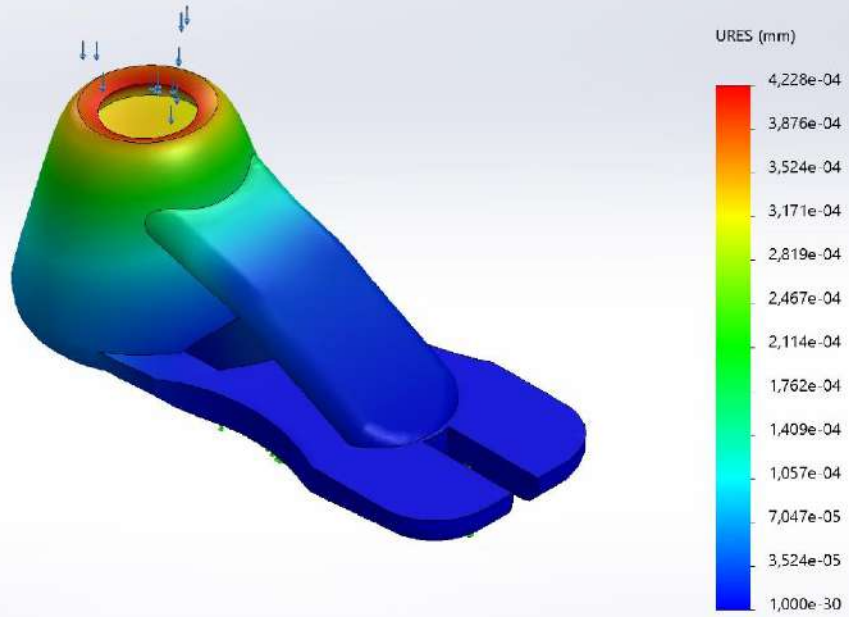


Prótesis_4-P4-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1357	4,228e-04 mm Nodo: 1



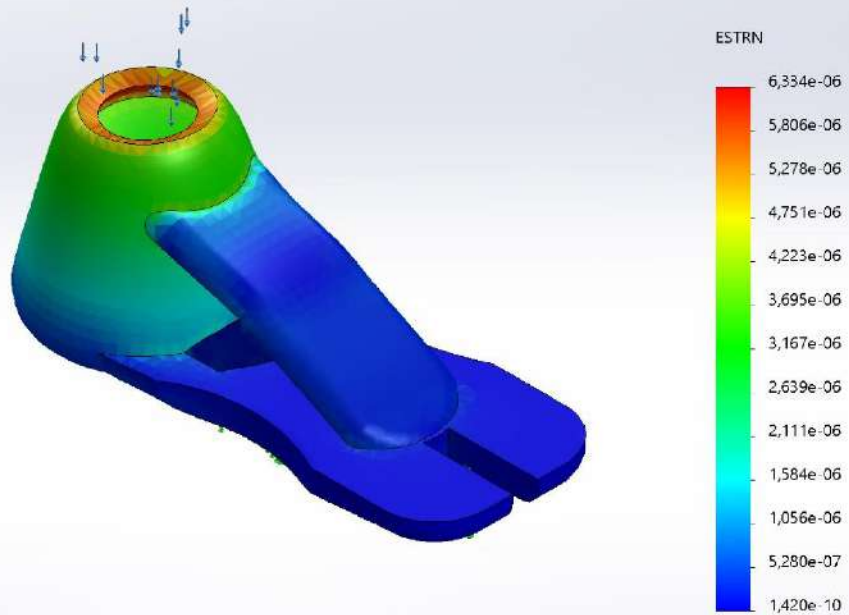
Nombre del modelo:Prótesis_4
 Nombre de estudio:P4_A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 63.662,3



Prótesis_4-P4-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,420e-10 Elemento: 10971	6,334e-06 Elemento: 15870

Nombre del modelo:Prótesis_4
 Nombre de estudio:P4_A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 63.662,3

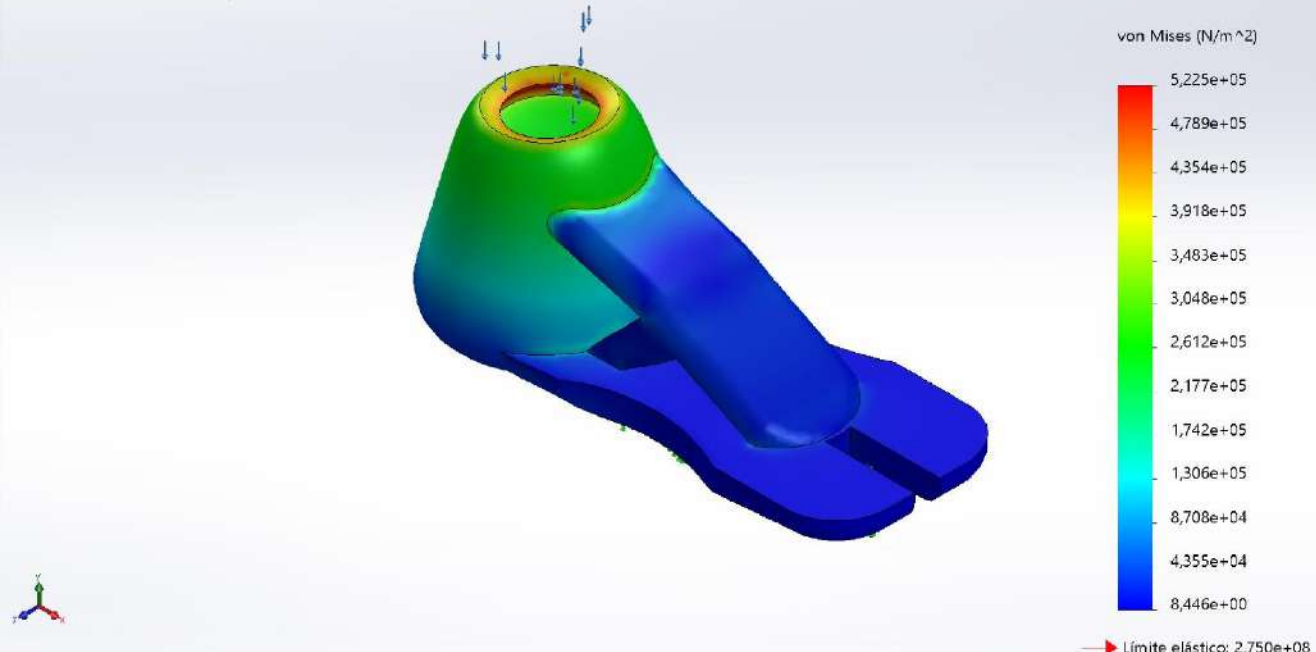


Prótesis_4-P4-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,446e+00 N/m ² Nodo: 46076	5,225e+05 N/m ² Nodo: 3025

Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4_A3(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 63.662,3



Prótesis_4-P4-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5,264e+02 Nodo: 3025	3,256e+07 Nodo: 46076

Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4_A3(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 5,3e+02



Prótesis_4-P4-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_4

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P4-A4

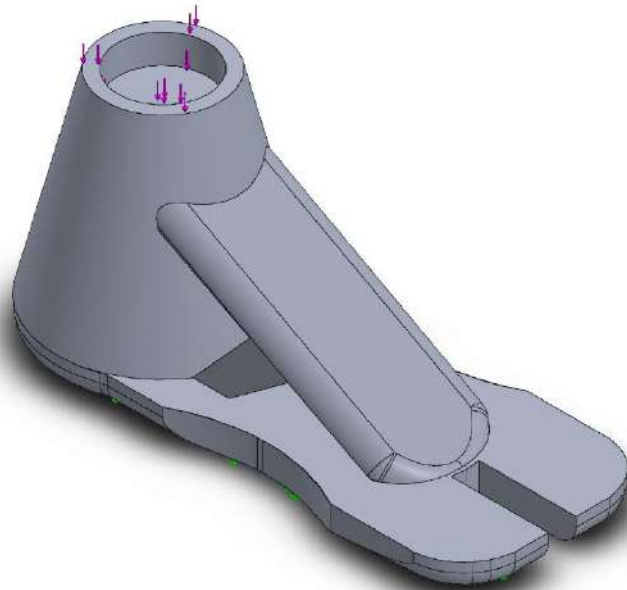
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_4
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_4 	Sólido	Masa:2,96733 kg Volumen:0,00105599 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:29,0798 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_4.SLDPRT Jul 7 23:30:52 2020



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P4-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²




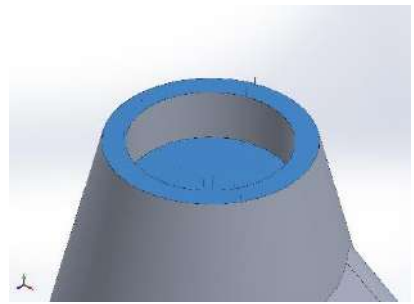
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo6)(Prótesis_4)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,69532	1.226,16	-0,00332505	1.226,17
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



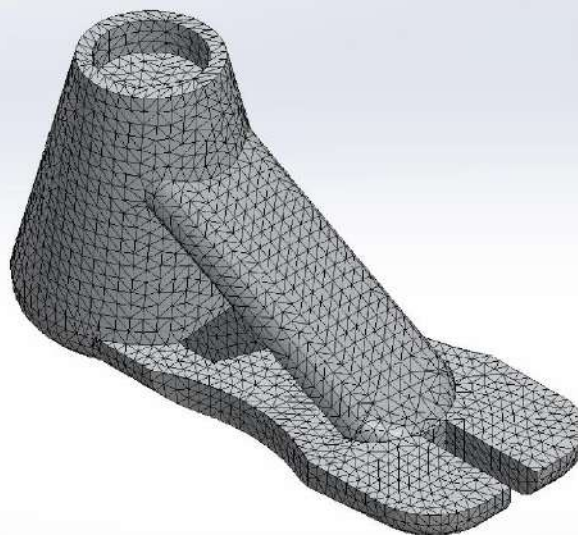
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,60191 mm
Tolerancia	0,280096 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	57140
Número total de elementos	37524
Cociente máximo de aspecto	118,08
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,389
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4-A4(- Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,69532	1.226,16	-0,00332505	1.226,17

Momentos de reacción

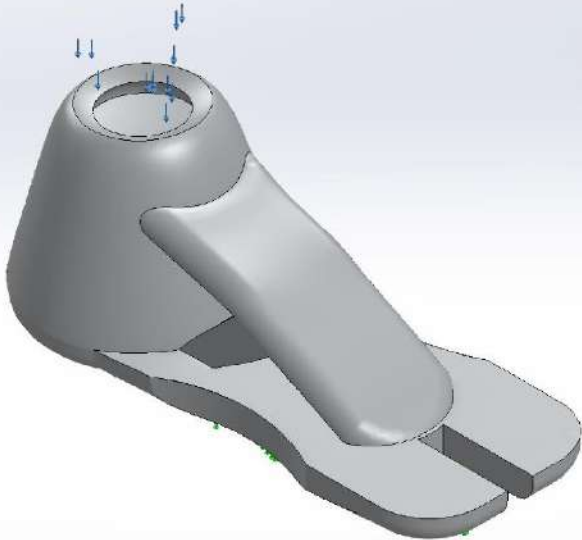
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

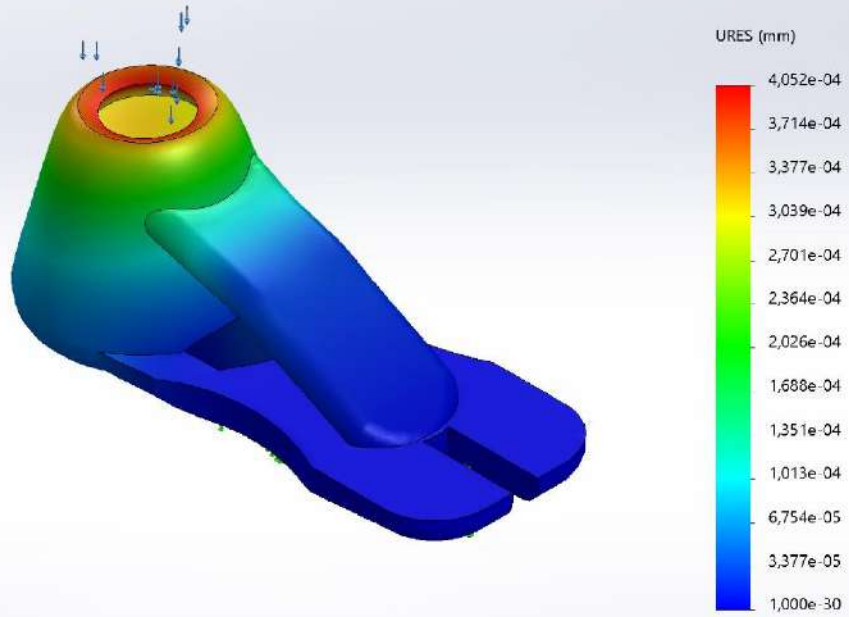
Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformada: Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 66.430,2



Prótesis_4-P4-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1357	4,052e-04 mm Nodo: 1

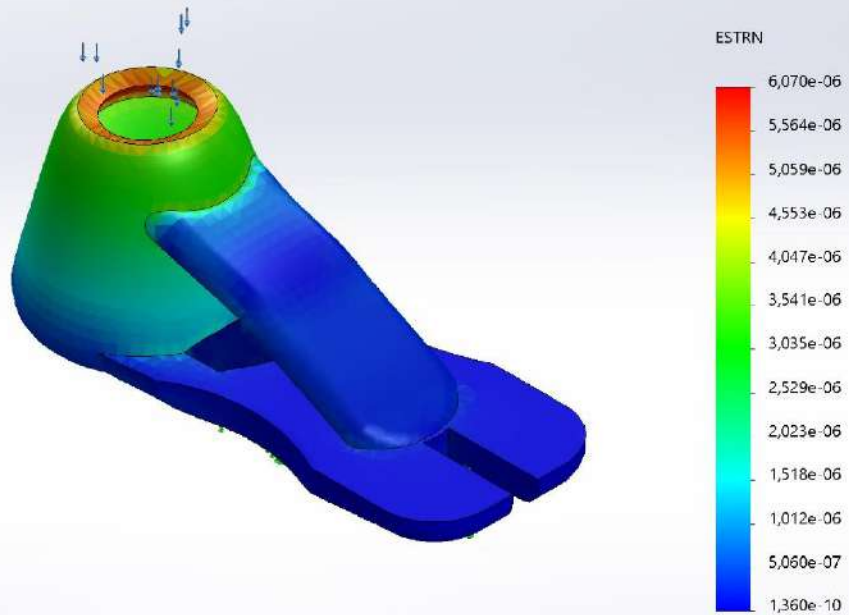
Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 66.430,2



Prótesis_4-P4-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,360e-10 Elemento: 10971	6,070e-06 Elemento: 15870

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 66.430,2

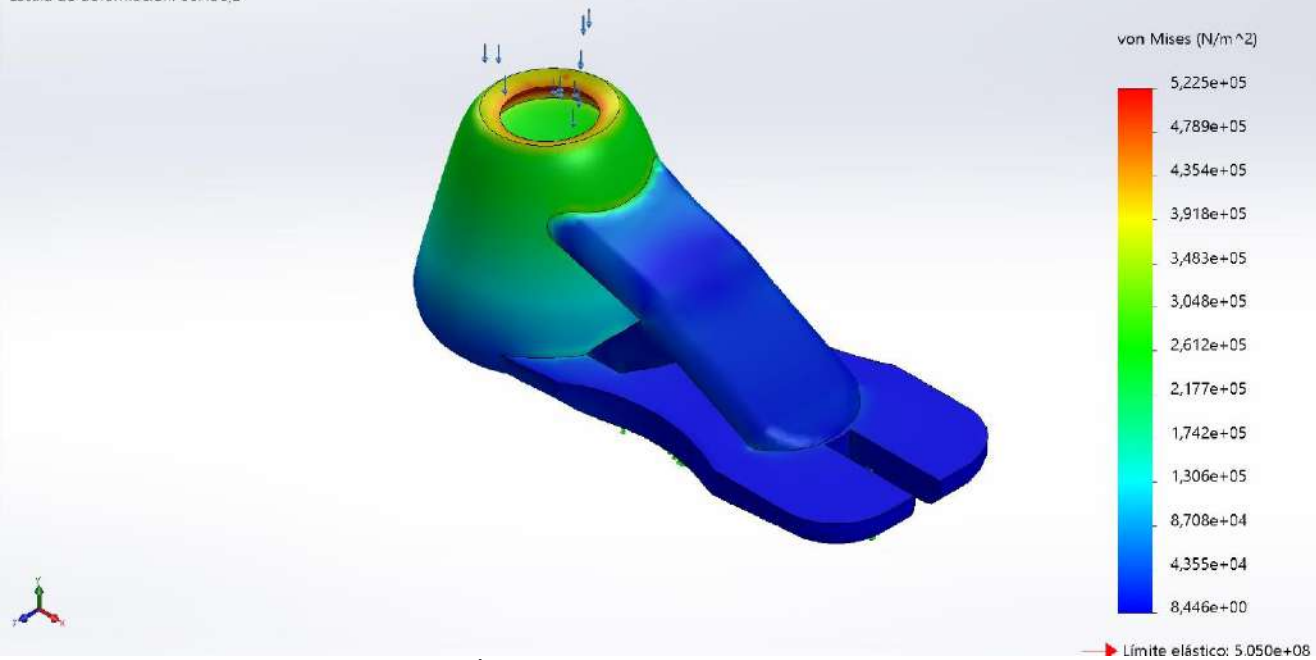


Prótesis_4-P4-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,446e+00 N/m ² Nodo: 46076	5,225e+05 N/m ² Nodo: 3025

Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4 A4(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 66.430,2



Prótesis_4-P4-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	9,666e+02 Nodo: 3025	5,979e+07 Nodo: 46076

Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4 A4(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 9,7e+02



Prótesis_4-P4-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_4

Fecha: miércoles, 8 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P4-A5

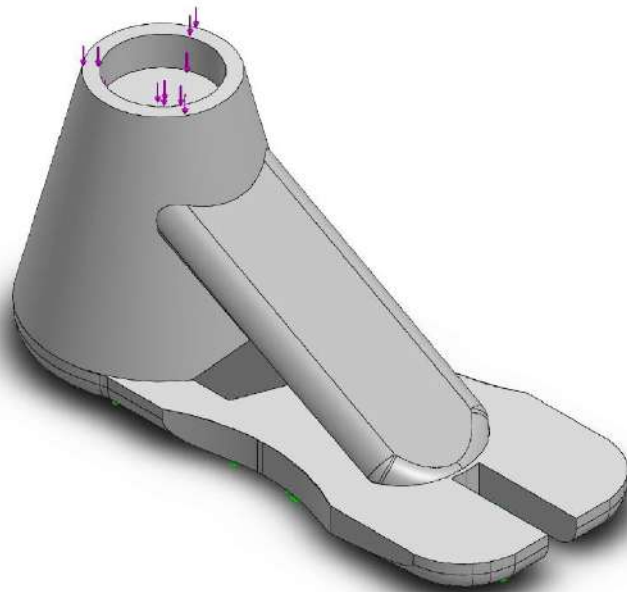
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_4
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_4 	Sólido	Masa: 1,10879 kg Volumen: 0,00105599 m ³ Densidad: 1.050 kg/m ³ Peso: 10,8661 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_4.SLDPRT Jul 7 23:30:52 2020



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P4-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²




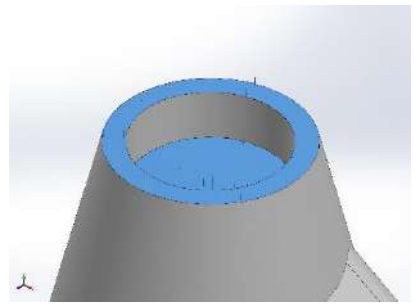
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo6)(Prótesis_4)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,69055	1.226,24	-0,00164079	1.226,25
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



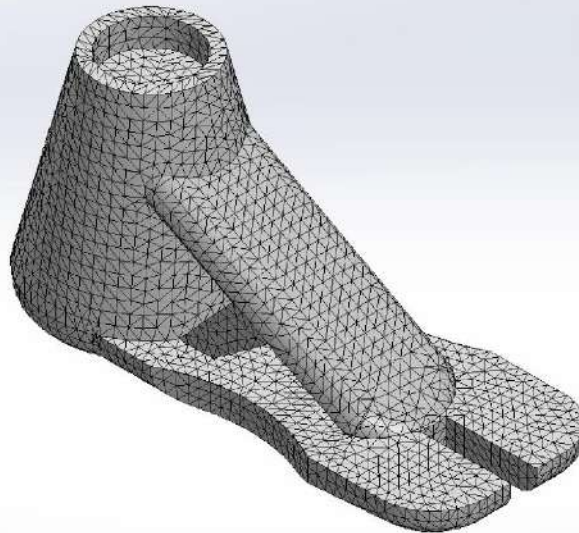
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,60191 mm
Tolerancia	0,280096 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	57140
Número total de elementos	37524
Cociente máximo de aspecto	118,08
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,389
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4-A5(- Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,69055	1.226,24	-0,00164079	1.226,25

Momentos de reacción

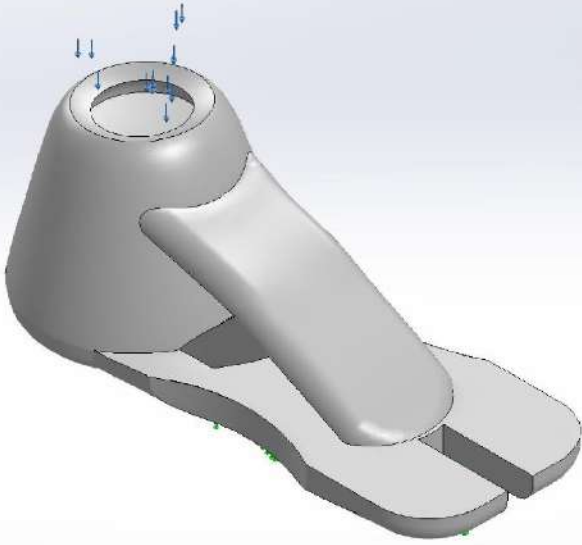
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformada: Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 2.151,53.

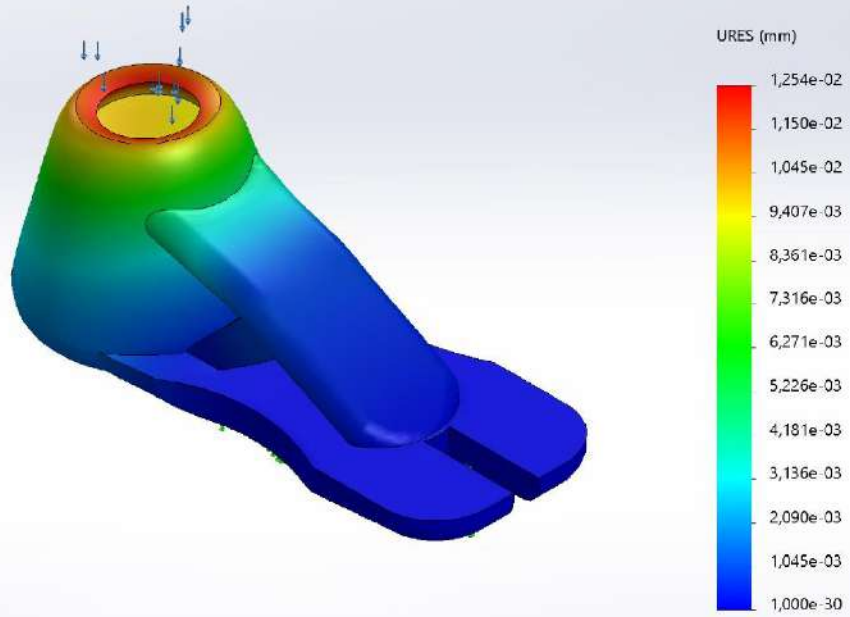


Prótesis_4-P4-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1357	1,254e-02 mm Nodo: 1



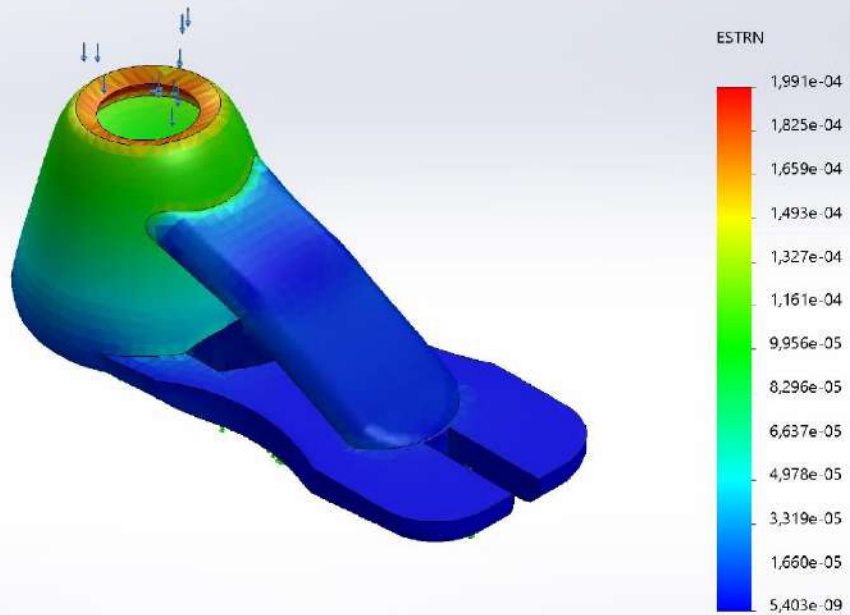
Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 2.151,53



Prótesis_4-P4-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5,403e-09 Elemento: 10971	1,991e-04 Elemento: 15870

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4_A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 2.151,53

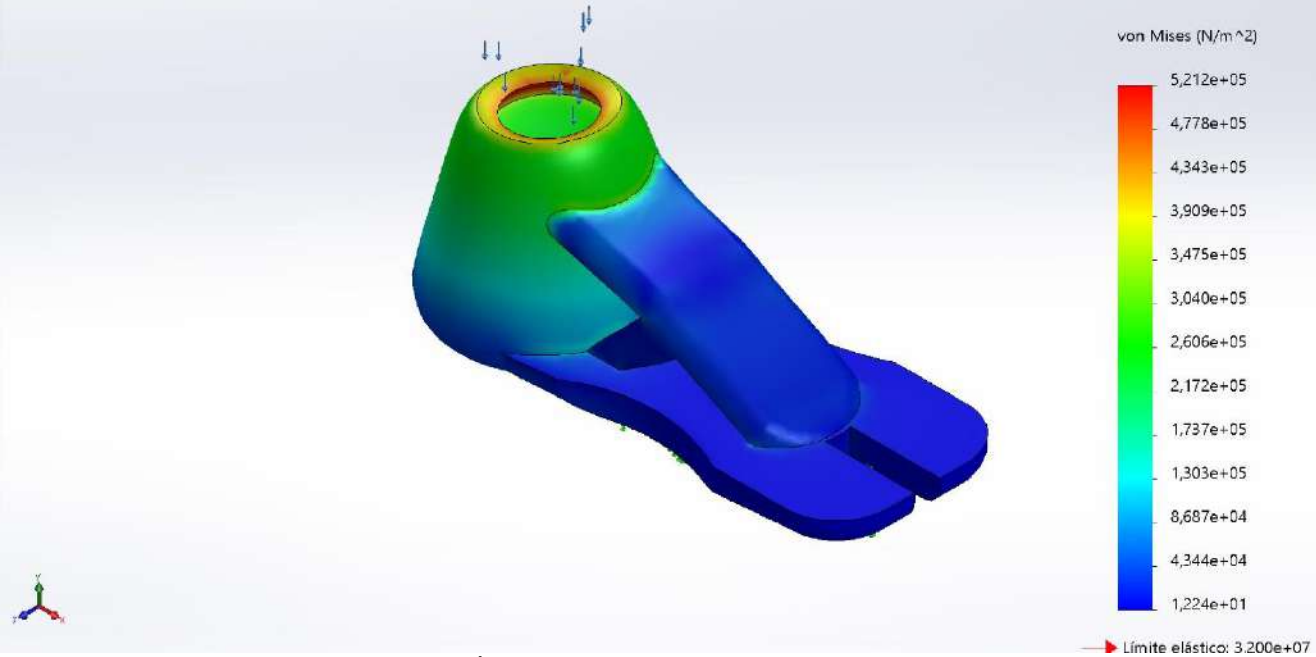


Prótesis_4-P4-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,224e+01 N/m ² Nodo: 46076	5,212e+05 N/m ² Nodo: 103

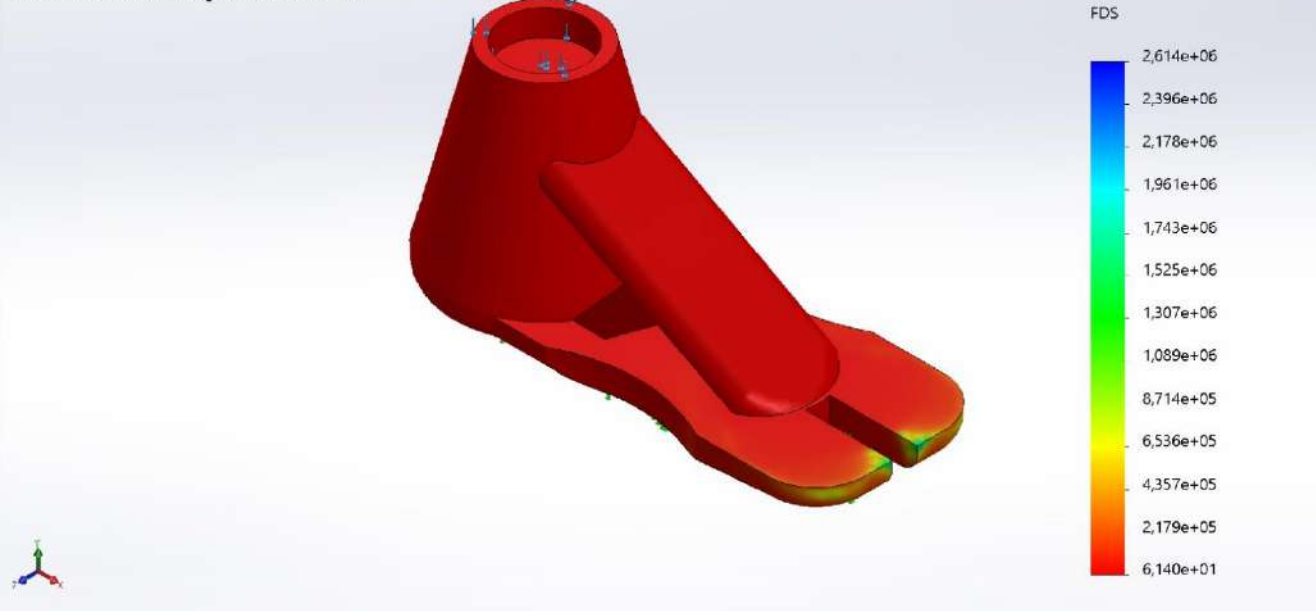
Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4_A5(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 2.151,53



Prótesis_4-P4-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	6,140e+01 Nodo: 103	2,614e+06 Nodo: 46076

Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4_A5(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 61



Prótesis_4-P4-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_4

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P4-A6

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_4
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_4</p> 	Sólido	<p>Masa: 1,20383 kg Volumen: 0,00105599 m³ Densidad: 1.140 kg/m³ Peso: 11,7975 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_4.SLDPRT Jul 7 23:30:52 2020</p>



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P4-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²




Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo6)(Prótesis_4)</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	4,69132	1.226,24	-0,000134225	1.226,25
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,60191 mm
Tolerancia	0,280096 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	57140
Número total de elementos	37524
Cociente máximo de aspecto	118,08
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,389
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_4
Nombre de estudio: P4-A6(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	4,69132	1.226,24	-0,000134225	1.226,25

Momentos de reacción

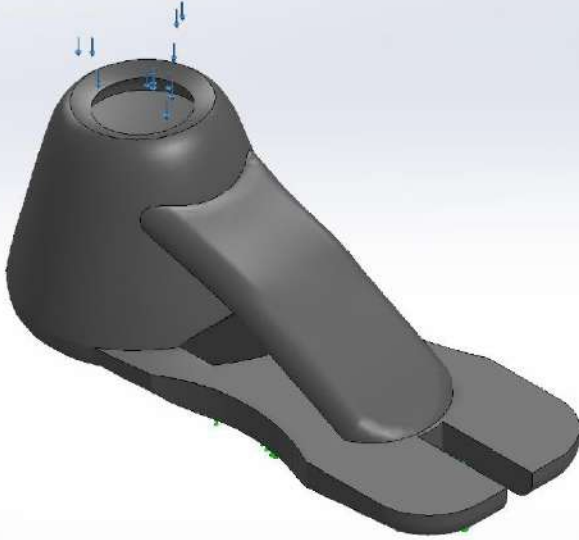
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada

Nombre del modelo: Prótesis_4
 Nombre de estudio: P4-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1}
 Escala de deformación: 2.810,56

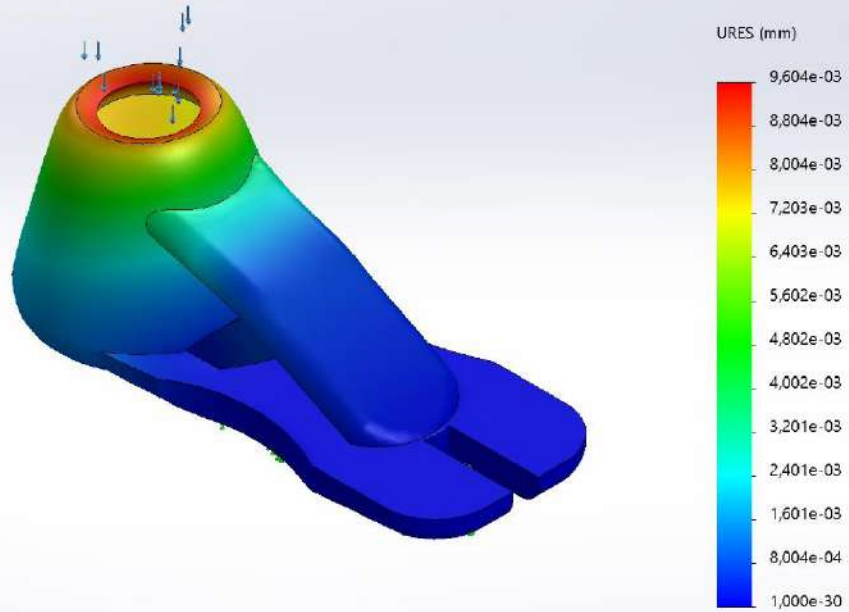


Prótesis_4-P4-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1357	9,604e-03 mm Nodo: 1



Nombre del modelo:Prótesis_4
 Nombre de estudio:P4-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 2.810,56



Prótesis_4-P4-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4,284e-09 Elemento: 10971	1,533e-04 Elemento: 15870

Nombre del modelo:Prótesis_4
 Nombre de estudio:P4-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 2.810,56

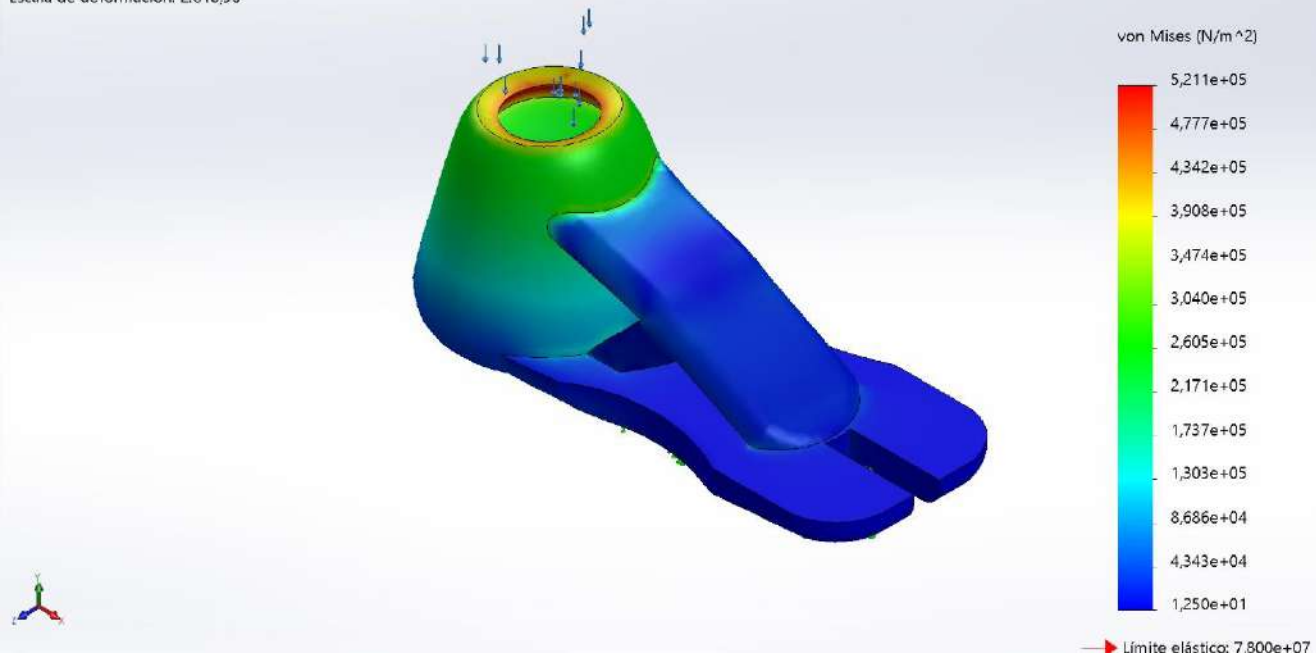


Prótesis_4-P4-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,250e+01 N/m ² Nodo: 46076	5,211e+05 N/m ² Nodo: 103

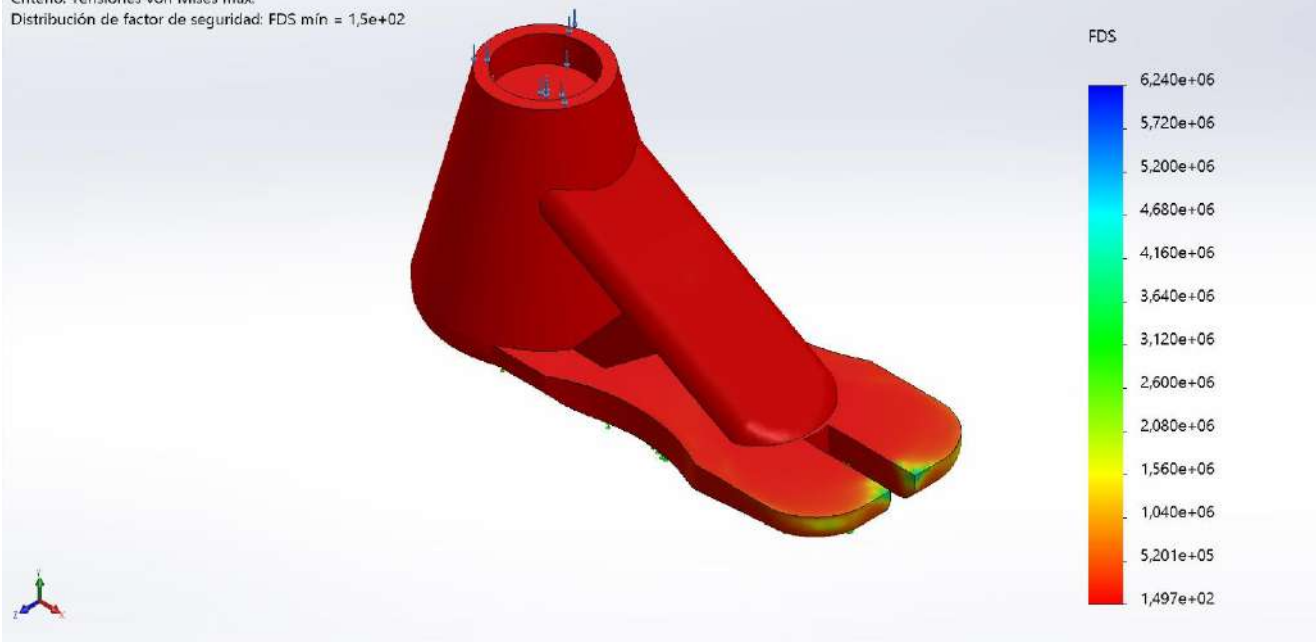
Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 2.810,56



Prótesis_4-P4-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,497e+02 Nodo: 103	6,240e+06 Nodo: 46076

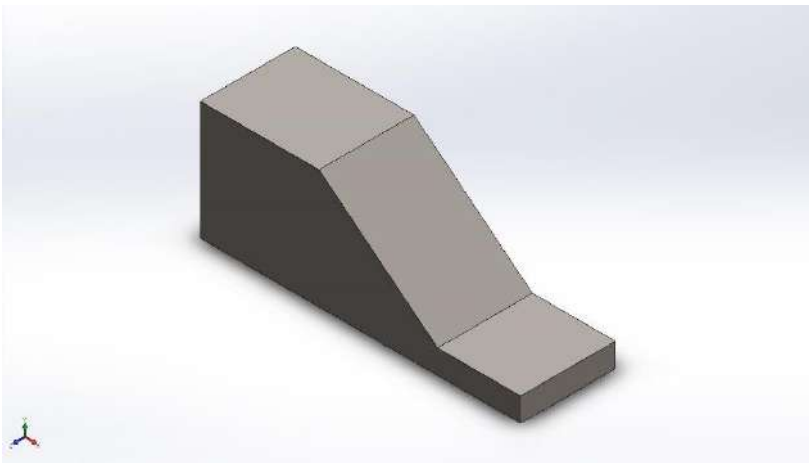
Nombre del modelo:Prótesis_4
Nombre de estudio:P4-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,5e+02



Prótesis_4-P4-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (0)

Fecha: jueves, 9 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(0)-A1

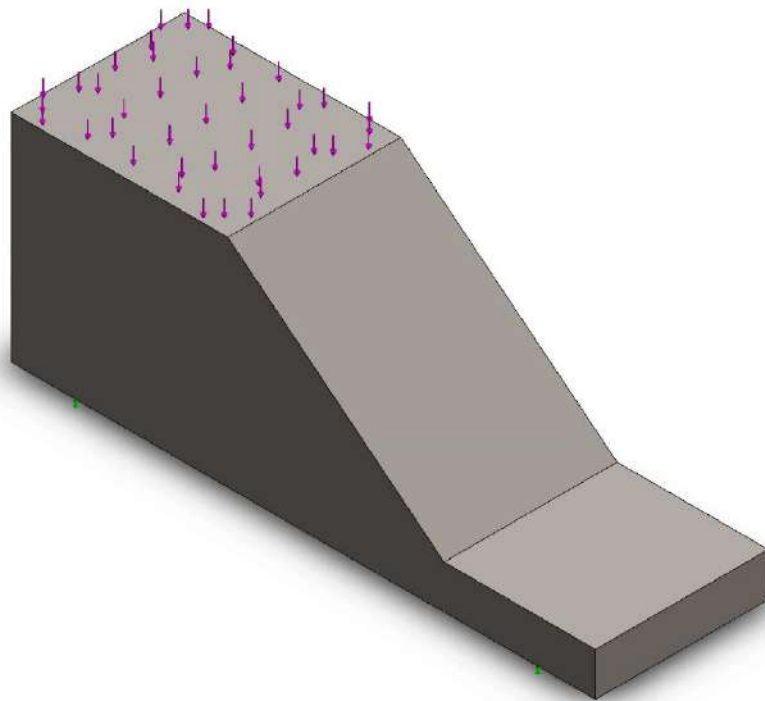
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

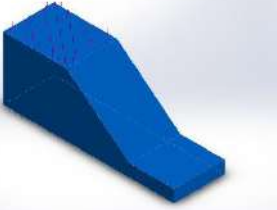


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_5 (0)</p> 	Sólido	<p>Masa: 10,7184 kg Volumen: 0,001392 m³ Densidad: 7.700 kg/m³ Peso: 105,04 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (0).SLDPRT Nov 26 12:50:02 2019</p>



Propiedades de estudio

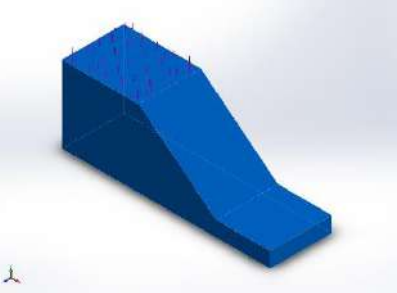
Nombre de estudio	P5(0)-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

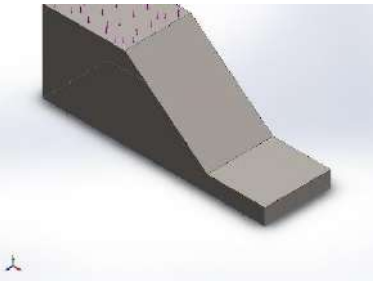


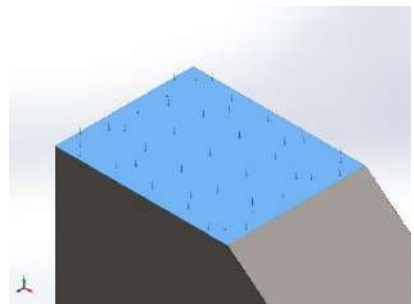
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Prótesis_5 (0))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00205767	613,095	-0,000379272	613,095
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



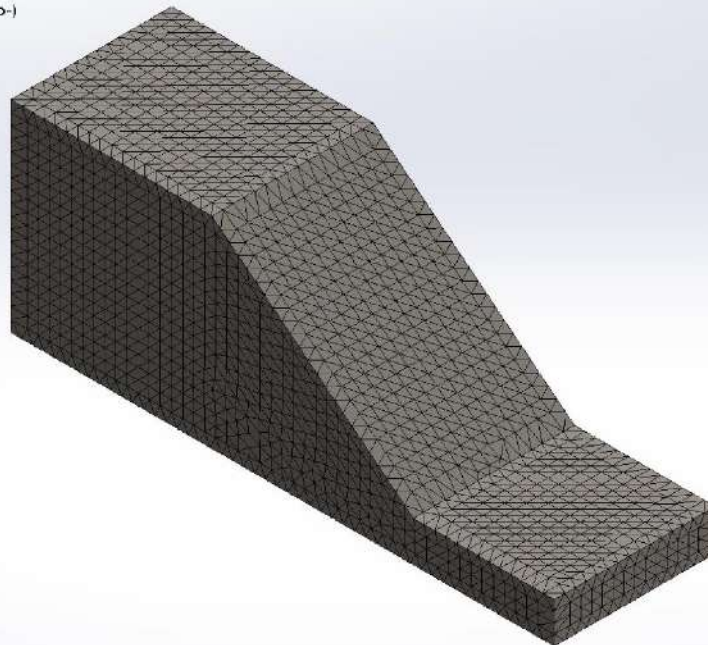
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,58399 mm
Tolerancia	0,2792 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	68613
Número total de elementos	47129
Cociente máximo de aspecto	3,6325
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio: P5(0)-A1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

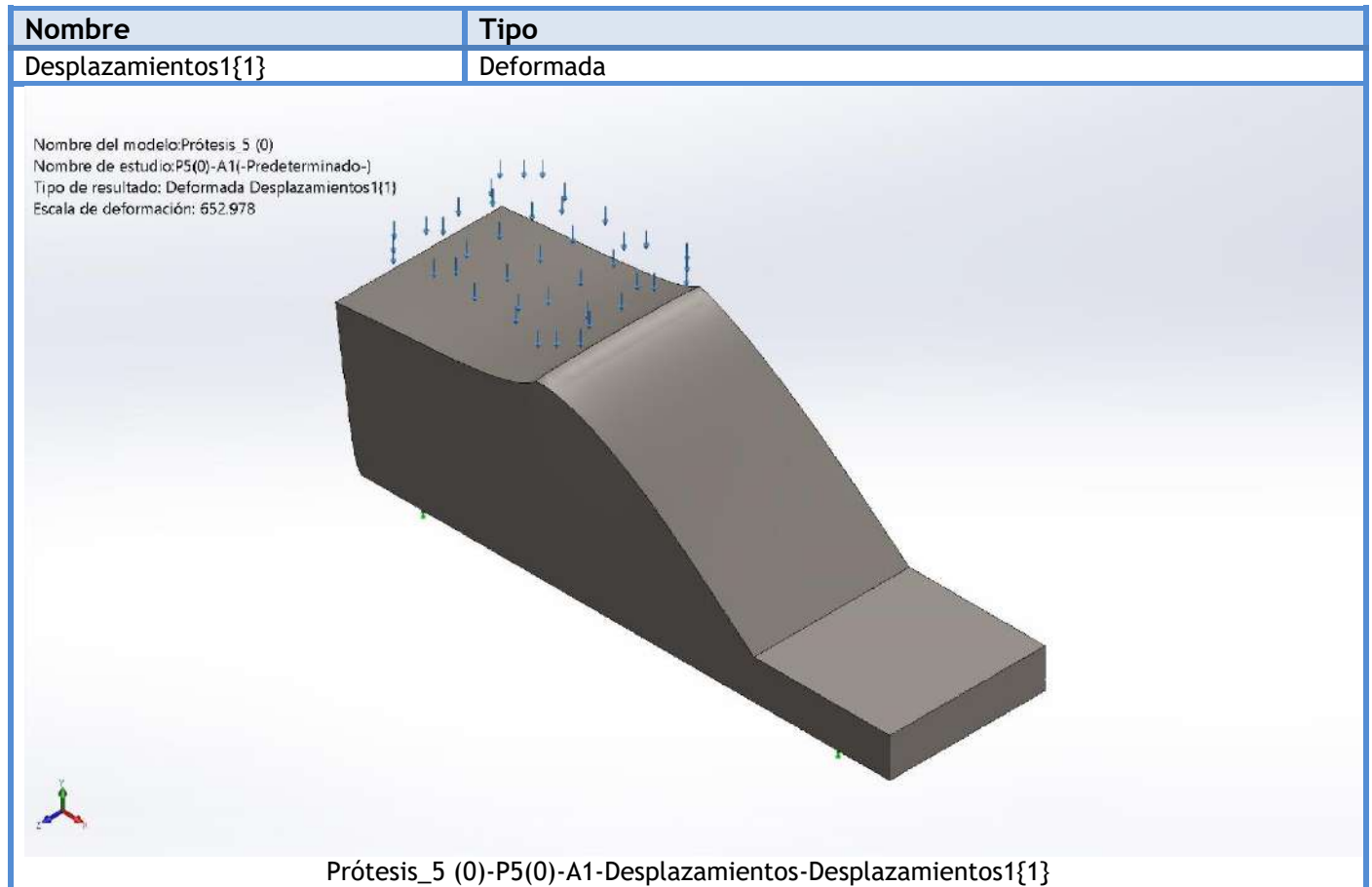
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00205767	613,095	-0,000379272	613,095

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



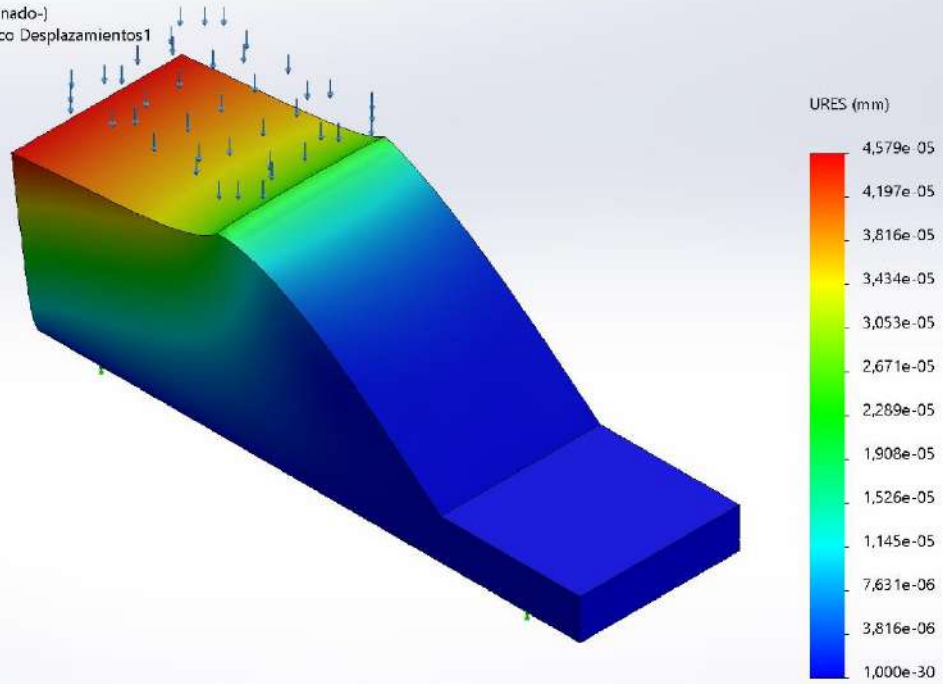
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	4,579e-05 mm Nodo: 34



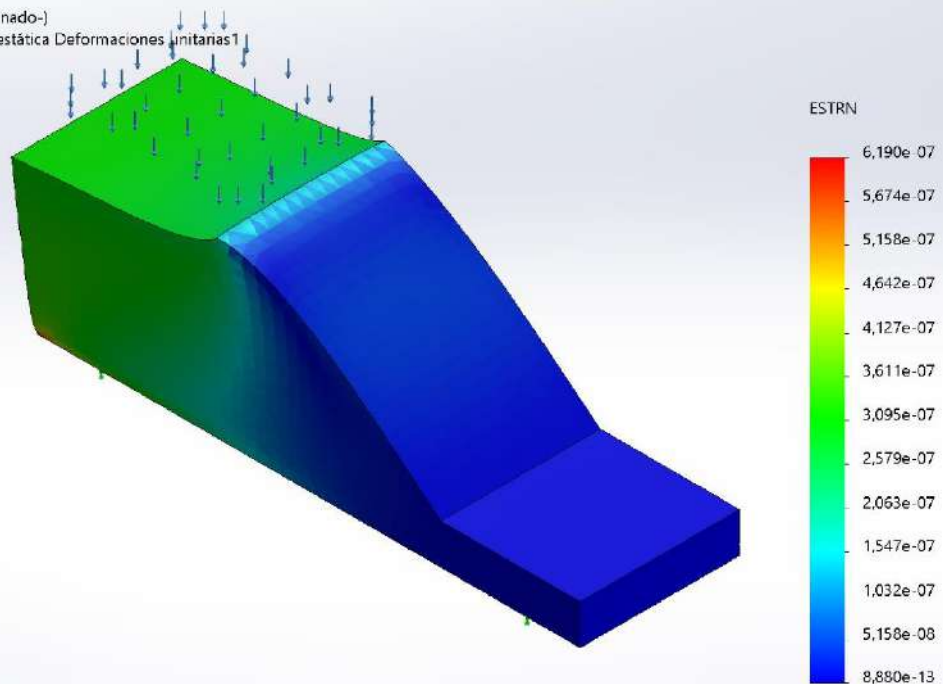
Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 652.978



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	8,880e-13 Elemento: 5733	6,190e-07 Elemento: 9081

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 652.978

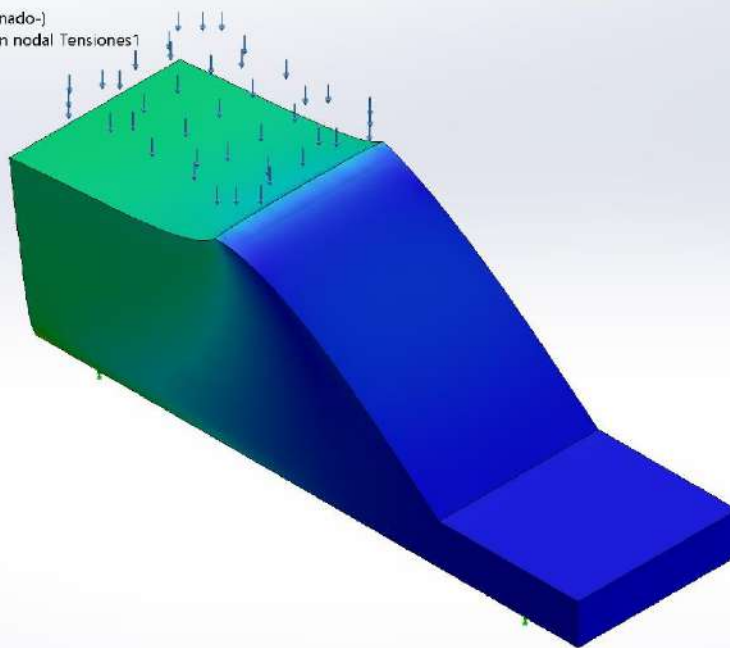


Prótesis_5 (0)-P5(0)-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

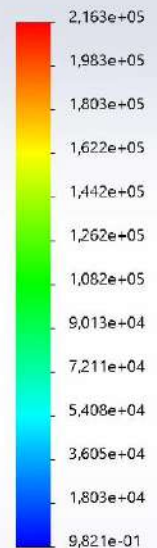


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	9,821e-01 N/m ² Nodo: 62381	2,163e+05 N/m ² Nodo: 1

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 652.978



von Mises (N/m²)

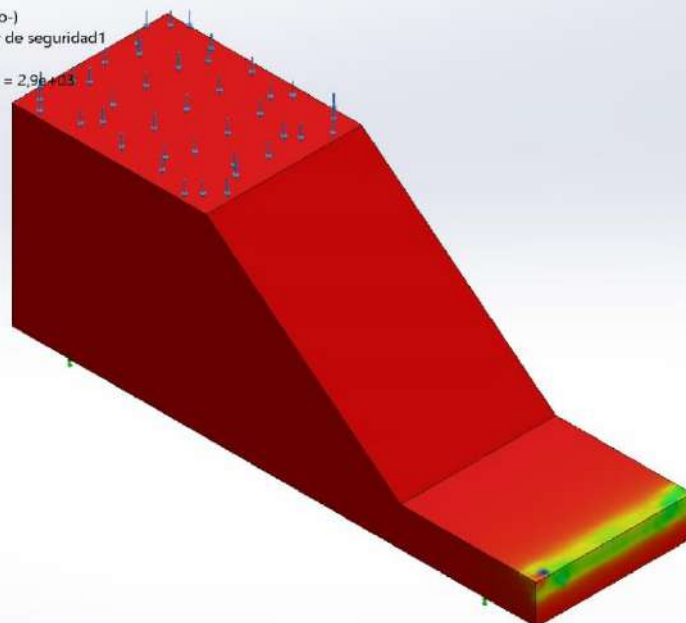


→ Límite elástico: 6.204e+08

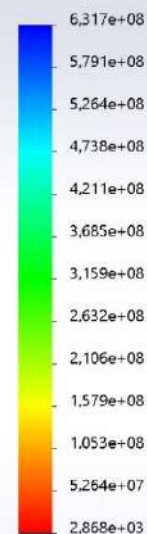
Prótesis_5 (0)-P5(0)-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,868e+03 Nodo: 1	6,317e+08 Nodo: 62381

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 2,868e+03



FDS



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (0)

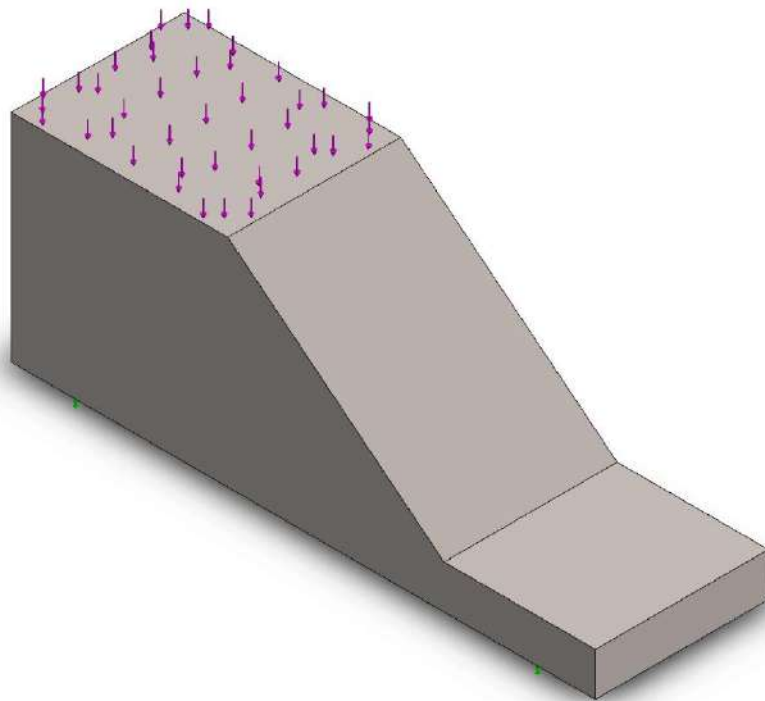
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(0)-A2
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

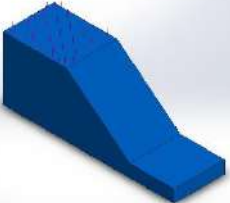


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Prótesis_5 (0)</p>	Sólido	<p>Masa:6,4728 kg Volumen:0,001392 m³ Densidad:4.650 kg/m³ Peso:63,4334 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (0).SLDPRT Nov 26 12:50:02 2019</p>



Propiedades de estudio

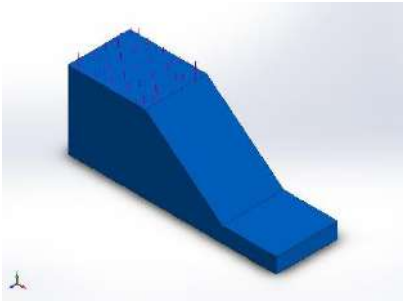
Nombre de estudio	P5(0)-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

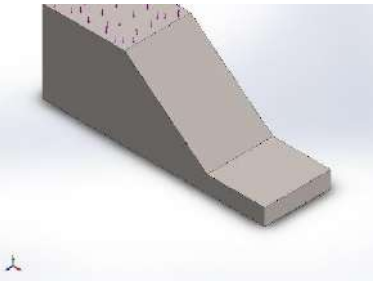


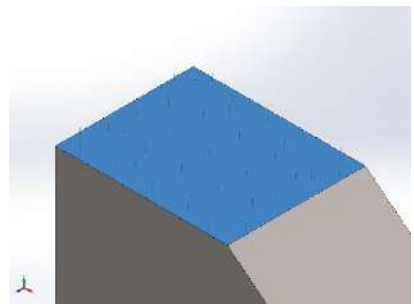
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Prótesis_5 (0))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00452483	613,117	-0,000159539	613,117
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N</p>



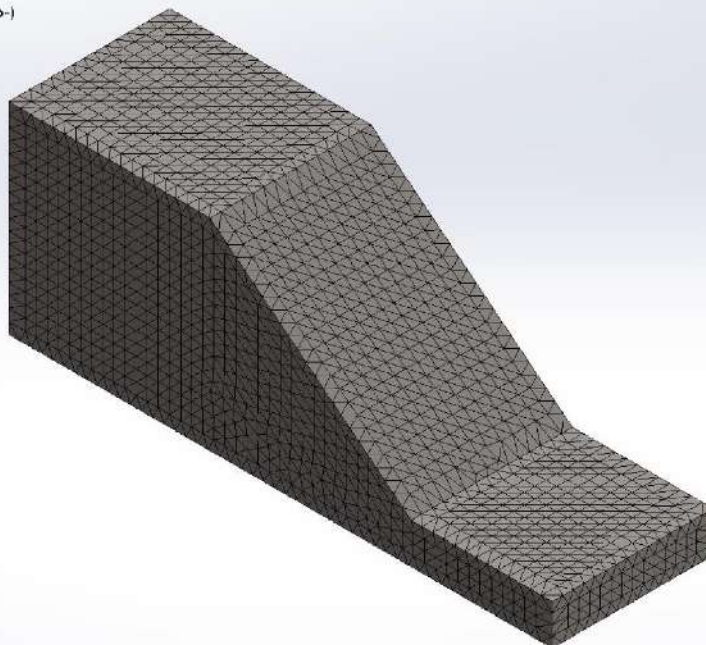
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,58399 mm
Tolerancia	0,2792 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	68613
Número total de elementos	47129
Cociente máximo de aspecto	3,6325
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio: P5(0)-A2(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

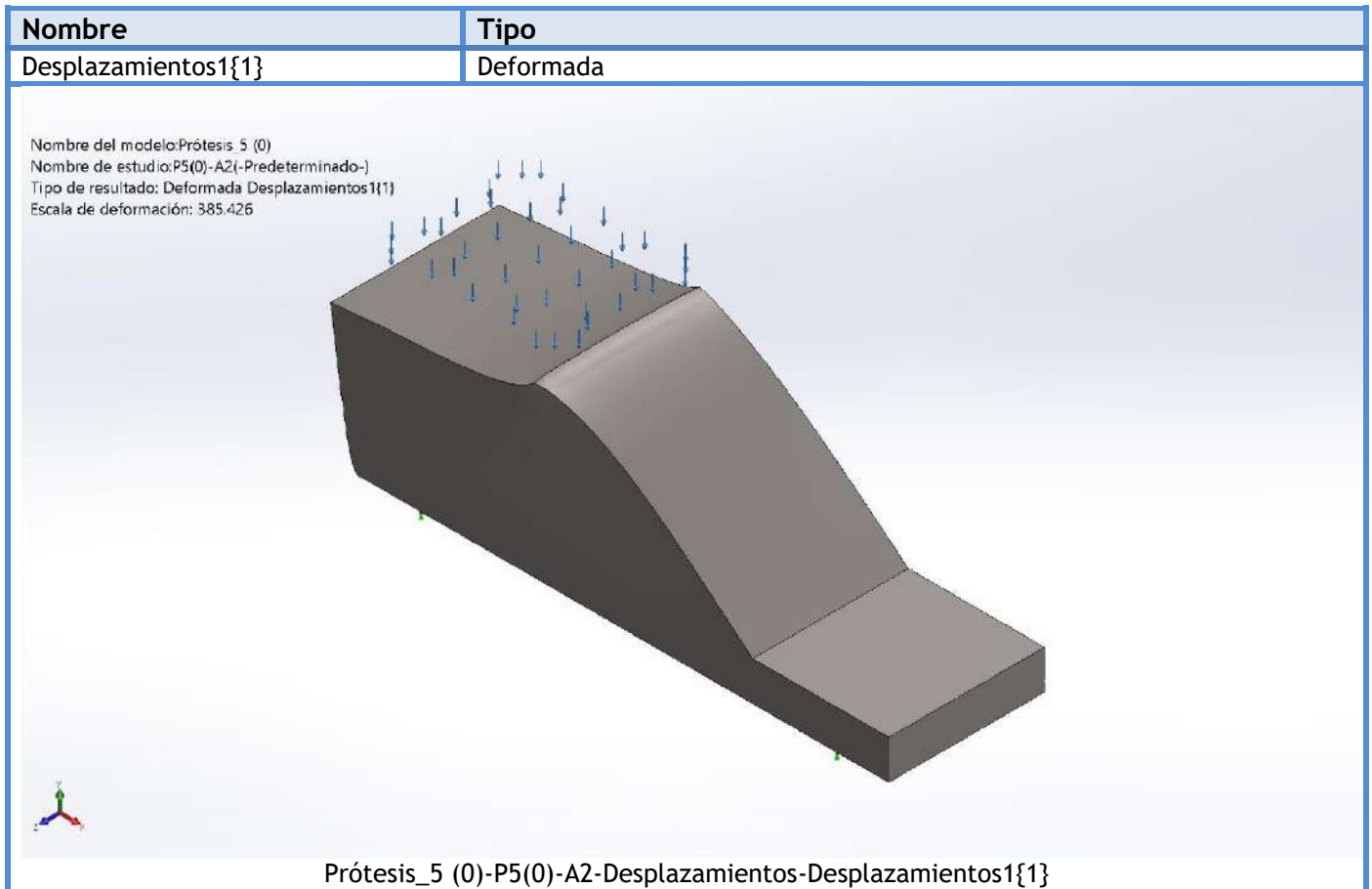
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00452483	613,117	-0,000159539	613,117

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



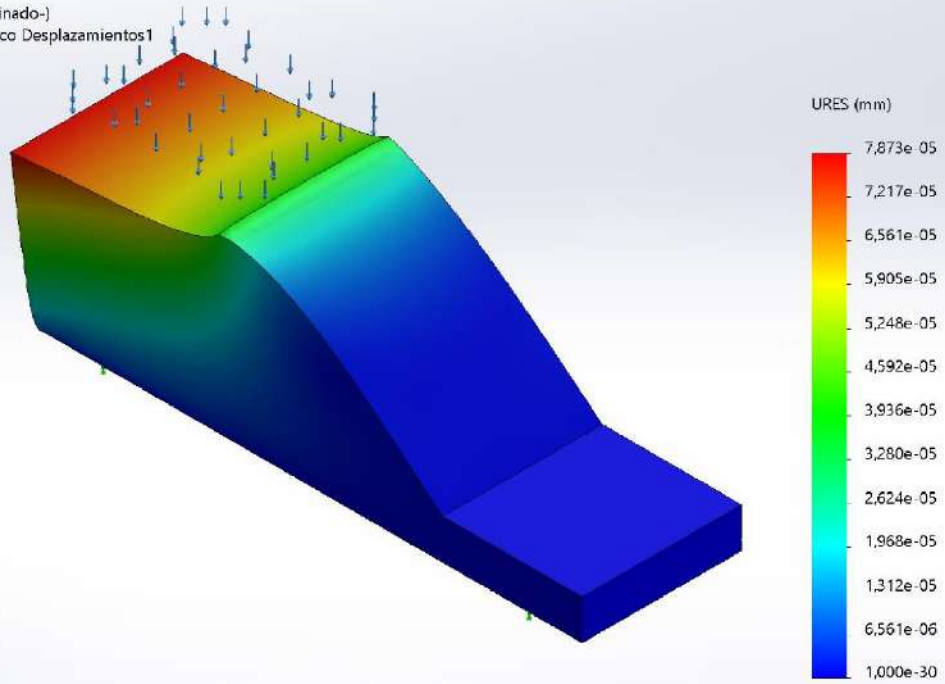
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	7,873e-05 mm Nodo: 34



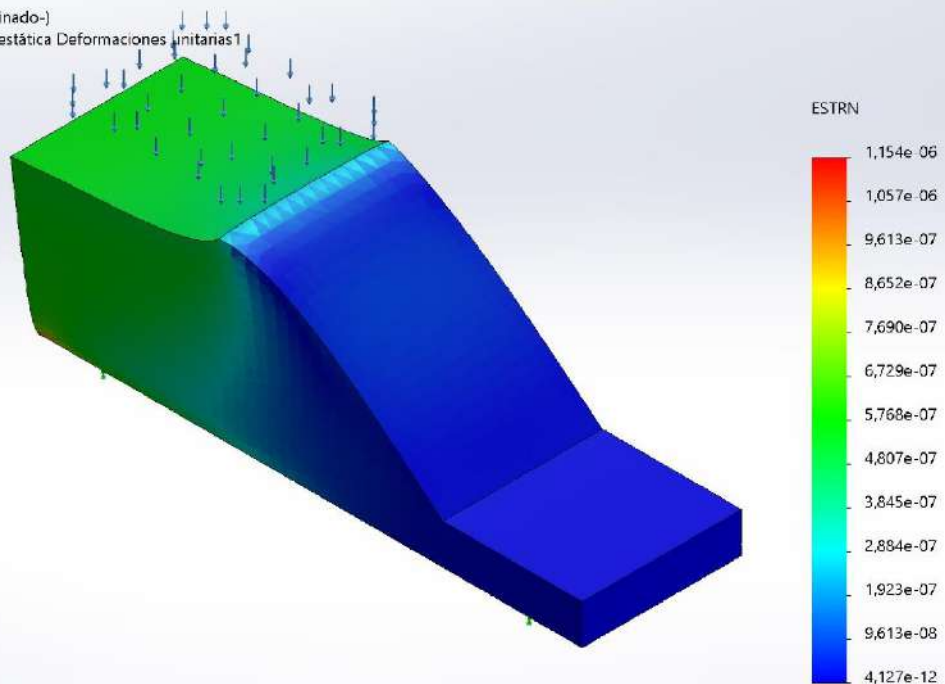
Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 385.426



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	4,127e-12 Elemento: 5733	1,154e-06 Elemento: 9081

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 385.426

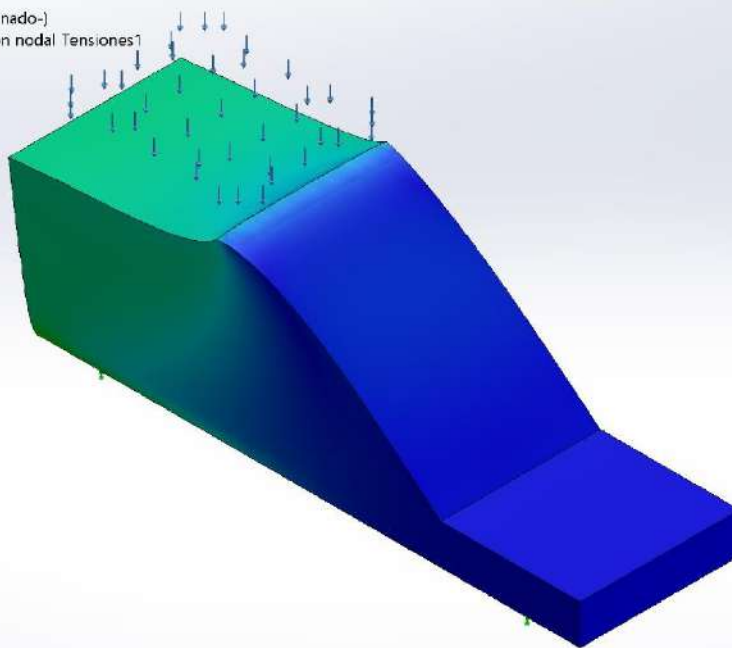


Prótesis_5 (0)-P5(0)-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

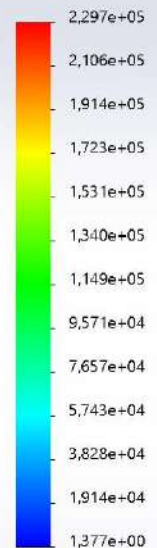


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,377e+00 N/m ² Nodo: 62286	2,297e+05 N/m ² Nodo: 1

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 385.426



von Mises (N/m²)

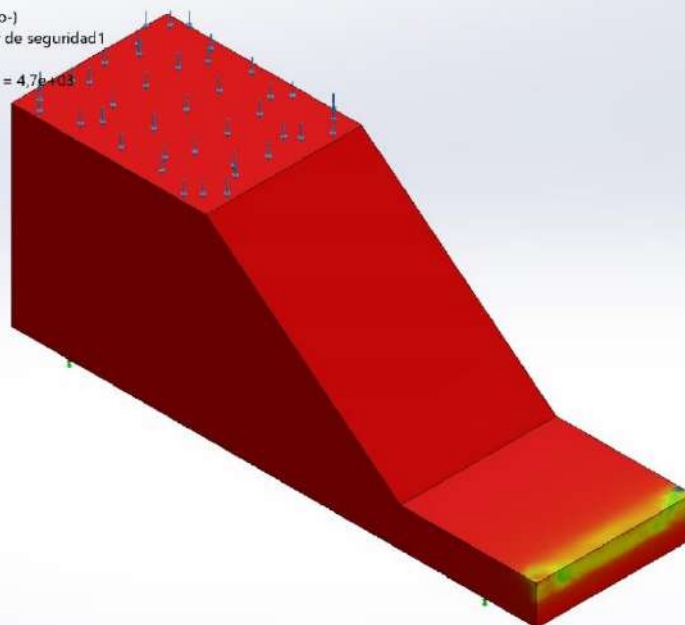


→ Límite elástico: 1.070e+09

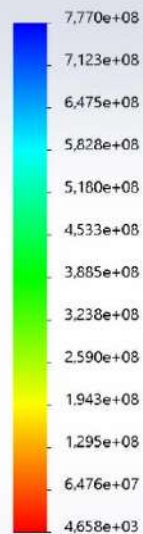
Prótesis_5 (0)-P5(0)-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	4,658e+03 Nodo: 1	7,770e+08 Nodo: 62286

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 4,7e+03



FDS



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (0)

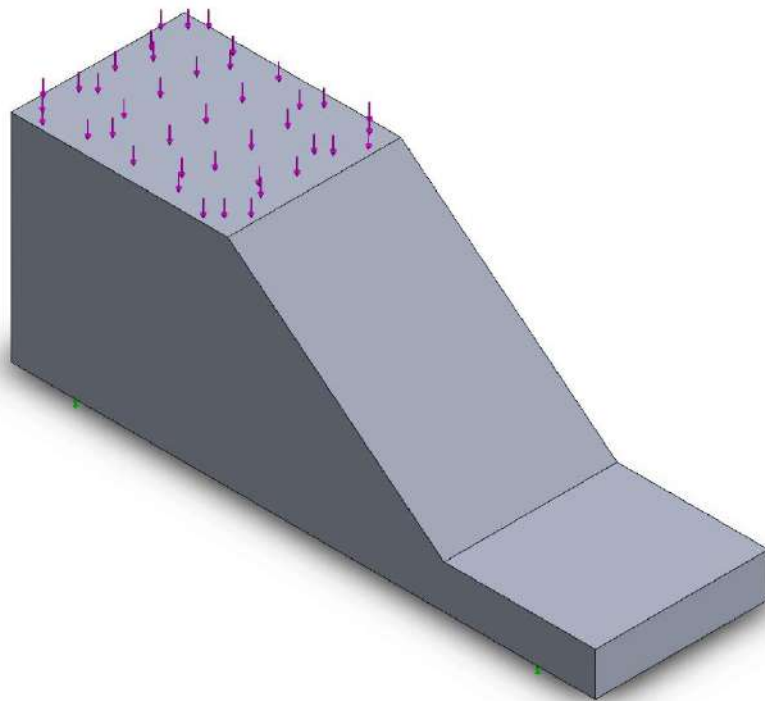
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(0)-A3
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

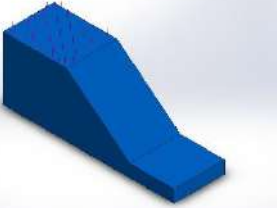


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_5 (0)</p> 	Sólido	<p>Masa:3,7584 kg Volumen:0,001392 m³ Densidad:2.700 kg/m³ Peso:36,8323 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (0).SLDPRT Nov 26 12:50:02 2019</p>



Propiedades de estudio

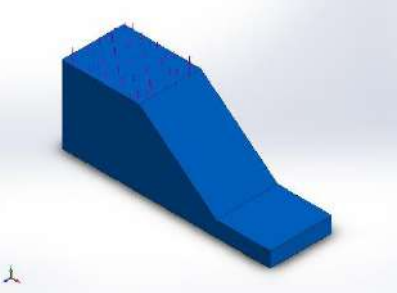
Nombre de estudio	P5(0)-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

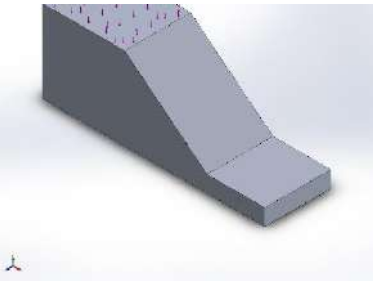


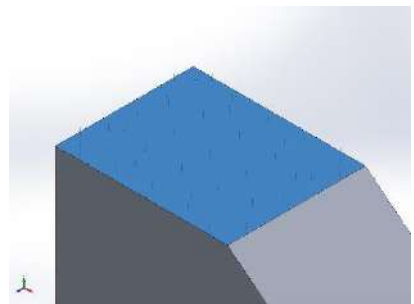
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Prótesis_5 (0))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					
Componentes	X	Y	Z	Resultante	
Fuerza de reacción(N)	0,00452483	613,117	-0,000159539	613,117	
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0	

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga			
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N			



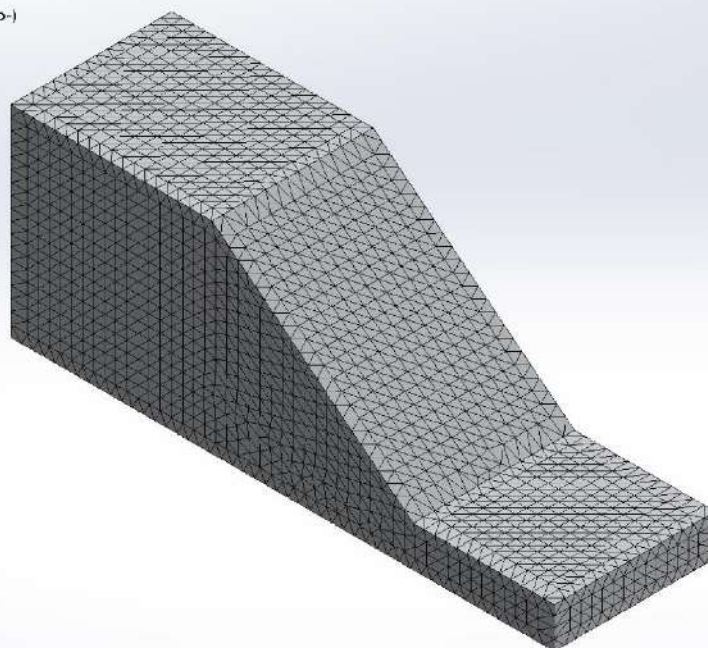
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,58399 mm
Tolerancia	0,2792 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	68613
Número total de elementos	47129
Cociente máximo de aspecto	3,6325
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

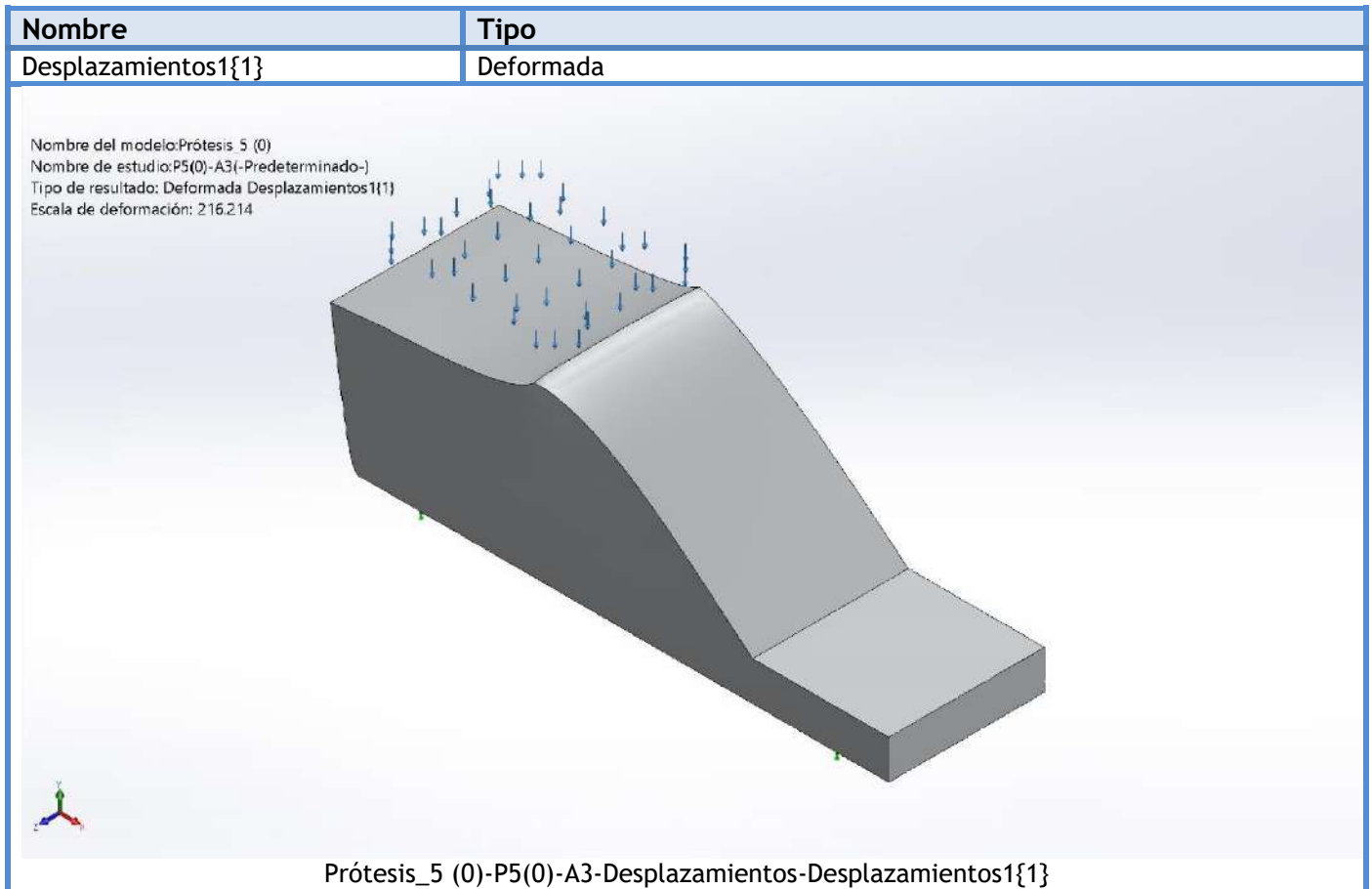
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00452483	613,117	-0,000159539	613,117

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

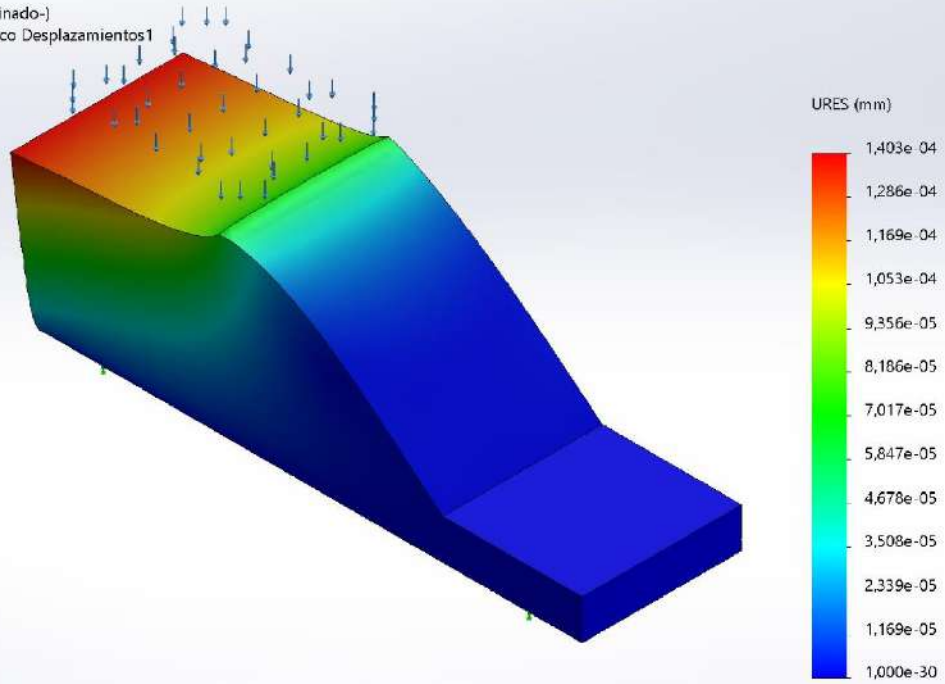


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	1,403e-04 mm Nodo: 34

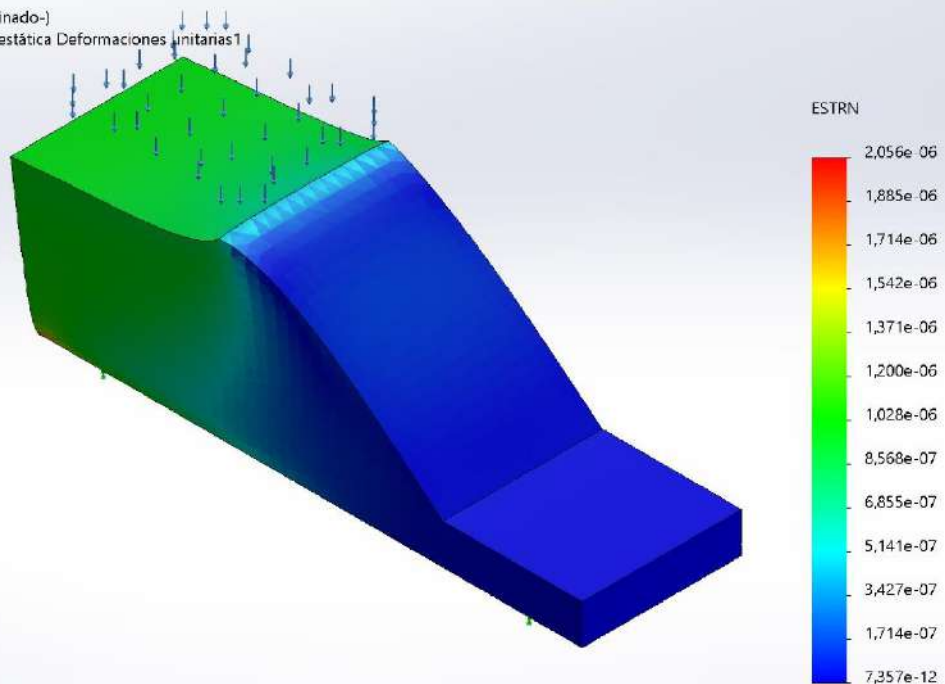
Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio:P5(0)-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 216.214



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,357e-12 Elemento: 5733	2,056e-06 Elemento: 9081

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio:P5(0)-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 216.214

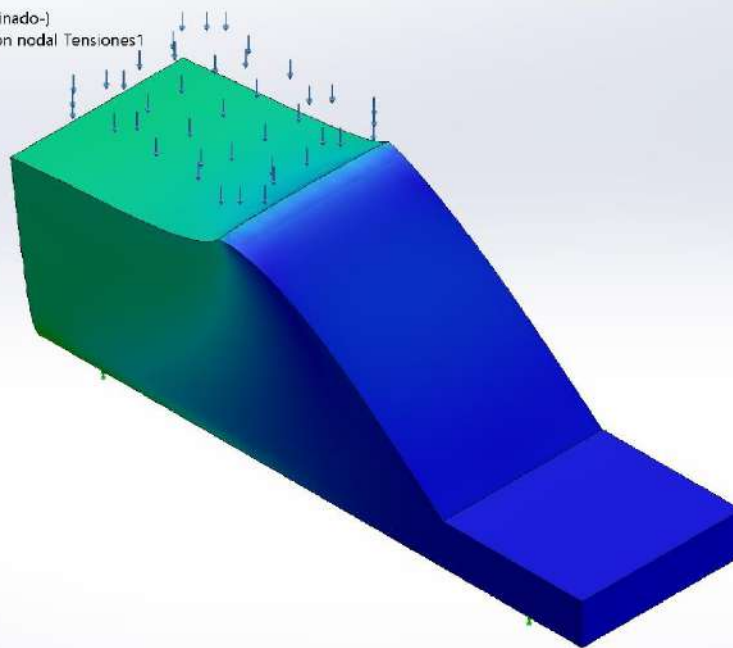


Prótesis_5 (0)-P5(0)-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

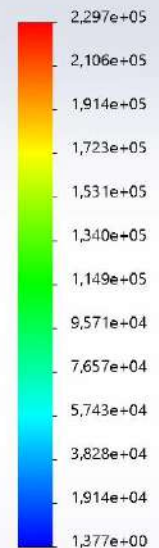


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,377e+00 N/m ² Nodo: 62286	2,297e+05 N/m ² Nodo: 1

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 216.214



von Mises (N/m²)

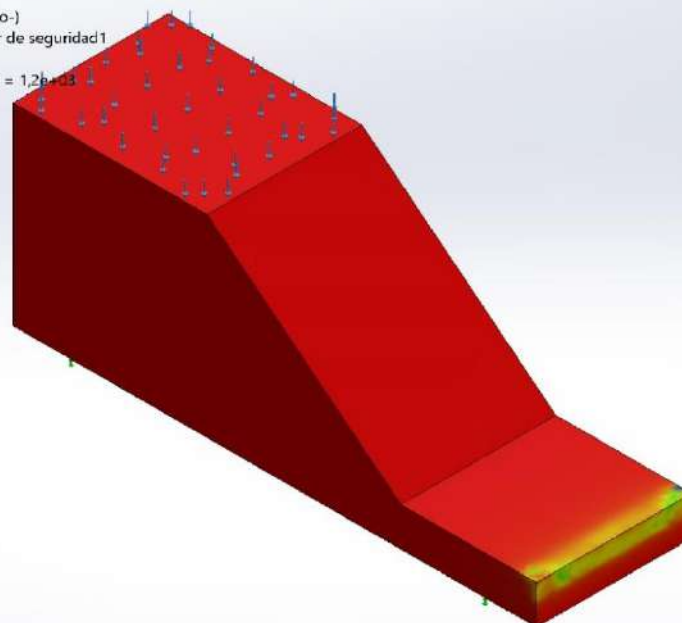


→ Límite elástico: 2.750e+08

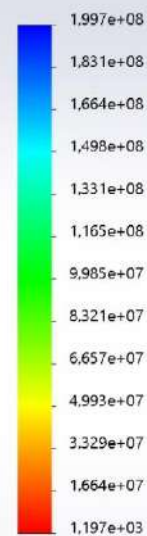
Prótesis_5 (0)-P5(0)-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,197e+03 Nodo: 1	1,997e+08 Nodo: 62286

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A3(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,2e+03



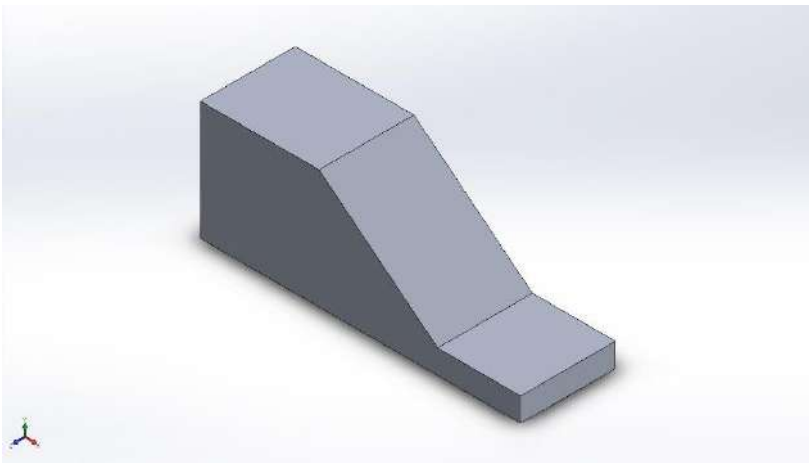
FDS



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (0)

Fecha: jueves, 9 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(0)-A4

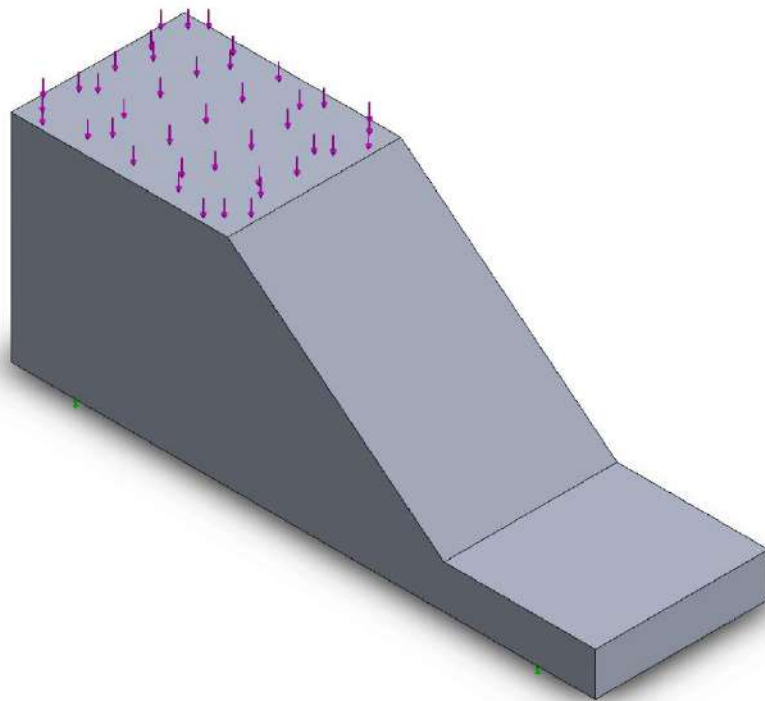
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

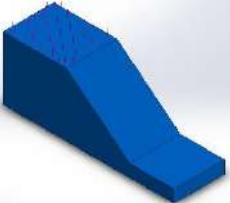


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Prótesis_5 (0)</p>	Sólido	<p>Masa: 3,91152 kg Volumen: 0,001392 m³ Densidad: 2.810 kg/m³ Peso: 38,3329 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (0).SLDPRT Nov 26 12:50:02 2019</p>



Propiedades de estudio

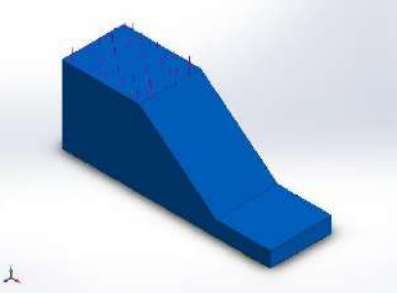
Nombre de estudio	P5(0)-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

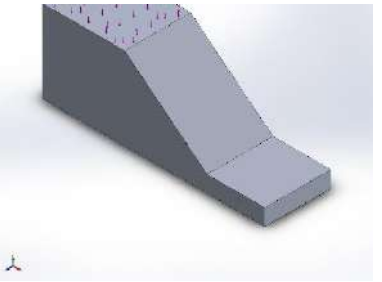


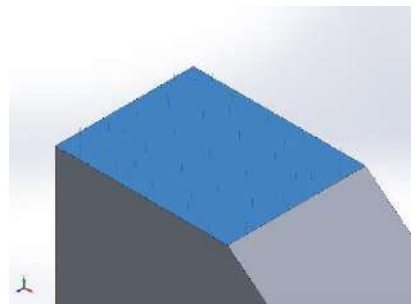
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Prótesis_5 (0))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00452483	613,117	-0,000159539	613,117
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



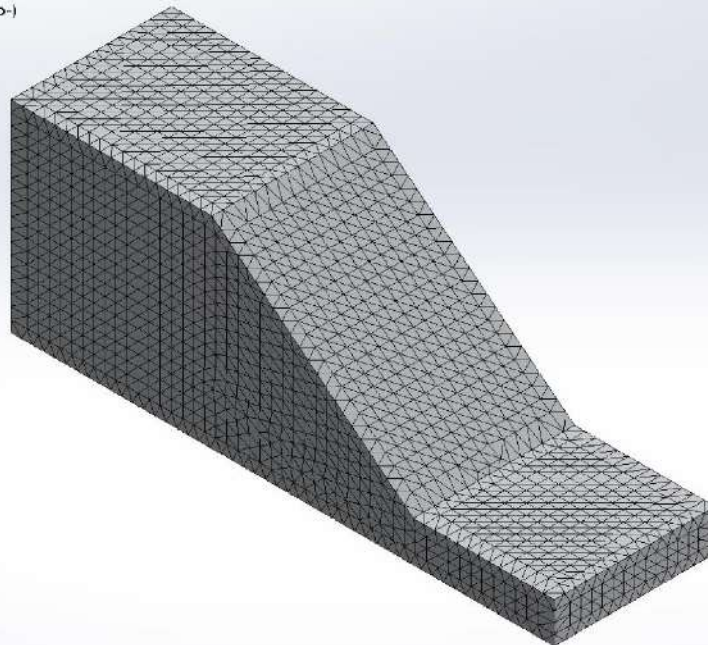
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,58399 mm
Tolerancia	0,2792 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	68613
Número total de elementos	47129
Cociente máximo de aspecto	3,6325
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio: P5(0)-A4(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

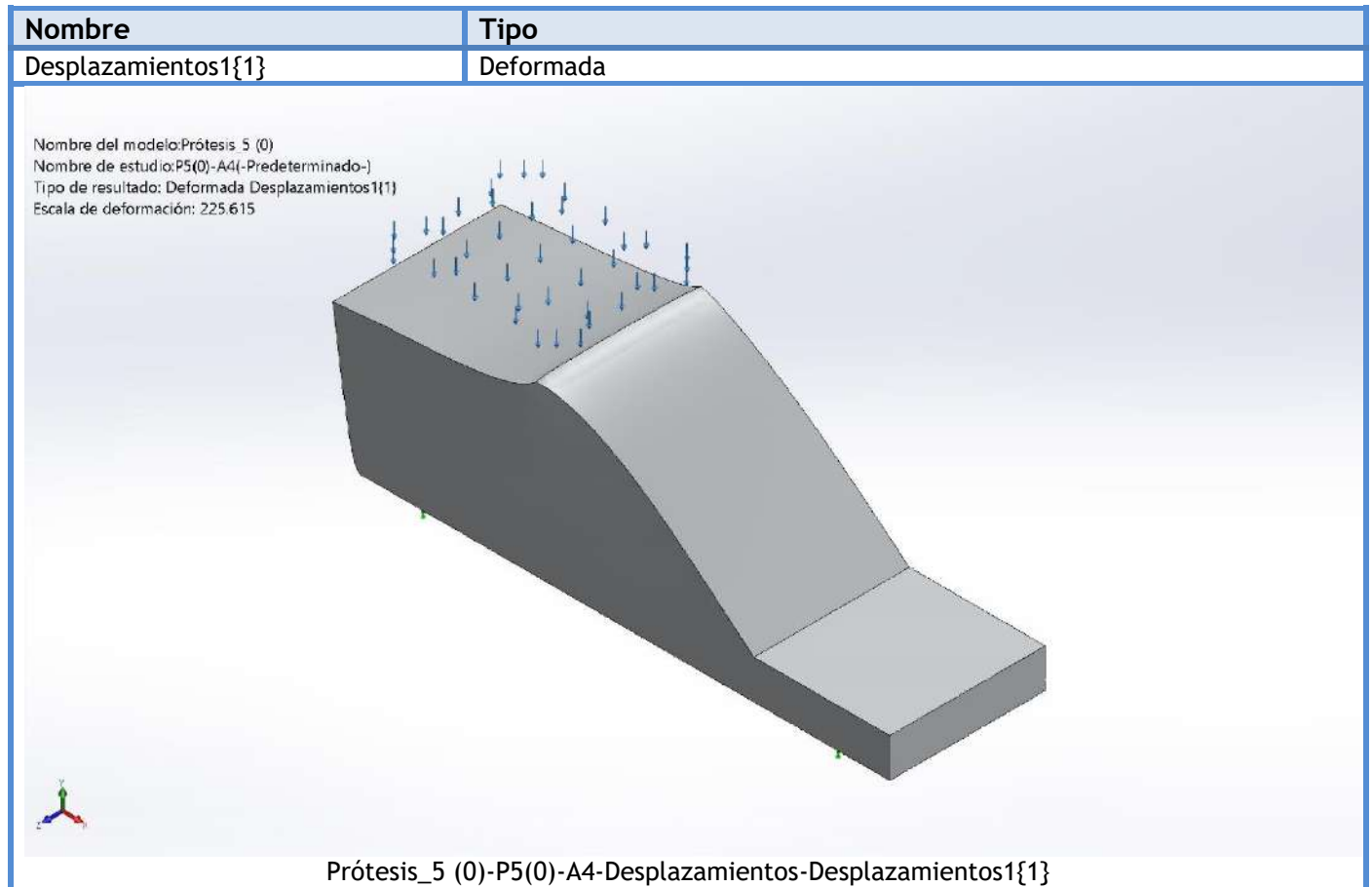
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00452483	613,117	-0,000159539	613,117

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



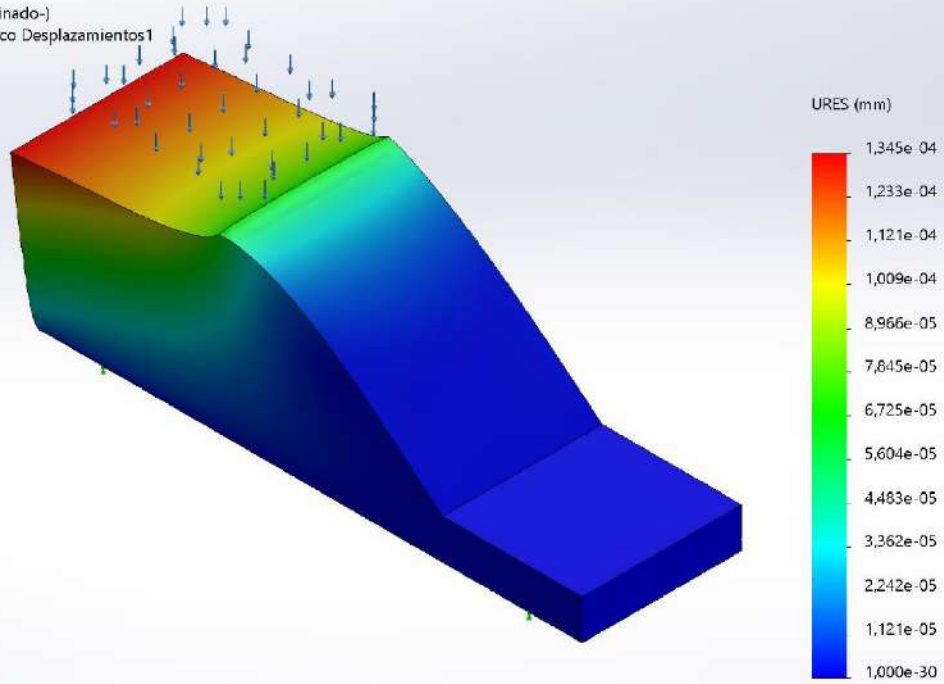
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	1,345e-04 mm Nodo: 34



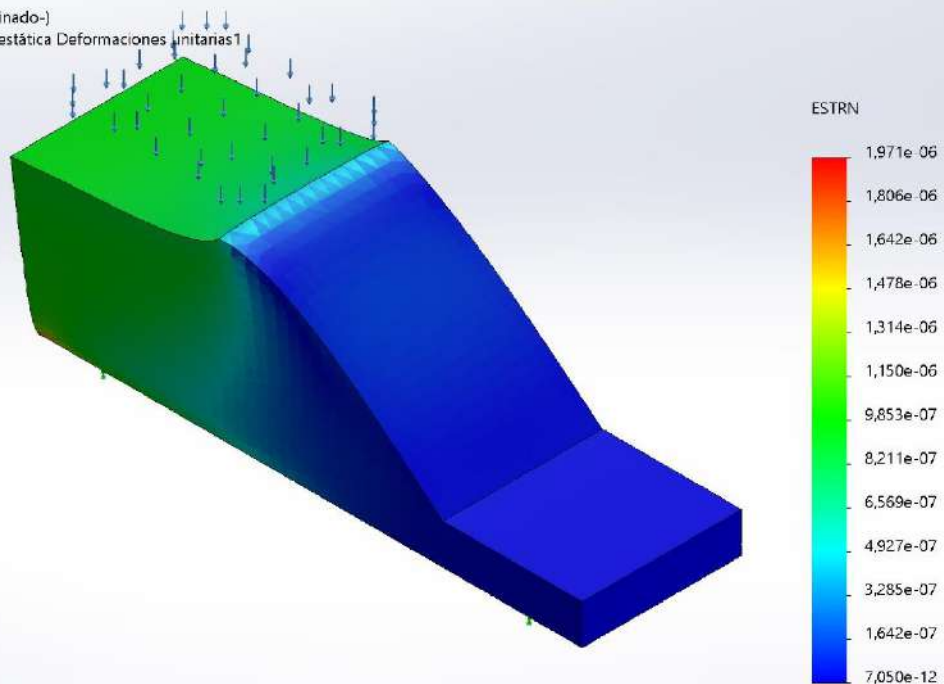
Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A4(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 225.615



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,050e-12 Elemento: 5733	1,971e-06 Elemento: 9081

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A4(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 225.615

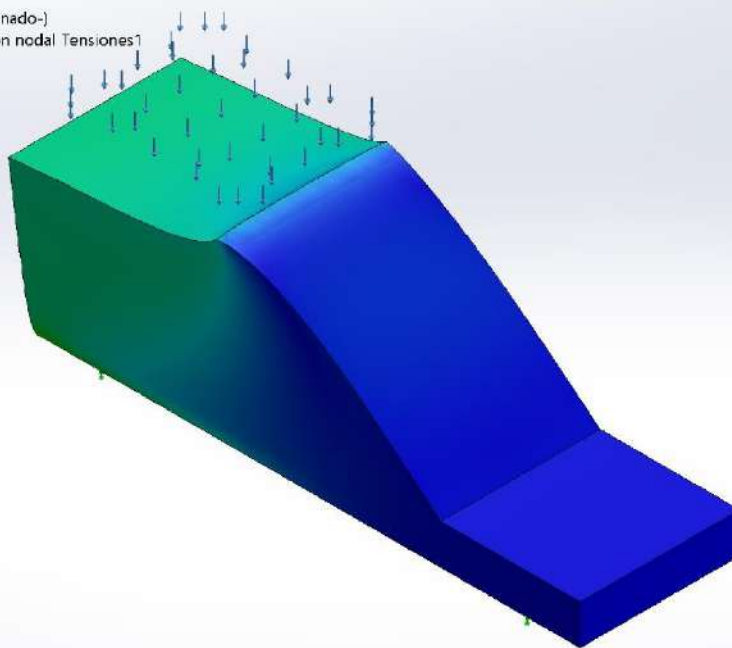


Prótesis_5 (0)-P5(0)-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

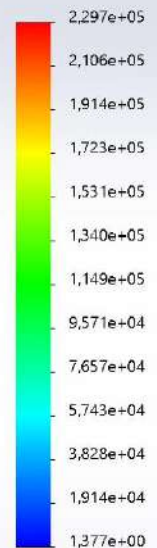


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,377e+00 N/m ² Nodo: 62286	2,297e+05 N/m ² Nodo: 1

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio: P5(0)-A4(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 225.615



von Mises (N/m²)

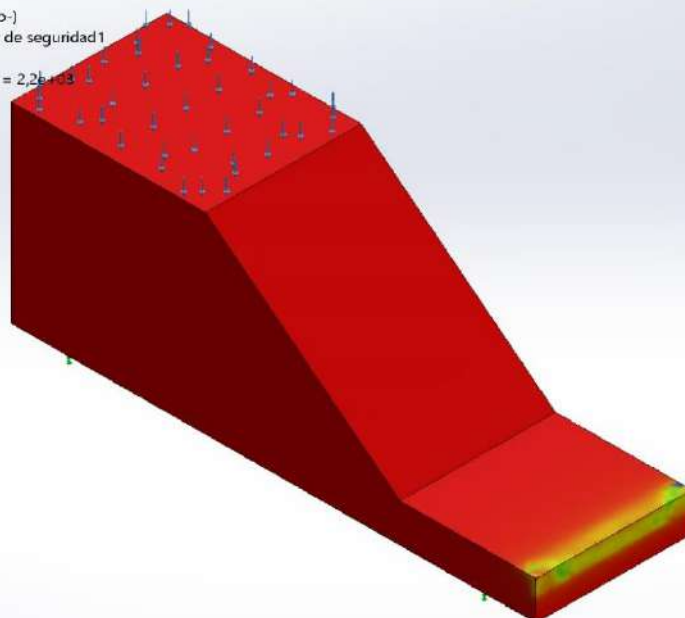


→ Límite elástico: 5.050e+08

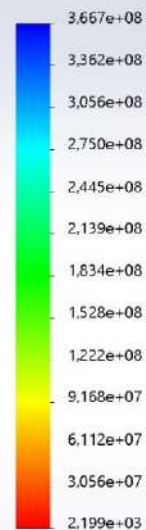
Prótesis_5 (0)-P5(0)-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,199e+03 Nodo: 1	3,667e+08 Nodo: 62286

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio: P5(0)-A4(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,2e+03



FDS



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (0)

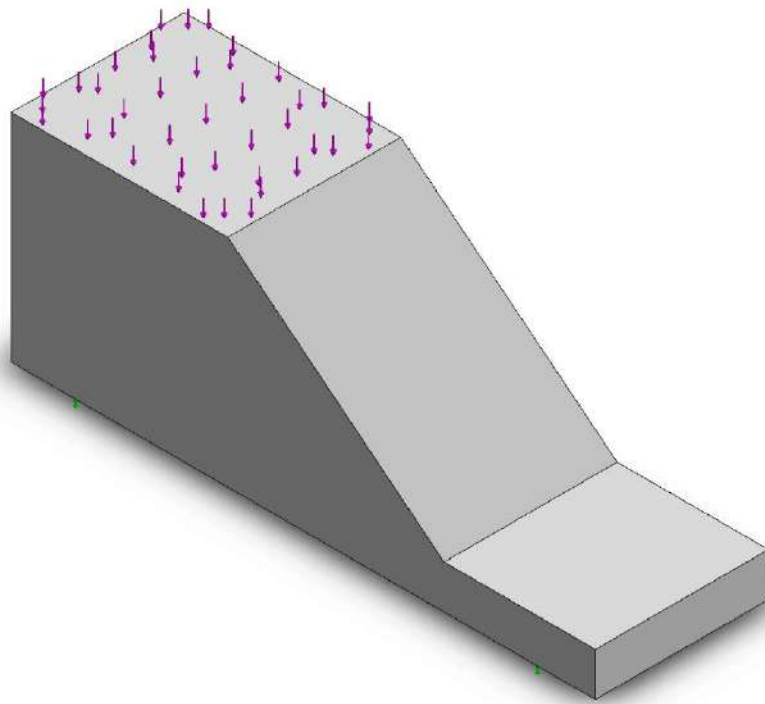
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(0)-A5
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

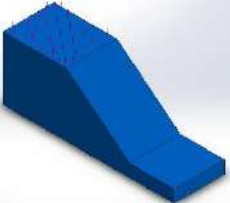


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (0) 	Sólido	Masa: 1,4616 kg Volumen: 0,001392 m ³ Densidad: 1.050 kg/m ³ Peso: 14,3237 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (0).SLDPRT Nov 26 12:50:02 2019



Propiedades de estudio

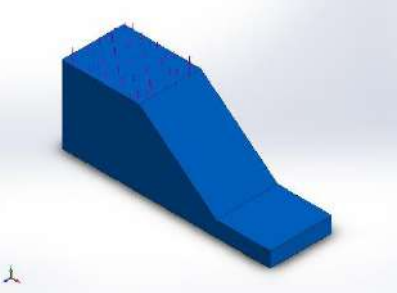
Nombre de estudio	P5(0)-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

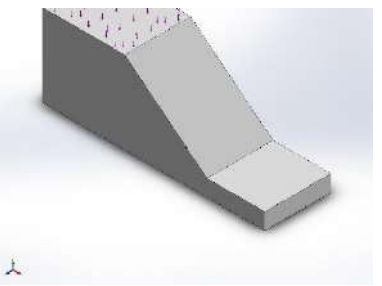


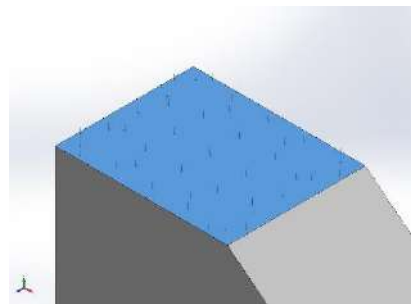
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Prótesis_5 (0))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00302935	613,111	0,0077528	613,111
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



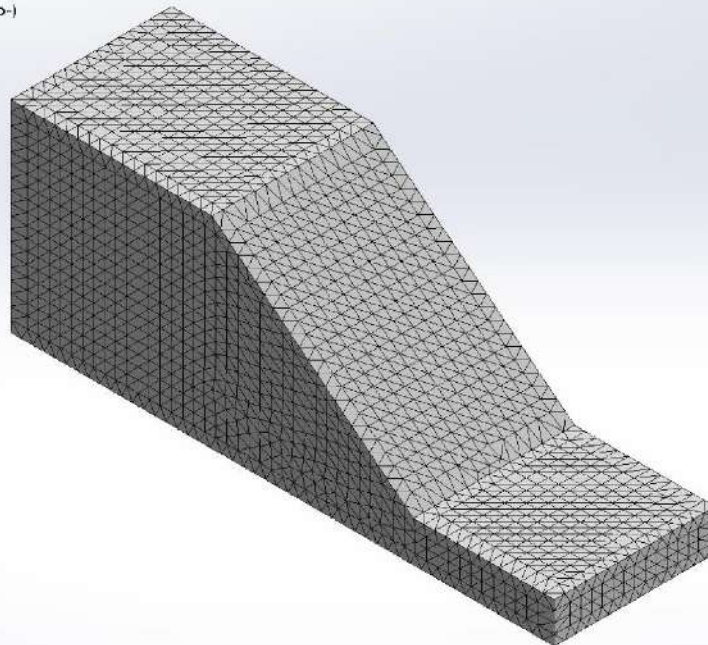
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,58399 mm
Tolerancia	0,2792 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	68613
Número total de elementos	47129
Cociente máximo de aspecto	3,6325
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

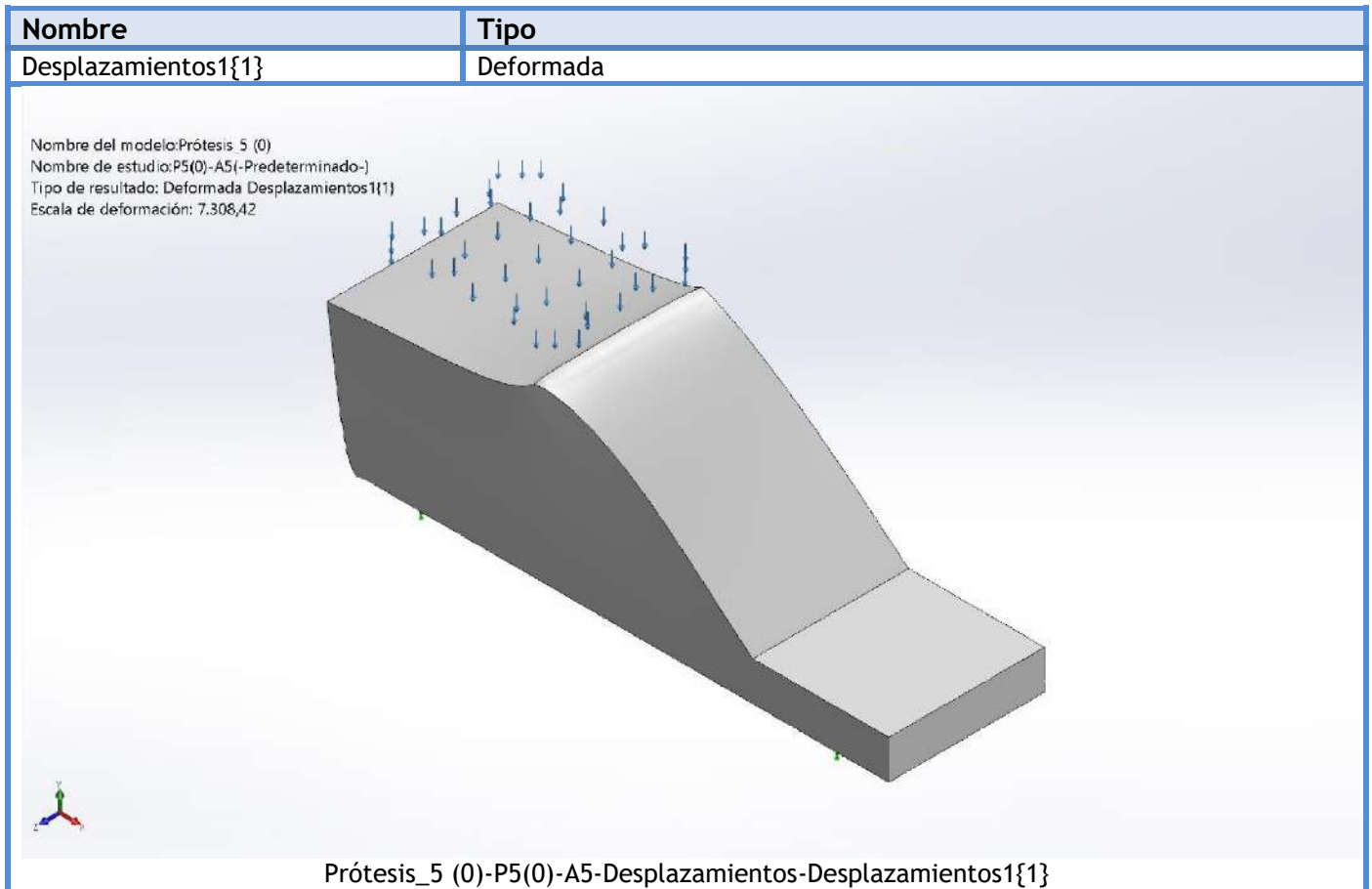
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00302935	613,111	0,0077528	613,111

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

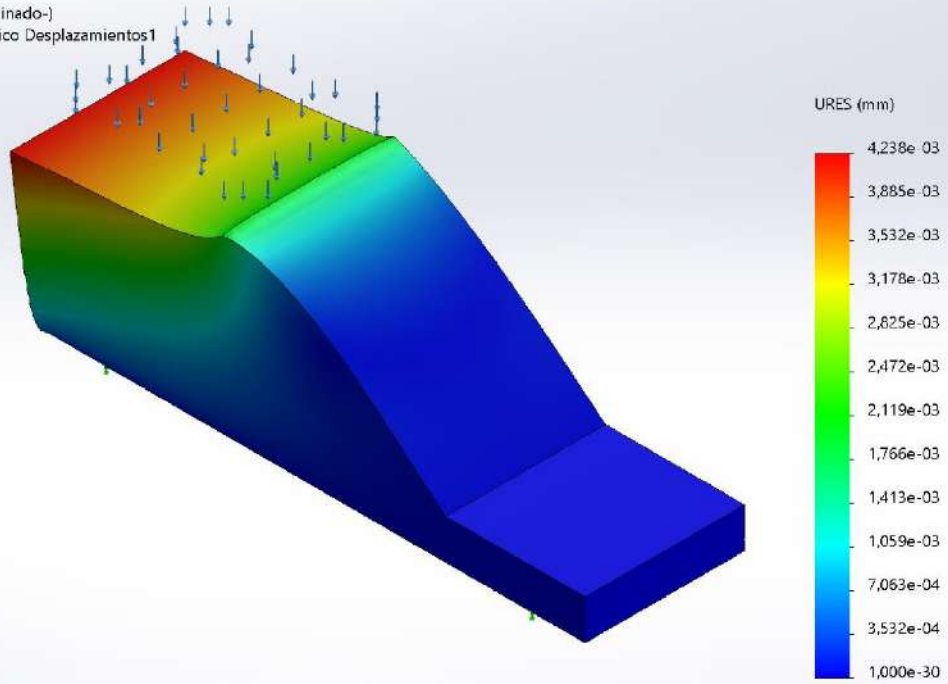


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	4,238e-03 mm Nodo: 34

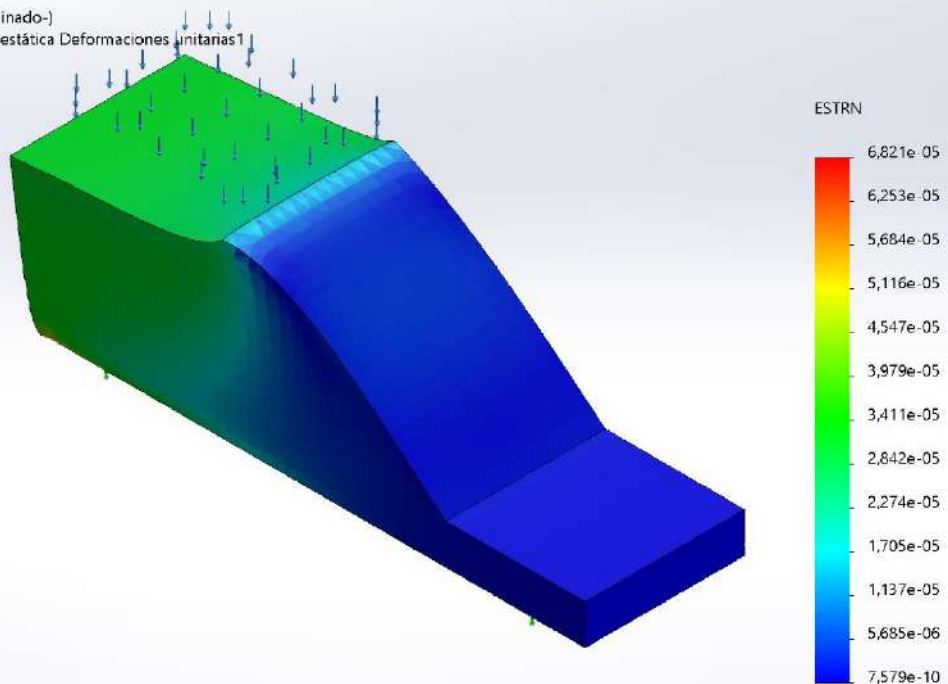
Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 7.308,42



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,579e-10 Elemento: 5733	6,821e-05 Elemento: 10868

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio: P5(0)-A5(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 7.308,42

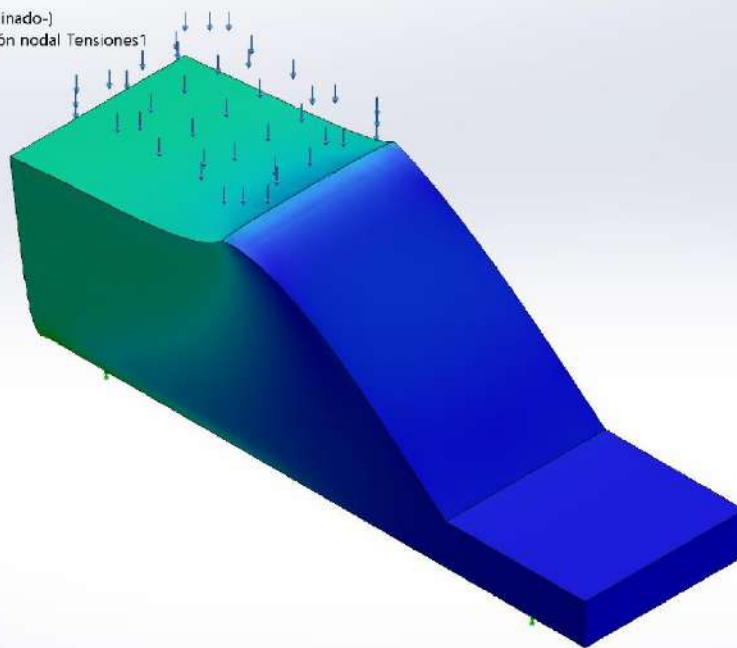


Prótesis_5 (0)-P5(0)-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

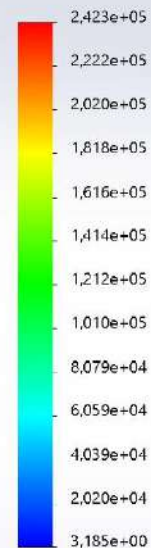


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3,185e+00 N/m ² Nodo: 62286	2,423e+05 N/m ² Nodo: 1

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 7.308,42



von Mises (N/m²)

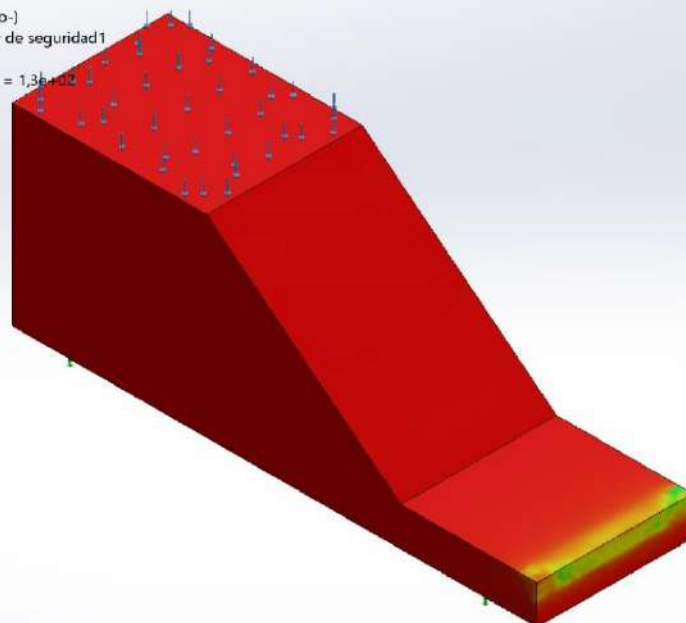


→ Límite elástico: 3.200e+07

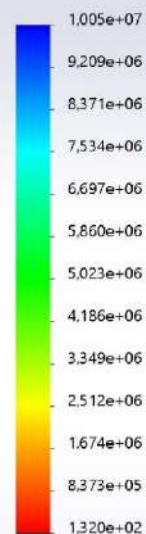
Prótesis_5 (0)-P5(0)-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,320e+02 Nodo: 1	1,005e+07 Nodo: 62286

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio:P5(0)-A5(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,320e+02



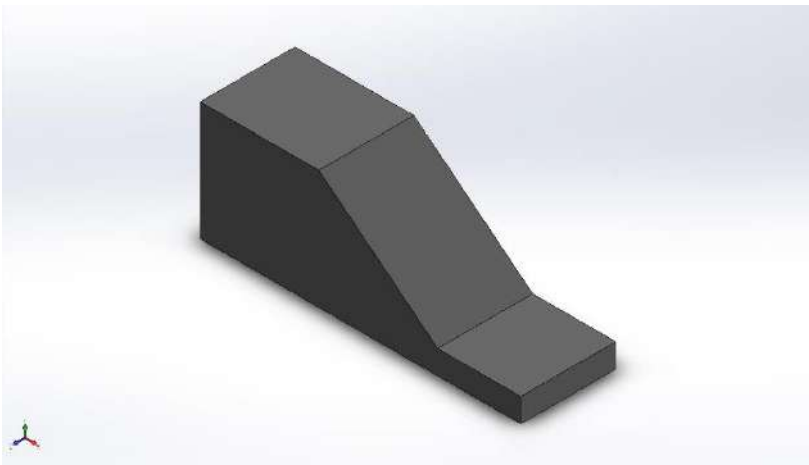
FDS



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (0)

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(0)-A6

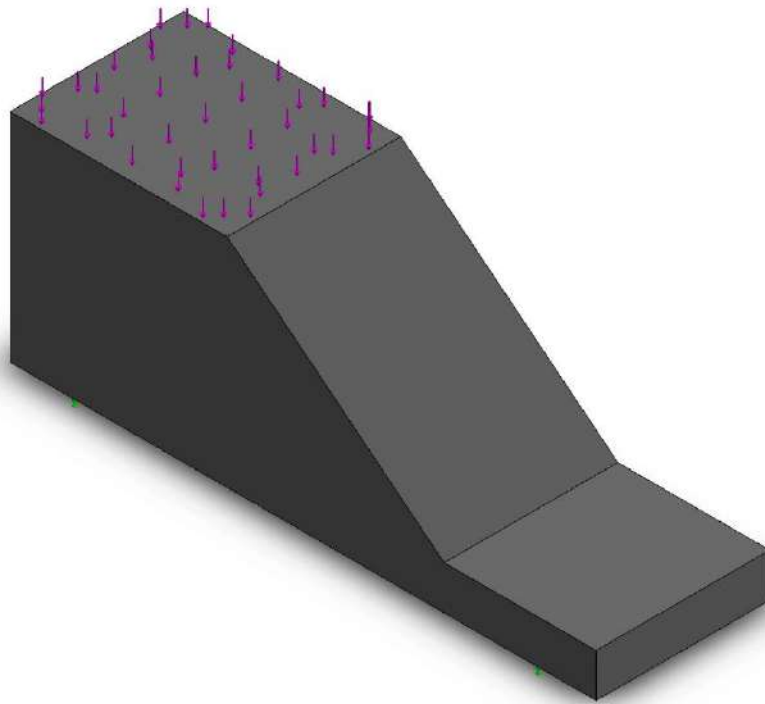
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

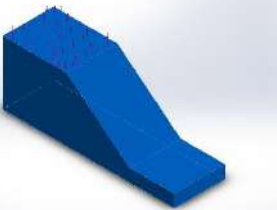


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (0) 	Sólido	Masa: 1,58688 kg Volumen: 0,001392 m ³ Densidad: 1.140 kg/m ³ Peso: 15,5514 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (0).SLDPRT Nov 26 12:50:02 2019



Propiedades de estudio

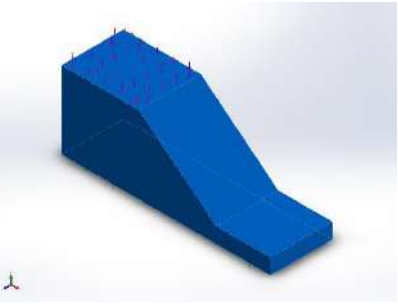
Nombre de estudio	P5(0)-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

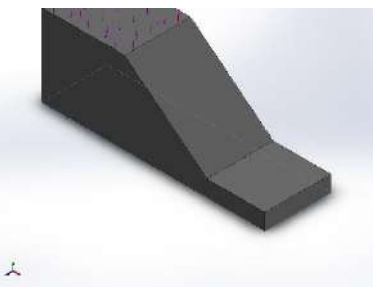


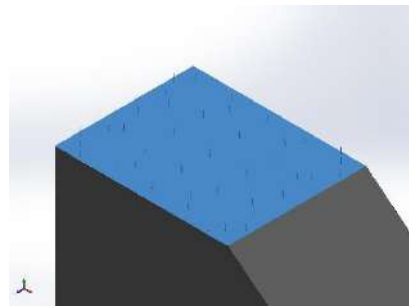
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Prótesis_5 (0))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0049696	613,124	0,00451252	613,124
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



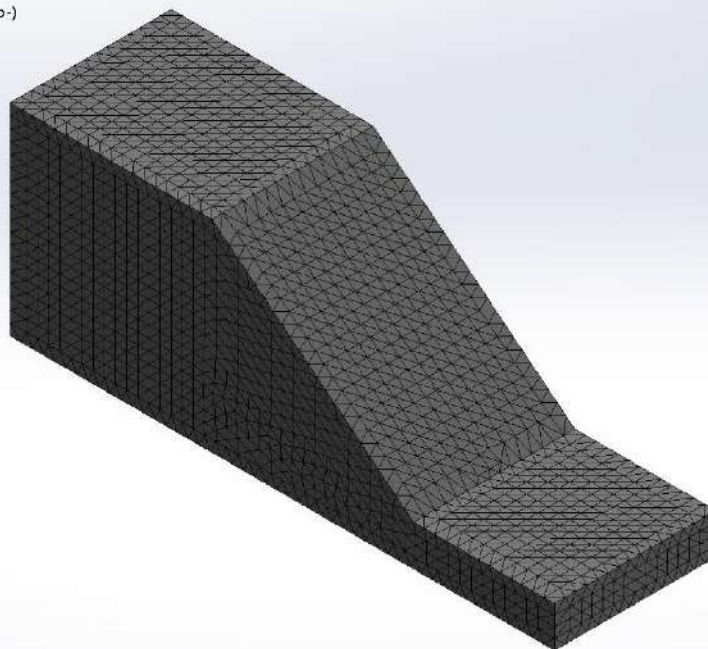
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,58399 mm
Tolerancia	0,2792 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	68613
Número total de elementos	47129
Cociente máximo de aspecto	3,6325
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	100
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (0)
Nombre de estudio: P5(0)-A6(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

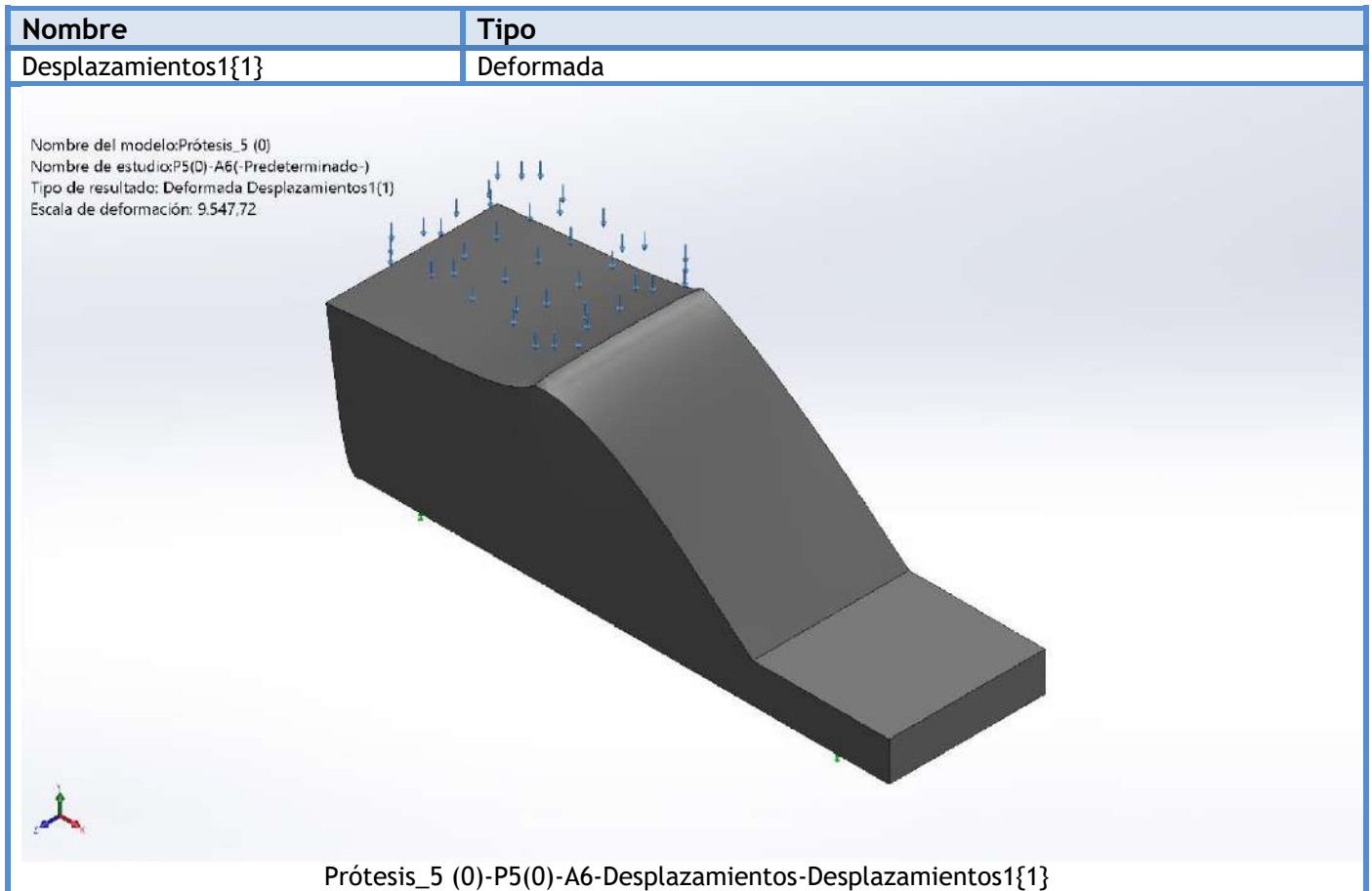
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0049696	613,124	0,00451252	613,124

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



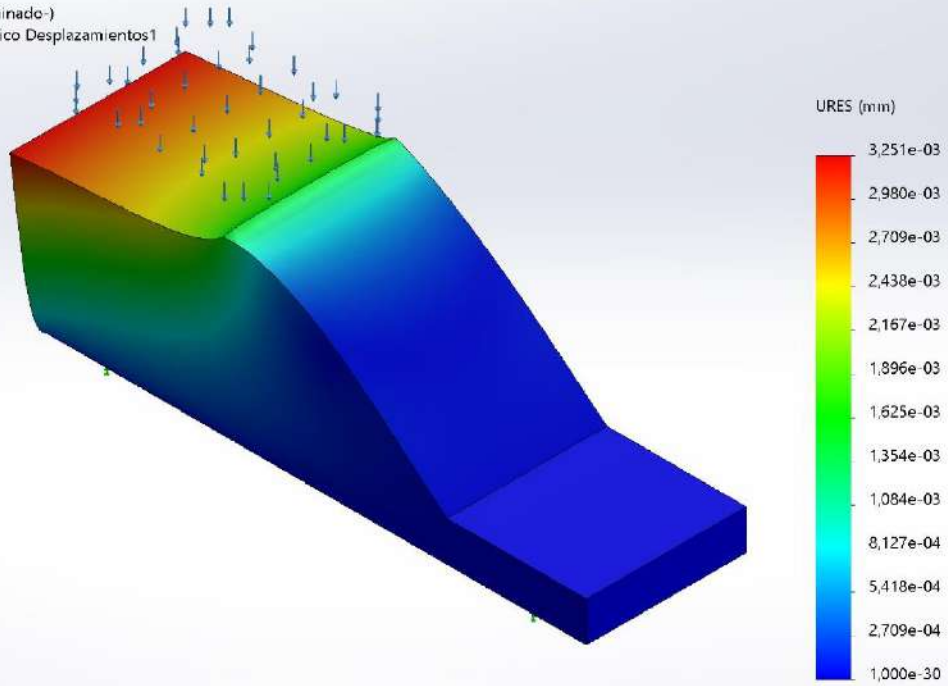
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1	3,251e-03 mm Nodo: 34



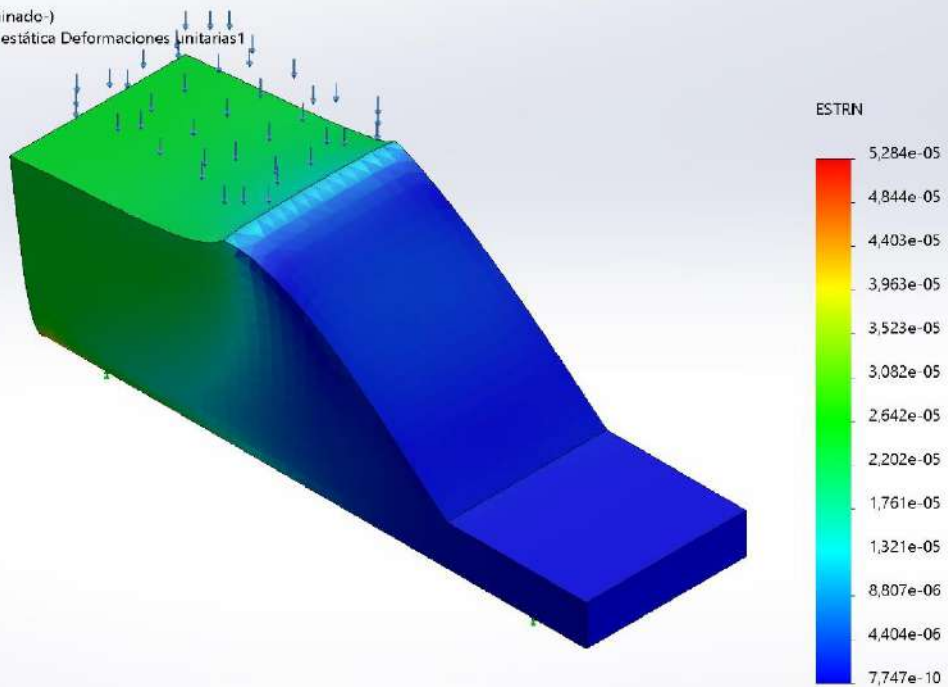
Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio:P5(0)-A6(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 9.547,72



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,747e-10 Elemento: 5733	5,284e-05 Elemento: 10868

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)
 Nombre de estudio:P5(0)-A6(- Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 9.547,72



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



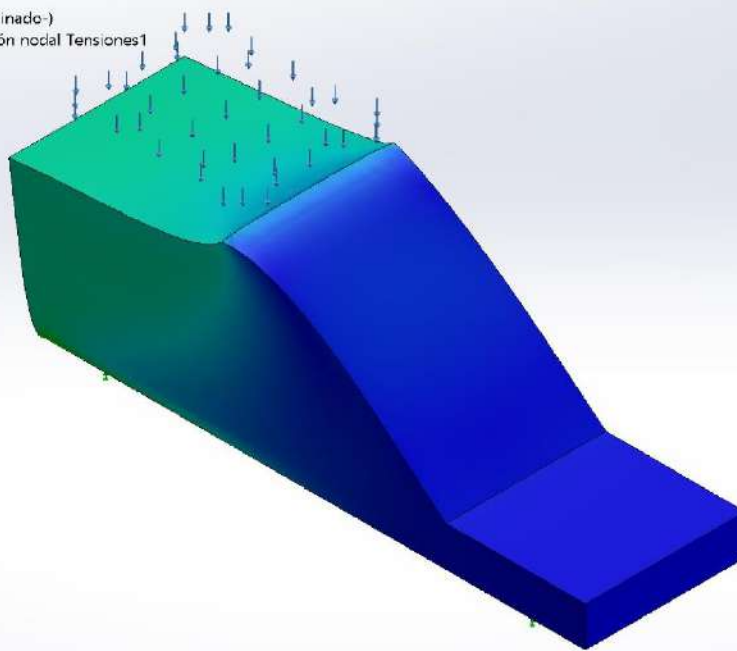
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4,703e+00 N/m ² Nodo: 62381	2,433e+05 N/m ² Nodo: 1

Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)

Nombre de estudio:P5(0)-A6(-Predeterminado-)

Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1

Escala de deformación: 9.547,72



von Mises (N/m²)



→ Límite elástico: 7.800e+07

Prótesis_5 (0)-P5(0)-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	3,206e+02 Nodo: 1	1,658e+07 Nodo: 62381

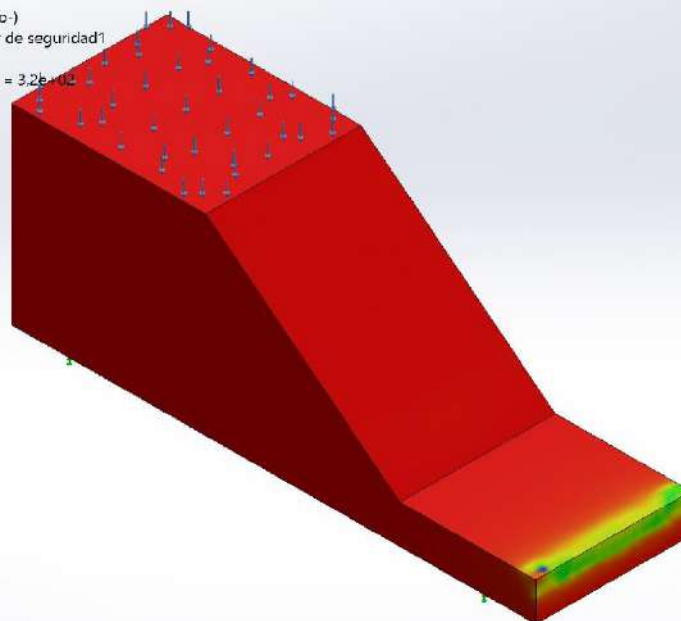
Nombre del modelo:Prótesis_5 (0)

Nombre de estudio:P5(0)-A6(-Predeterminado-)

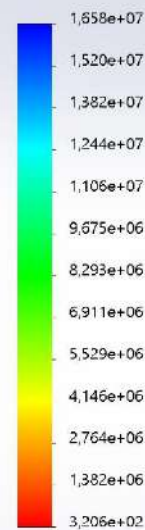
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1

Criterio: Tensiones von Mises máx.

Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 3,206e+02



FDS



Prótesis_5 (0)-P5(0)-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (1)

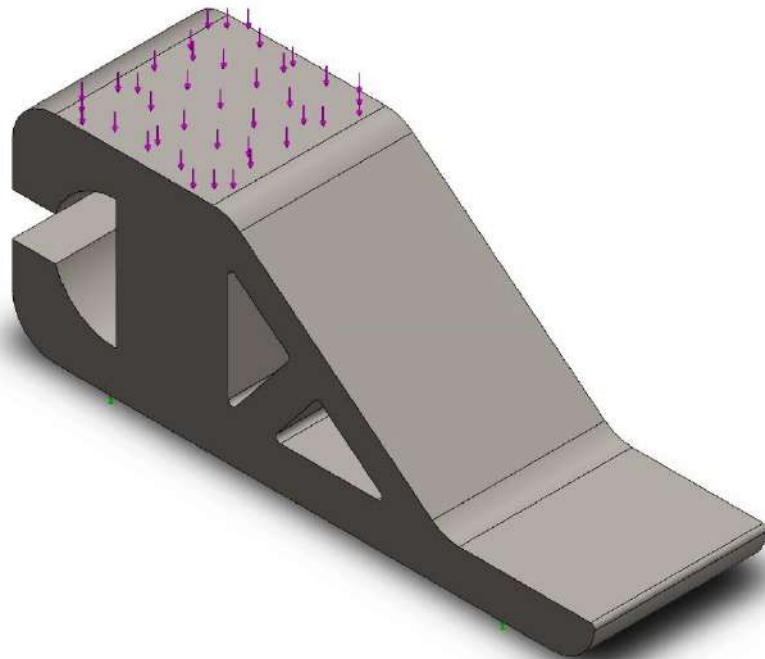
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(1)-A1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

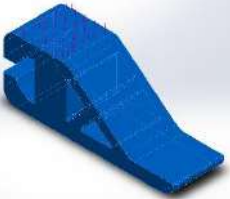


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Prótesis_5 (1)	Sólido	Masa:8,47445 kg Volumen:0,00110058 m ³ Densidad:7.700 kg/m ³ Peso:83,0496 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019



Propiedades de estudio

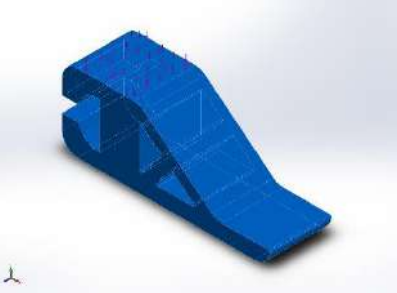
Nombre de estudio	P5(1)-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



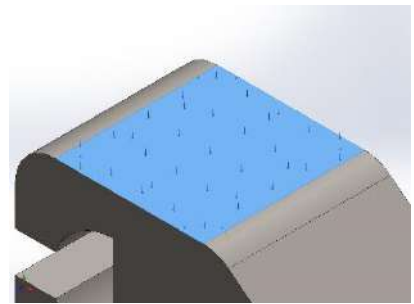
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0145032	613,151	0,00769939	613,151
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-1		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N</p>



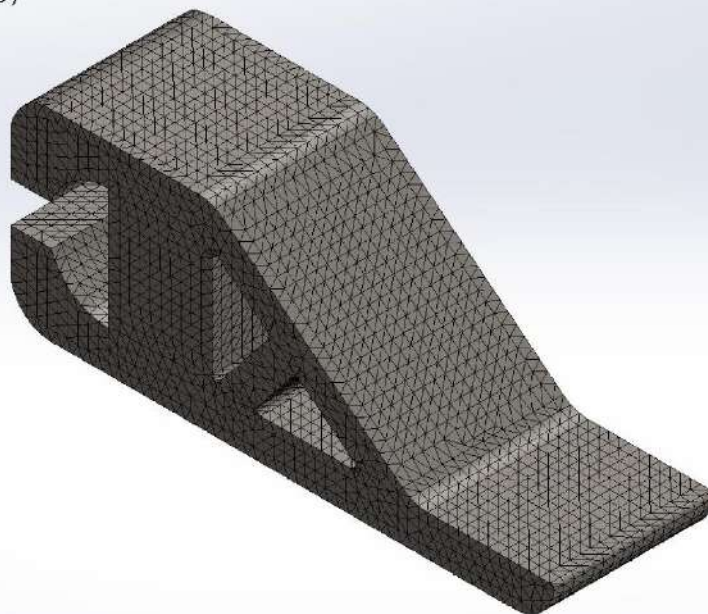
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,16348 mm
Tolerancia	0,258174 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82834
Número total de elementos	55381
Cociente máximo de aspecto	7,1929
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A1(Predeterminado)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

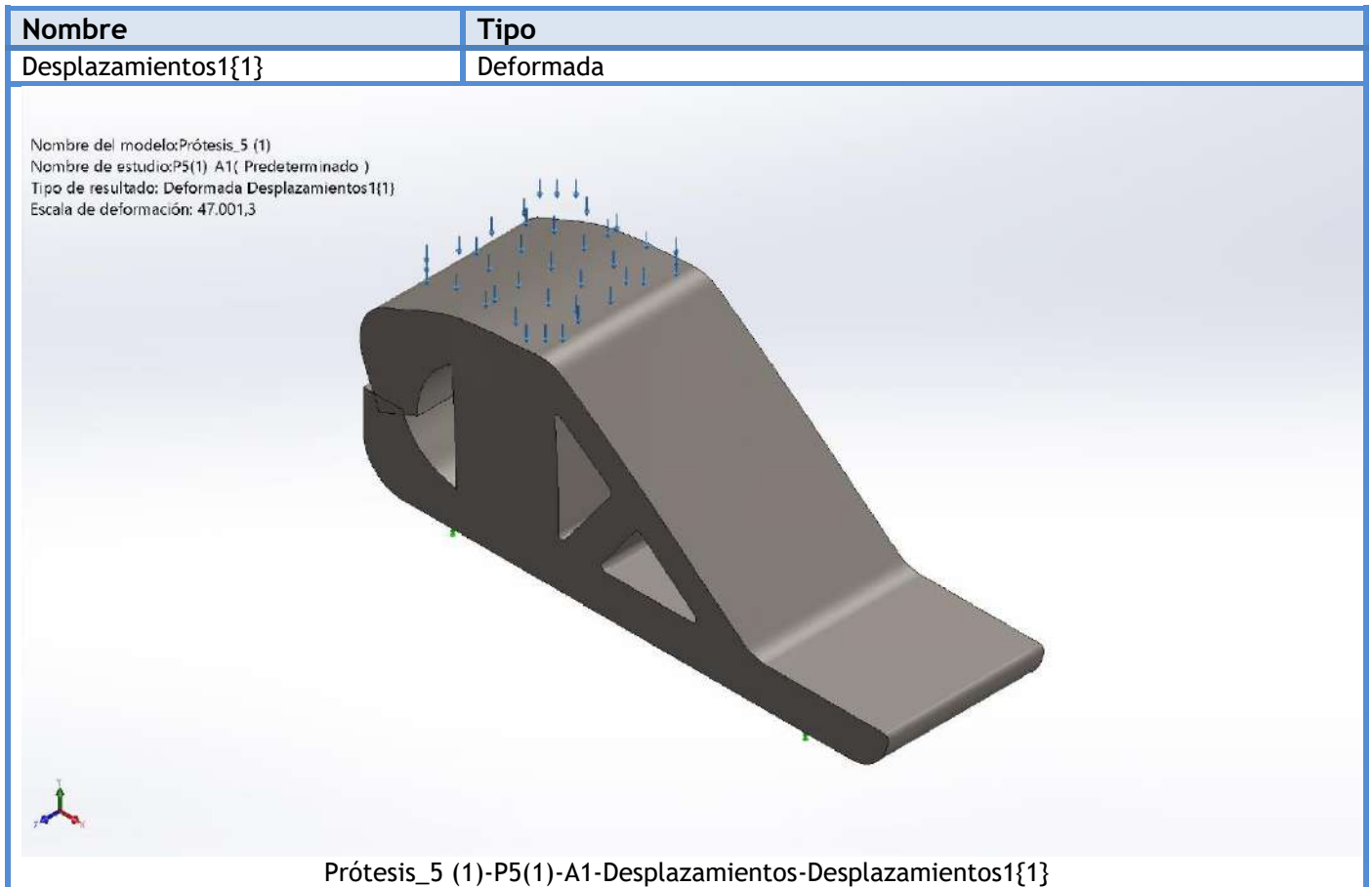
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0145032	613,151	0,00769939	613,151

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



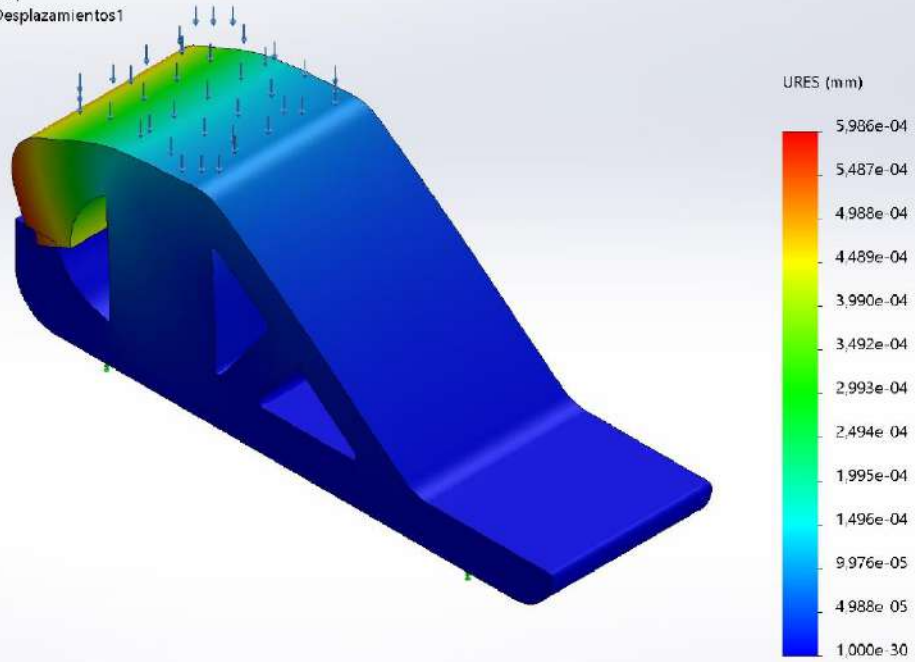
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 194	5,986e-04 mm Nodo: 69340



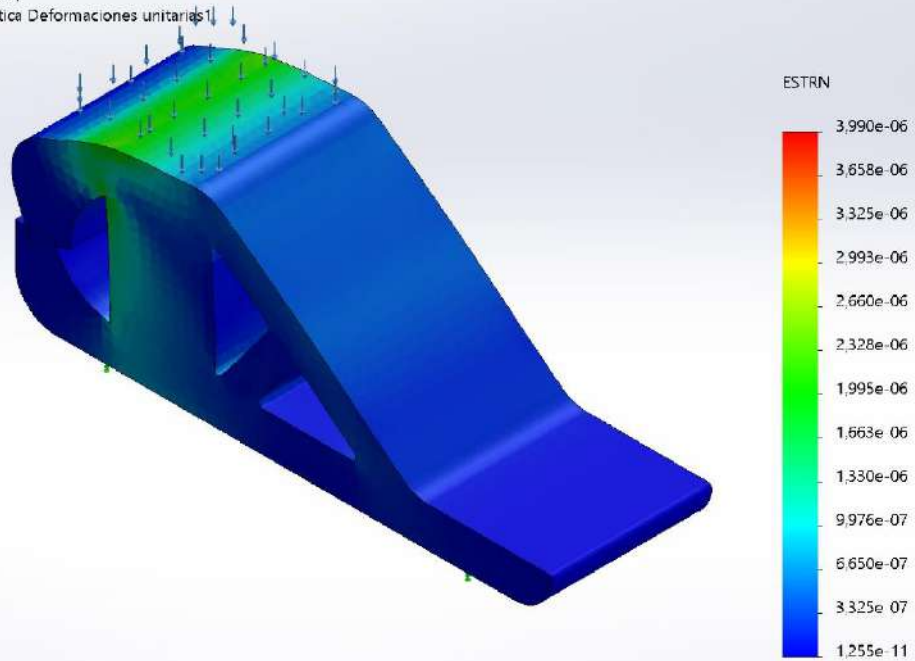
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 47.001,3



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,255e-11 Elemento: 7956	3,990e-06 Elemento: 32900

Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 47.001,3

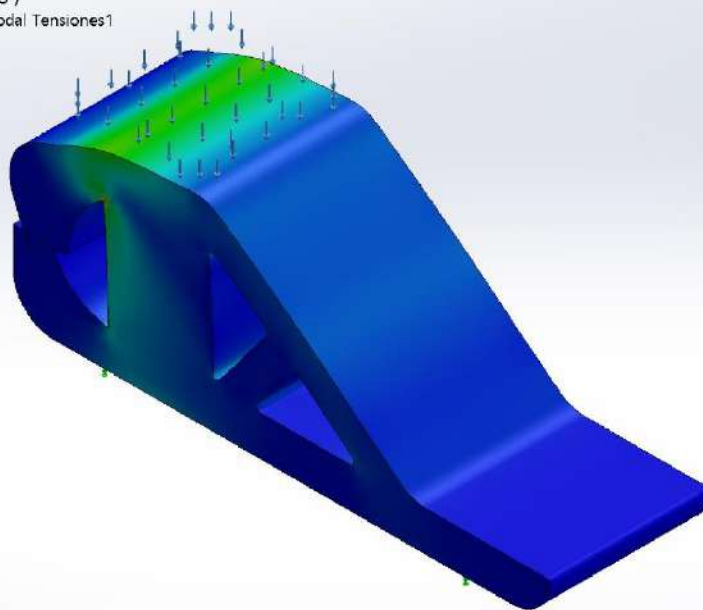


Prótesis_5 (1)-P5(1)-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	5,650e+00 N/m ² Nodo: 186	1,041e+06 N/m ² Nodo: 76824

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A1(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 47.001,3



von Mises (N/m²)

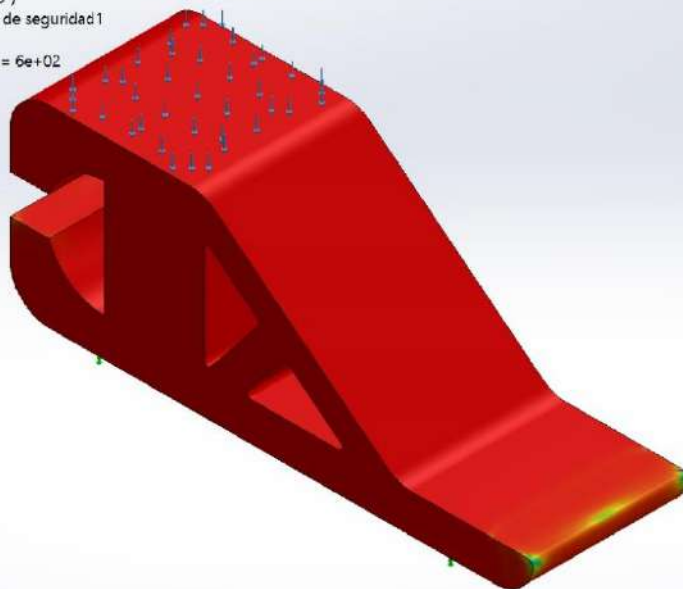


→ Límite elástico: 6.204e+08

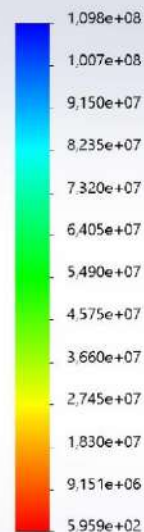
Prótesis_5 (1)-P5(1)-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5,959e+02 Nodo: 76824	1,098e+08 Nodo: 186

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A1(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6e+02



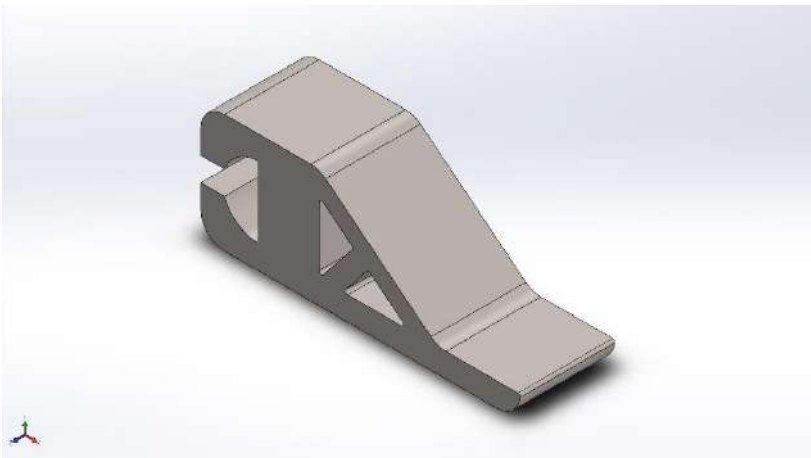
FDS



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: jueves, 9 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(1)-A2

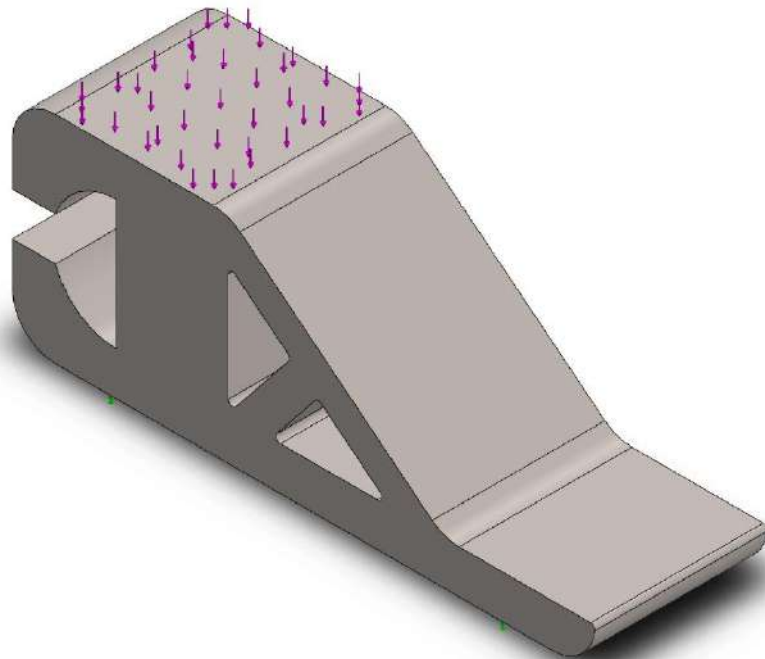
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

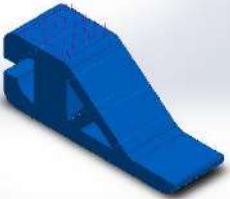


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (1) 	Sólido	Masa:5,11769 kg Volumen:0,00110058 m ³ Densidad:4.650 kg/m ³ Peso:50,1533 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019



Propiedades de estudio

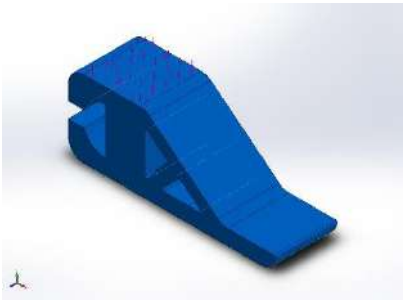
Nombre de estudio	P5(1)-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

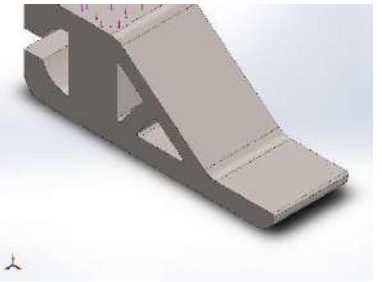


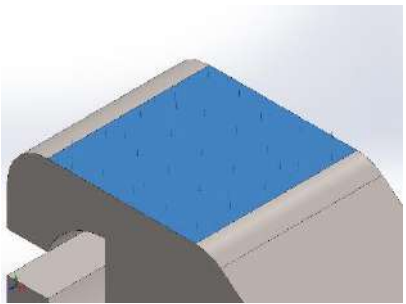
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0174314	613,13	0,0115455	613,13
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



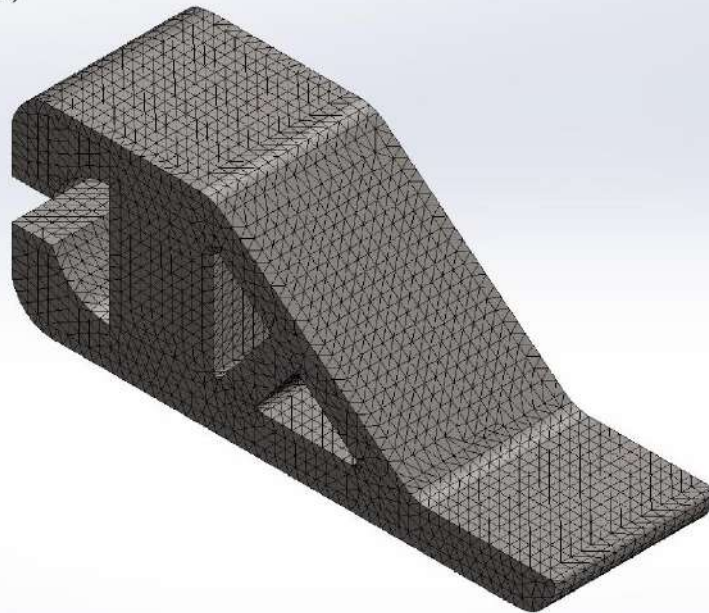
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,16348 mm
Tolerancia	0,258174 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82834
Número total de elementos	55381
Cociente máximo de aspecto	7,1929
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A2(Predeterminado)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

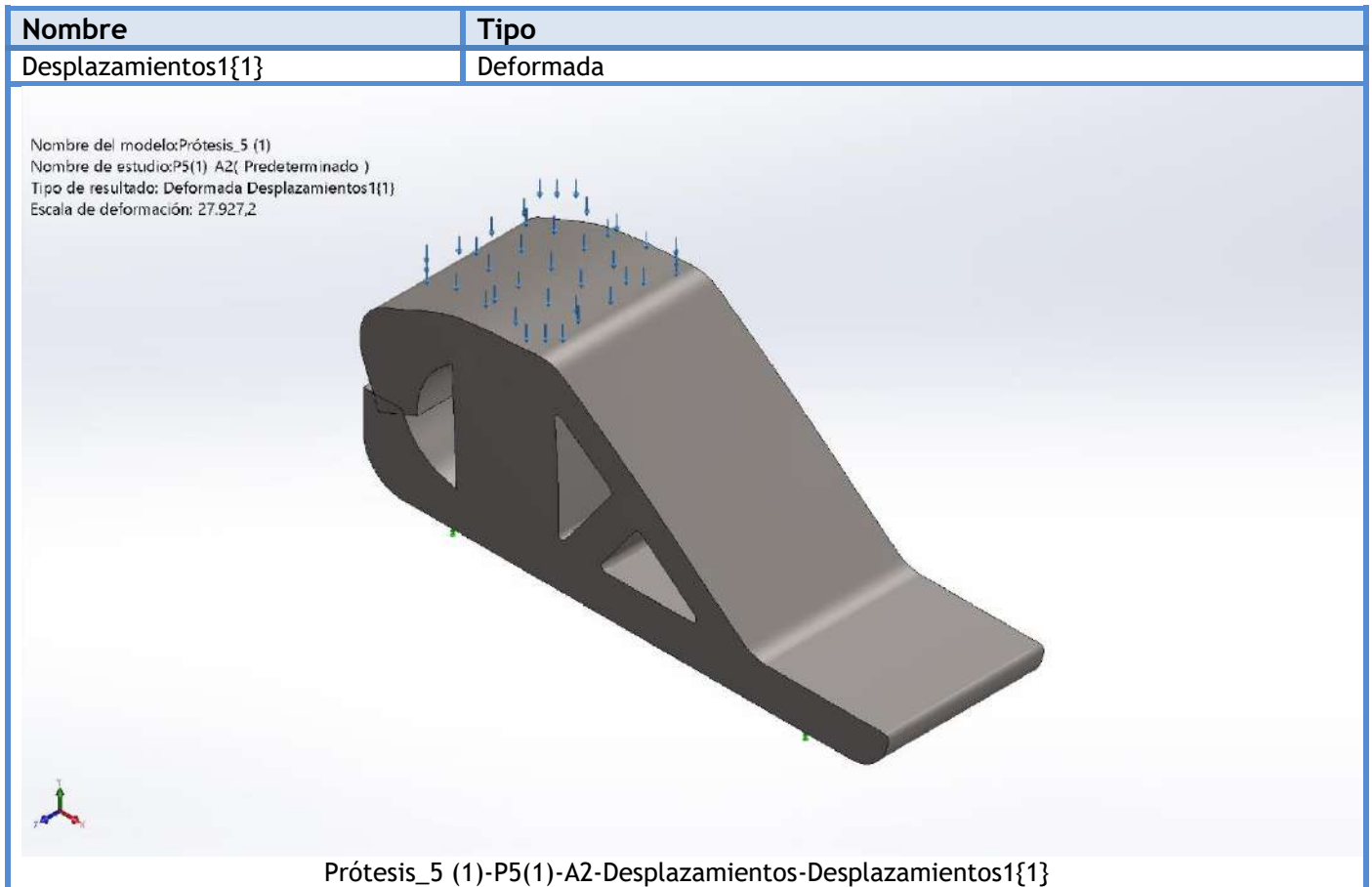
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0174314	613,13	0,0115455	613,13

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



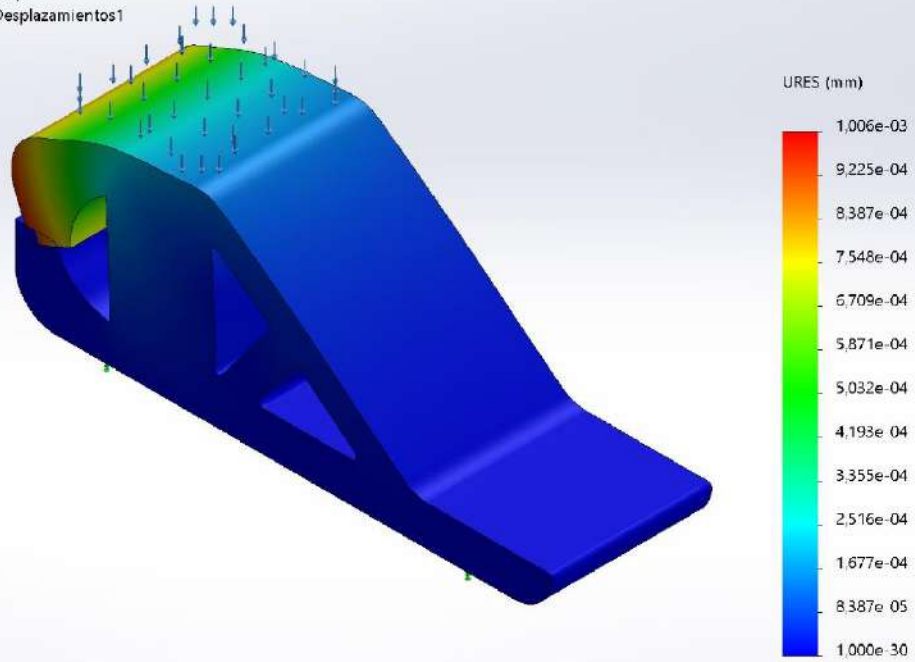
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 194	1,006e-03 mm Nodo: 69340



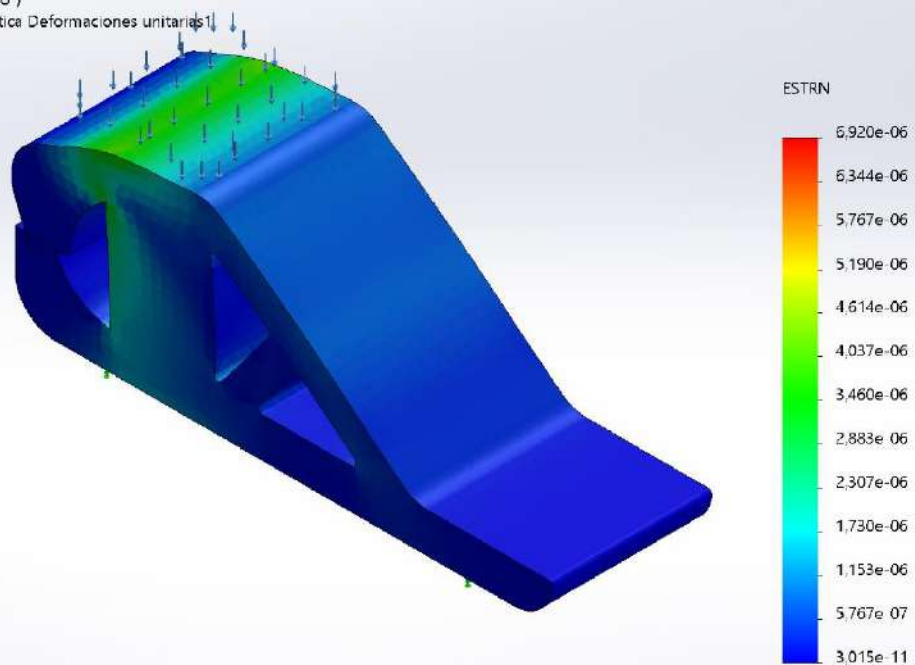
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1) A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 27.927,2



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,015e-11 Elemento: 7956	6,920e-06 Elemento: 32900

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1) A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 27.927,2

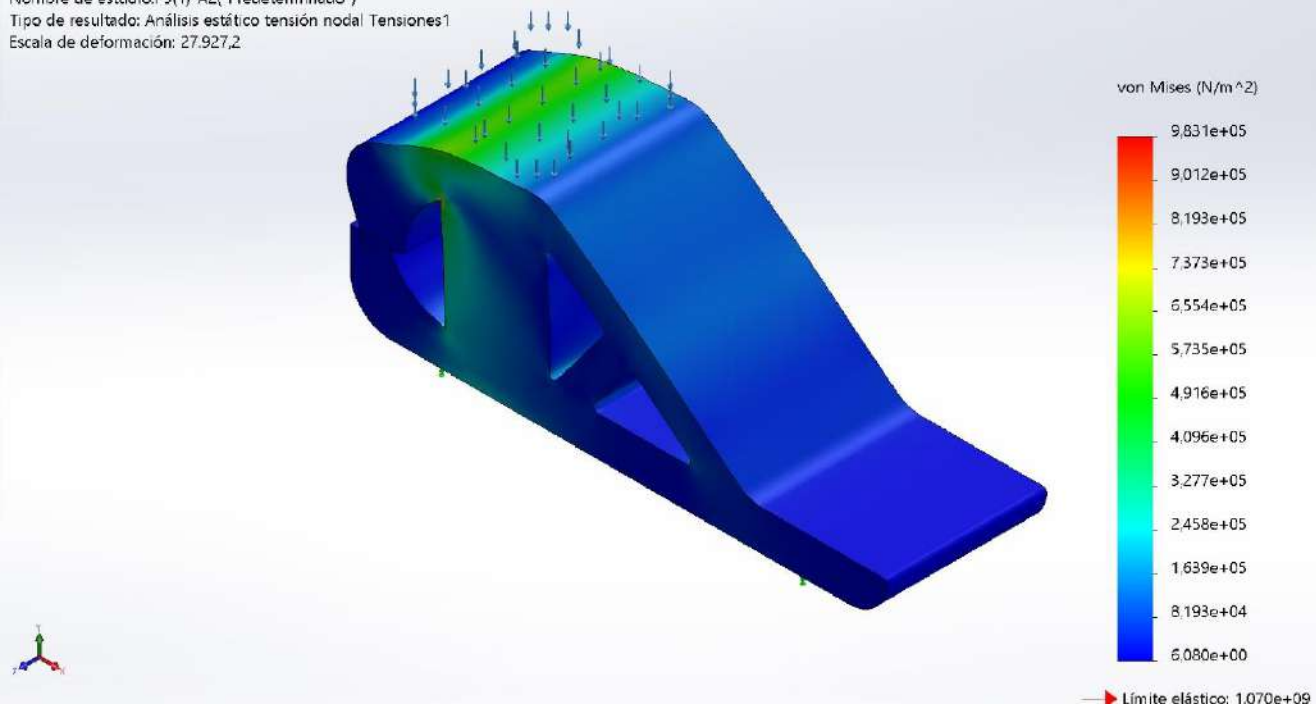


Prótesis_5 (1)-P5(1)-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	6,080e+00 N/m ² Nodo: 186	9,831e+05 N/m ² Nodo: 76824

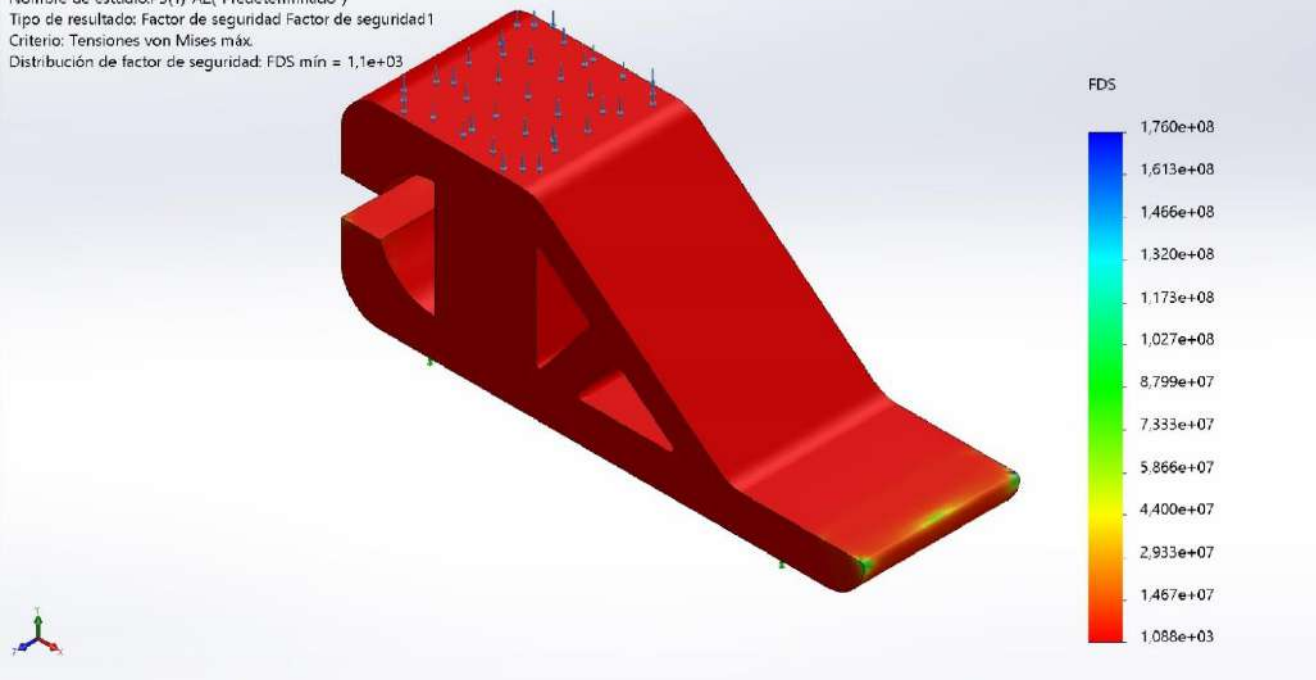
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A2(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 27.927,2



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,088e+03 Nodo: 76824	1,760e+08 Nodo: 186

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A2(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,1e+03



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (1)

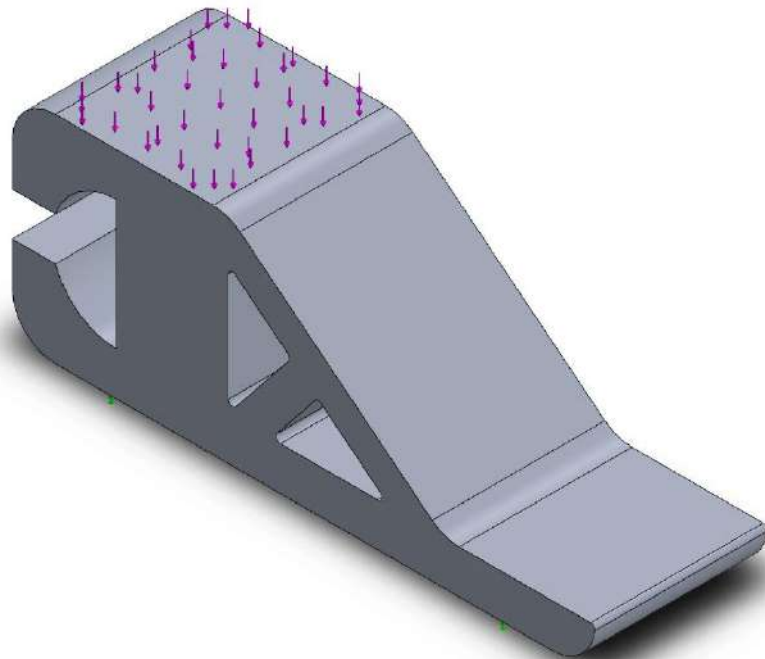
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(1)-A3
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

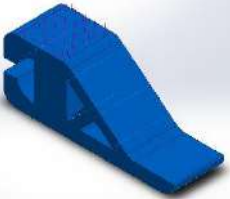


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:2,97156 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:2.700 kg/m³ Peso:29,1213 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

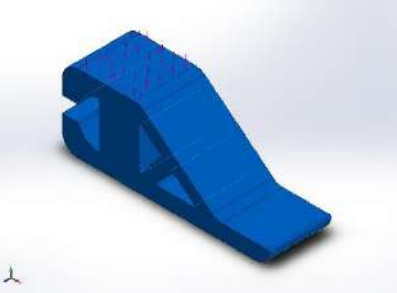
Nombre de estudio	P5(1)-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

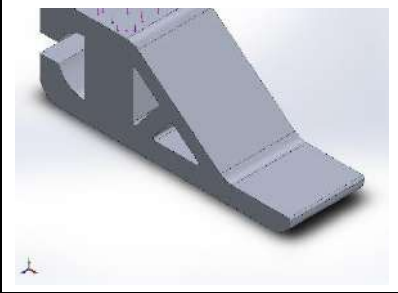


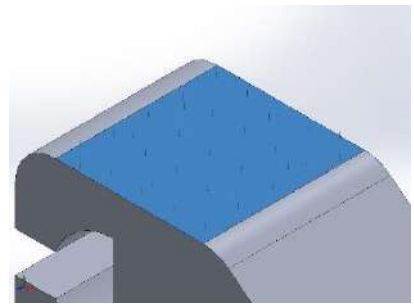
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0174314	613,13	0,0115455	613,13
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



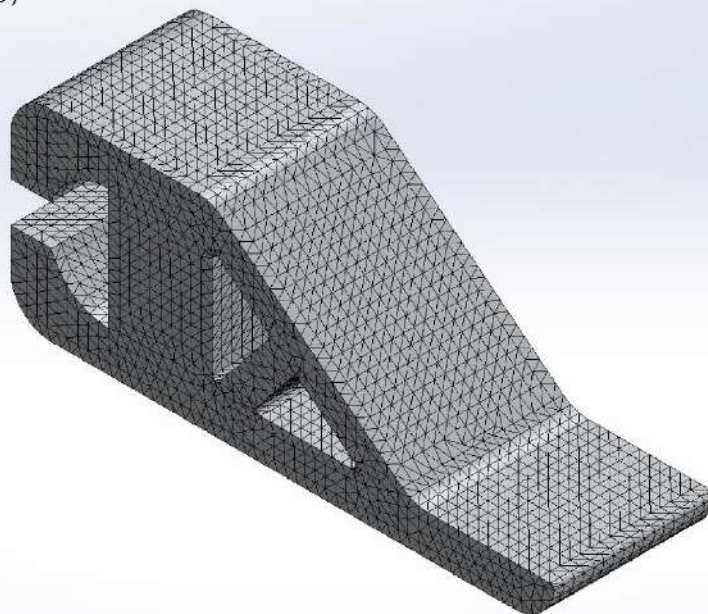
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,16348 mm
Tolerancia	0,258174 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82834
Número total de elementos	55381
Cociente máximo de aspecto	7,1929
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1) A3(Predeterminado)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

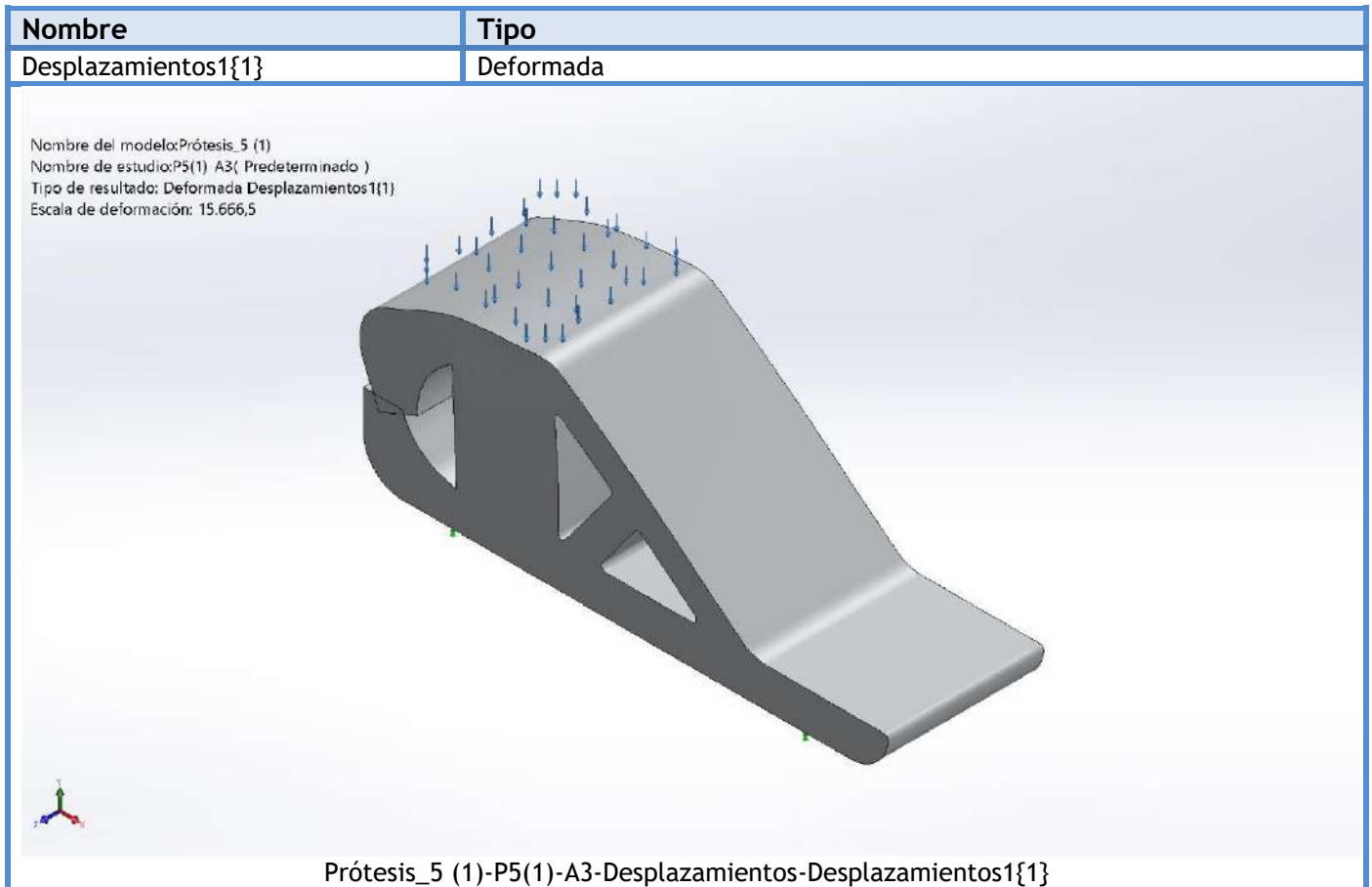
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0174314	613,13	0,0115455	613,13

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



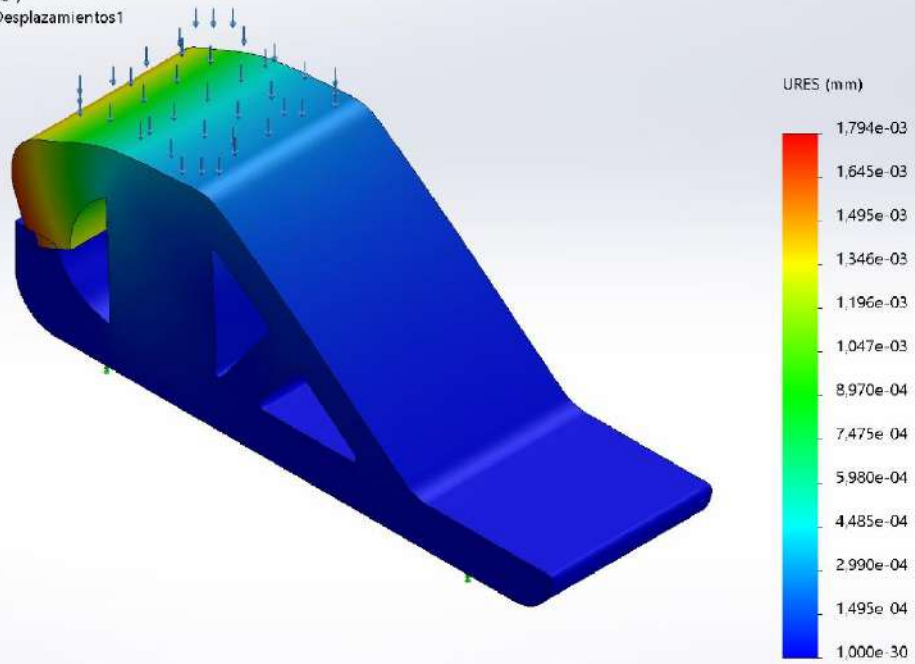
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 194	1,794e-03 mm Nodo: 69340



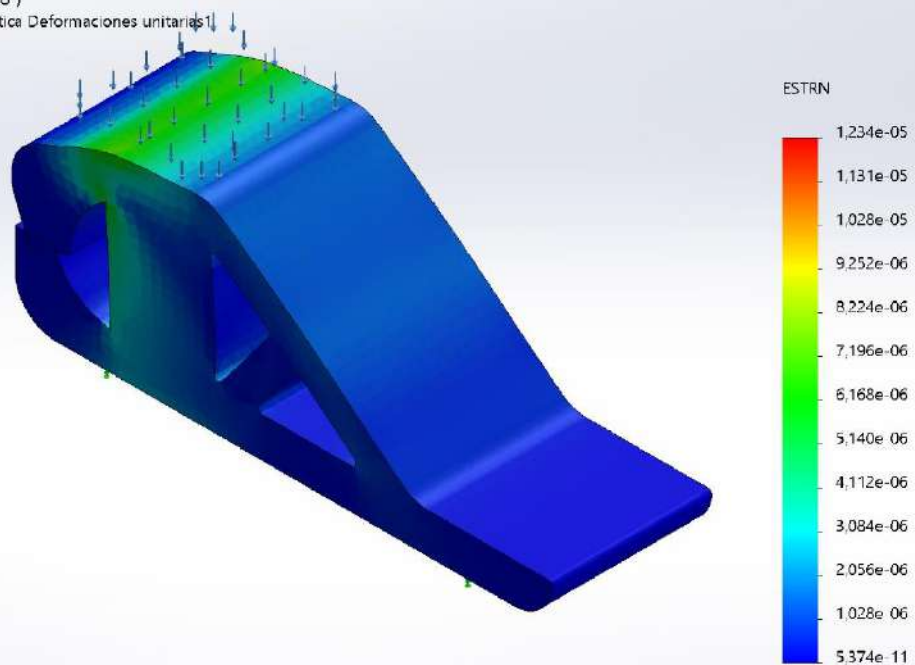
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 15.666,5



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5,374e-11 Elemento: 7956	1,234e-05 Elemento: 32900

Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 15.666,5

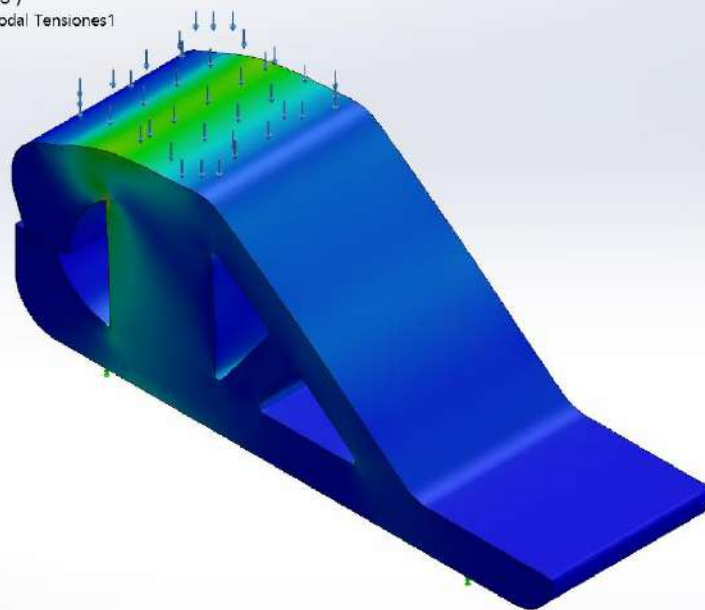


Prótesis_5 (1)-P5(1)-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	6,080e+00 N/m ² Nodo: 186	9,831e+05 N/m ² Nodo: 76824

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1)-A3(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 15.666,5



von Mises (N/m²)

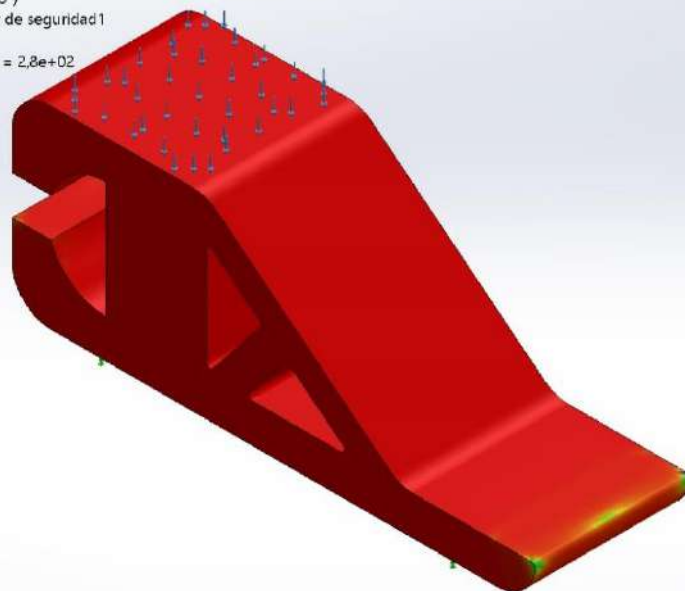


→ Límite elástico: 2.750e+08

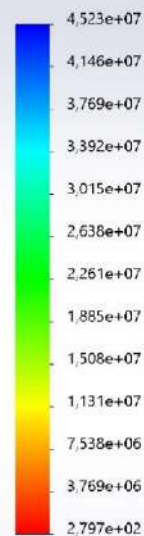
Prótesis_5 (1)-P5(1)-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,797e+02 Nodo: 76824	4,523e+07 Nodo: 186

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1)-A3(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,8e+02



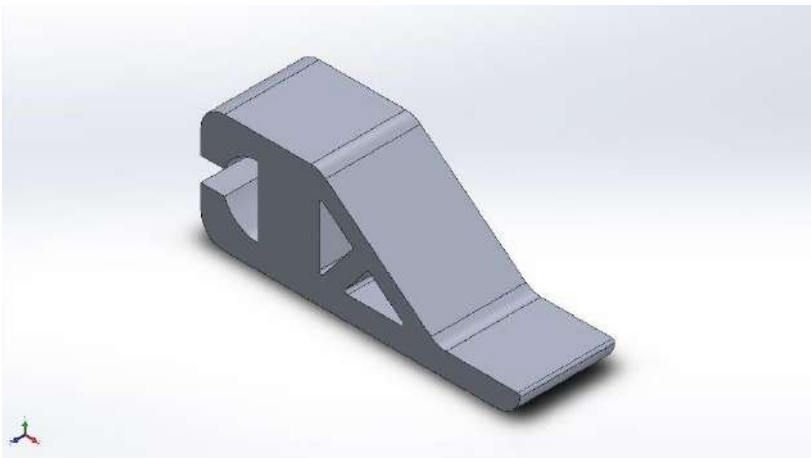
FDS



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (1)

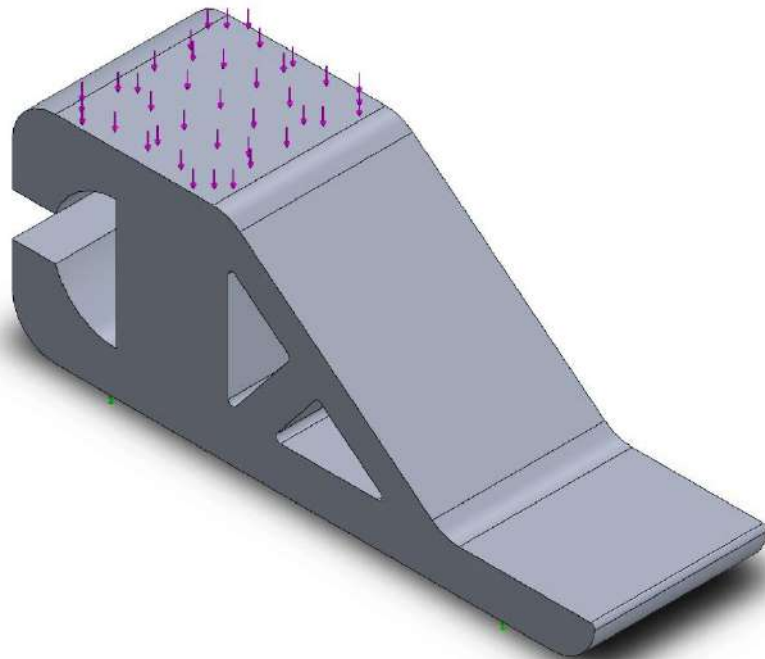
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(1)-A4
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

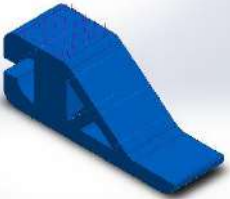


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:3,09262 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:30,3077 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

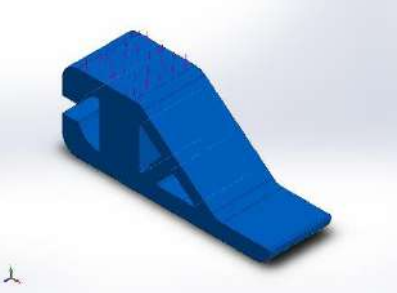
Nombre de estudio	P5(1)-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

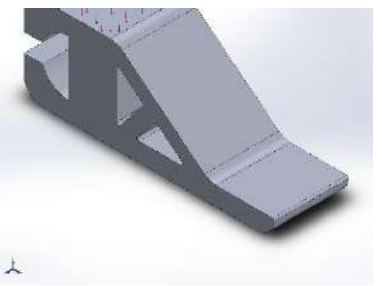


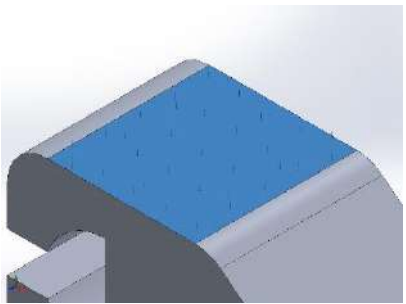
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0174314	613,13	0,0115455	613,13
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



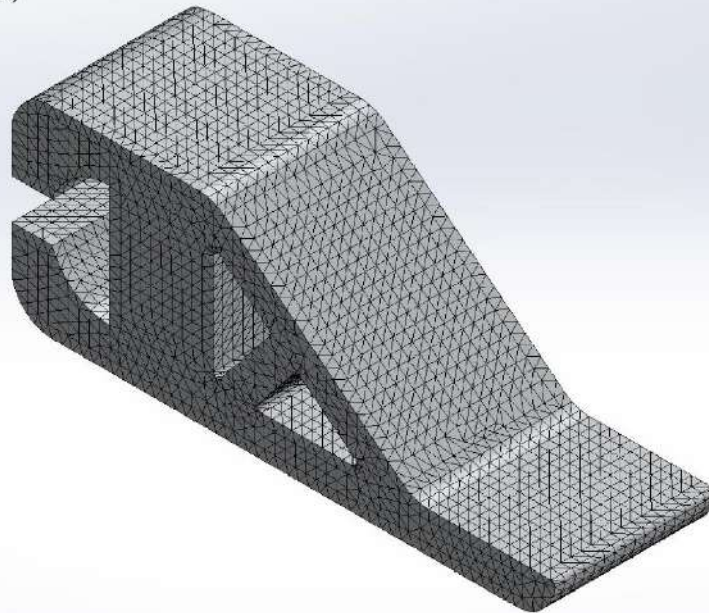
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,16348 mm
Tolerancia	0,258174 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82834
Número total de elementos	55381
Cociente máximo de aspecto	7,1929
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A4(Predeterminado)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

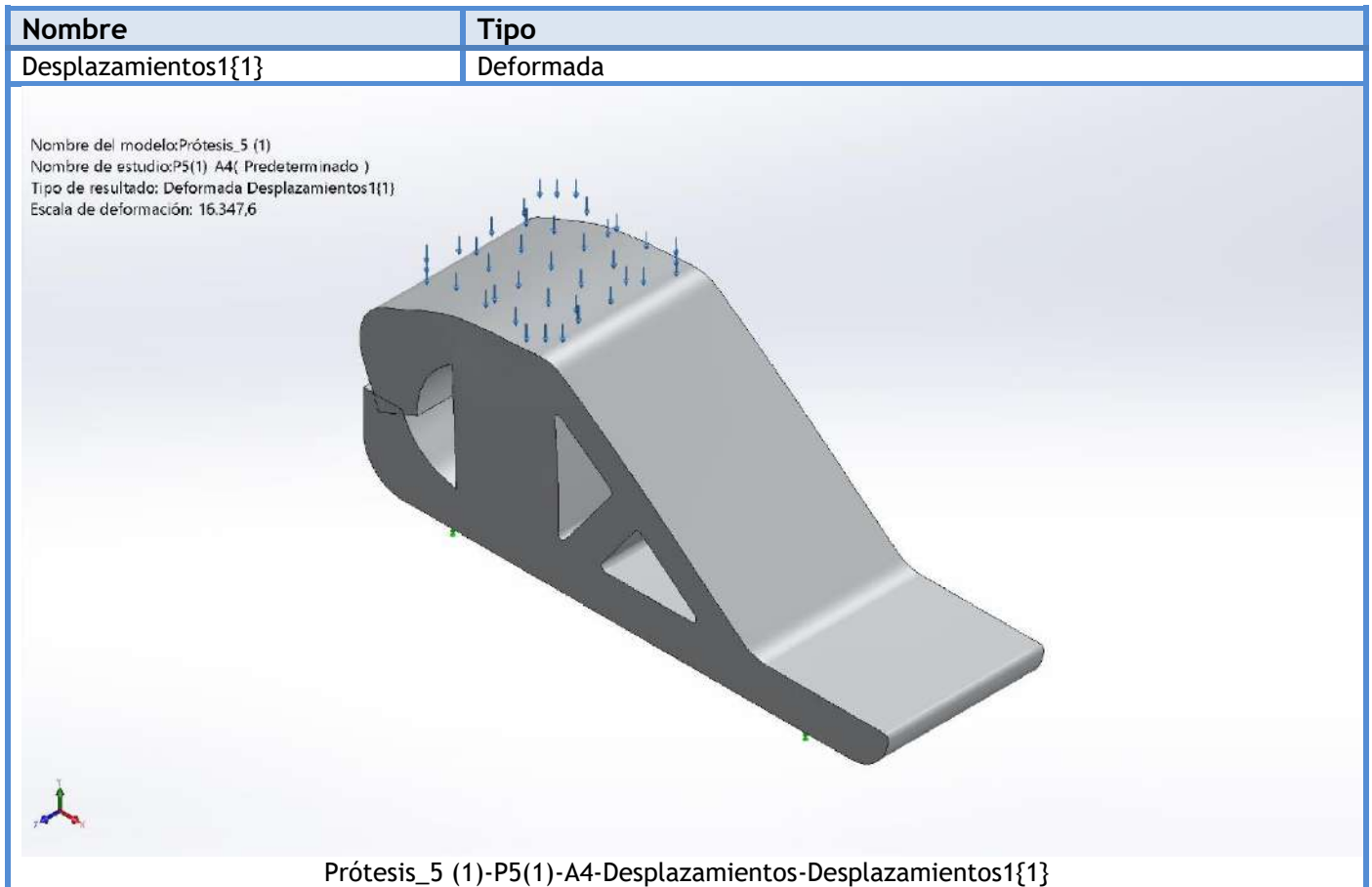
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0174314	613,13	0,0115455	613,13

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



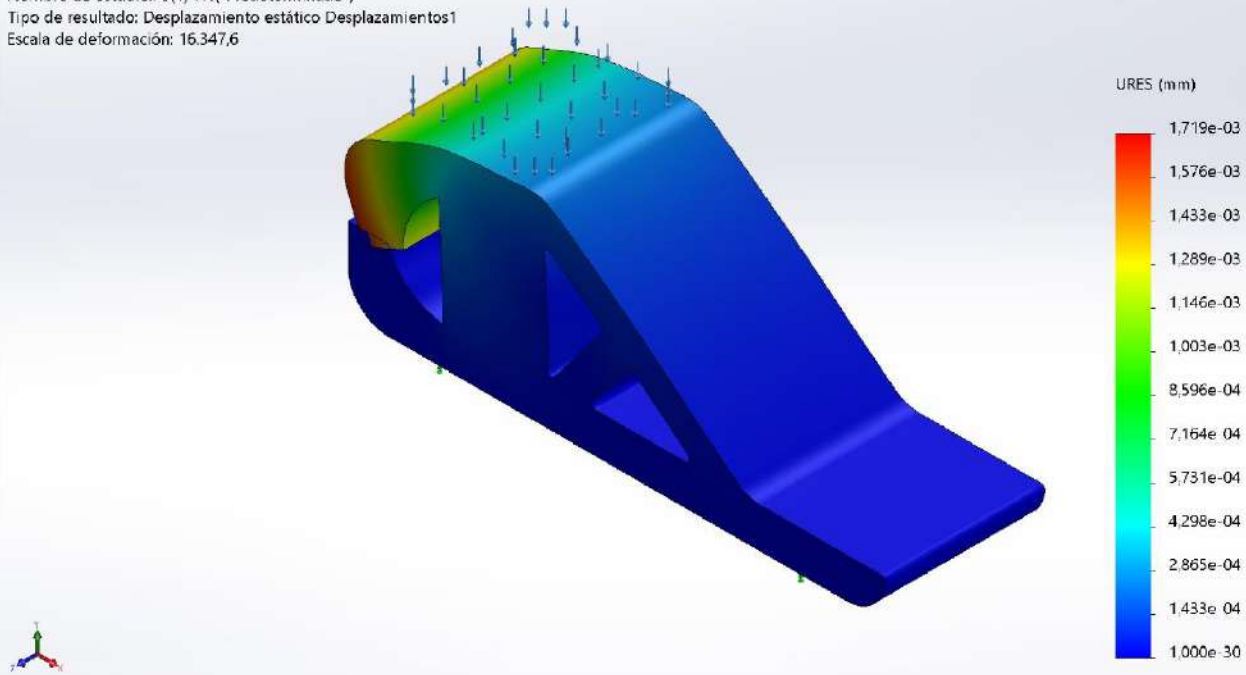
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 194	1,719e-03 mm Nodo: 69340



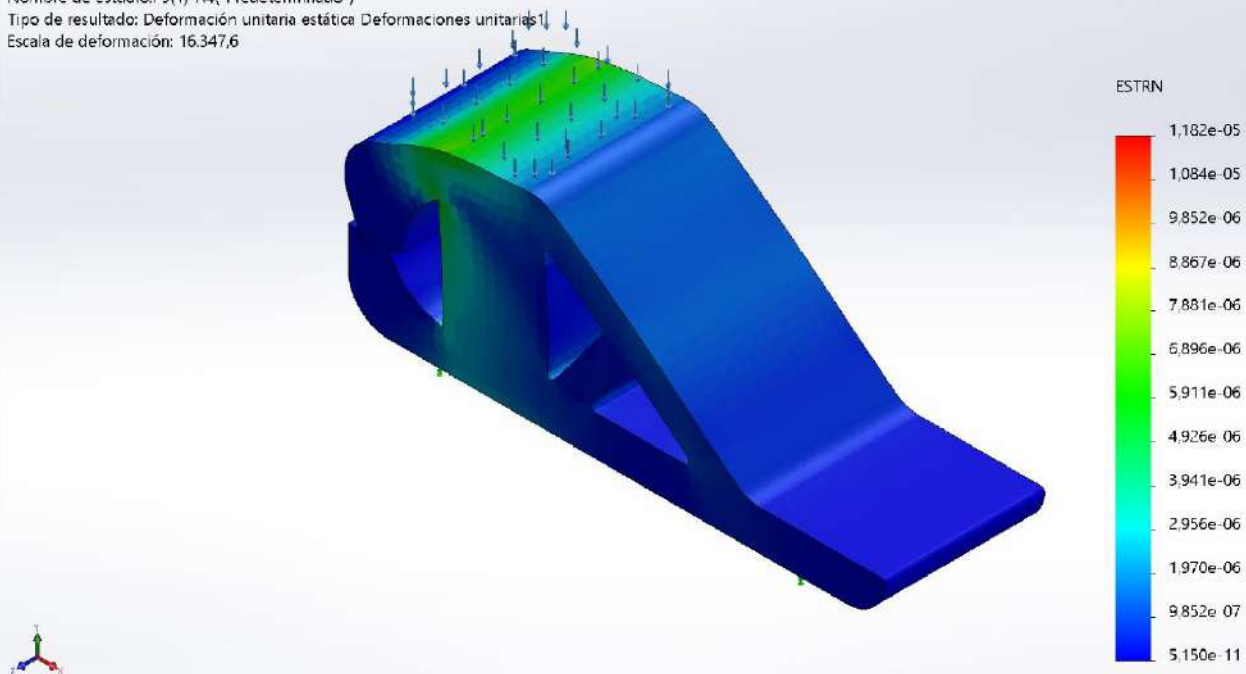
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 16.347,6



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5,150e-11 Elemento: 7956	1,182e-05 Elemento: 32900

Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 16.347,6

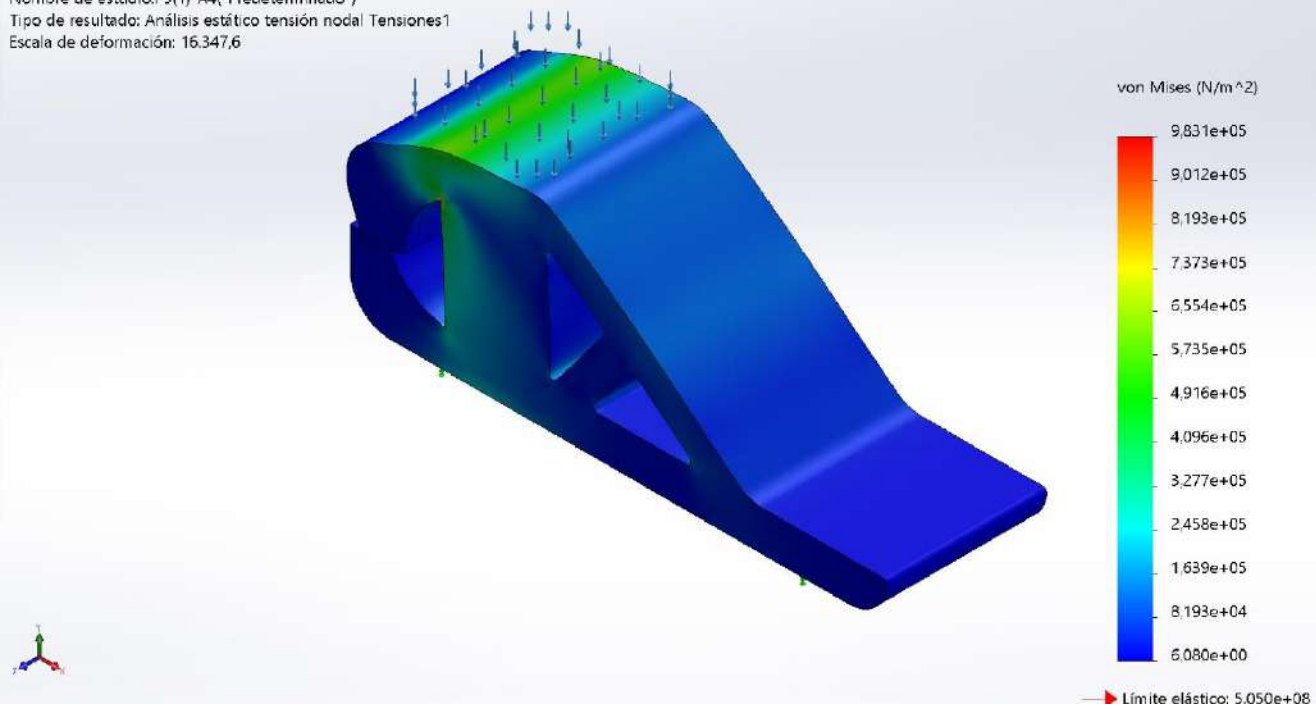


Prótesis_5 (1)-P5(1)-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	6,080e+00 N/m ² Nodo: 186	9,831e+05 N/m ² Nodo: 76824

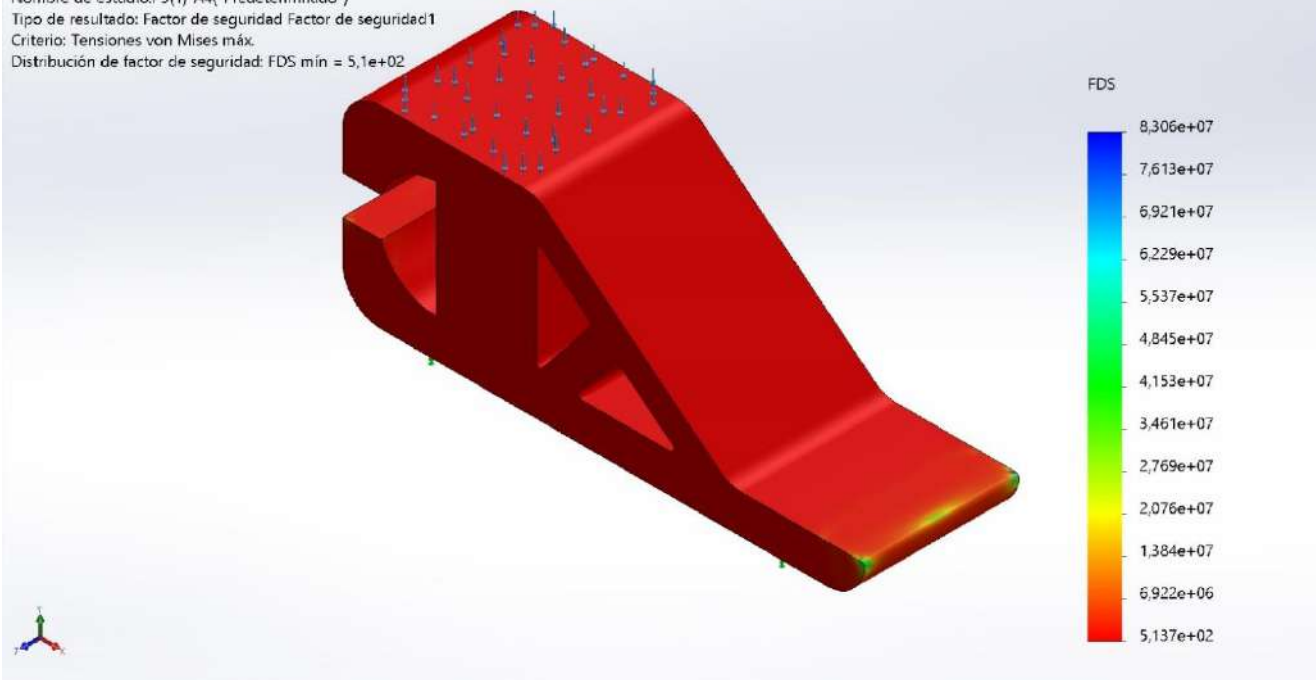
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1)-A4(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 16.347,6



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5,137e+02 Nodo: 76824	8,306e+07 Nodo: 186

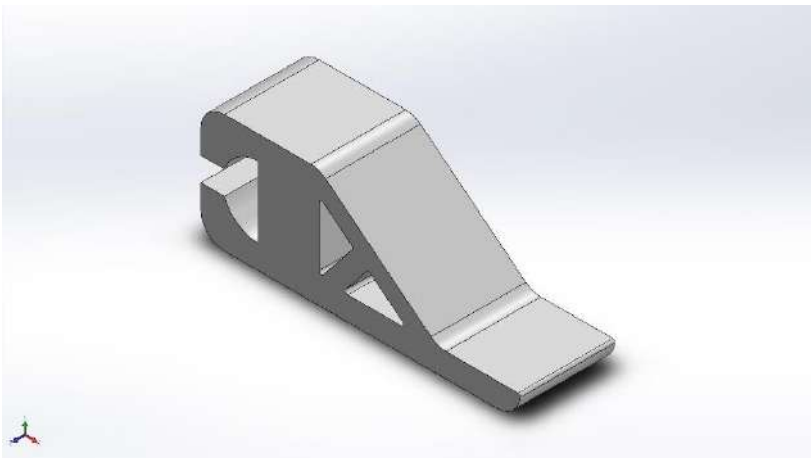
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1)-A4(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 5,1e+02



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (1)

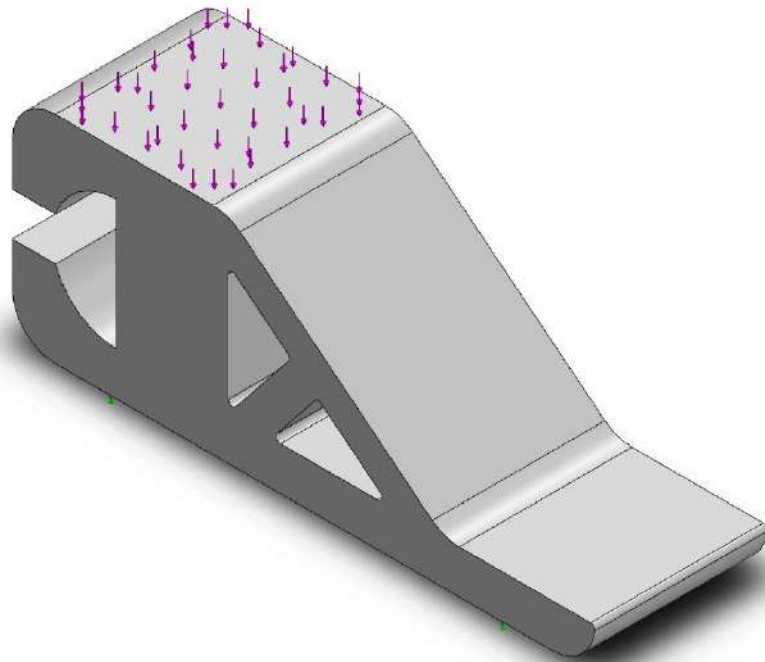
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(1)-A5
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

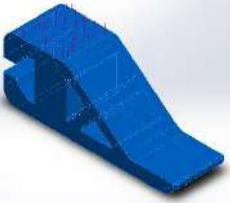


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_5 (1)</p> 	Sólido	Masa: 1,15561 kg Volumen: 0,00110058 m ³ Densidad: 1.050 kg/m ³ Peso: 11,3249 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019



Propiedades de estudio

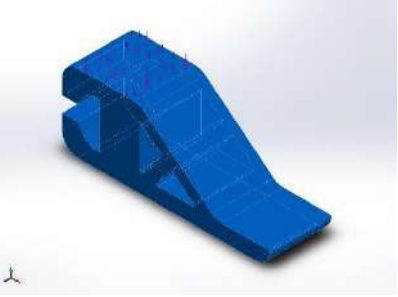
Nombre de estudio	P5(1)-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

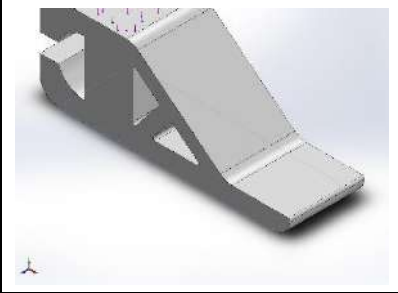


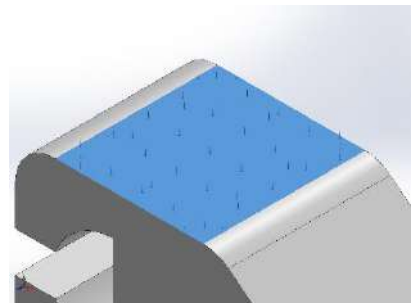
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00478965	613,142	-0,014401	613,142
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



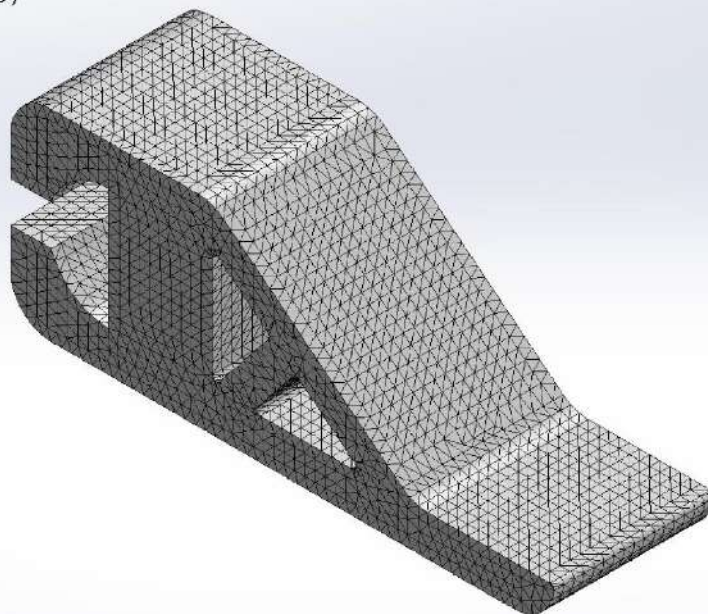
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,16348 mm
Tolerancia	0,258174 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82834
Número total de elementos	55381
Cociente máximo de aspecto	7,1929
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A5(Predeterminado)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

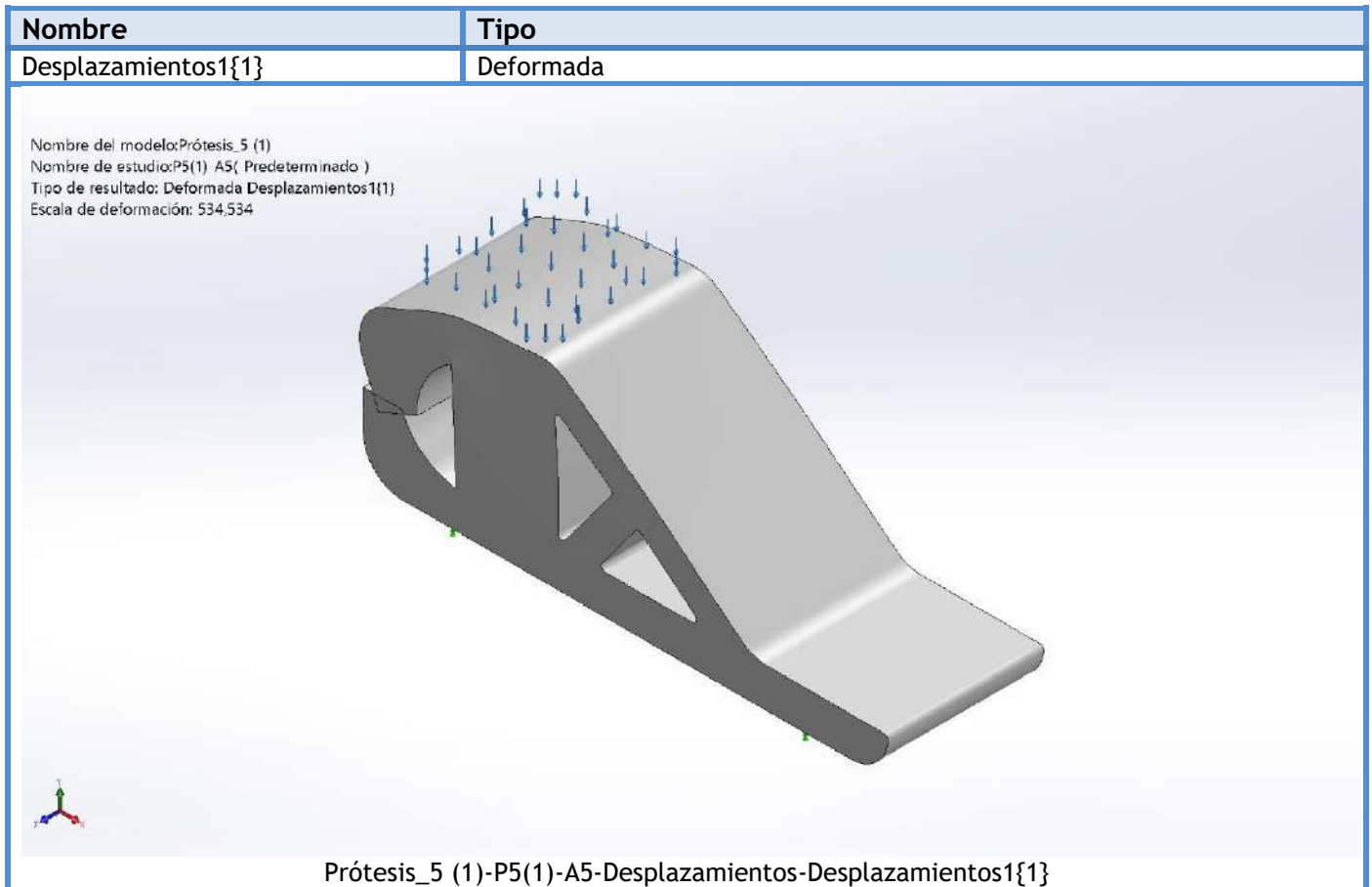
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00478965	613,142	-0,014401	613,142

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



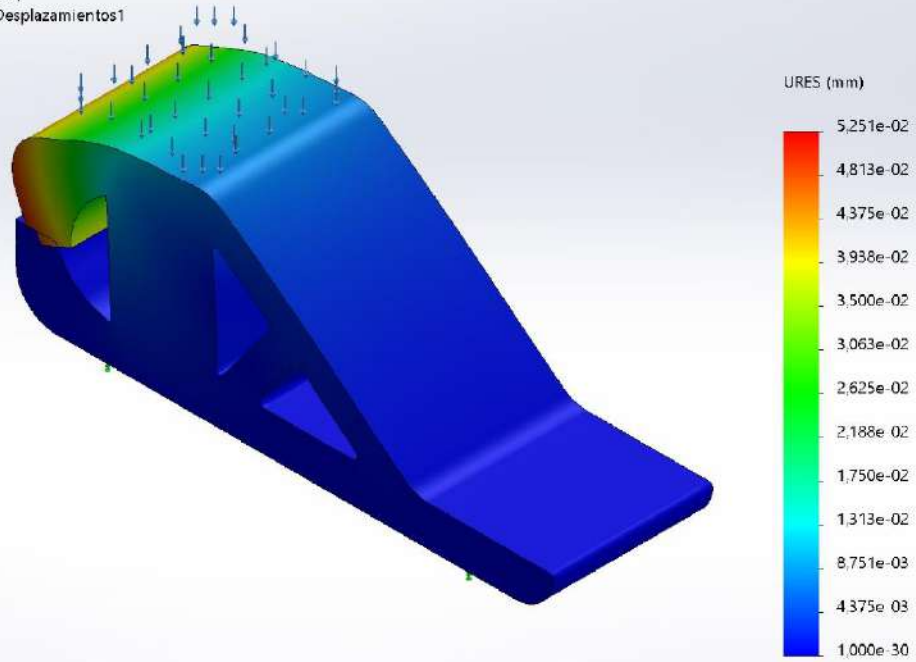
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 194	5,251e-02 mm Nodo: 69340



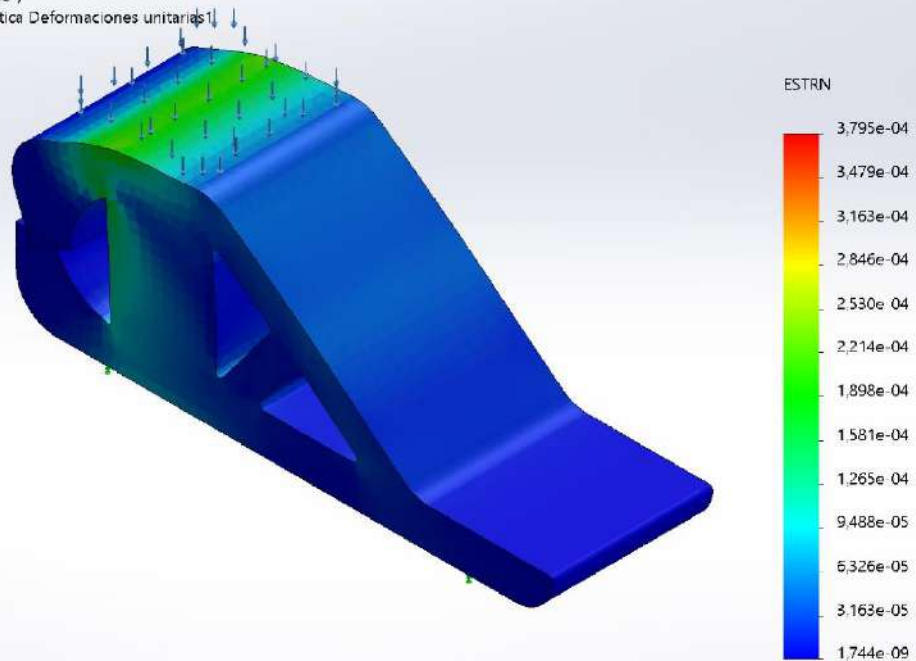
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 534,534



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,744e-09 Elemento: 7956	3,795e-04 Elemento: 18794

Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 534,534

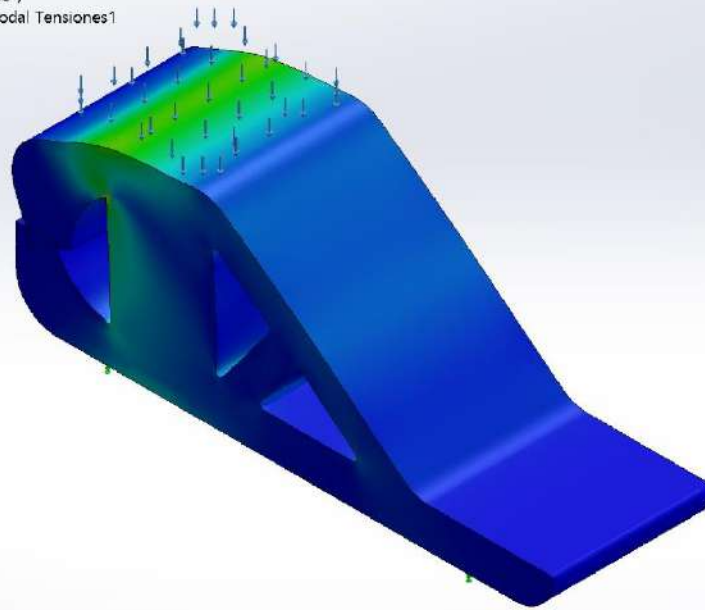


Prótesis_5 (1)-P5(1)-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

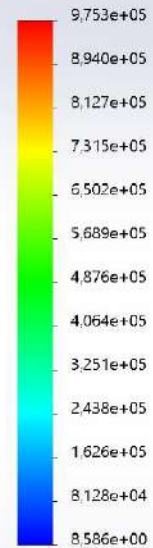


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,586e+00 N/m ² Nodo: 186	9,753e+05 N/m ² Nodo: 71392

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A5(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 534,534



von Mises (N/m²)

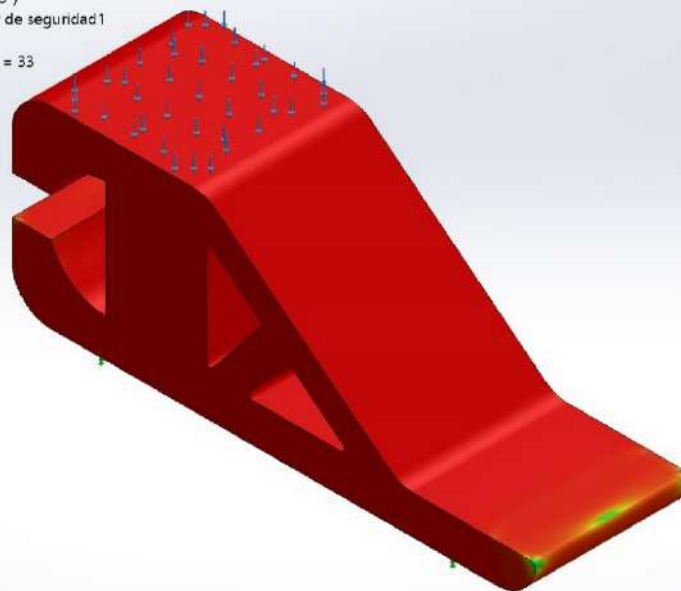


→ Límite elástico: 3.200e+07

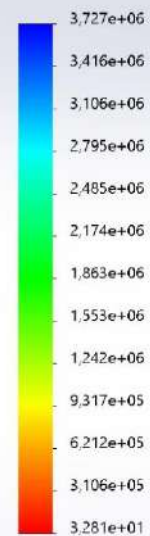
Prótesis_5 (1)-P5(1)-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	3,281e+01 Nodo: 71392	3,727e+06 Nodo: 186

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1) A5(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 33



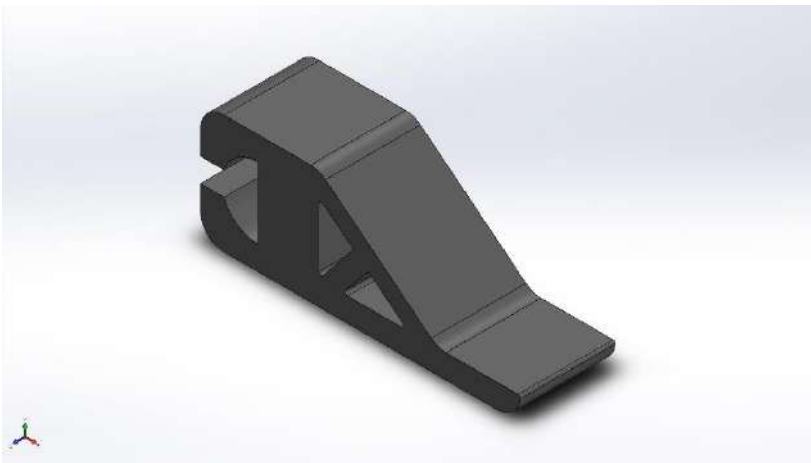
FDS



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(1)-A6

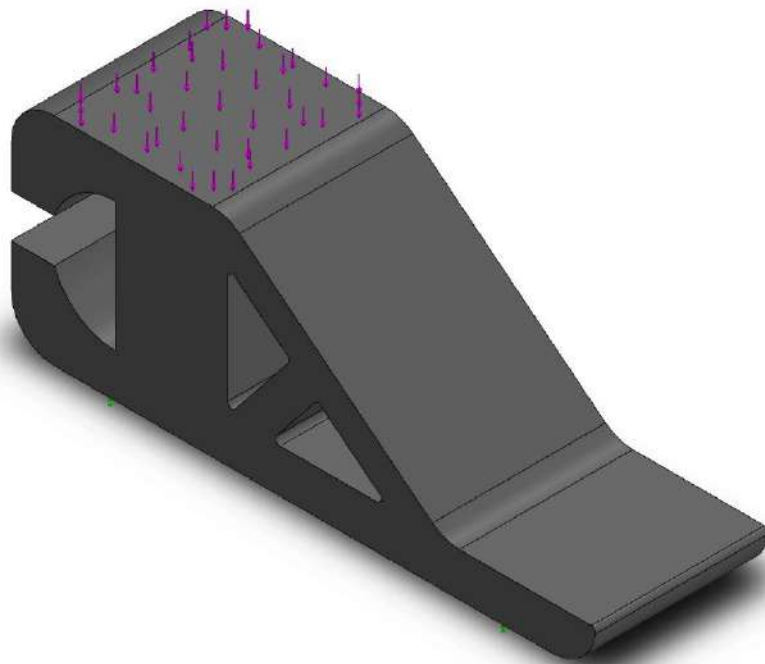
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

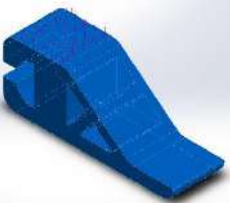


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (1) 	Sólido	Masa: 1,25466 kg Volumen: 0,00110058 m ³ Densidad: 1.140 kg/m ³ Peso: 12,2957 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019



Propiedades de estudio

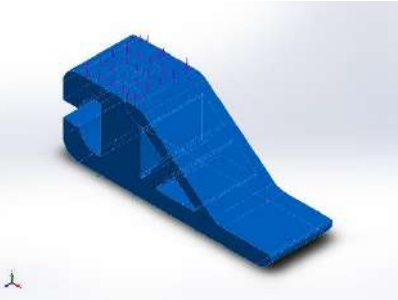
Nombre de estudio	P5(1)-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

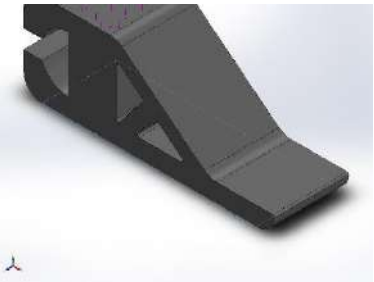


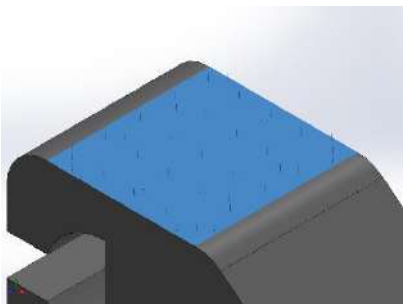
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00143905	613,145	-0,0162016	613,145
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



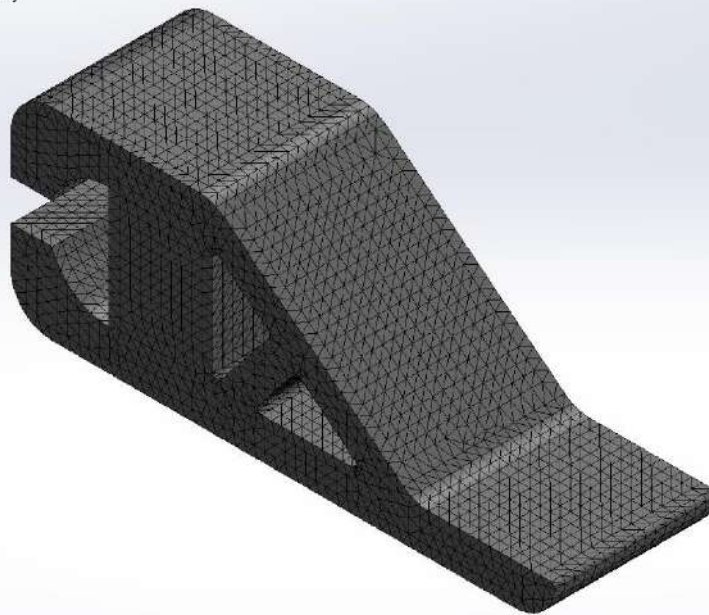
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,16348 mm
Tolerancia	0,258174 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	82834
Número total de elementos	55381
Cociente máximo de aspecto	7,1929
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1)-A6(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

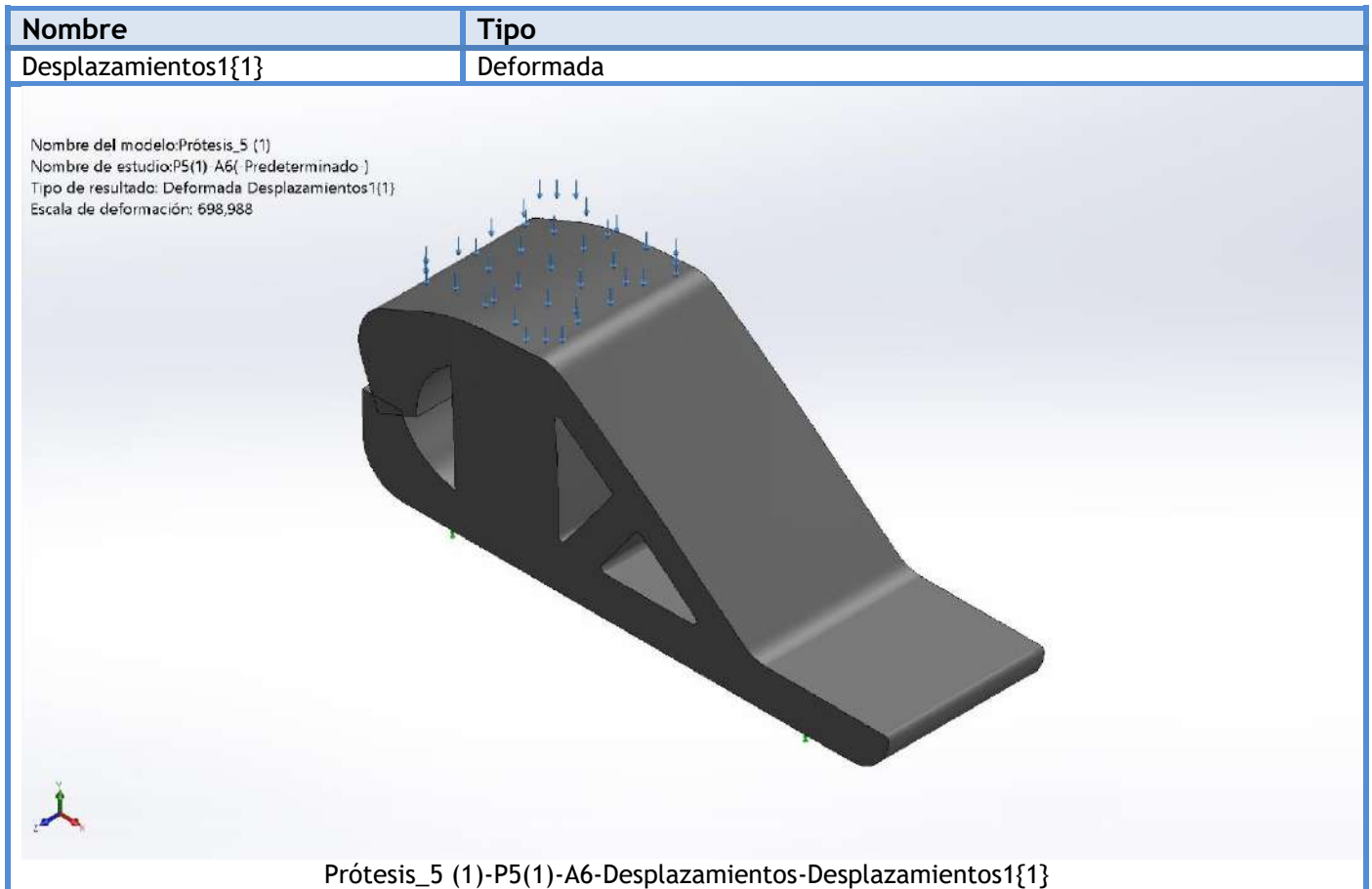
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00143905	613,145	-0,0162016	613,145

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



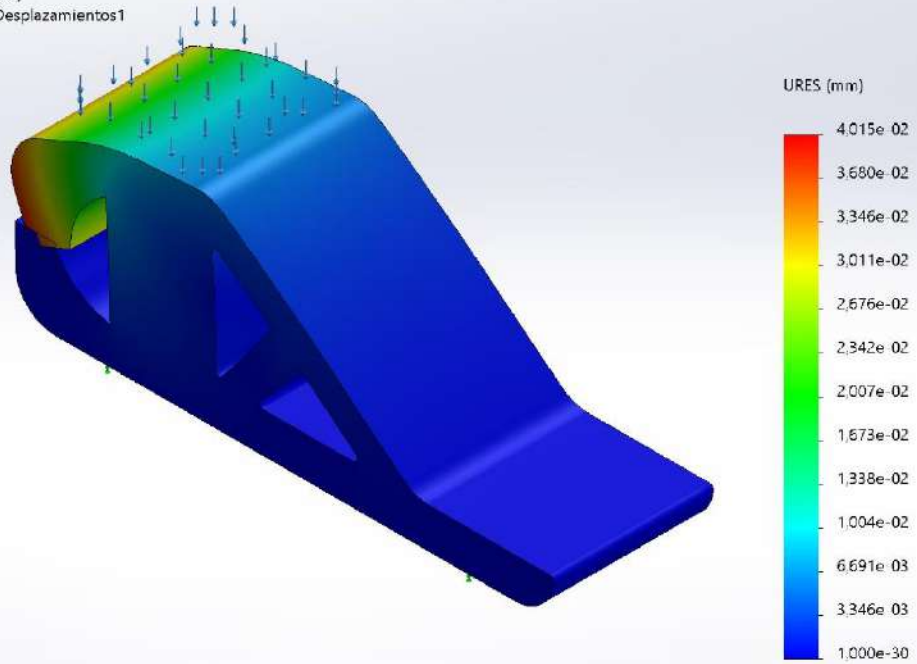
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 194	4,015e-02 mm Nodo: 1978



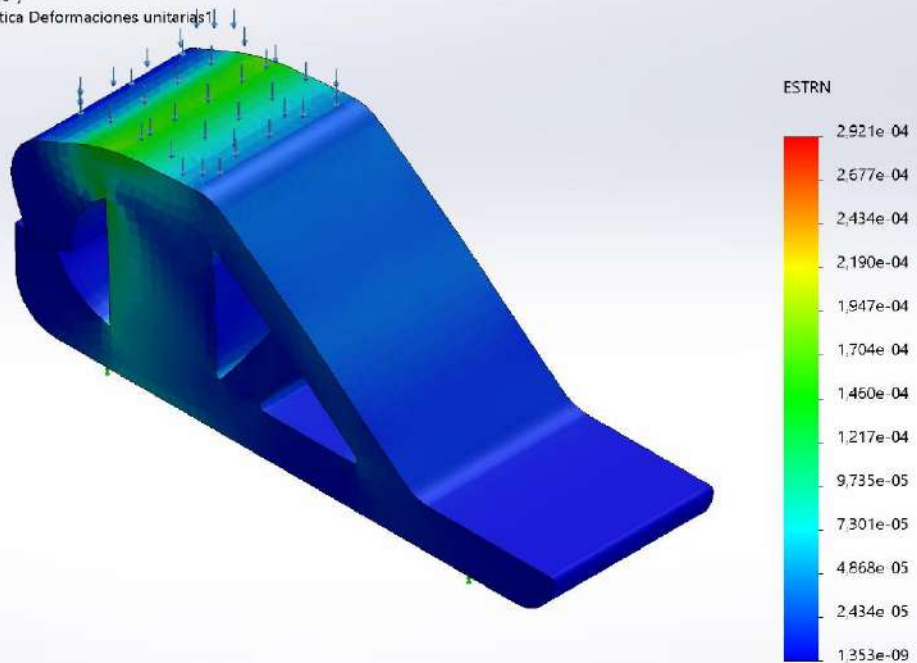
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A6(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 698,988



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,353e-09 Elemento: 7956	2,921e-04 Elemento: 18794

Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1) A6(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 698,988

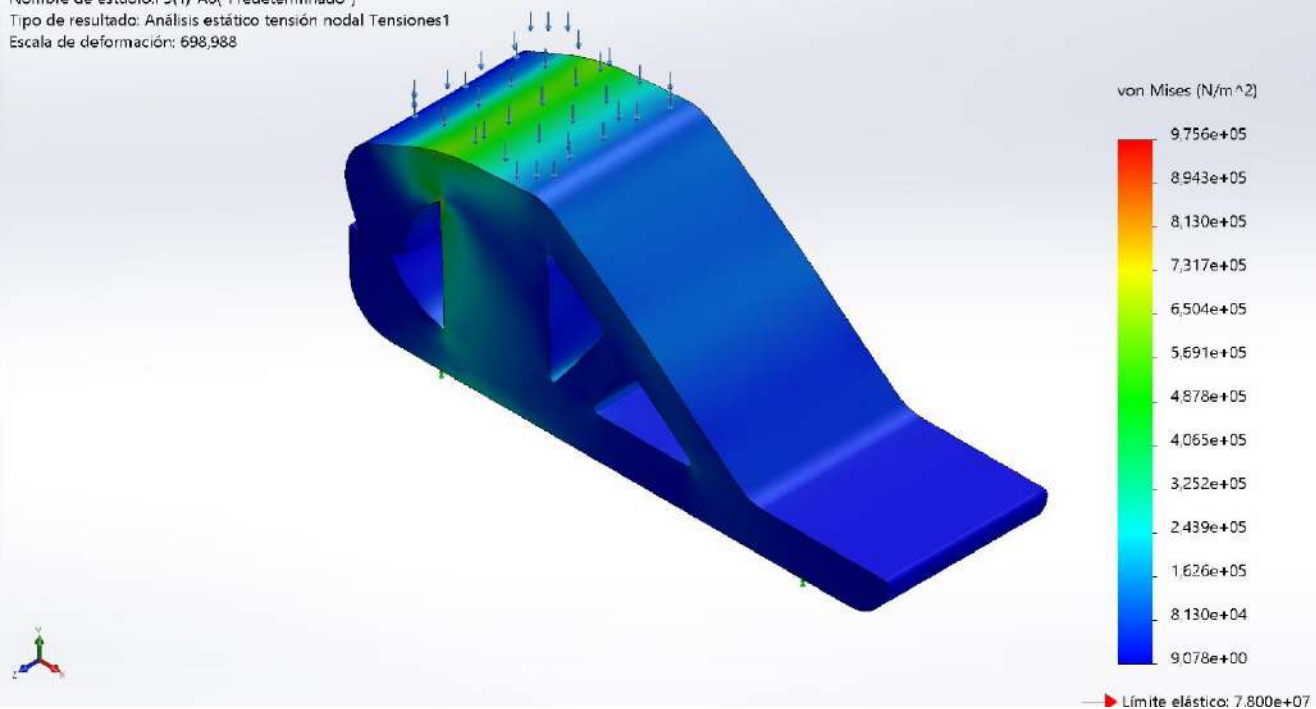


Prótesis_5 (1)-P5(1)-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	9,078e+00 N/m ² Nodo: 186	9,756e+05 N/m ² Nodo: 71392

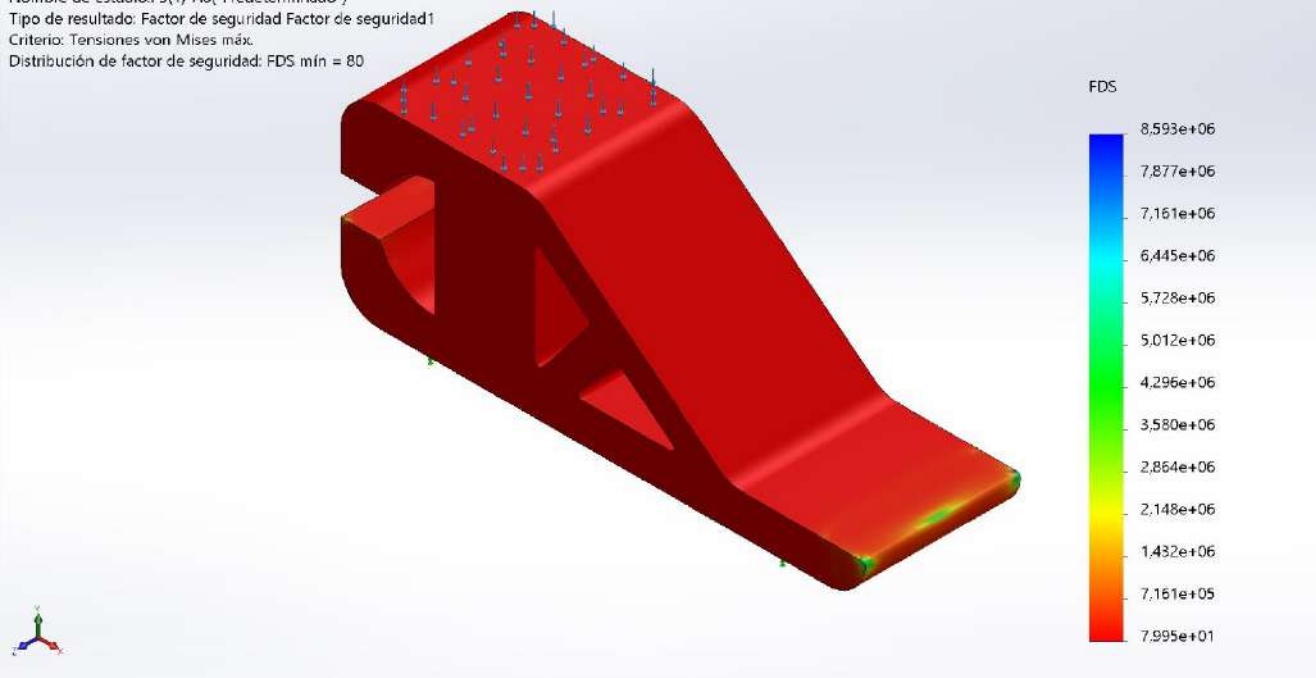
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)-A6(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 698,988



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	7,995e+01 Nodo: 71392	8,593e+06 Nodo: 186

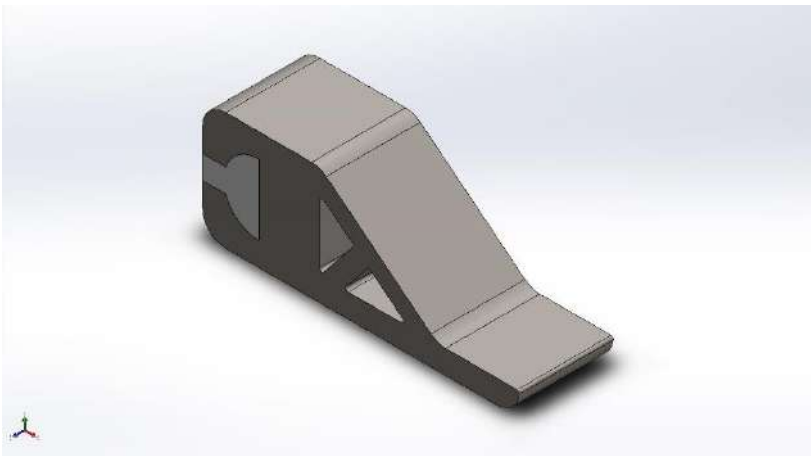
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)-A6(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 80



Prótesis_5 (1)-P5(1)-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (1)

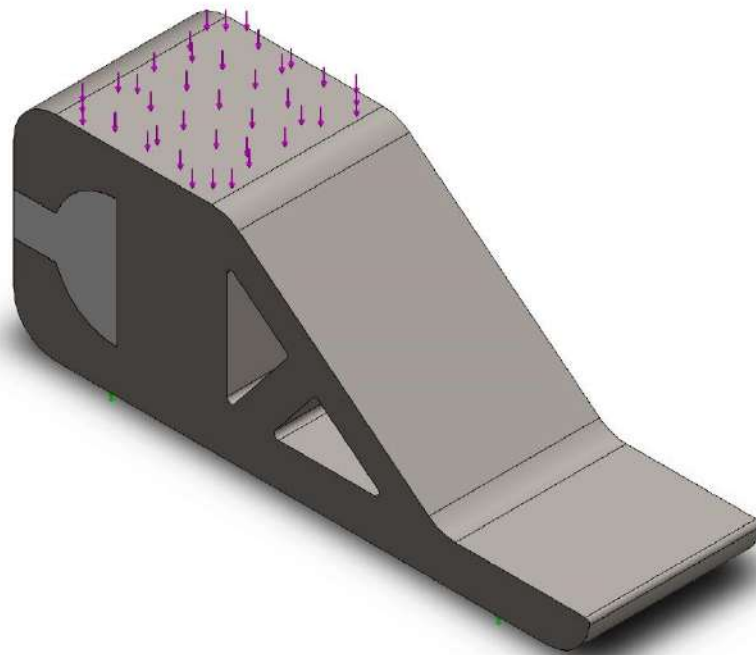
Fecha: domingo, 12 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(1)(2)-A1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

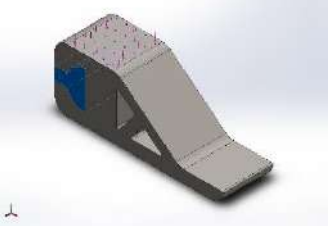



Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Amortiguador Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:0,22921 kg Volumen:0,000143256 m³ Densidad:1.600 kg/m³ Peso:2,24626 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 26 12:51:00 2019</p>
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:8,47445 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:83,0496 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

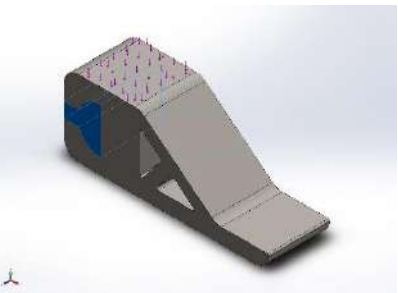
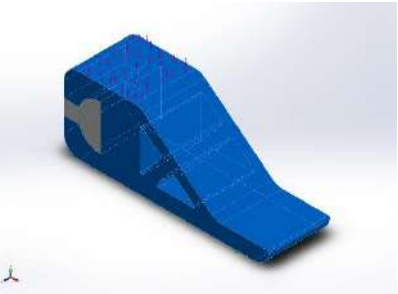
Nombre de estudio	P5(1)(2)-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



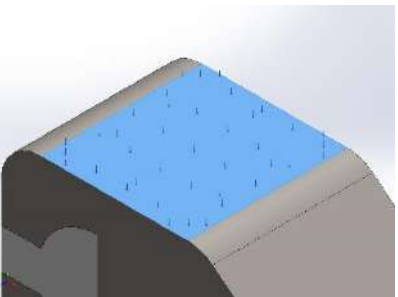
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: SBR Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,4e+06 N/m² Límite de tracción: 3e+06 N/m² Módulo elástico: 1,56e+06 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,49 Densidad: 1.600 kg/m³ </p>	Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Amortiguador Prótesis_5 (1)-1)
Datos de curva:N/A		
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1)-1)
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,000397535	613,128	-0,000483176	613,128
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



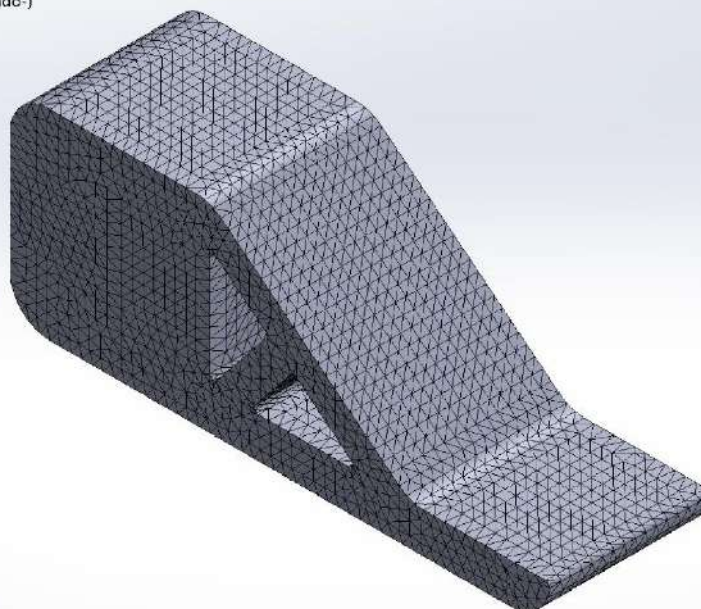
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37842 mm
Tolerancia	0,268921 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81324
Número total de elementos	55360
Cociente máximo de aspecto	9,1955
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

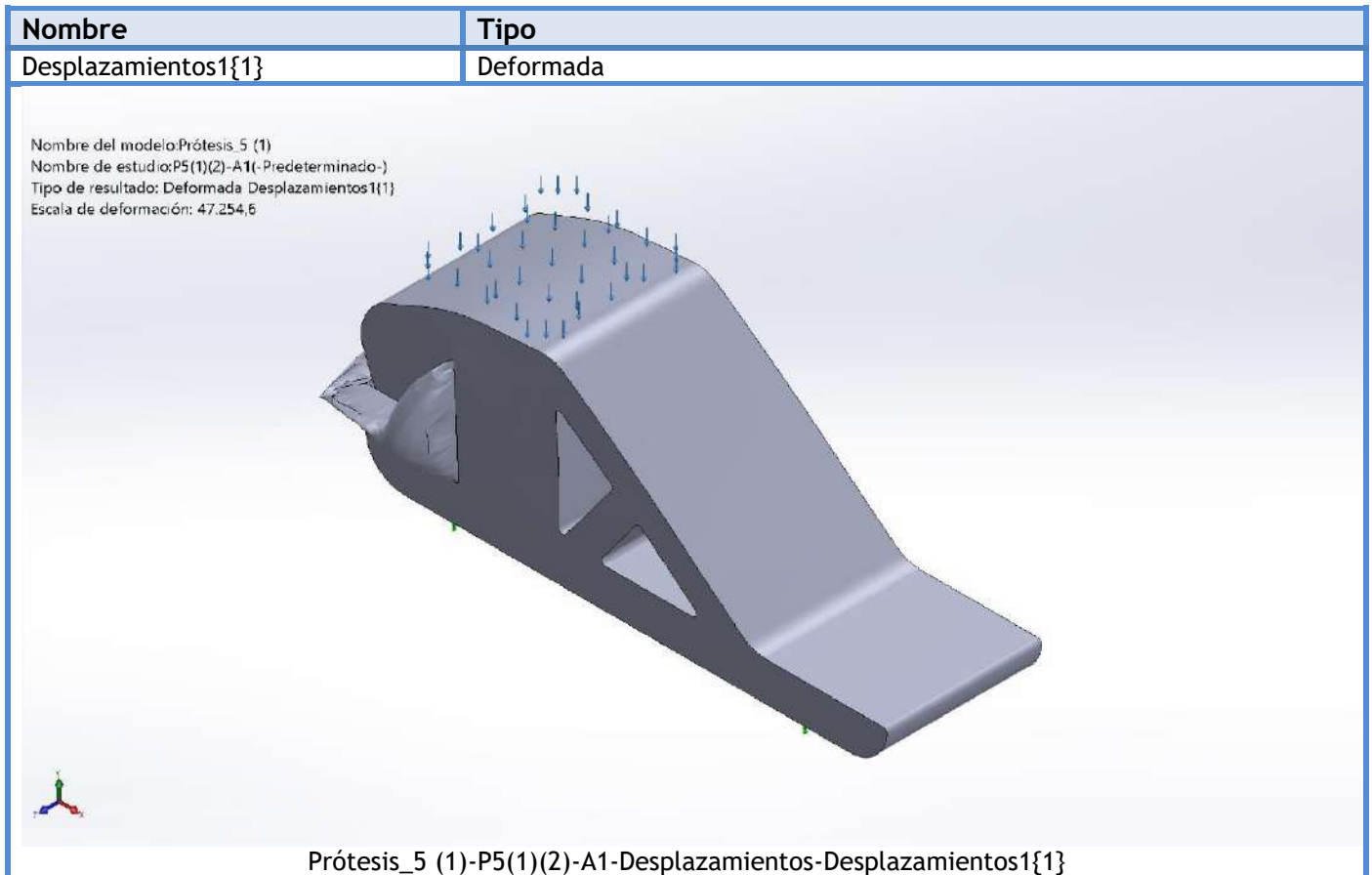
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,000397535	613,128	-0,000483176	613,128

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



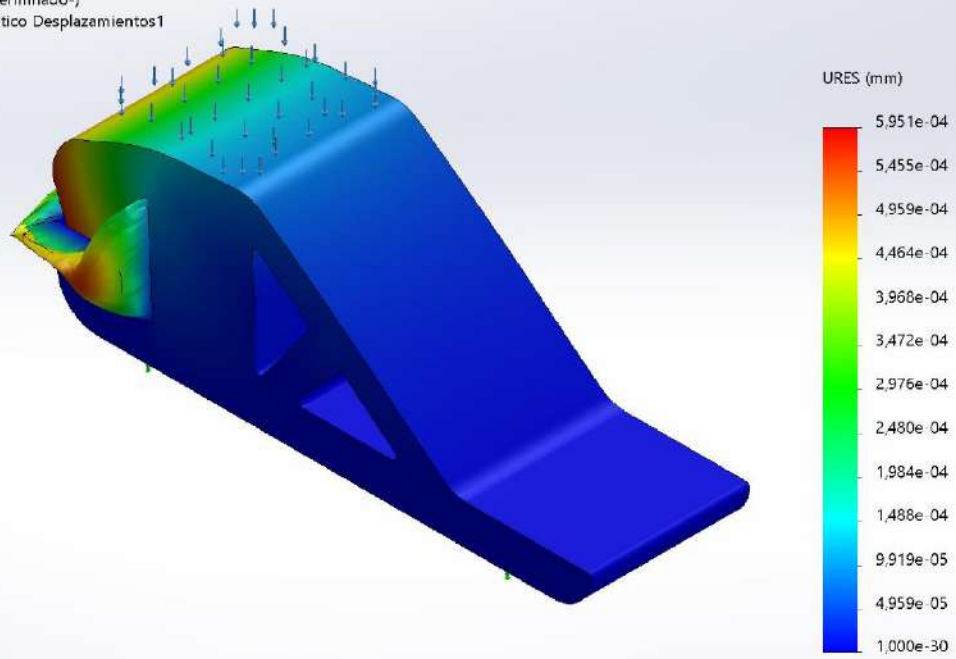
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 9971	5,951e-04 mm Nodo: 88



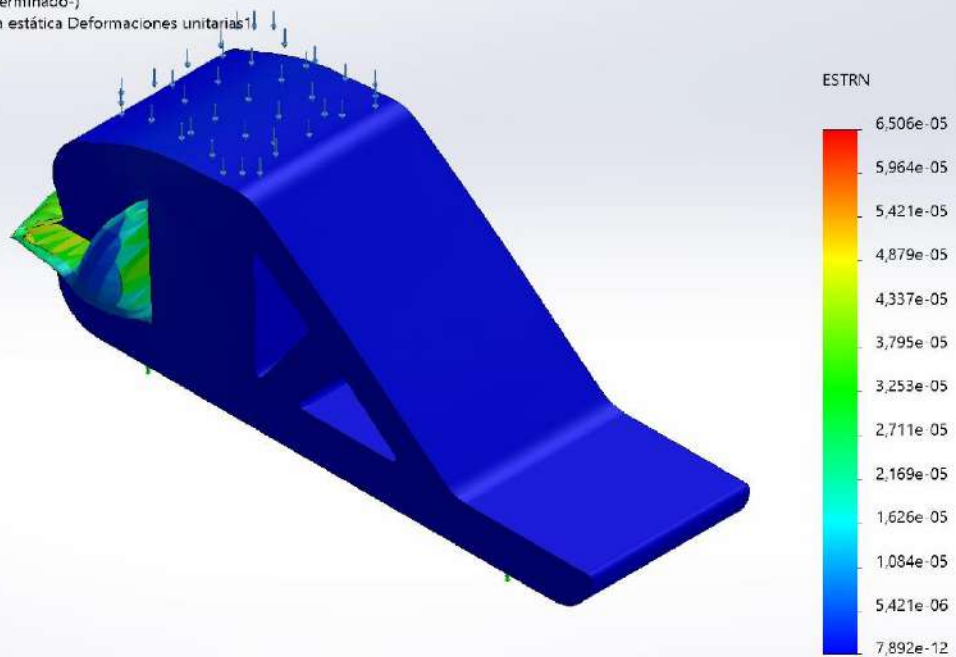
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 47.254,6



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,892e-12 Elemento: 12361	6,506e-05 Elemento: 5027

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 47.254,6

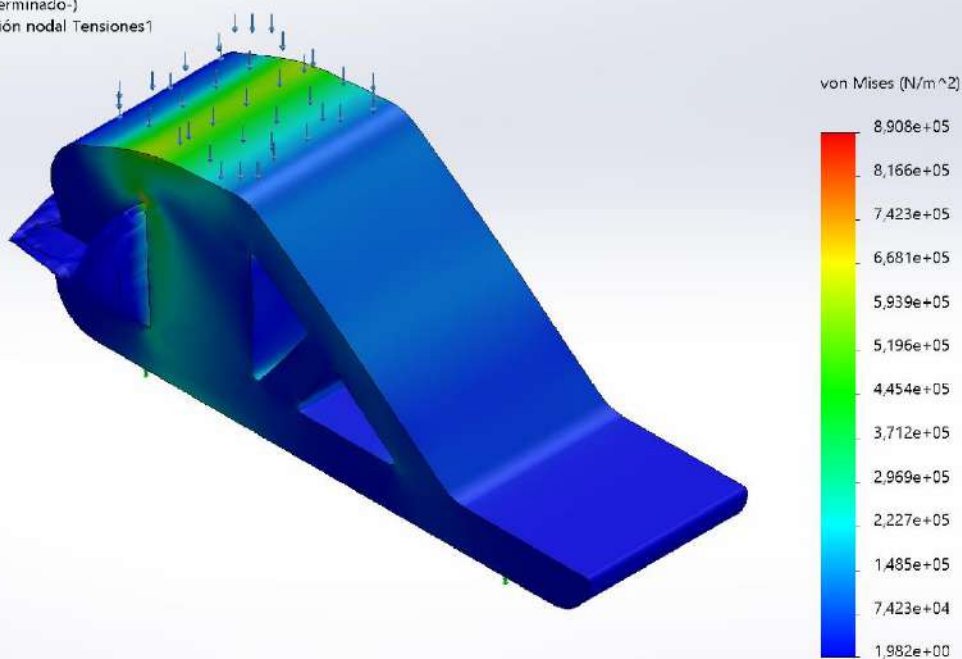


Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,982e+00 N/m ² Nodo: 5916	8,908e+05 N/m ² Nodo: 8312

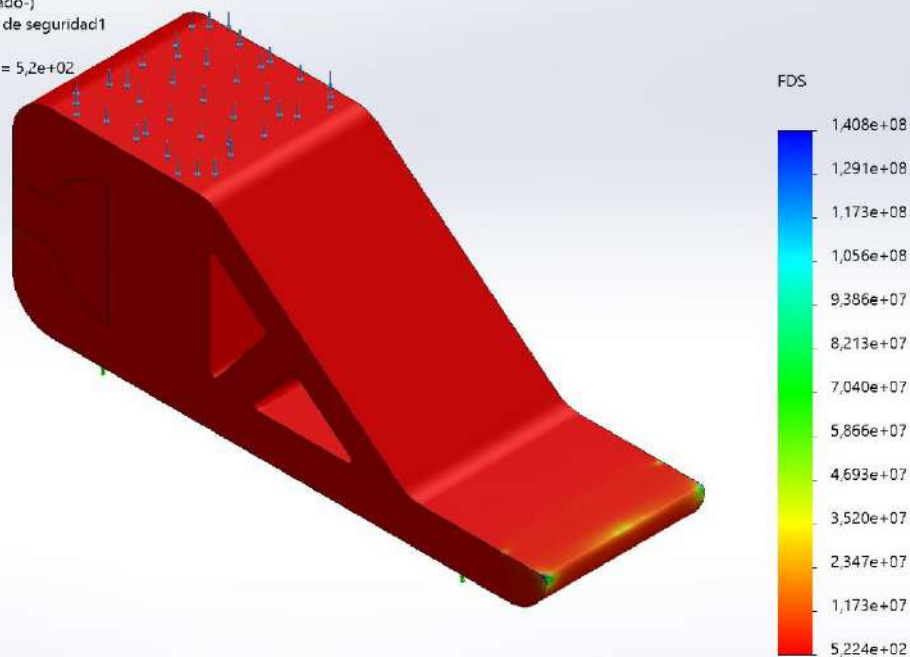
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)(2)-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 47.254,6



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	5,224e+02 Nodo: 8312	1,408e+08 Nodo: 76248

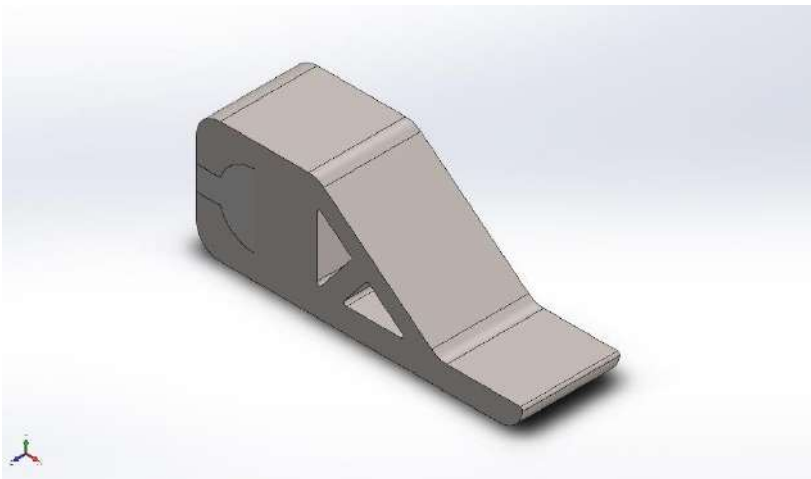
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)(2)-A1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 5,2e+02



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(1)(2)-A2

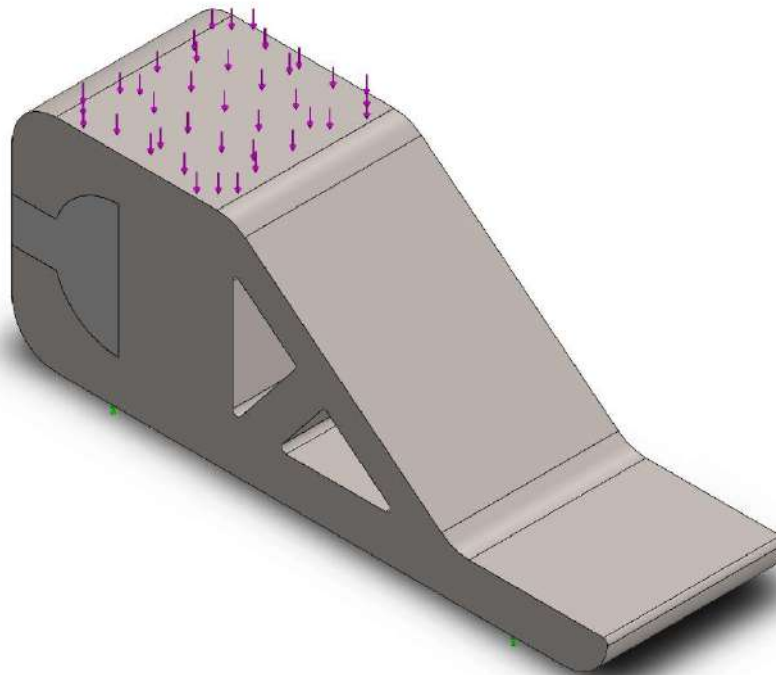
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

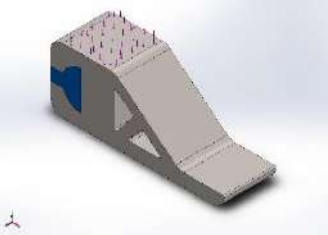
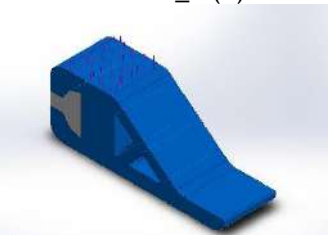


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Amortiguador Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:0,22921 kg Volumen:0,000143256 m³ Densidad:1.600 kg/m³ Peso:2,24626 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 26 12:51:00 2019</p>
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:5,11769 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:4.650 kg/m³ Peso:50,1533 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

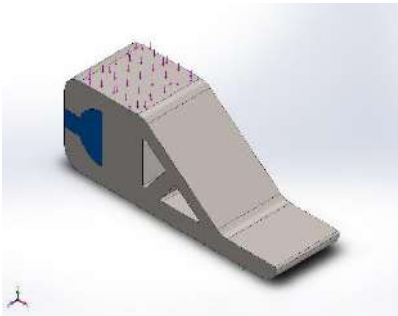
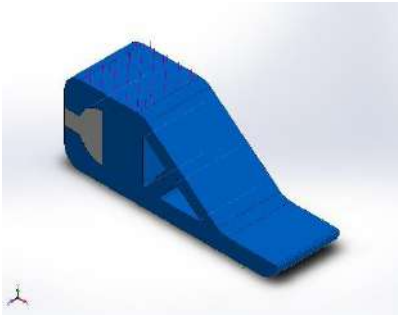
Nombre de estudio	P5(1)(2)-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



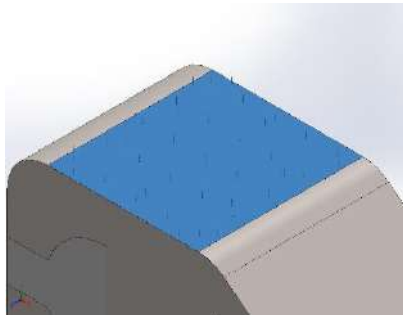
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: SBR Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,4e+06 N/m² Límite de tracción: 3e+06 N/m² Módulo elástico: 1,56e+06 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,49 Densidad: 1.600 kg/m³ </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Amortiguador Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p> Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,07e+09 N/m² Límite de tracción: 1,16e+09 N/m² Límite de compresión: 1,17e+09 N/m² Módulo elástico: 1,23e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 4.650 kg/m³ Módulo cortante: 4,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00225323	613,127	-0,00154226	613,127
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



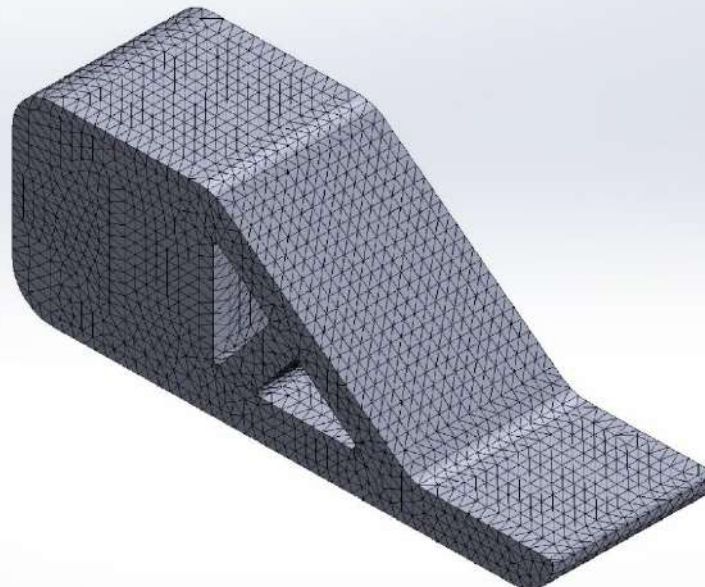
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37842 mm
Tolerancia	0,268921 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81324
Número total de elementos	55360
Cociente máximo de aspecto	9,1955
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A2(- Predeterminado -)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

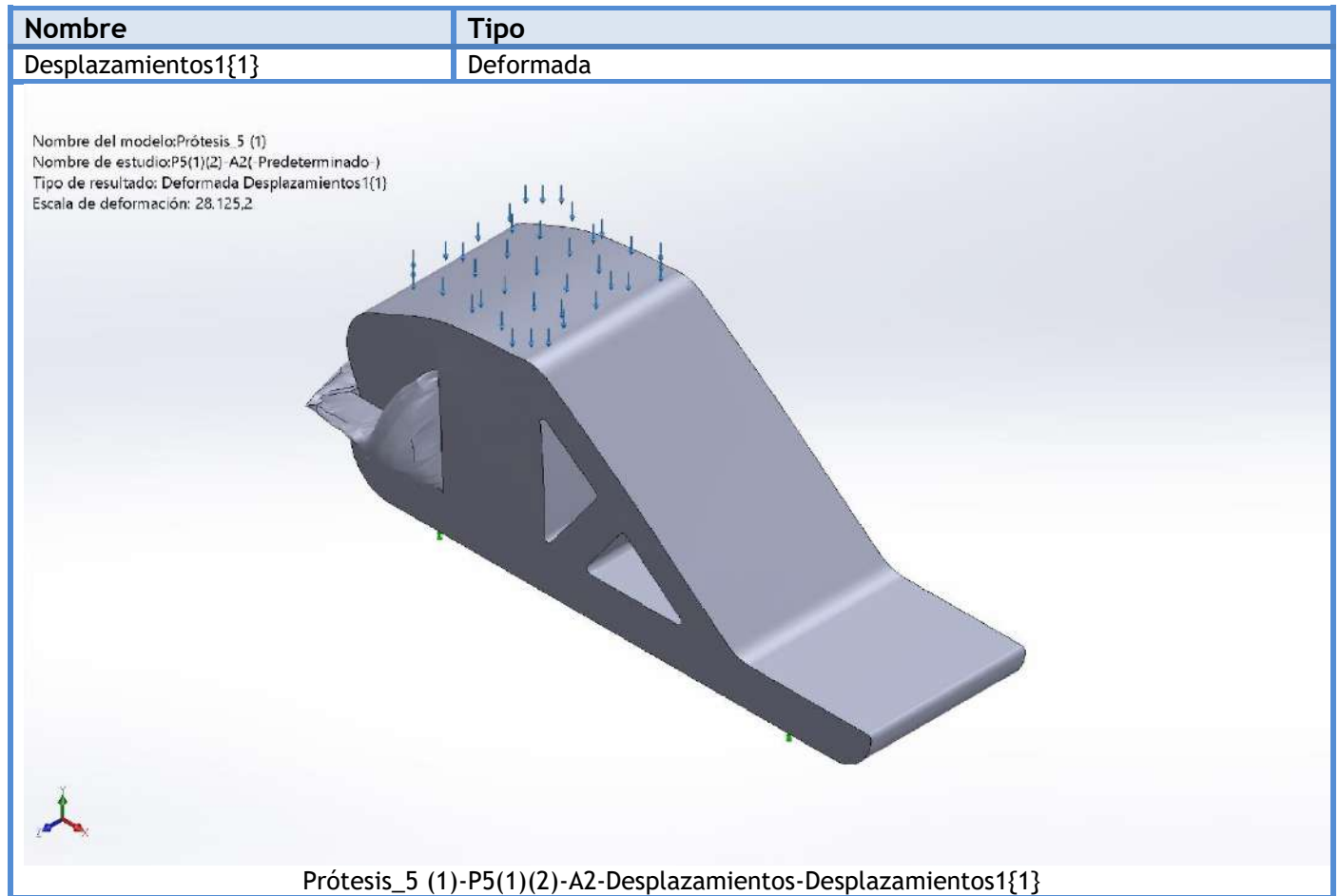
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00225323	613,127	-0,00154226	613,127

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



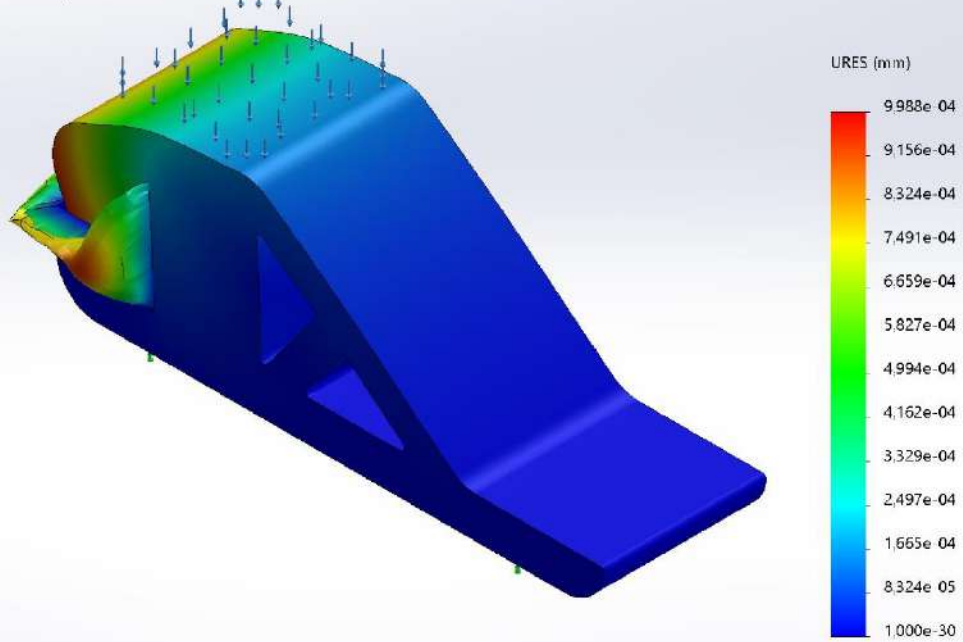
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 9971	9,988e-04 mm Nodo: 88



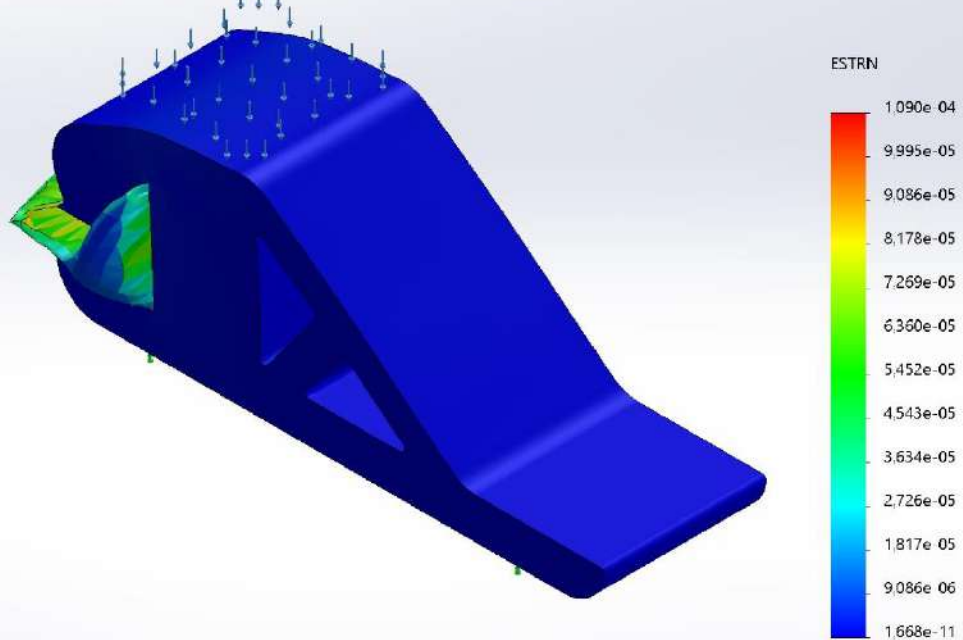
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 28.125,2



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,668e-11 Elemento: 12361	1,090e-04 Elemento: 5027

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 28.125,2

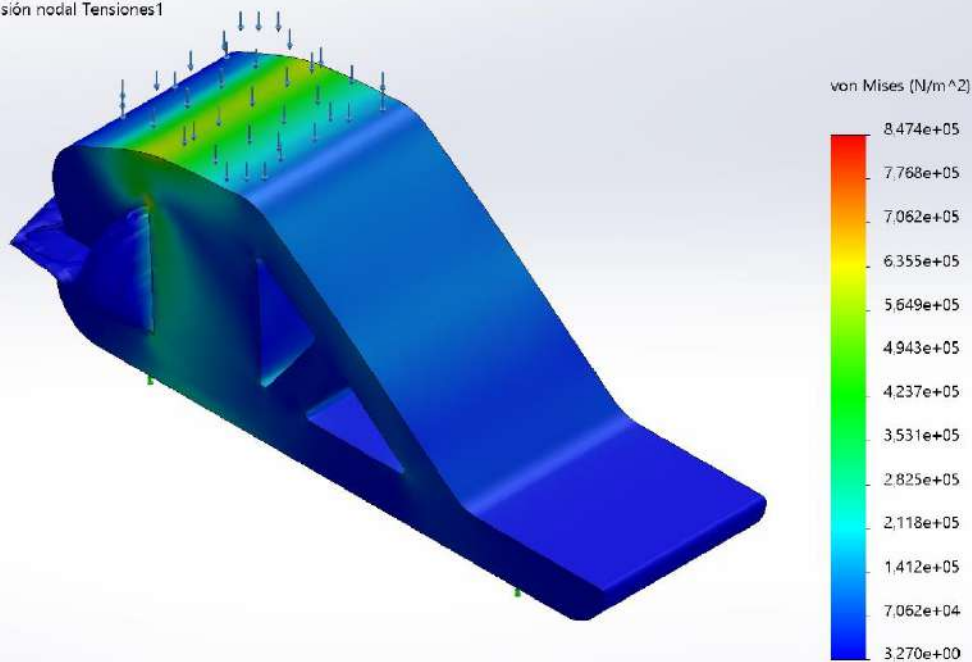


Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3,270e+00 N/m ² Nodo: 5916	8,474e+05 N/m ² Nodo: 8312

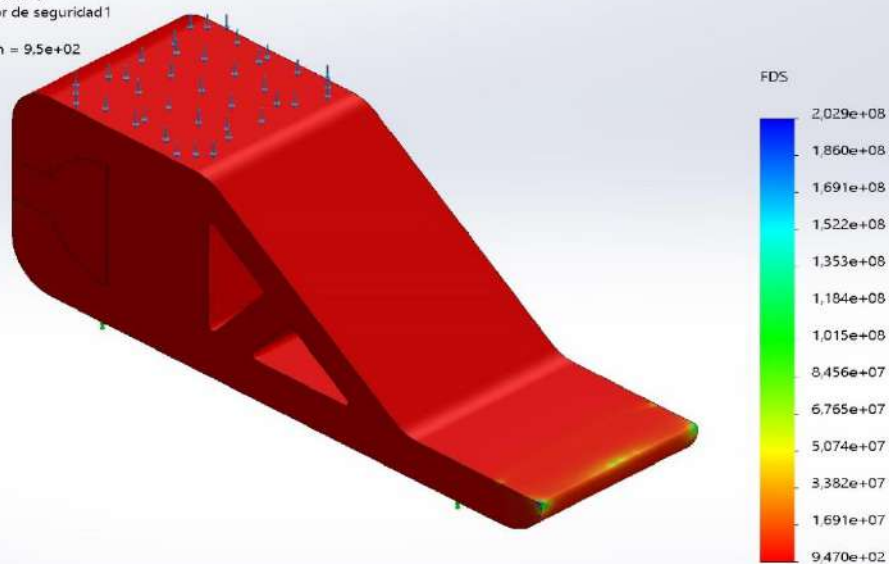
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)(2)-A2(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 28.125,2



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	9,470e+02 Nodo: 8312	2,029e+08 Nodo: 76248

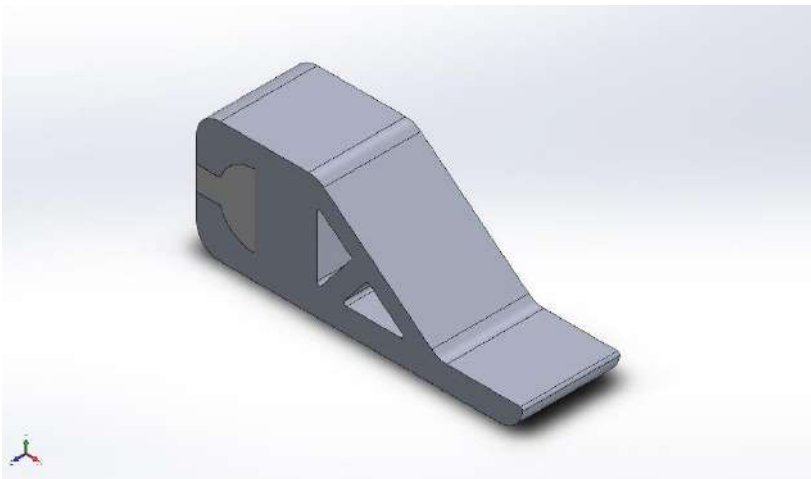
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)(2)-A2(Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 9,5e+02



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







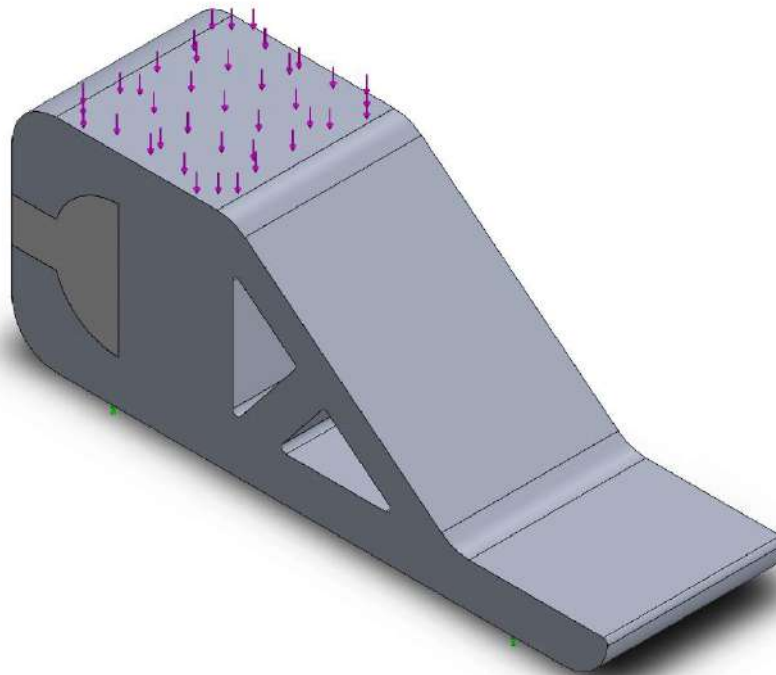
Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(1)(2)-A3
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

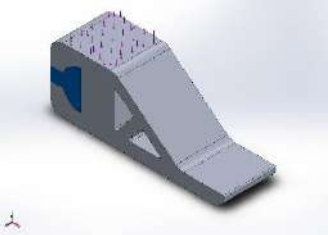
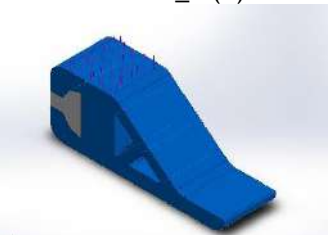
- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Amortiguador Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:0,22921 kg Volumen:0,000143256 m³ Densidad:1.600 kg/m³ Peso:2,24626 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 26 12:51:00 2019</p>
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:2,97156 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:2.700 kg/m³ Peso:29,1213 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

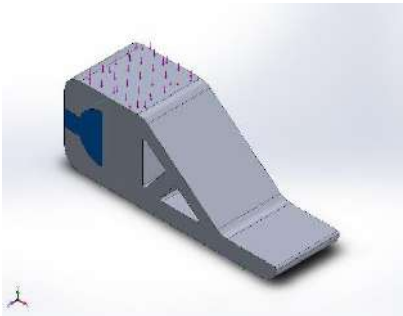
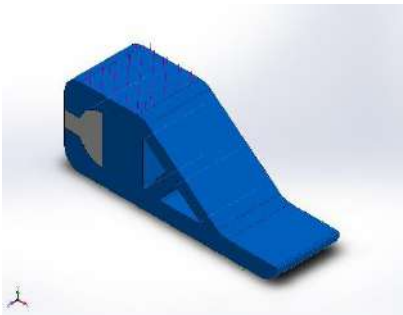
Nombre de estudio	P5(1)(2)-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

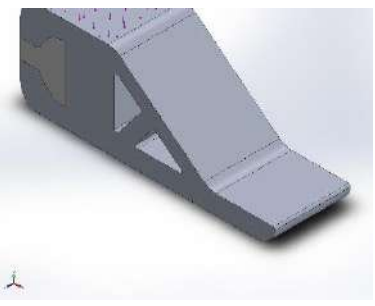


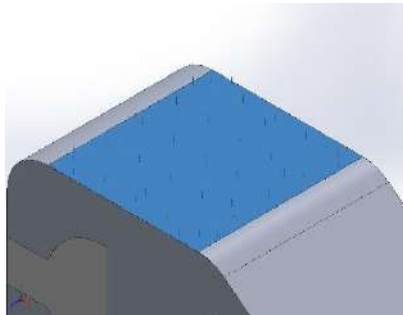
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: SBR Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,4e+06 N/m² Límite de tracción: 3e+06 N/m² Módulo elástico: 1,56e+06 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,49 Densidad: 1.600 kg/m³ </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Amortiguador Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,000883181	613,127	-0,000654854	613,127
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



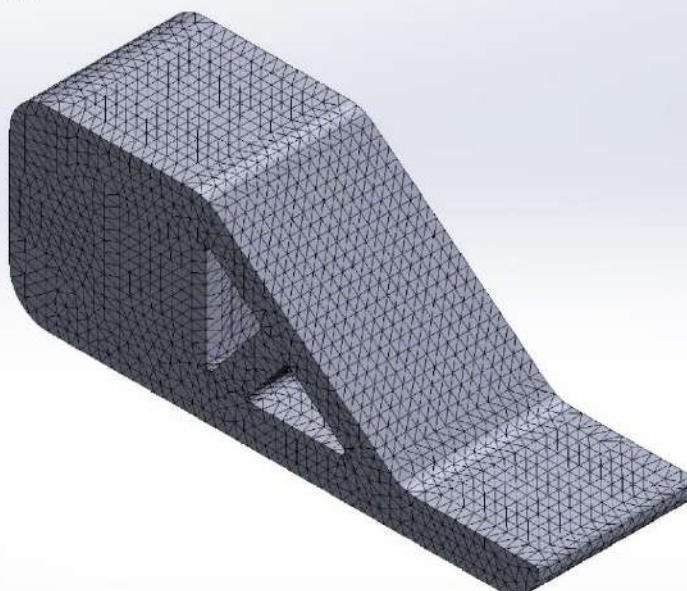
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37842 mm
Tolerancia	0,268921 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81324
Número total de elementos	55360
Cociente máximo de aspecto	9,1955
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: PS(1)(2)-A3(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

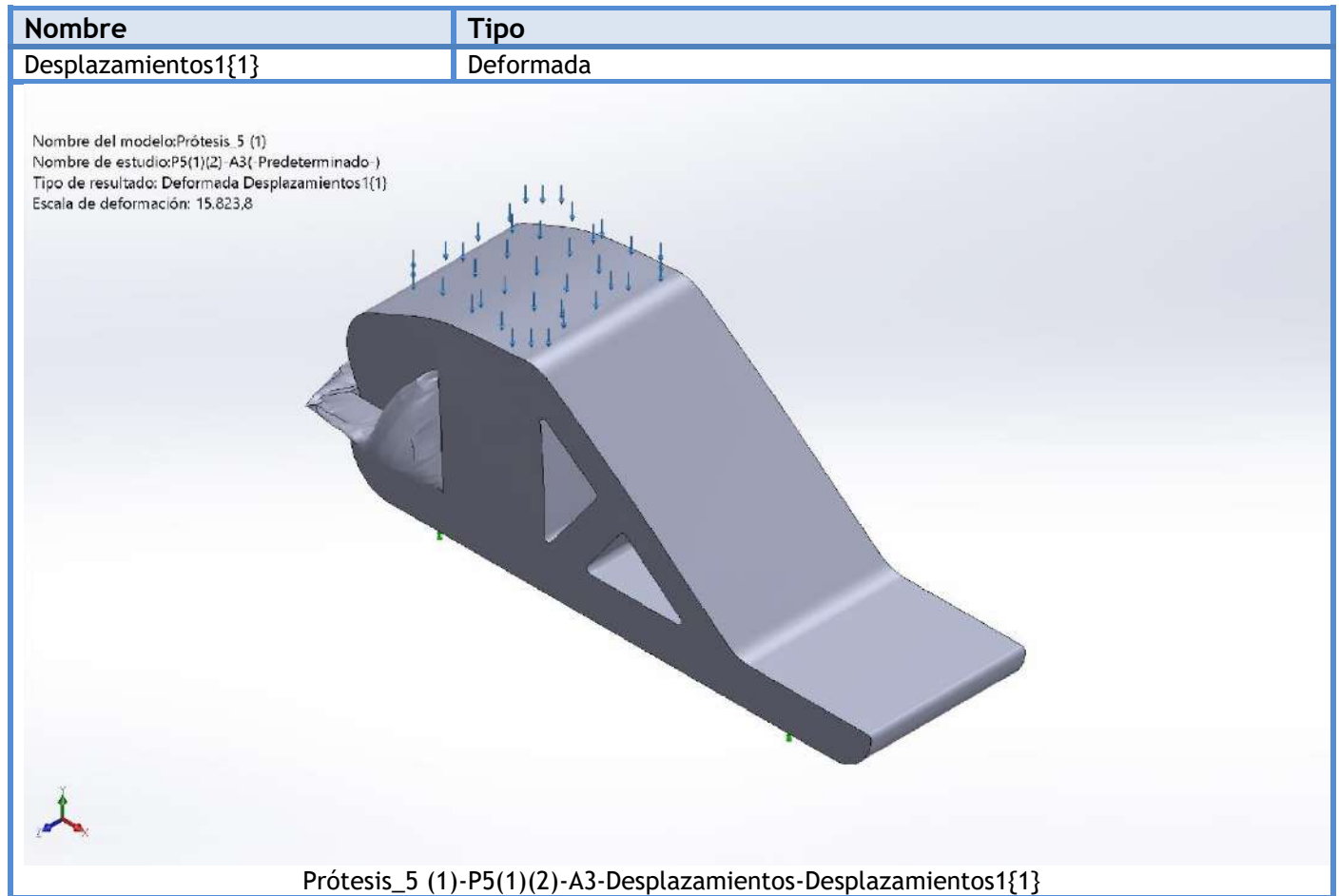
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,000883181	613,127	-0,000654854	613,127

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



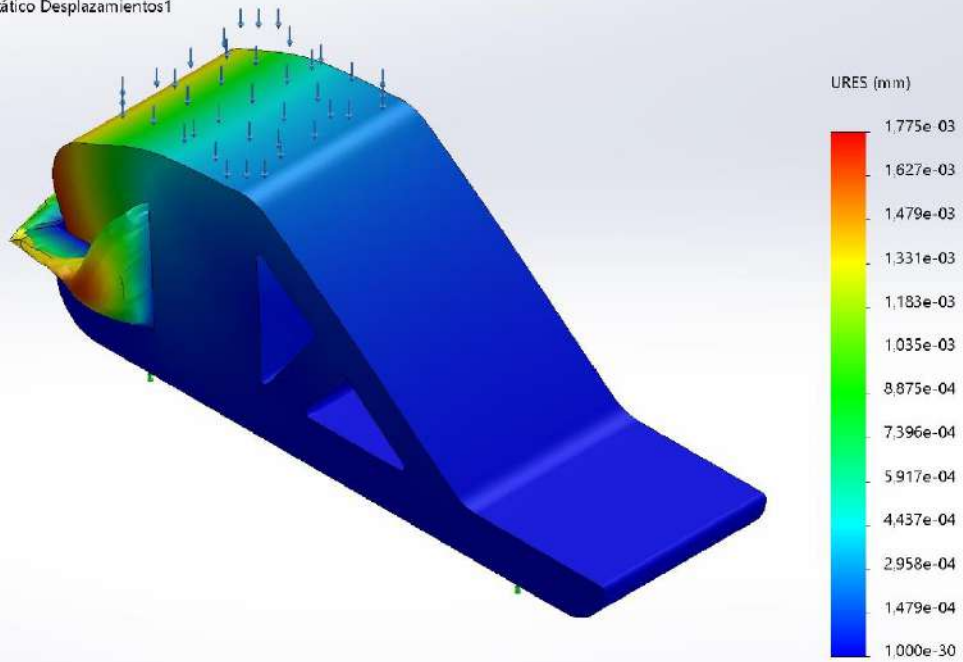
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 9971	1,775e-03 mm Nodo: 88



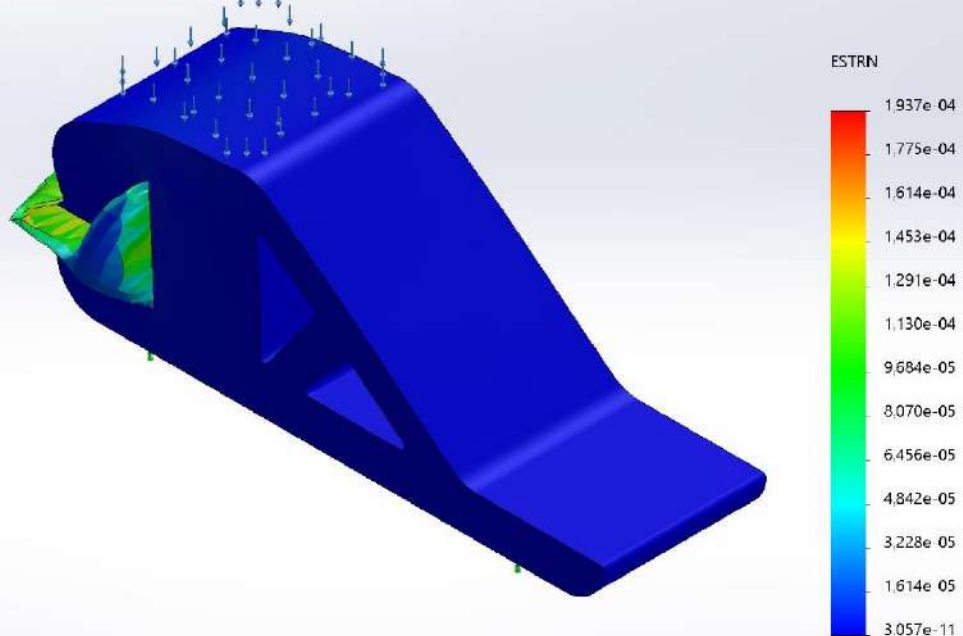
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 15.823,8



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

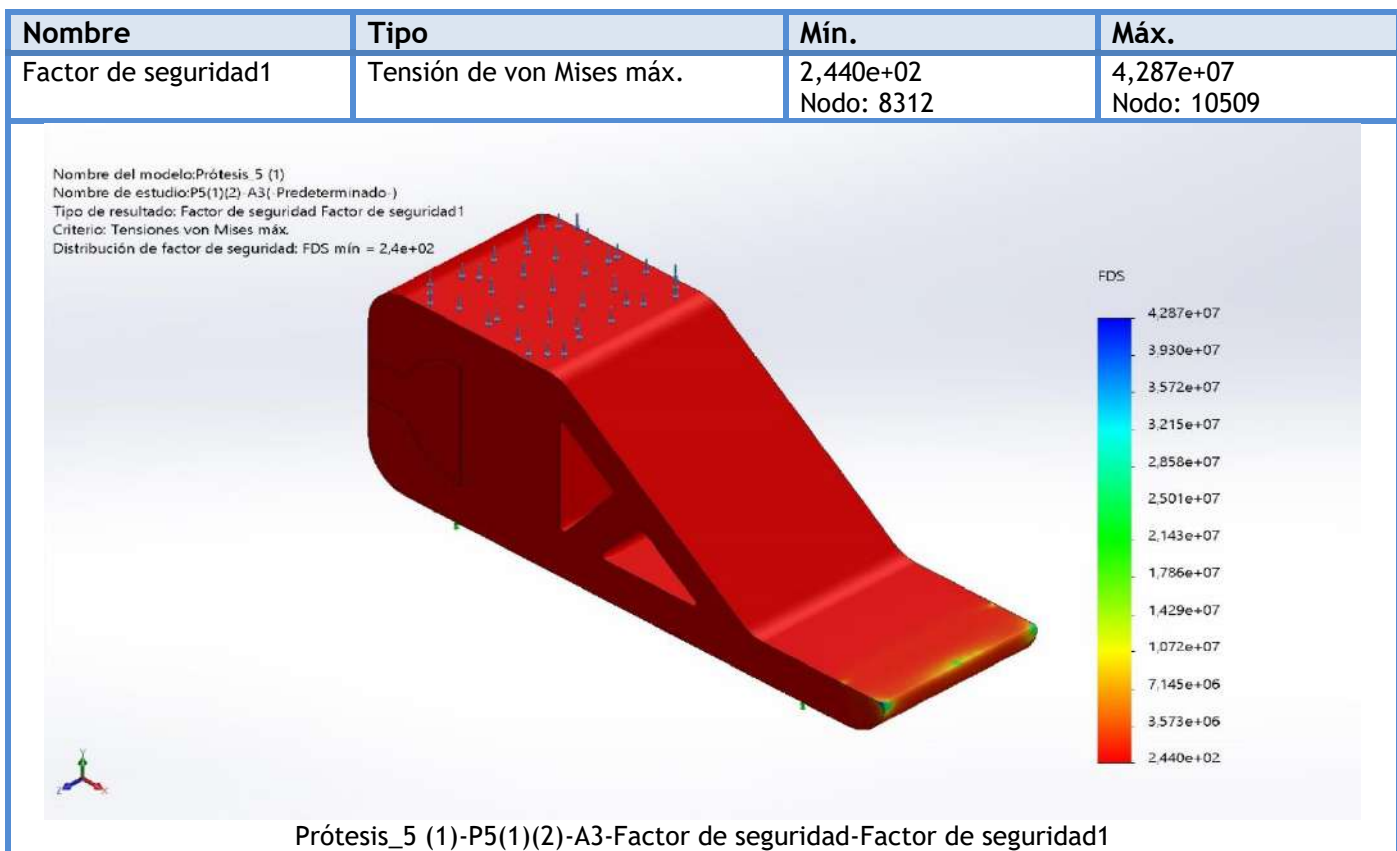
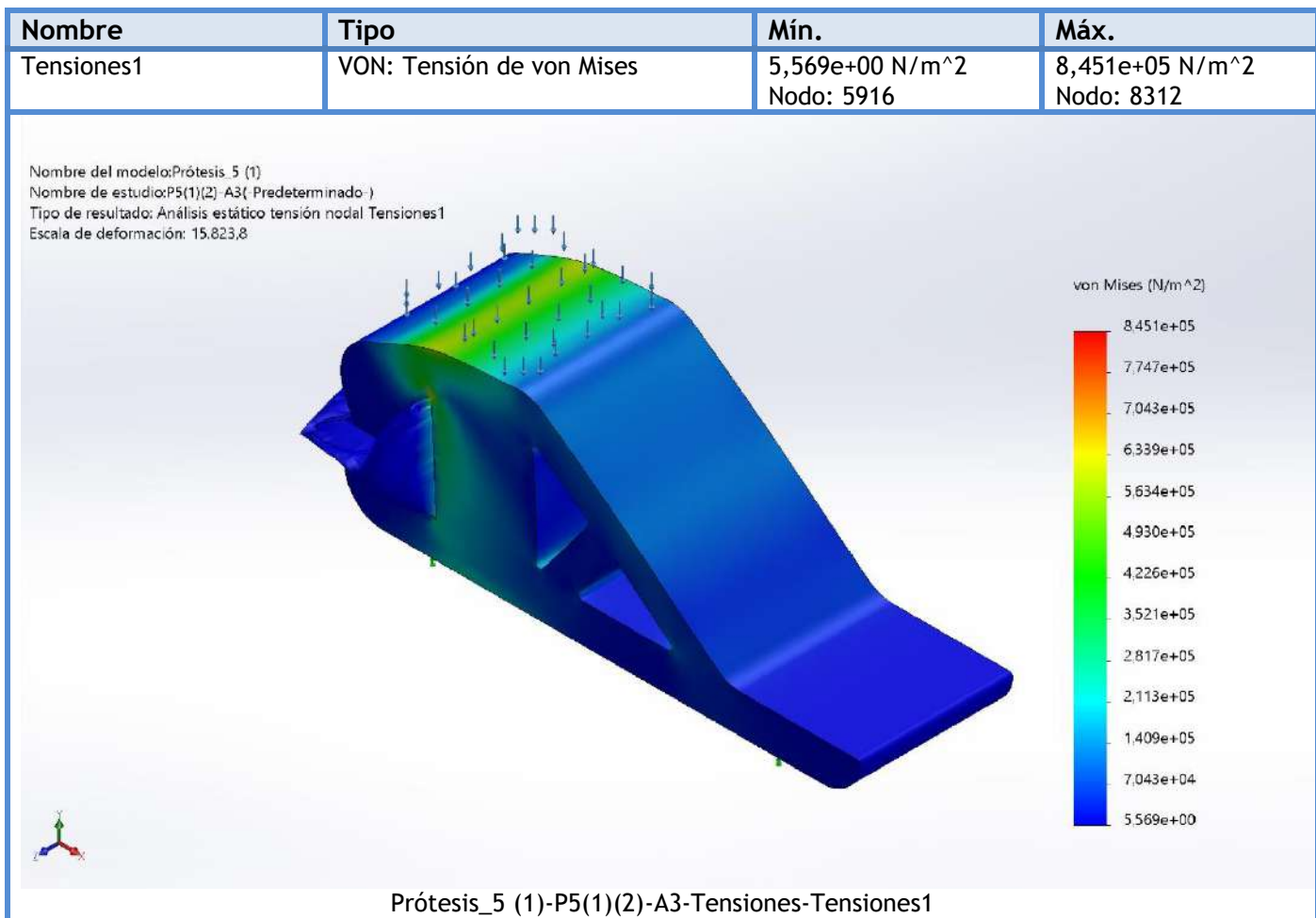
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,057e-11 Elemento: 12361	1,937e-04 Elemento: 5027

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 15.823,8



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1







Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(1)(2)-A4

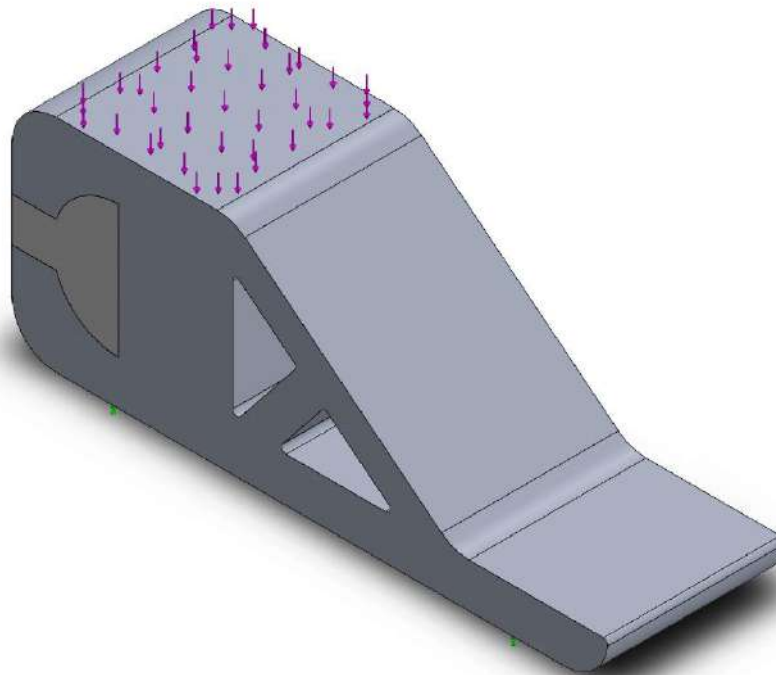
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

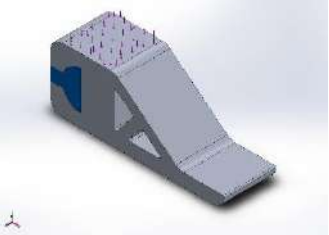
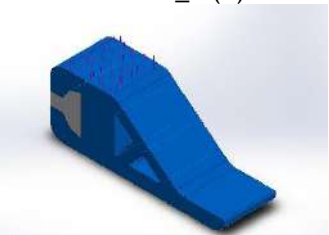


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Amortiguador Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:0,22921 kg Volumen:0,000143256 m³ Densidad:1.600 kg/m³ Peso:2,24626 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 26 12:51:00 2019</p>
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:3,09262 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:30,3077 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

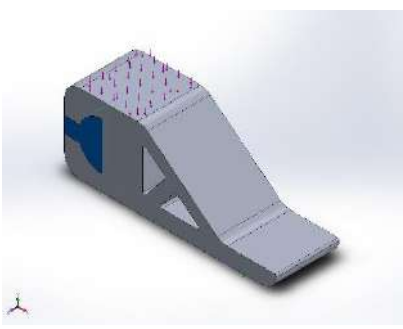
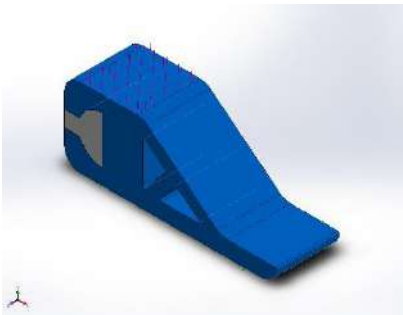
Nombre de estudio	P5(1)(2)-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



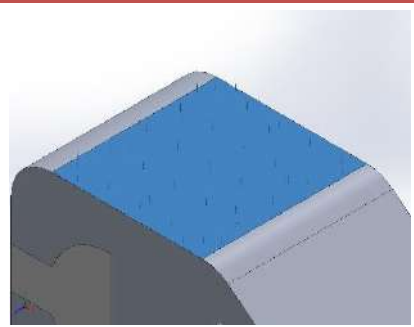
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: SBR</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: $1,4e+06 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $3e+06 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $1,56e+06 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,49</p> <p>Densidad: 1.600 kg/m^3</p>	Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Amortiguador Prótesis_5 (1)-1)
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 7075-T6, Chapa (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 2.810 kg/m^3</p> <p>Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 \text{ /Kelvin}$</p>	Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1)-1)
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,000838393	613,126	-0,000646592	613,126
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



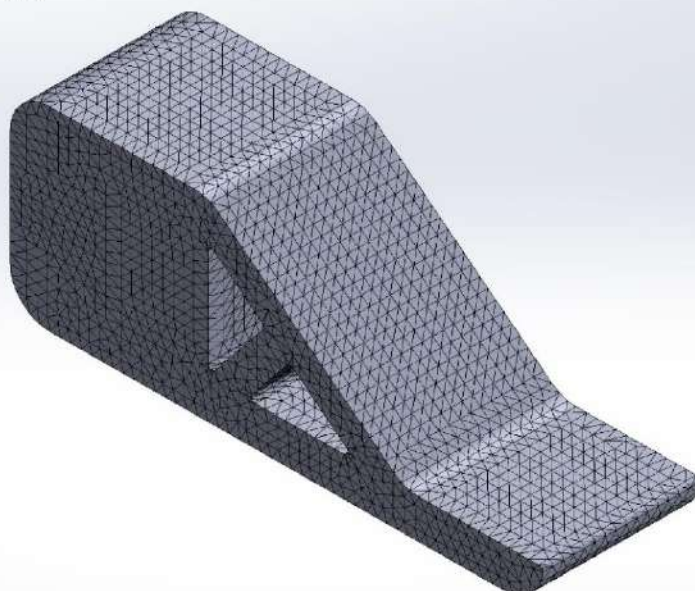
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37842 mm
Tolerancia	0,268921 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81324
Número total de elementos	55360
Cociente máximo de aspecto	9,1955
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: PS(1)(2)-A4(- Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

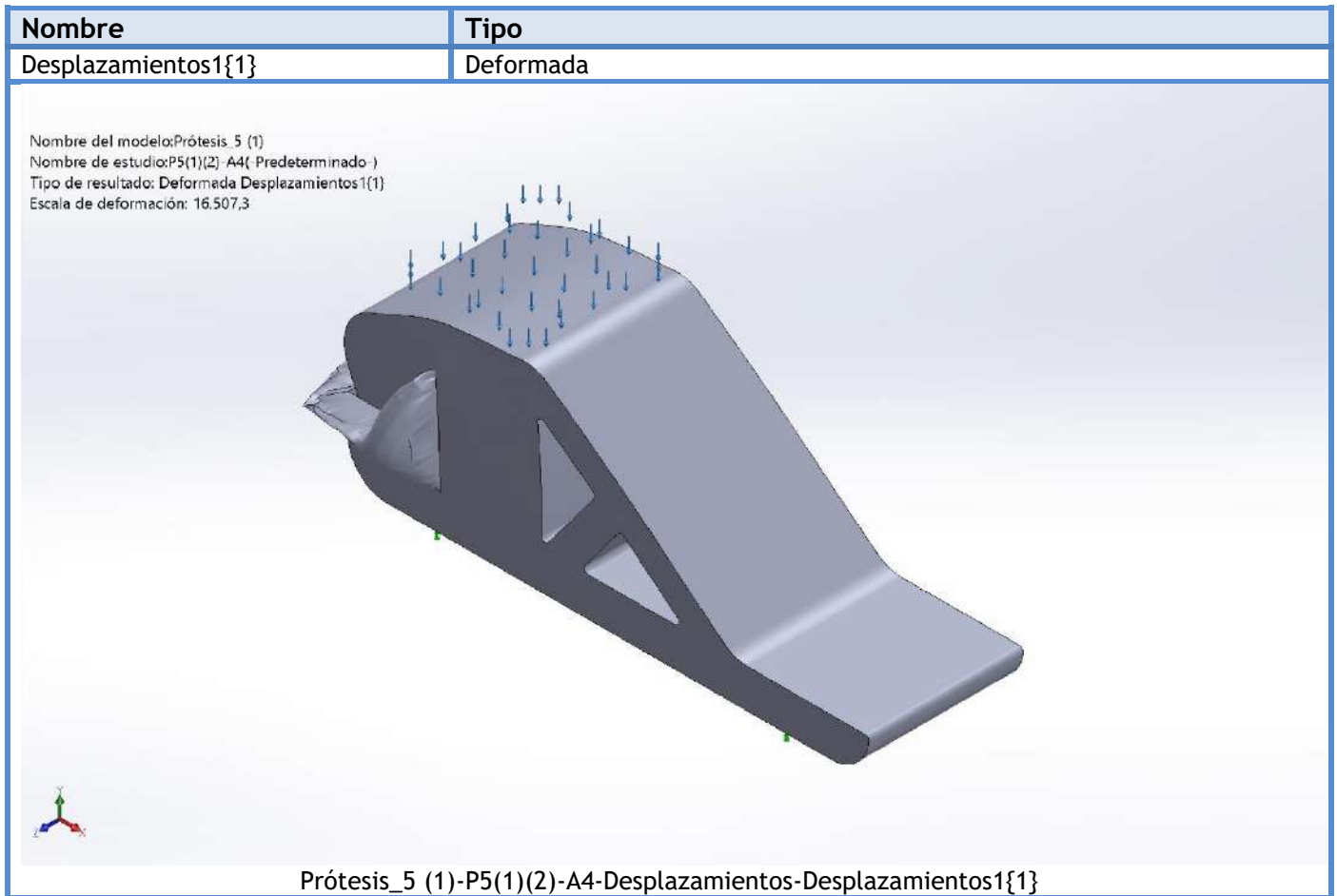
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,000838393	613,126	-0,000646592	613,126

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

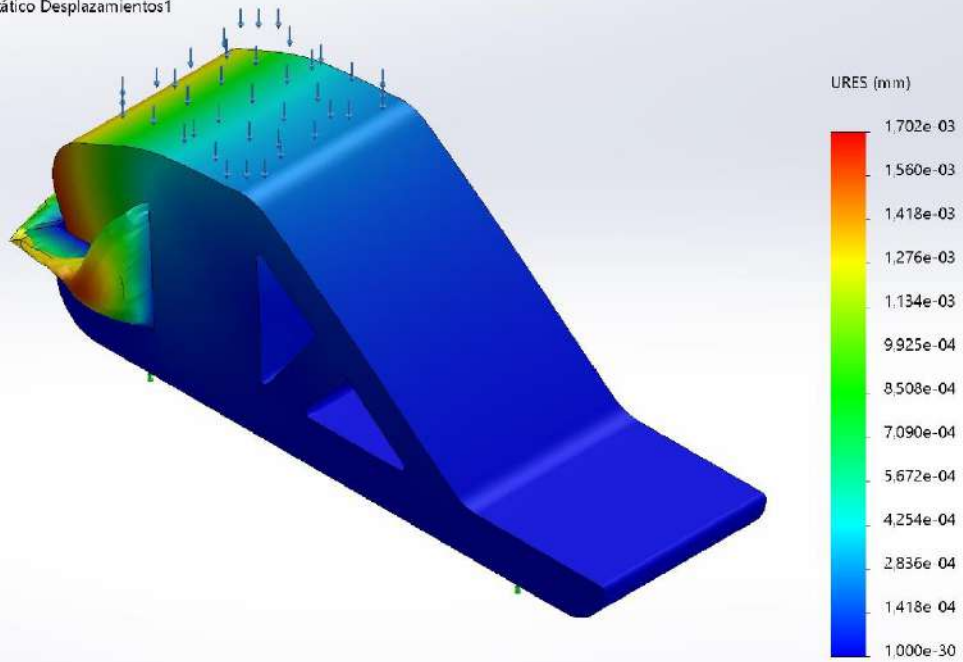


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 9971	1,702e-03 mm Nodo: 88

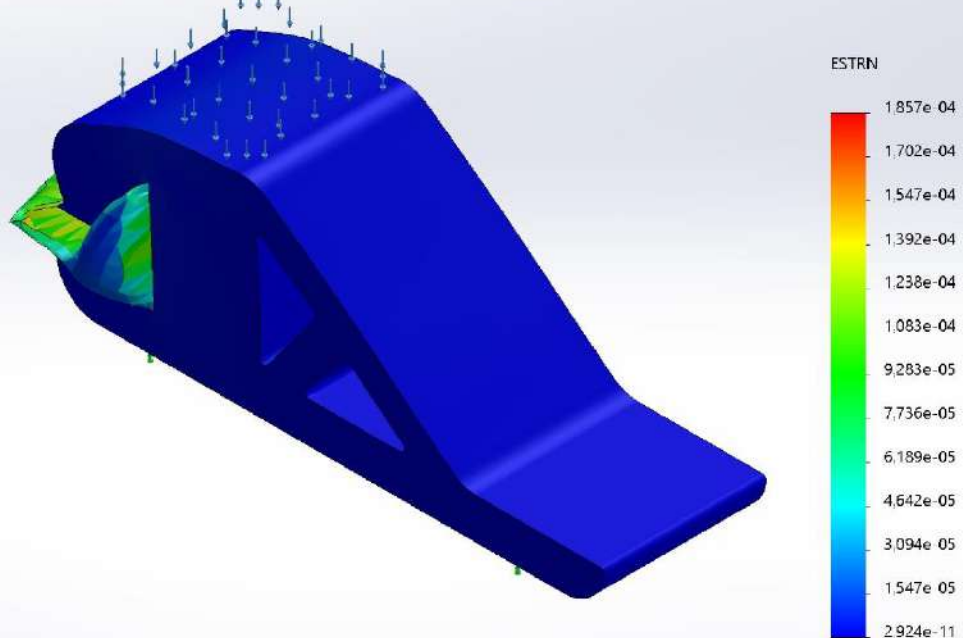
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 16.507,3



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

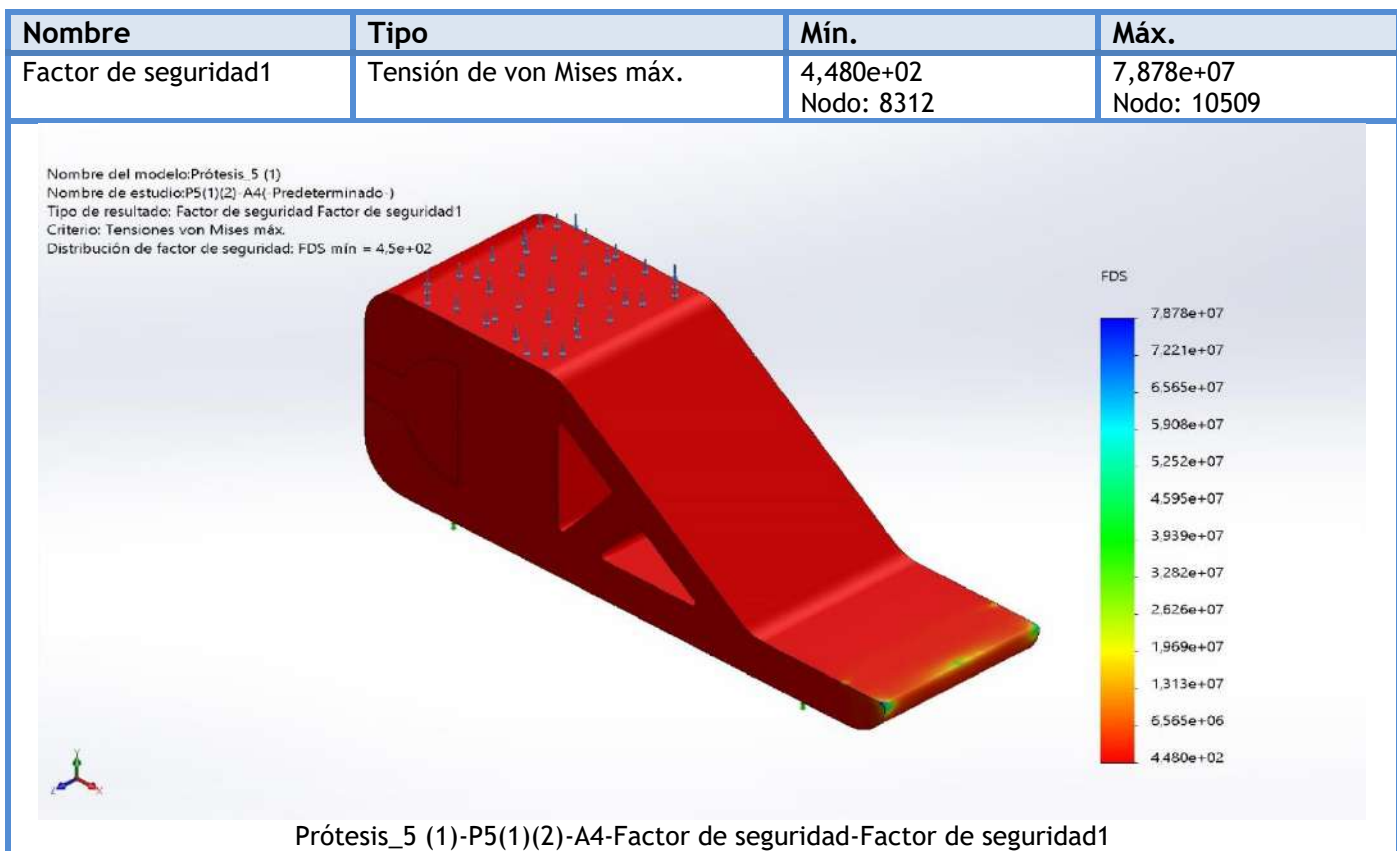
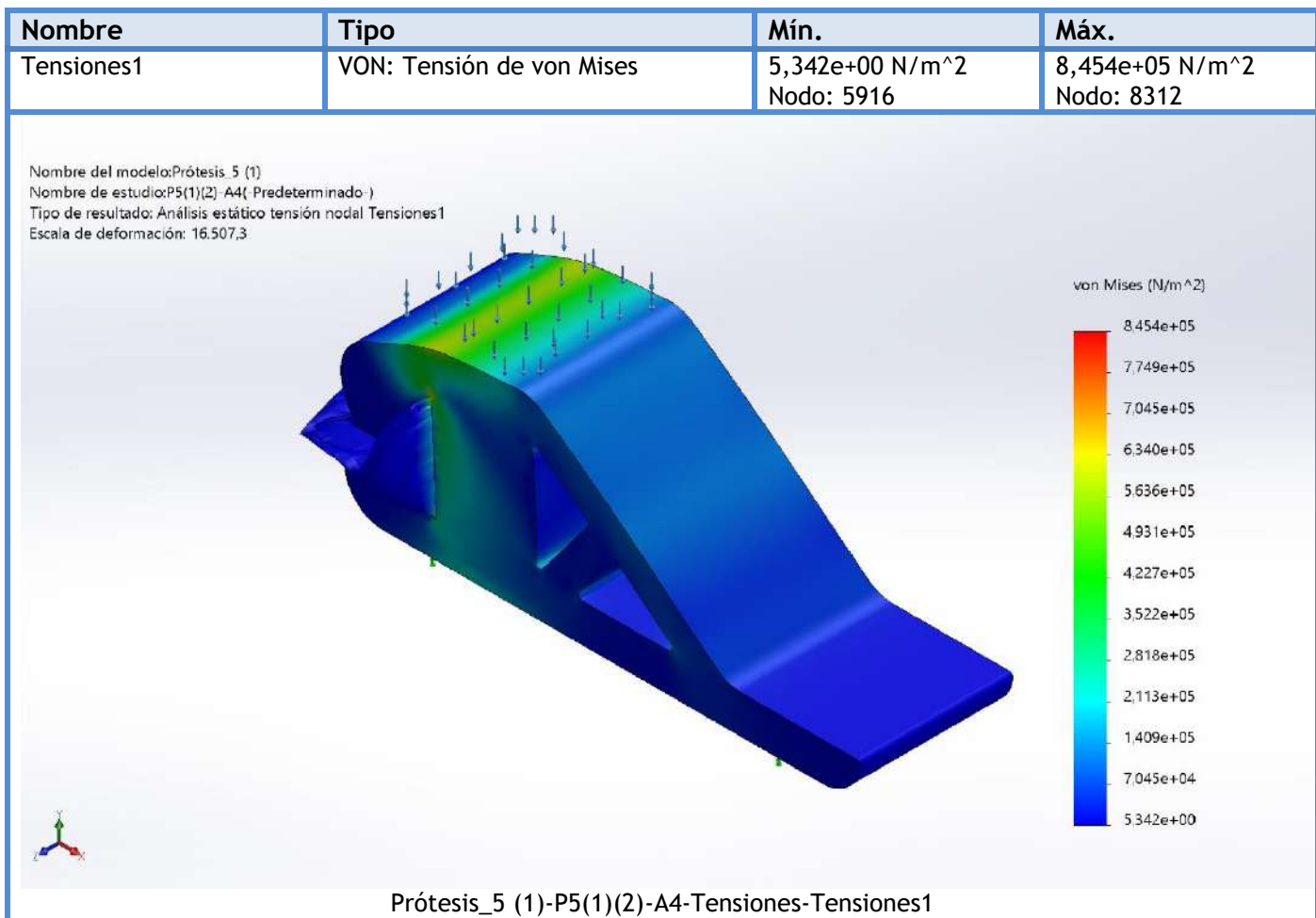
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,924e-11 Elemento: 12361	1,857e-04 Elemento: 5027

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 16.507,3



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1







Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(1)(2)-A5

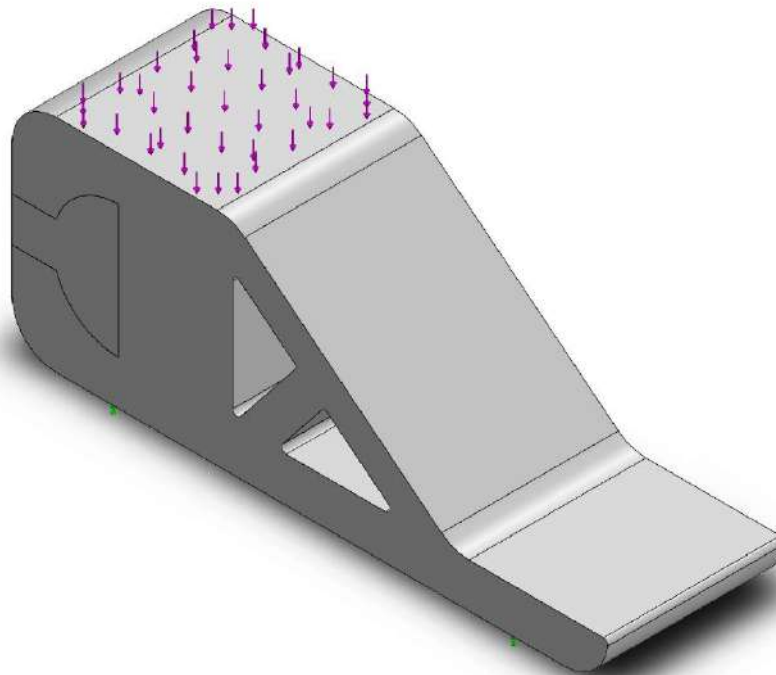
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

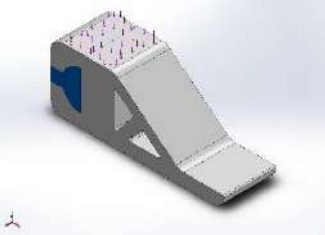



Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 <p>Amortiguador Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:0,22921 kg Volumen:0,000143256 m³ Densidad:1.600 kg/m³ Peso:2,24626 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 26 12:51:00 2019</p>
 <p>Prótesis_5 (1)</p>	Sólido	<p>Masa:1,15561 kg Volumen:0,00110058 m³ Densidad:1.050 kg/m³ Peso:11,3249 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019</p>



Propiedades de estudio

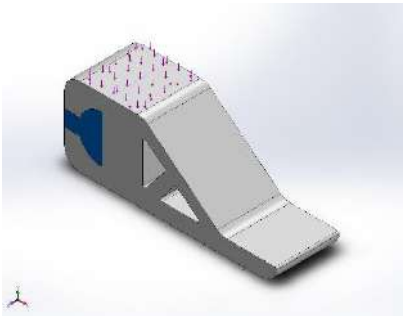
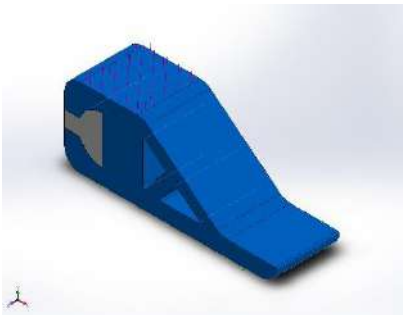
Nombre de estudio	P5(1)(2)-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

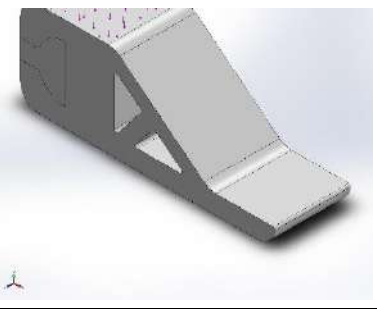


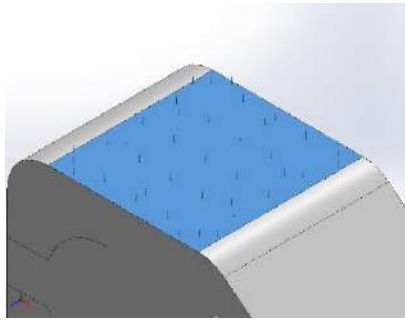
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: SBR Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,4e+06 N/m² Límite de tracción: 3e+06 N/m² Módulo elástico: 1,56e+06 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,49 Densidad: 1.600 kg/m³ </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Amortiguador Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,0011672	613,126	0,000635823	613,126
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



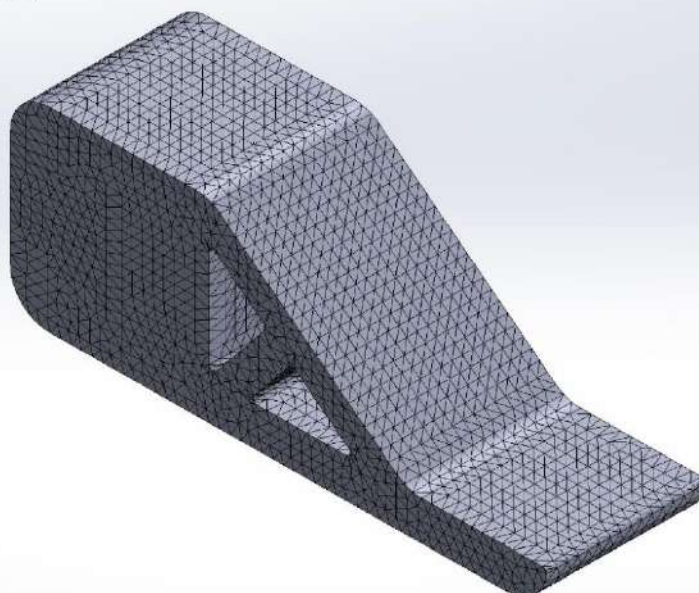
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37842 mm
Tolerancia	0,268921 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81324
Número total de elementos	55360
Cociente máximo de aspecto	9,1955
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio: P5(1)(2)-A5(- Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

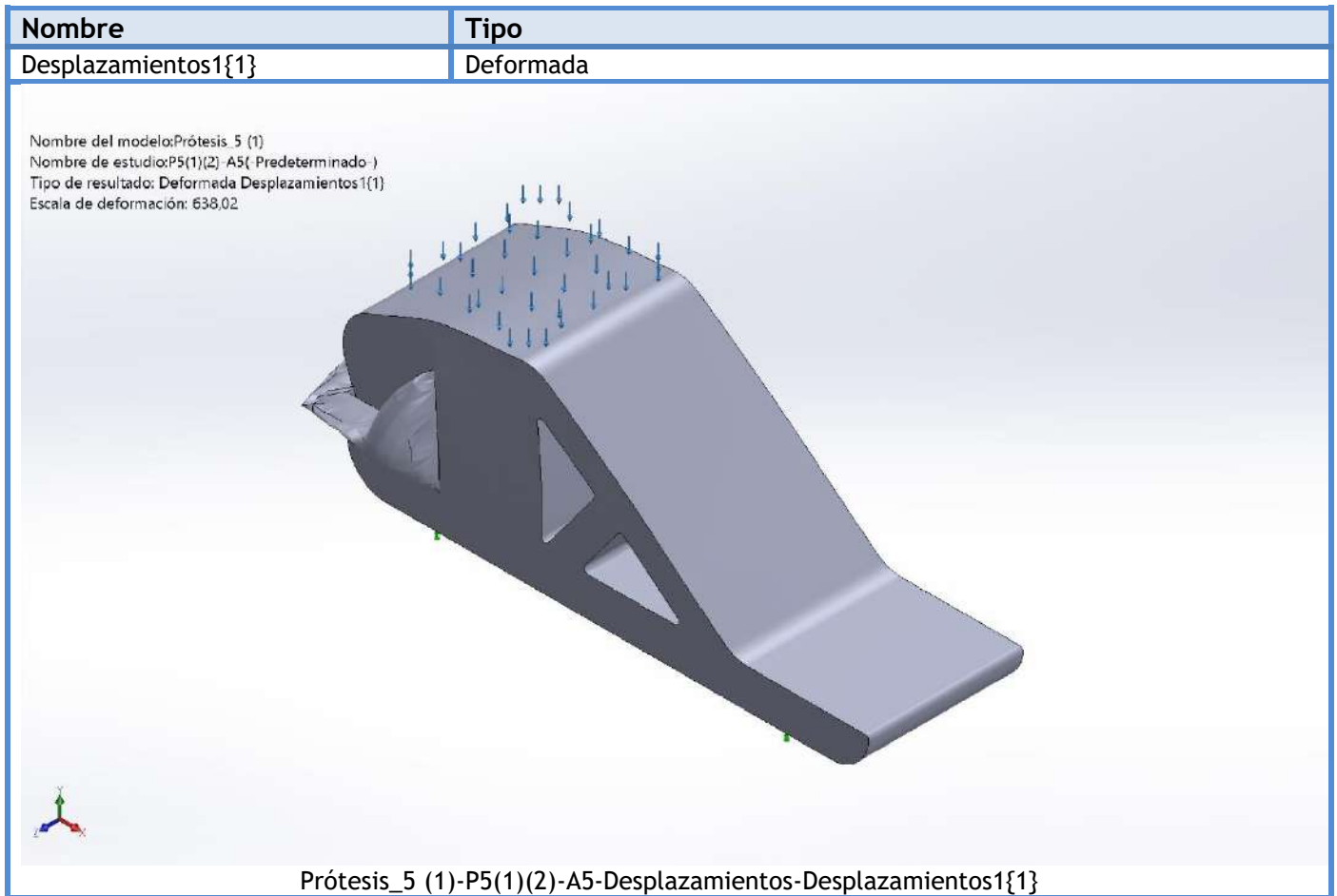
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,0011672	613,126	0,000635823	613,126

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



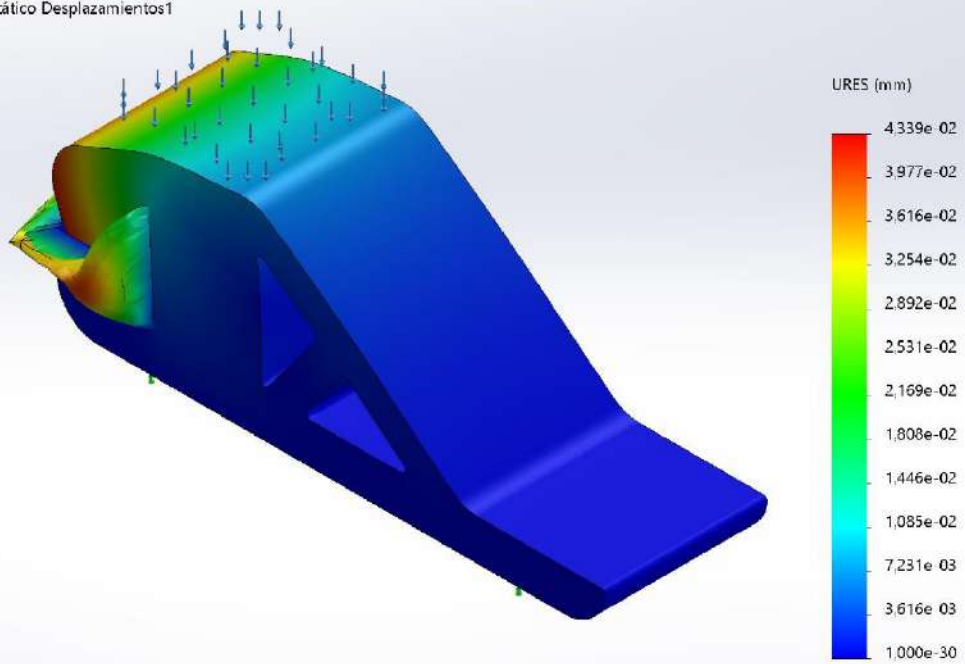
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 9971	4,339e-02 mm Nodo: 83



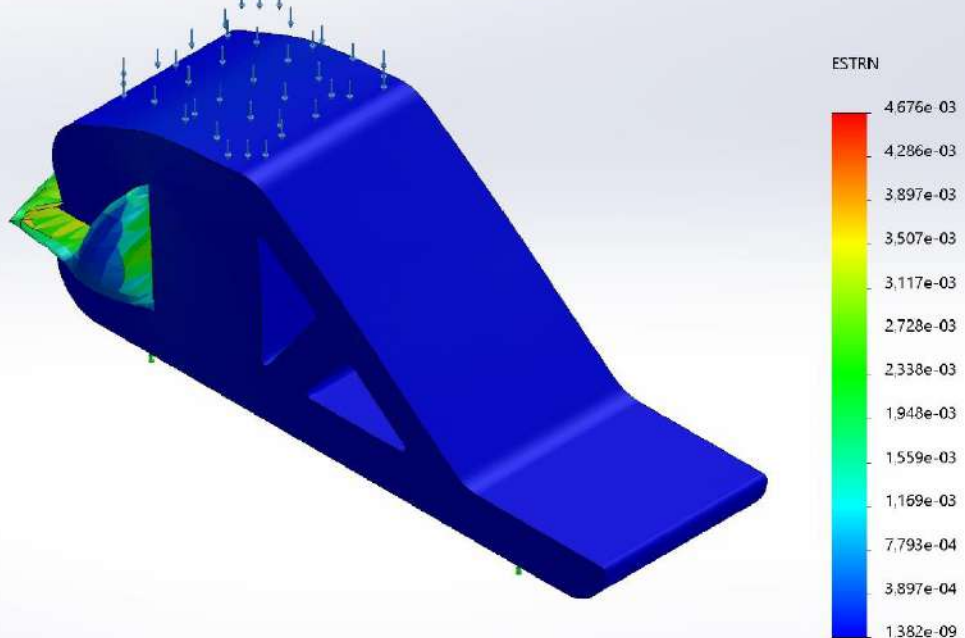
Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 638,02



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

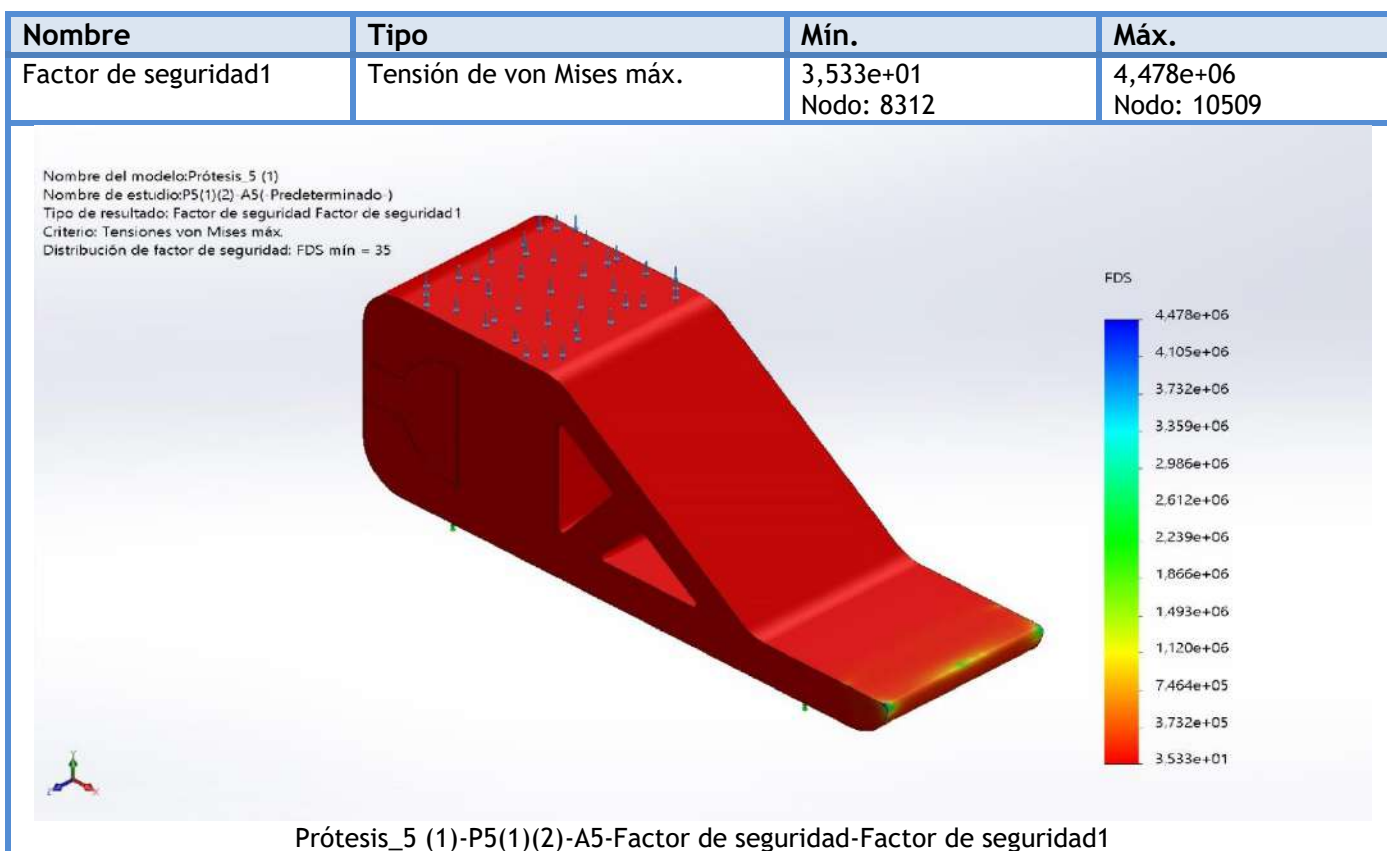
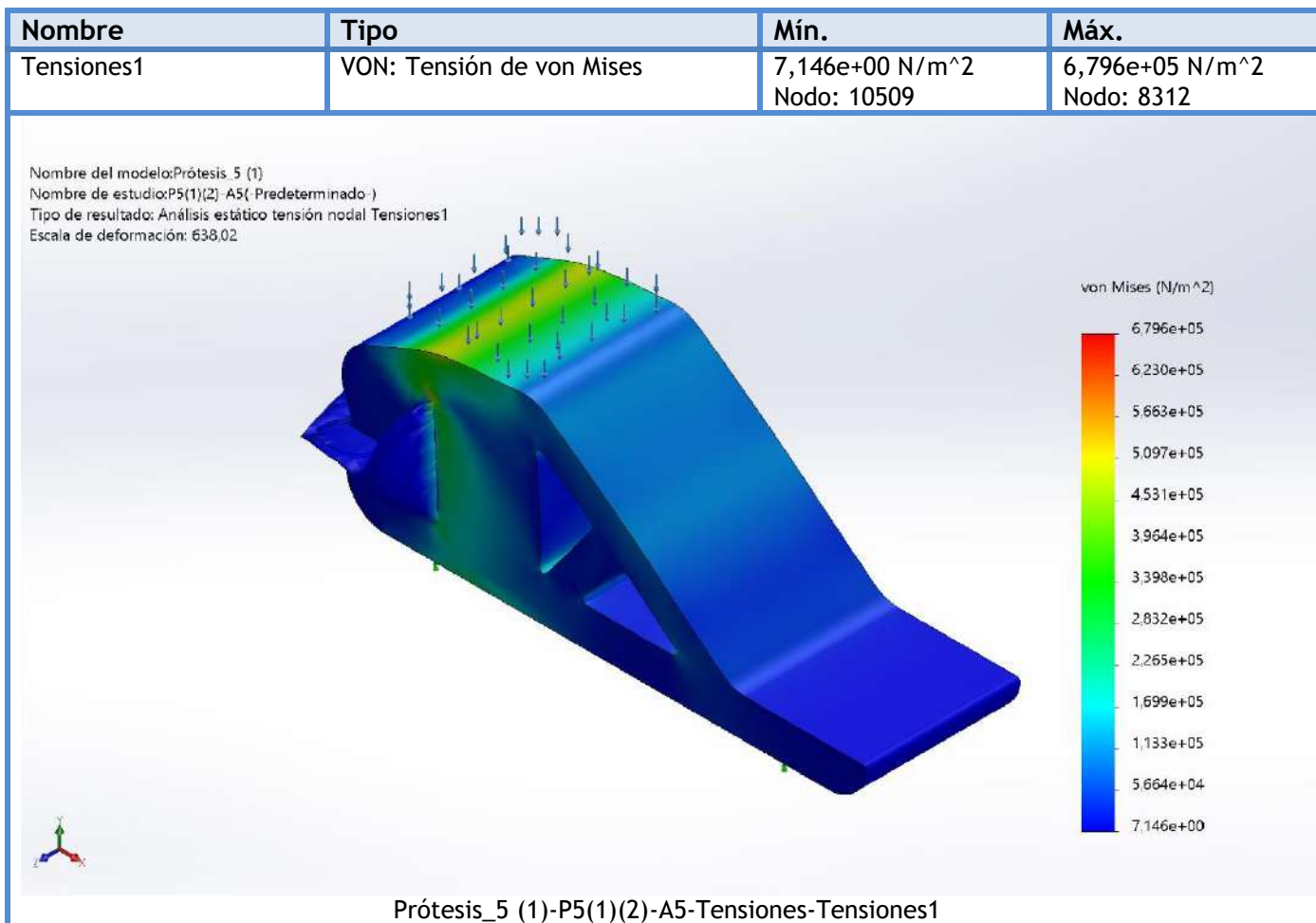
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,382e-09 Elemento: 12361	4,676e-03 Elemento: 5027

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 638,02

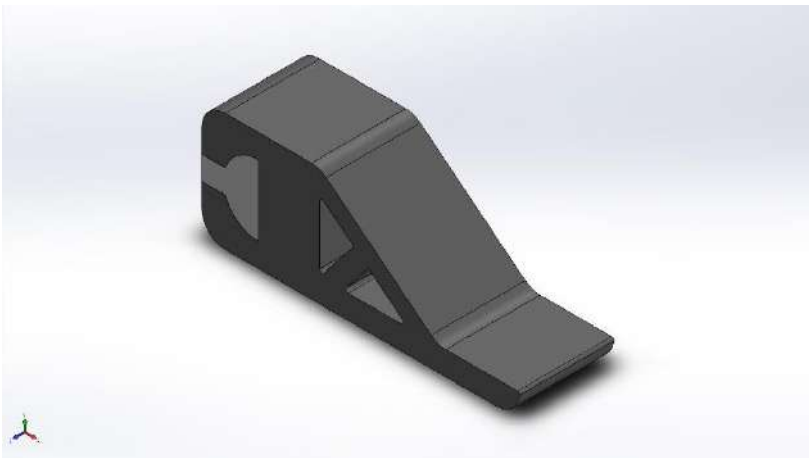


Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1









Simulación de Prótesis_5 (1)

Fecha: sábado, 18 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(1)(2)-A6

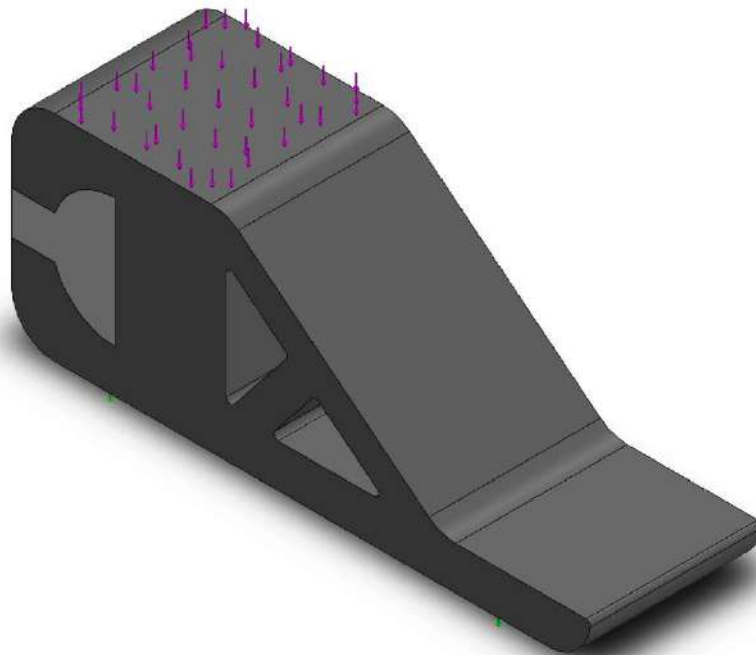
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

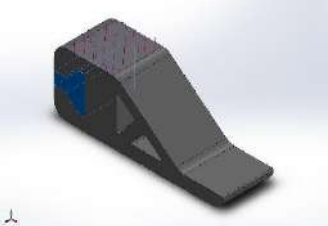



Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Amortiguador Prótesis_5 (1)	Sólido	Masa:0,22921 kg Volumen:0,000143256 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:2,24626 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 26 12:51:00 2019
 Prótesis_5 (1)	Sólido	Masa:1,25466 kg Volumen:0,00110058 m ³ Densidad:1.140 kg/m ³ Peso:12,2957 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (1).SLDPRT Nov 30 14:54:36 2019



Propiedades de estudio

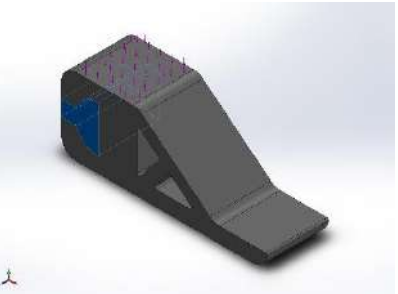
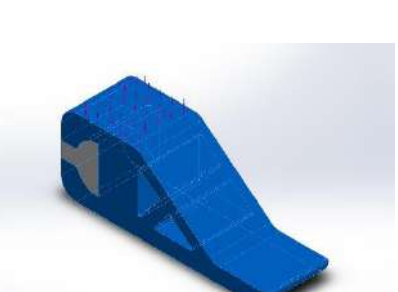
Nombre de estudio	P5(1)(2)-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

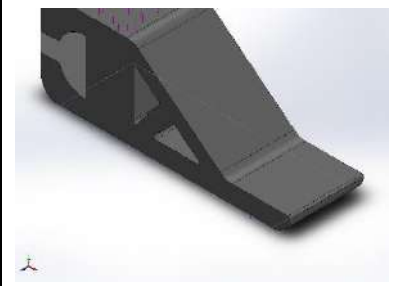


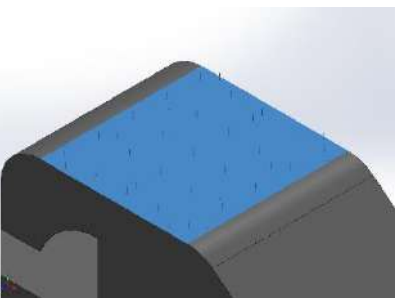
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: SBR Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,4e+06 N/m² Límite de tracción: 3e+06 N/m² Módulo elástico: 1,56e+06 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,49 Densidad: 1.600 kg/m³ </p>	<p>Sólido 1(Saliente-Extruir1)(Amortiguador Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (1)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000230307	613,126	0,00236219	613,126
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



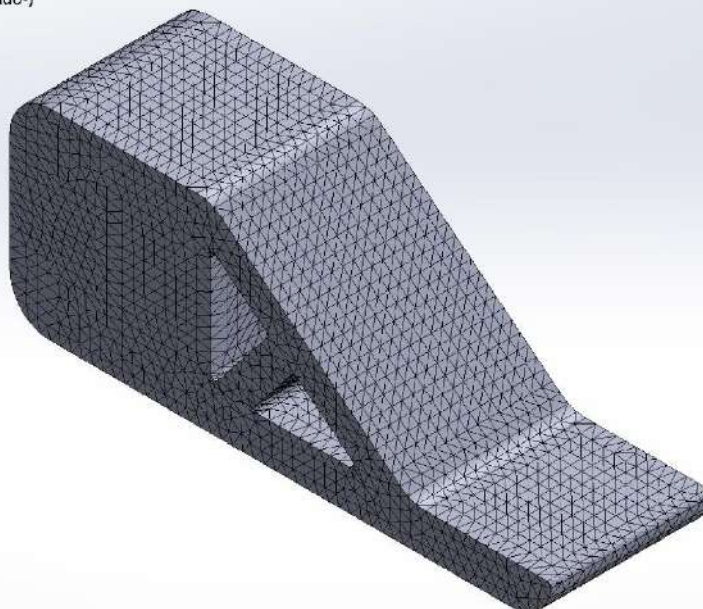
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37842 mm
Tolerancia	0,268921 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	81324
Número total de elementos	55360
Cociente máximo de aspecto	9,1955
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,7
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio: P5(1)(2)-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

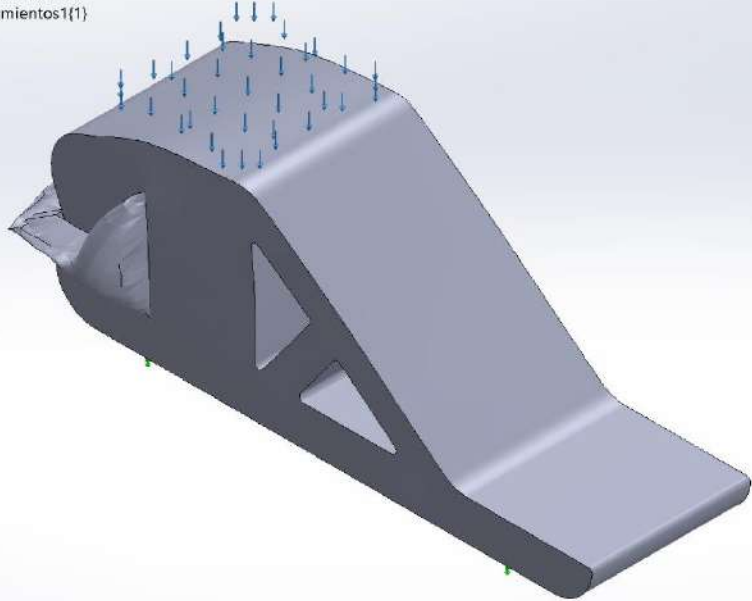
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000230307	613,126	0,00236219	613,126

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



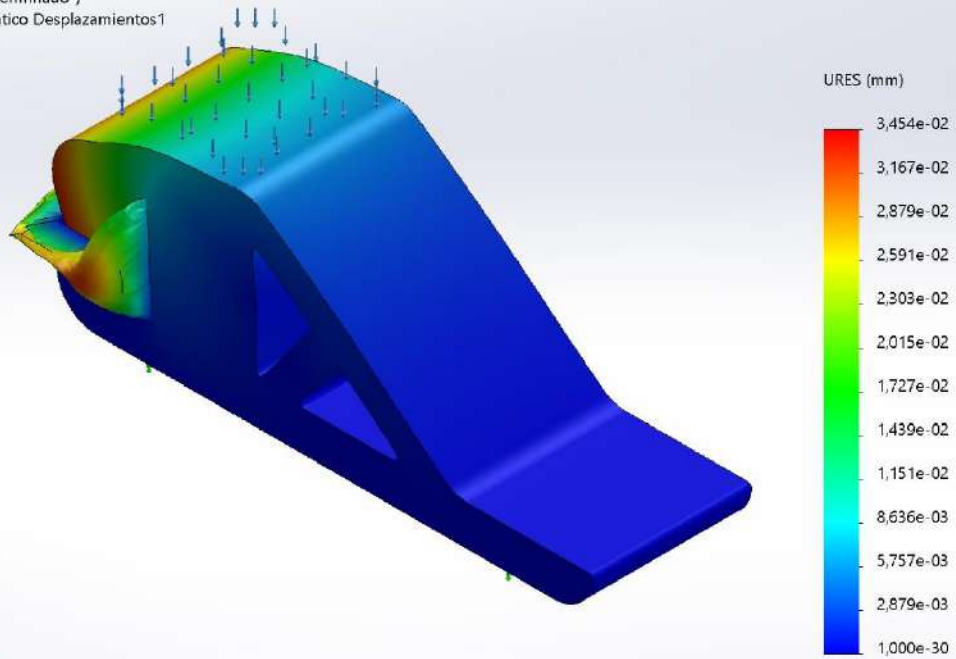
Resultados del estudio

Nombre	Tipo
Desplazamientos1{1}	Deformada
<p>Nombre del modelo: Prótesis_5 (1) Nombre de estudio: P5(1)(2)-A6(-Predeterminado-) Tipo de resultado: Deformada Desplazamientos1{1} Escala de deformación: 803,598</p>  <p>Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1{1}</p>	

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 9971	3,454e-02 mm Nodo: 85



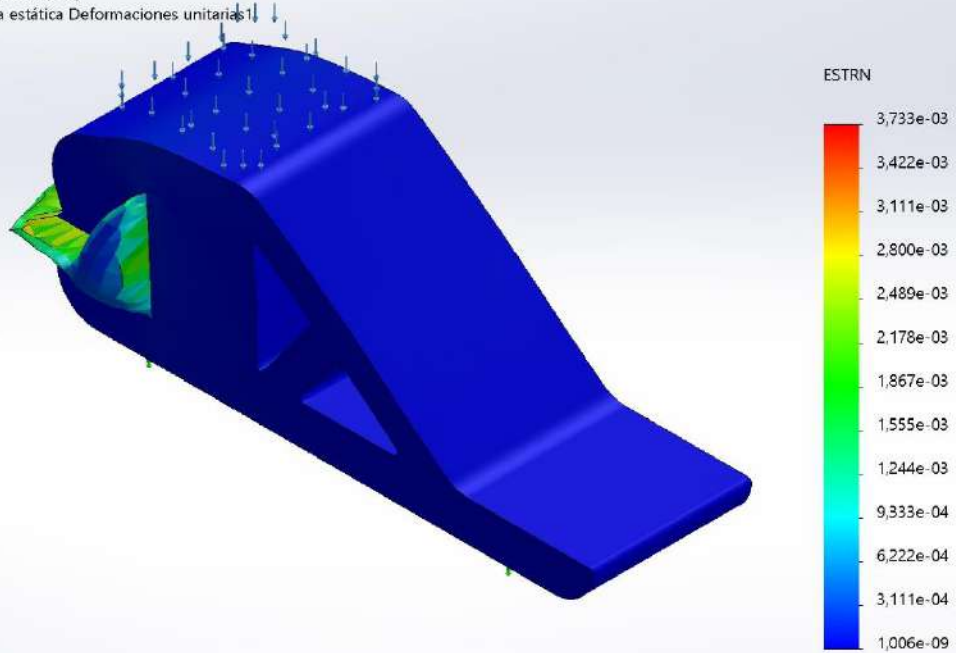
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1)(2)-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 803,598



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,006e-09 Elemento: 12361	3,733e-03 Elemento: 5027

Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
 Nombre de estudio:P5(1)(2)-A6(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 803,598

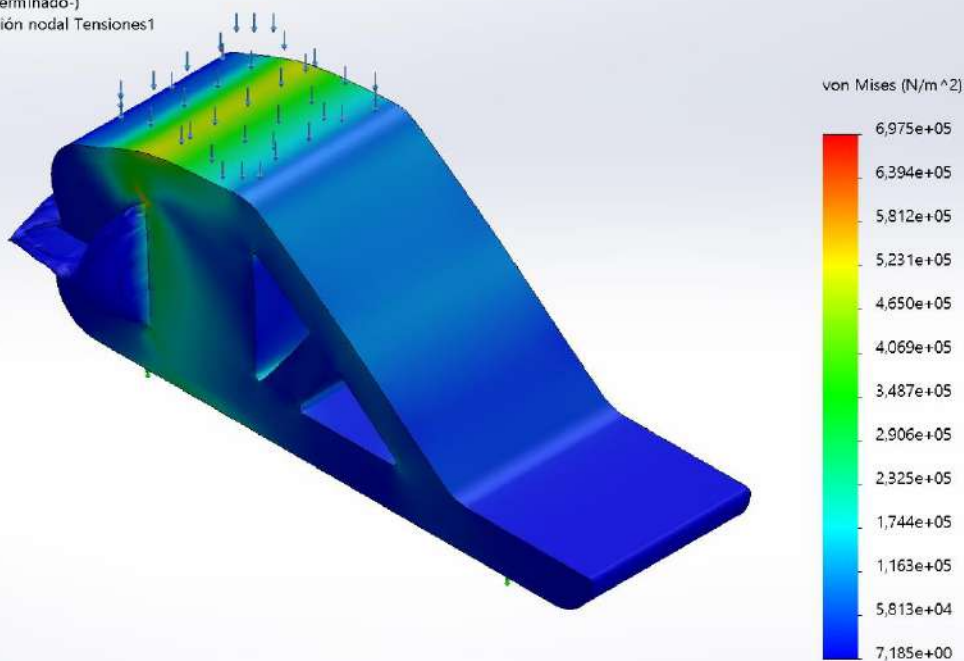


Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,185e+00 N/m ² Nodo: 10509	6,975e+05 N/m ² Nodo: 8312

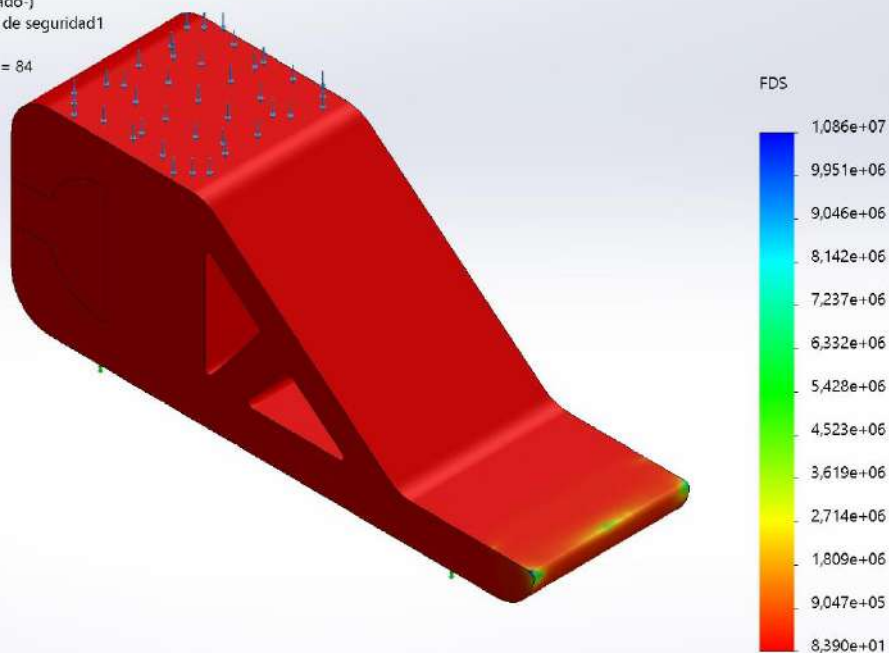
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)(2)-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 803,598



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	8,390e+01 Nodo: 8312	1,086e+07 Nodo: 10509

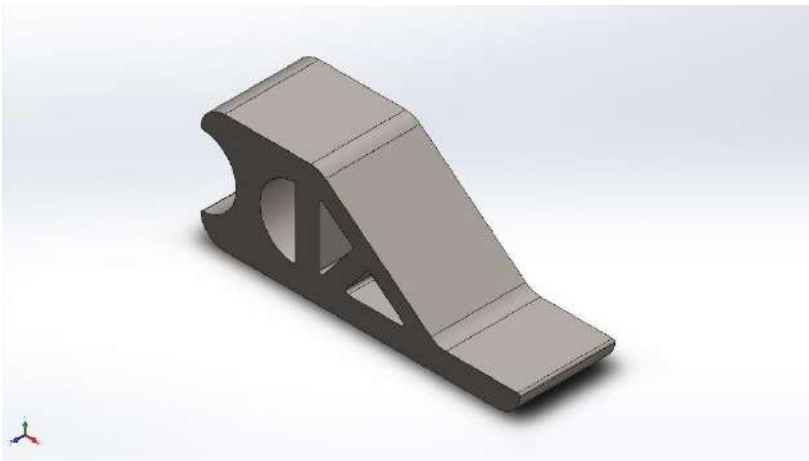
Nombre del modelo:Prótesis_5 (1)
Nombre de estudio:P5(1)(2)-A6(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 84



Prótesis_5 (1)-P5(1)(2)-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

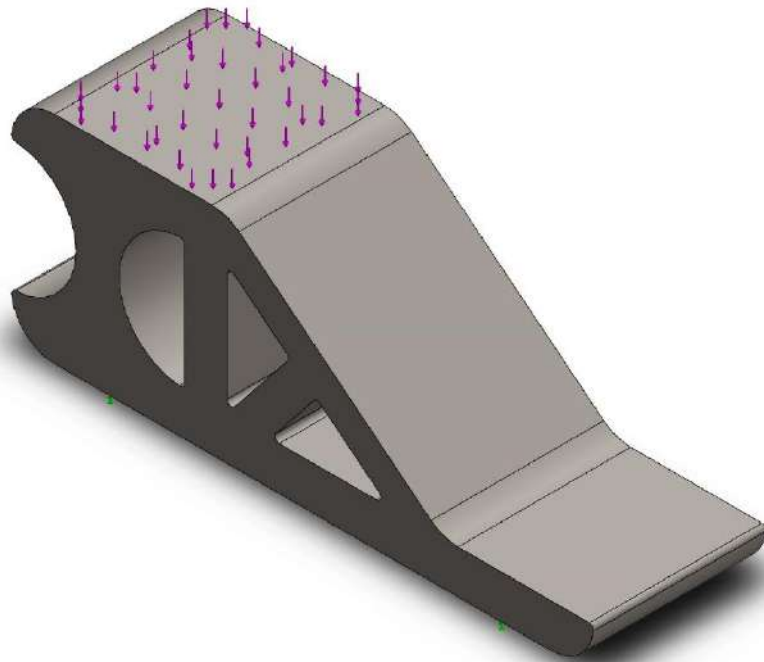
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(2)-A1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

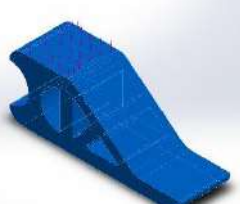


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (2) 	Sólido	Masa:7,83588 kg Volumen:0,00101765 m ³ Densidad:7.700 kg/m ³ Peso:76,7916 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019



Propiedades de estudio

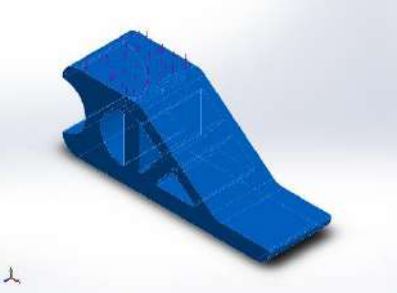
Nombre de estudio	P5(2)-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



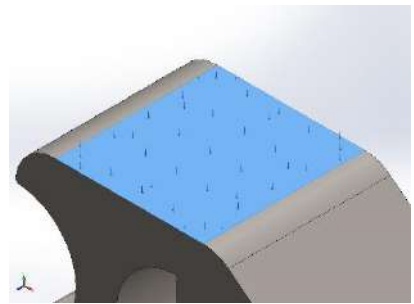
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: Acero aleado (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,20422e+08 N/m² Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.700 kg/m³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000793134	613,114	0,00119875	613,114
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



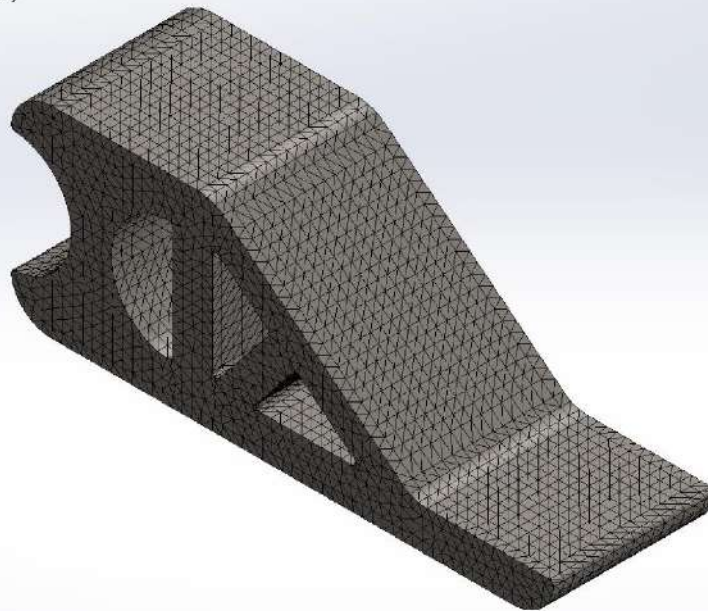
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,03039 mm
Tolerancia	0,25152 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	84723
Número total de elementos	56451
Cociente máximo de aspecto	9,3894
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) -A1(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

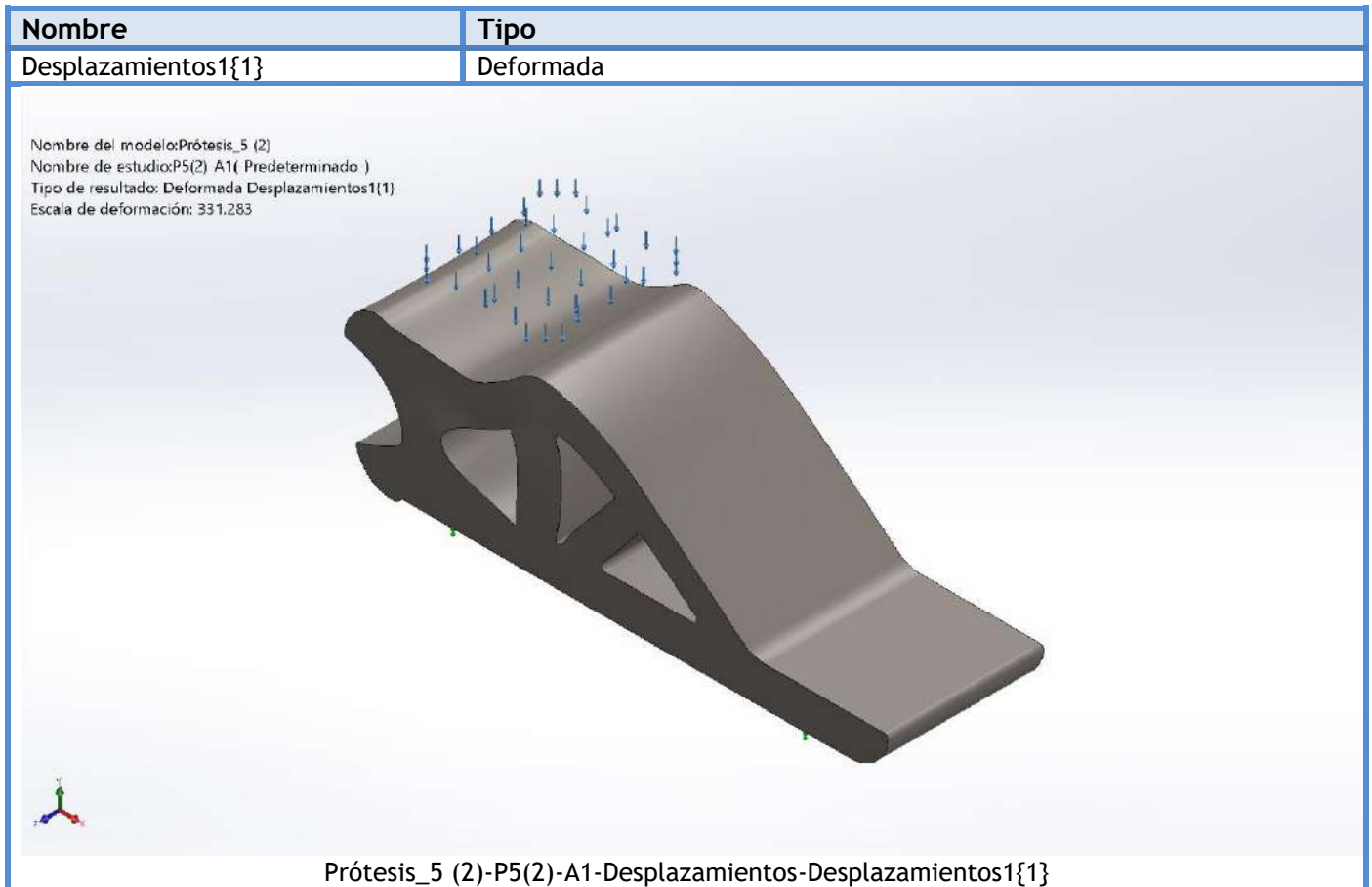
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000793134	613,114	0,00119875	613,114

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



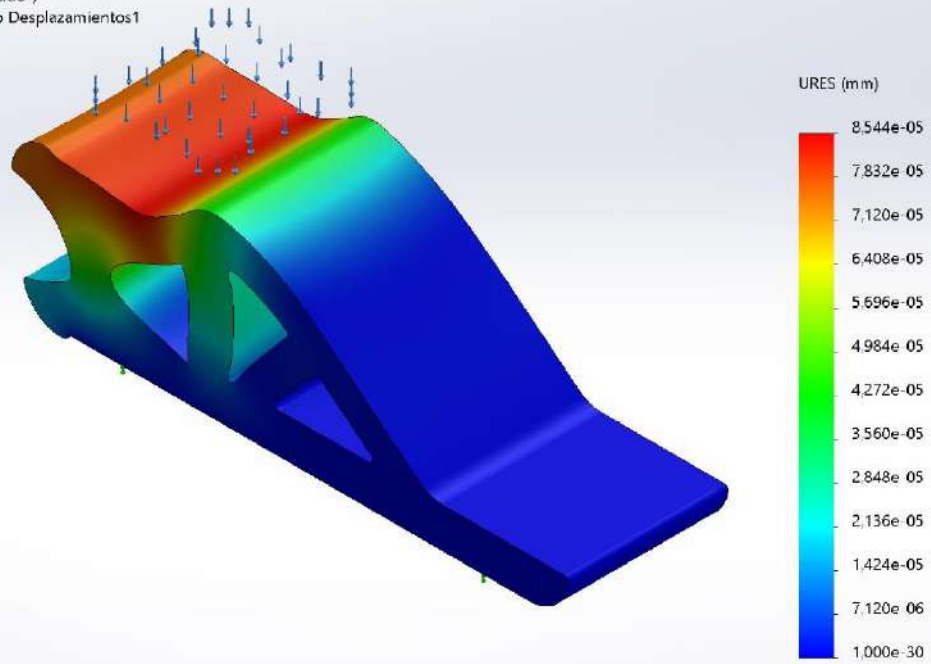
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1526	8,544e-05 mm Nodo: 644



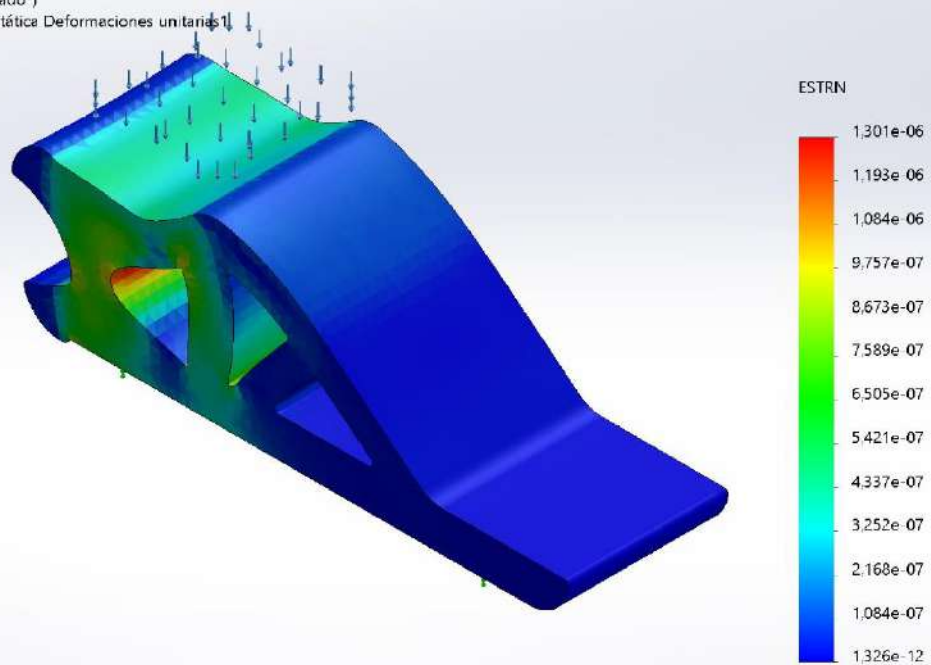
Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio:P5(2) A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 331.283



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,326e-12 Elemento: 8263	1,301e-06 Elemento: 8203

Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio:P5(2) A1(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 331.283

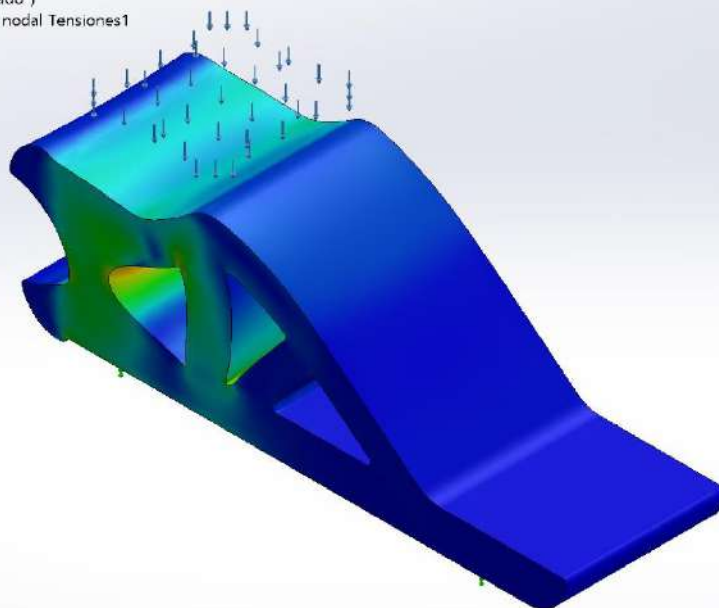


Prótesis_5 (2)-P5(2)-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4,986e-01 N/m ² Nodo: 74960	4,065e+05 N/m ² Nodo: 64364

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A1(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 331,283



von Mises (N/m²)

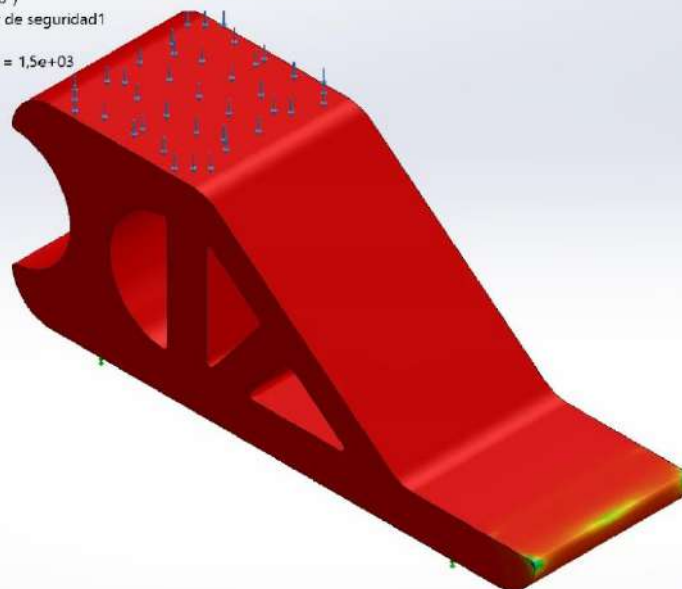


→ Límite elástico: 6.204e+08

Prótesis_5 (2)-P5(2)-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,526e+03 Nodo: 64364	1,244e+09 Nodo: 74960

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A1(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,5e+03



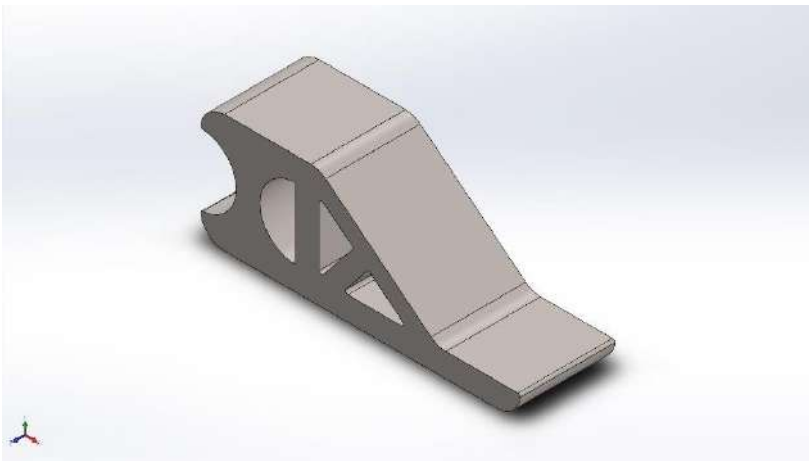
FDS



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







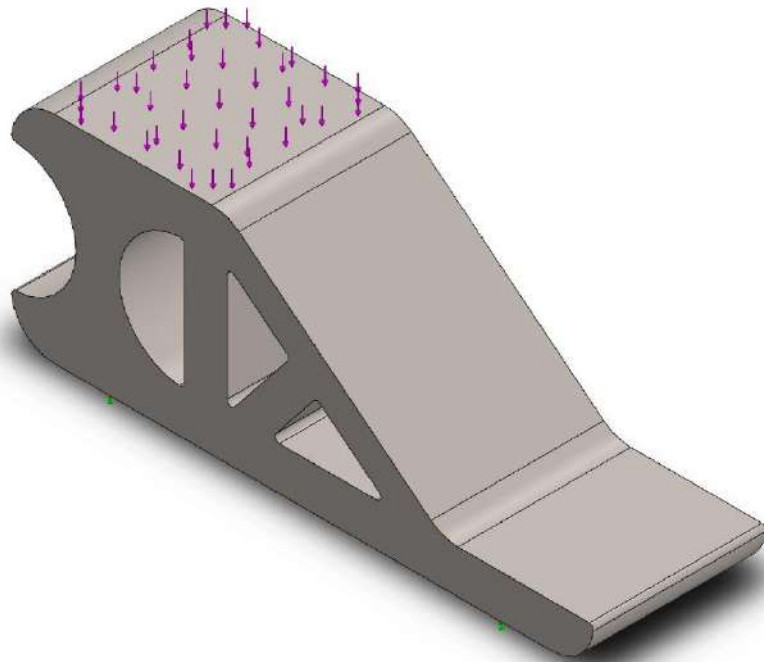
Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(2)-A2
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

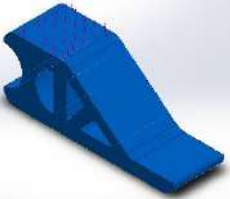
- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (2) 	Sólido	Masa:4,73206 kg Volumen:0,00101765 m ³ Densidad:4.650 kg/m ³ Peso:46,3742 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019



Propiedades de estudio


Nombre de estudio	P5(2)-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



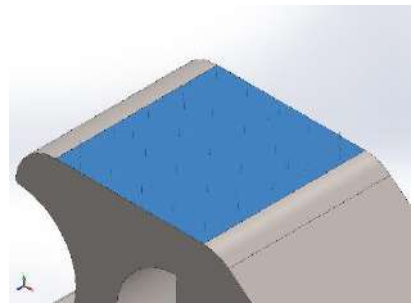
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00276557	613,142	0,00791017	613,142
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



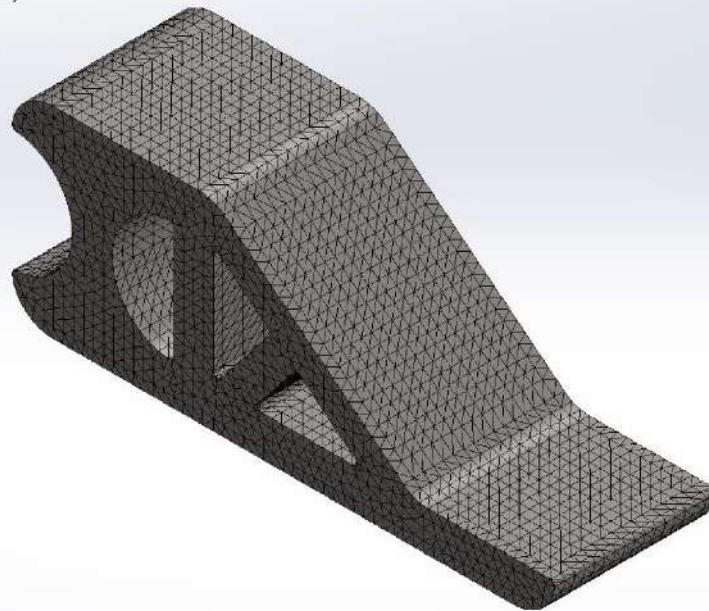
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,03039 mm
Tolerancia	0,25152 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	84723
Número total de elementos	56451
Cociente máximo de aspecto	9,3894
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) -A2(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

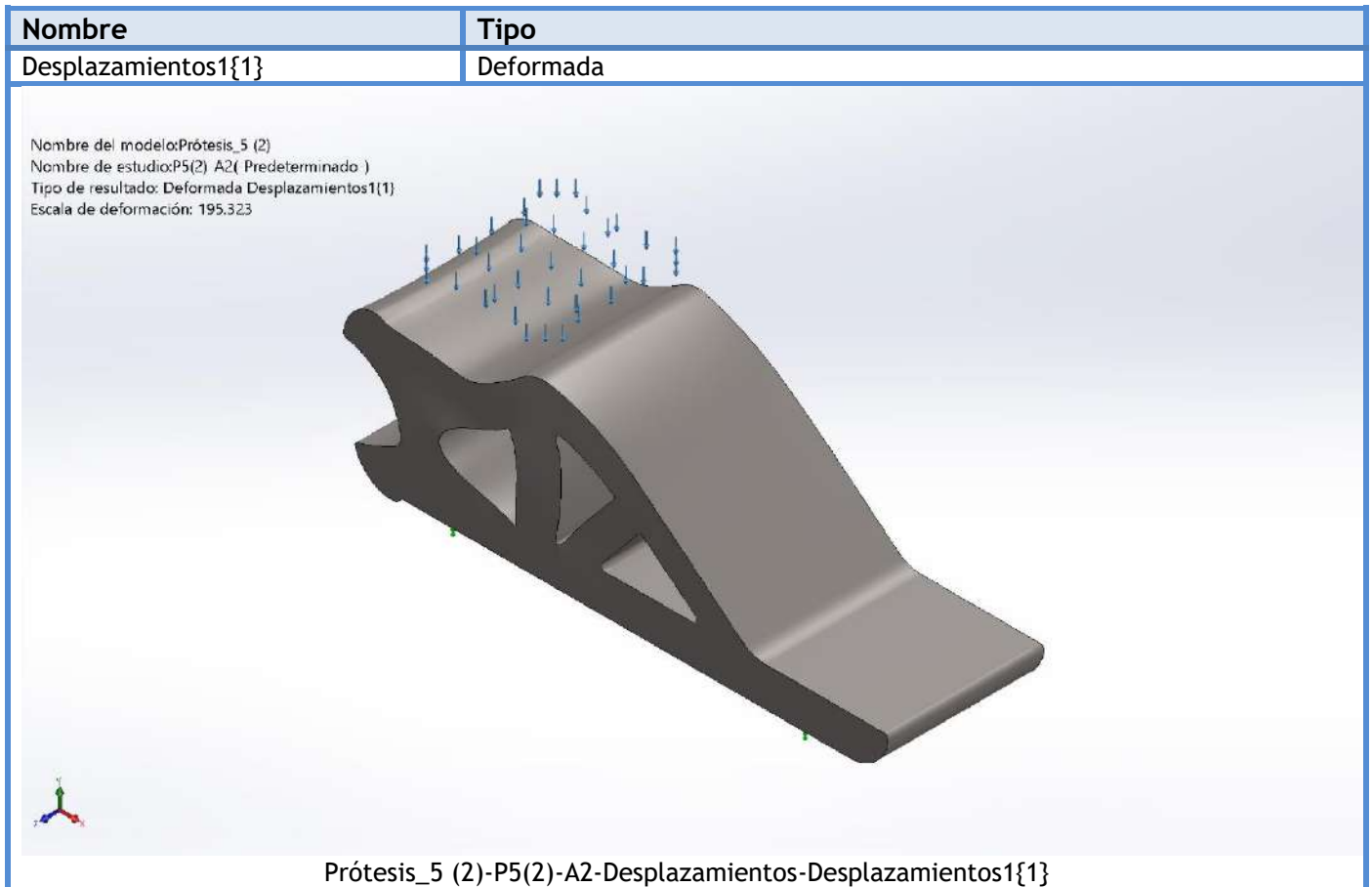
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00276557	613,142	0,00791017	613,142

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



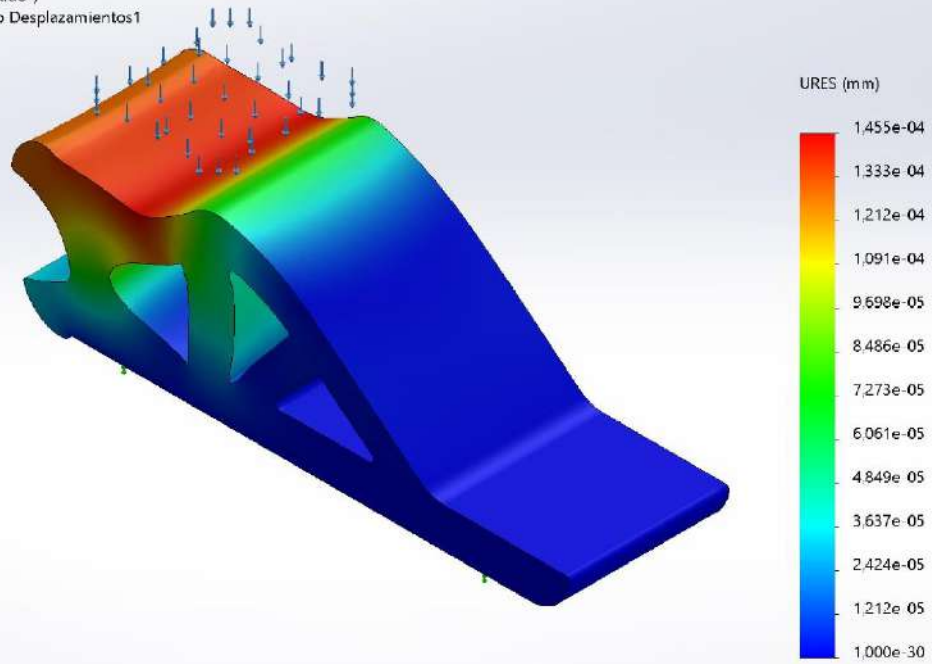
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1526	1,455e-04 mm Nodo: 644



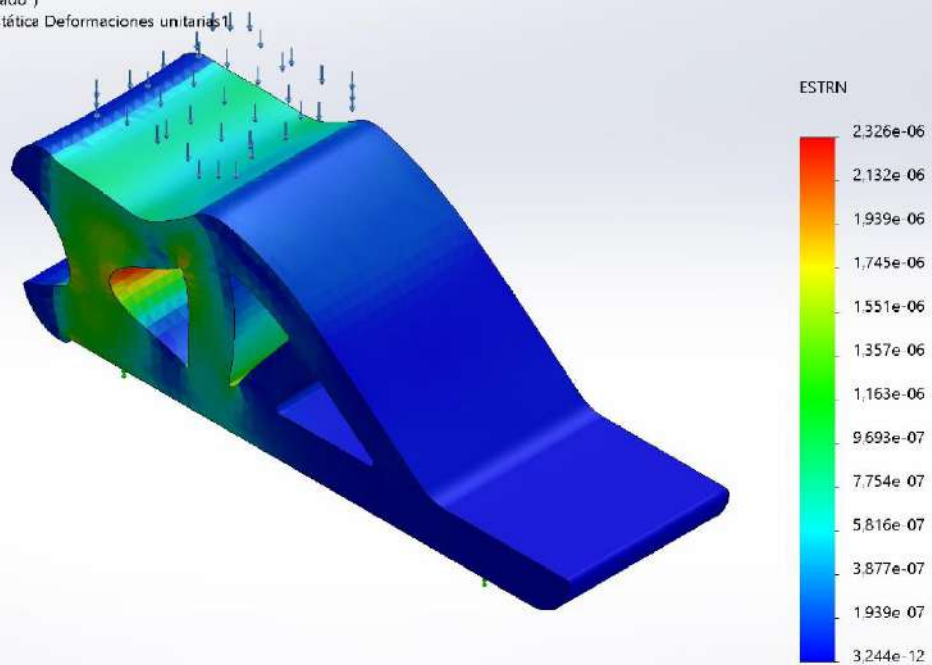
Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio:P5(2) A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 195.323



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,244e-12 Elemento: 8263	2,326e-06 Elemento: 8203

Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio:P5(2) A2(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 195.323

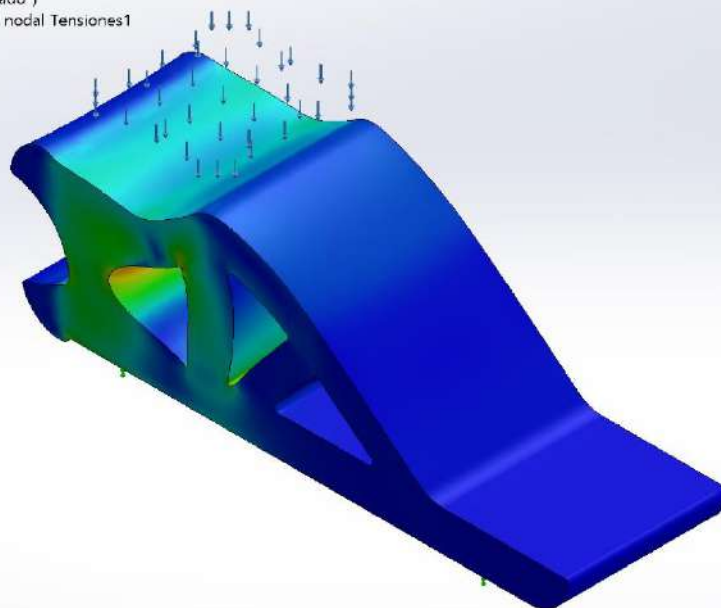


Prótesis_5 (2)-P5(2)-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

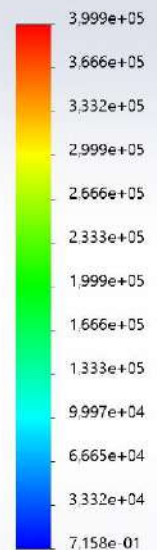


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,158e-01 N/m ² Nodo: 74960	3,999e+05 N/m ² Nodo: 64364

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A2(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 195,323



von Mises (N/m²)

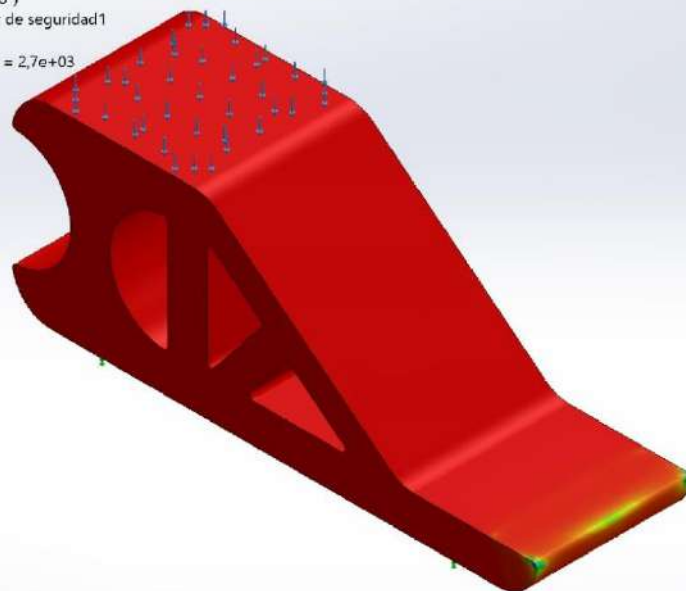


→ Límite elástico: 1.070e+09

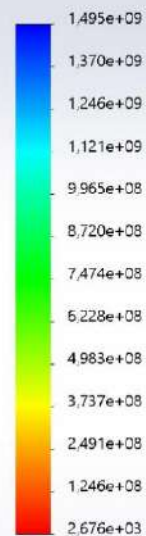
Prótesis_5 (2)-P5(2)-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,676e+03 Nodo: 64364	1,495e+09 Nodo: 74960

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A2(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,7e+03



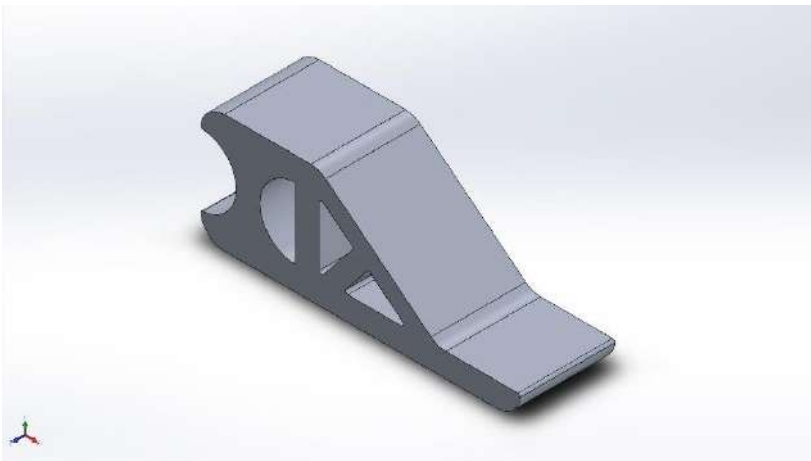
FDS



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

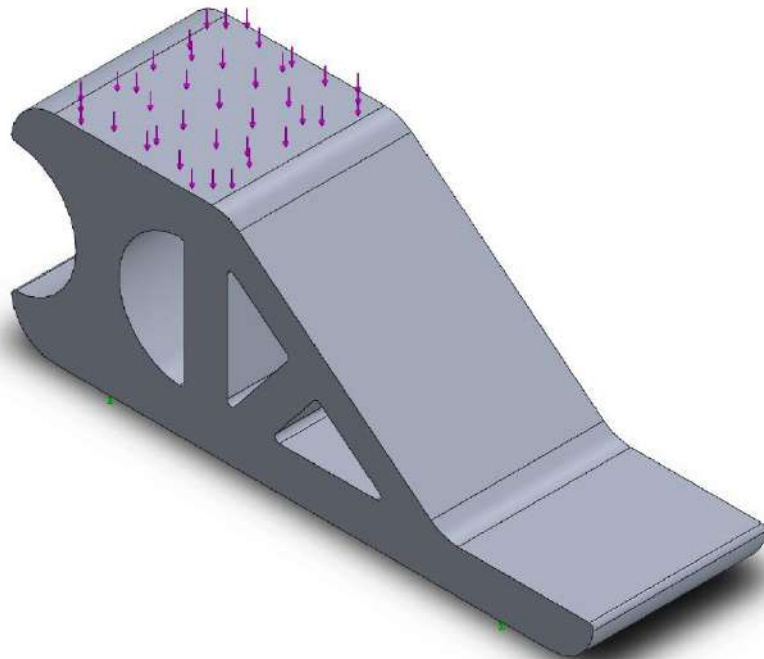
Fecha: jueves, 9 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(2)-A3
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

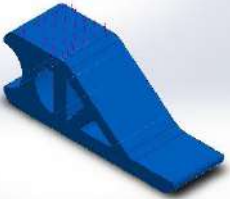


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (2) 	Sólido	Masa:2,74765 kg Volumen:0,00101765 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:26,9269 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019



Propiedades de estudio

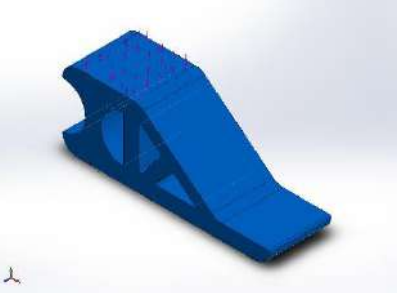
Nombre de estudio	P5(2)-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

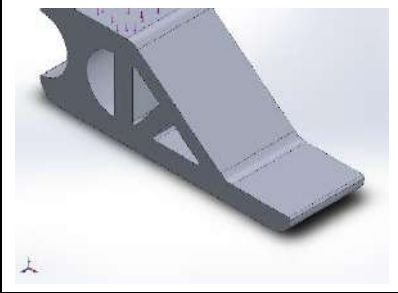


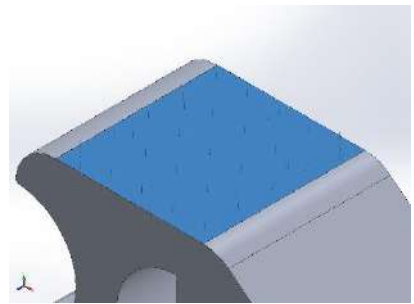
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00276557	613,142	0,00791017	613,142
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



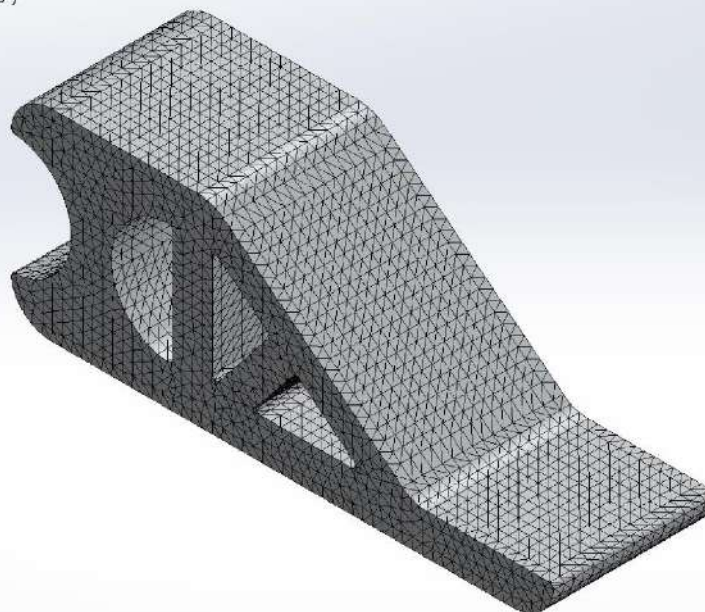
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,03039 mm
Tolerancia	0,25152 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	84723
Número total de elementos	56451
Cociente máximo de aspecto	9,3894
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) -A3(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

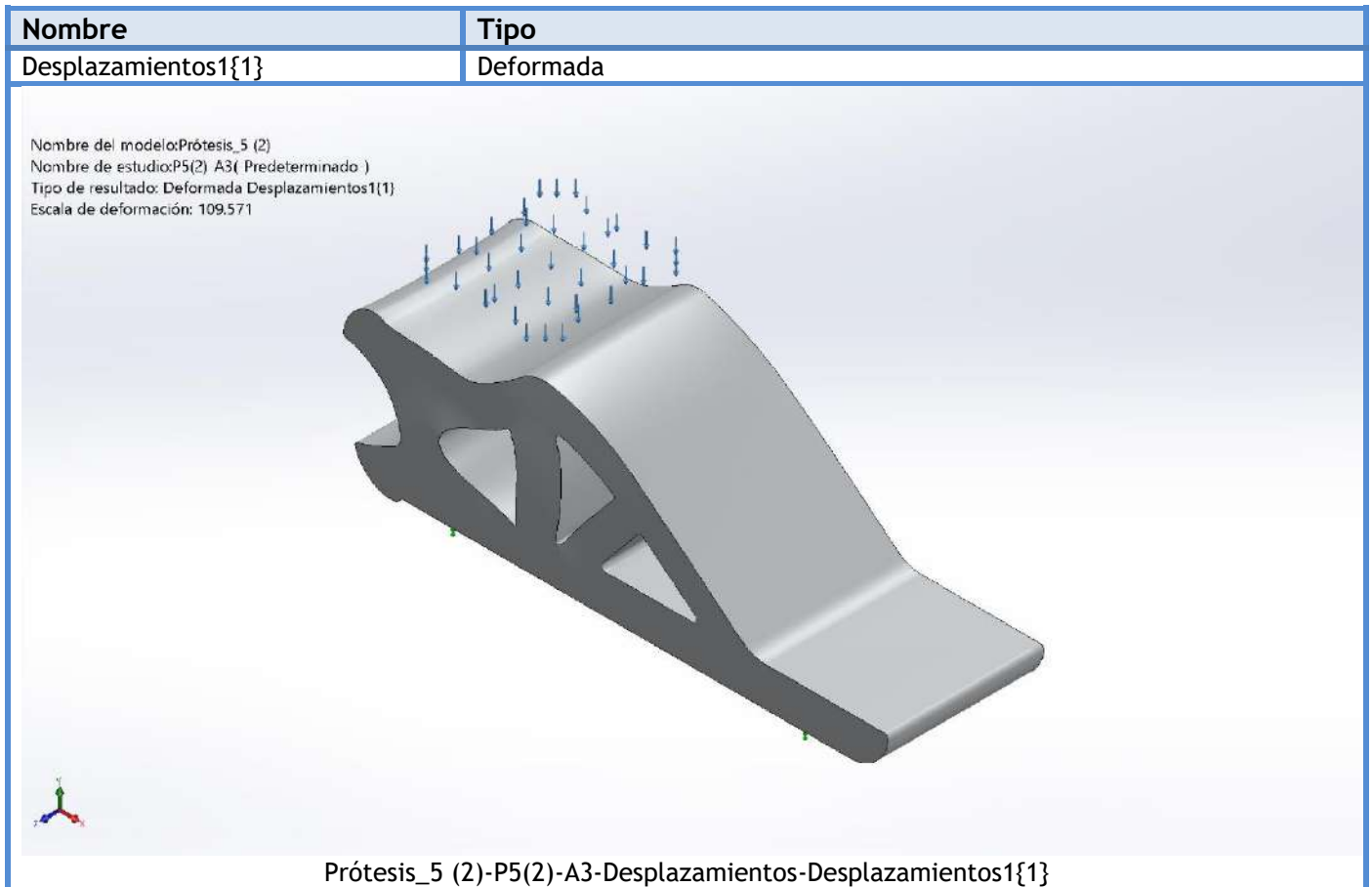
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00276557	613,142	0,00791017	613,142

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

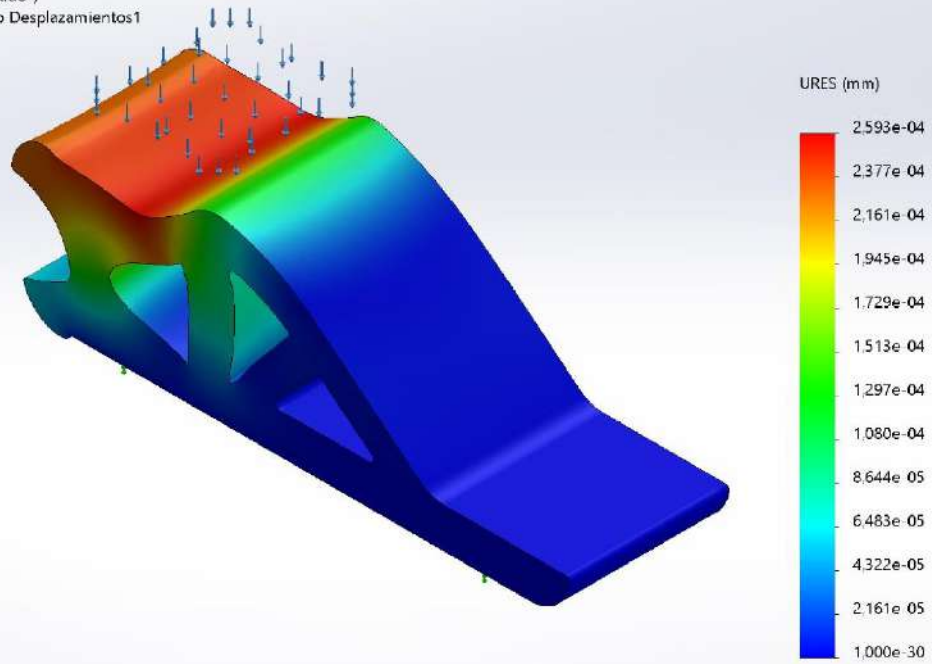


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1526	2,593e-04 mm Nodo: 644

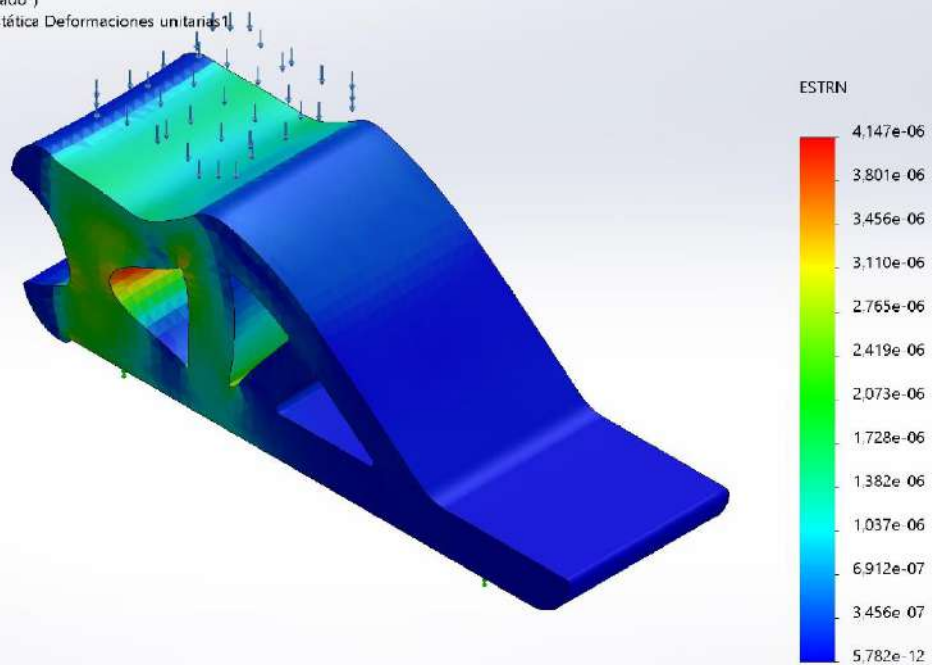
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 109.571



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5,782e-12 Elemento: 8263	4,147e-06 Elemento: 8203

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) A3(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 109.571

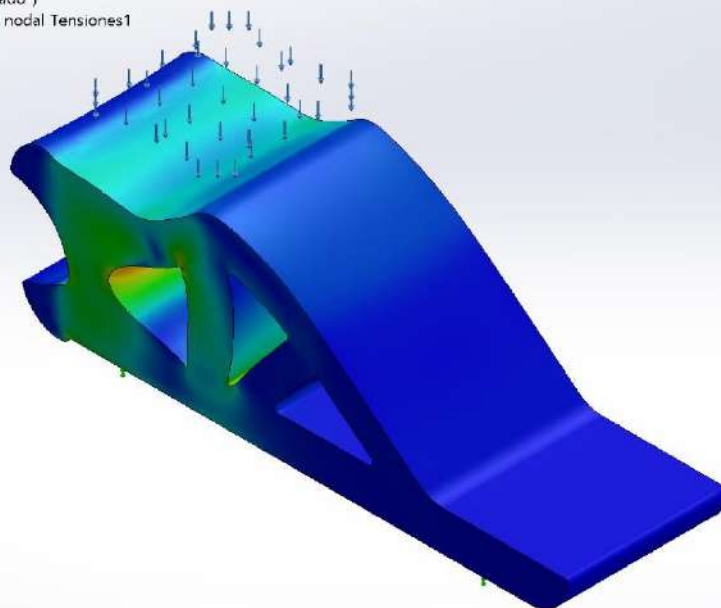


Prótesis_5 (2)-P5(2)-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

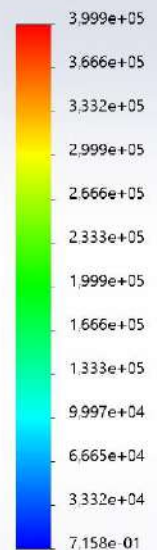


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,158e-01 N/m ² Nodo: 74960	3,999e+05 N/m ² Nodo: 64364

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A3(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 109,571



von Mises (N/m²)

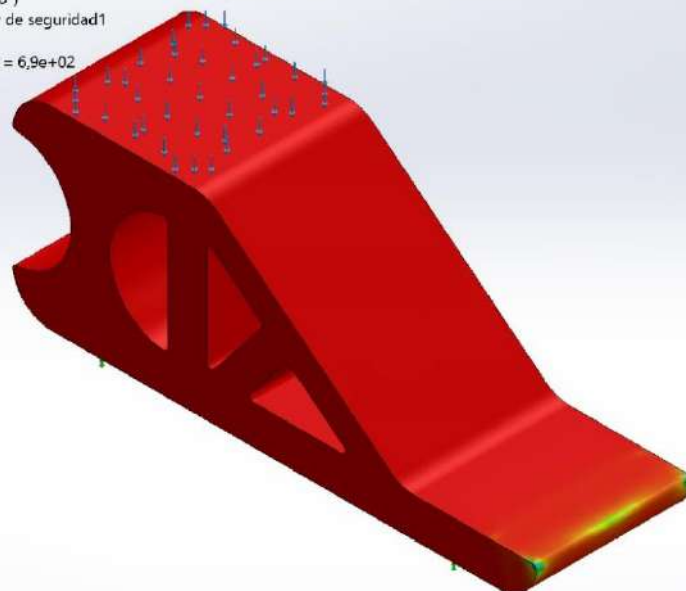


→ Límite elástico: 2.750e+08

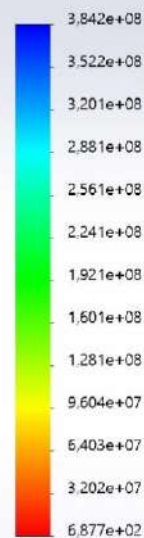
Prótesis_5 (2)-P5(2)-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	6,877e+02 Nodo: 64364	3,842e+08 Nodo: 74960

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A3(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6,9e+02



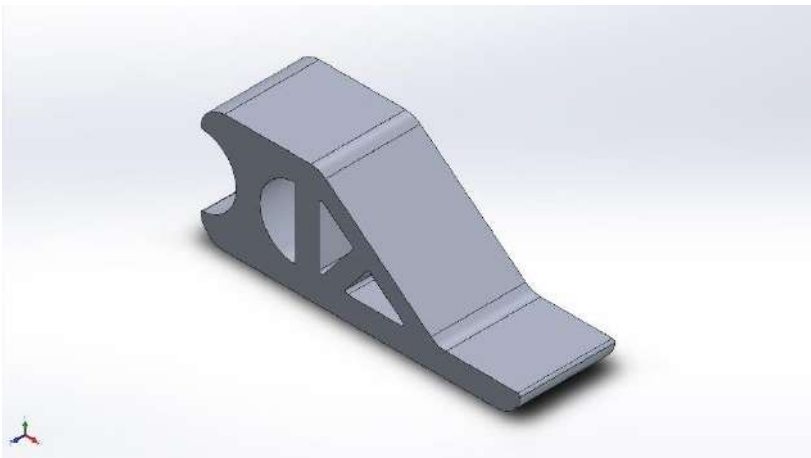
FDS



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: jueves, 9 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(2)-A4

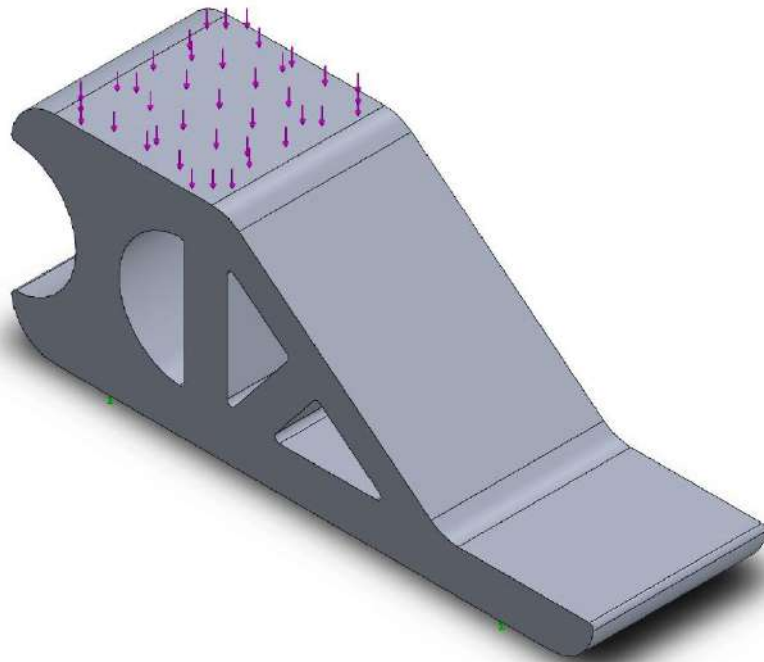
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Prótesis_5 (2) 	Sólido	Masa:2,85959 kg Volumen:0,00101765 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:28,024 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019



Propiedades de estudio

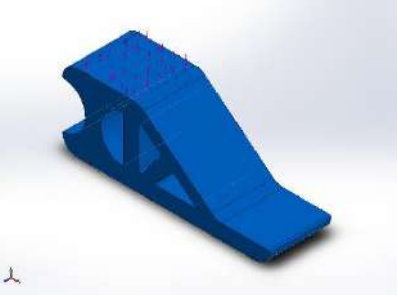
Nombre de estudio	P5(2)-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

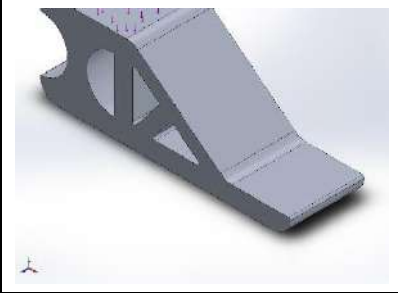


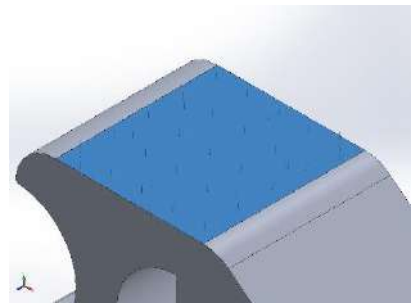
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo cortante: 2,69e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2))</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00276557	613,142	0,00791017	613,142
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



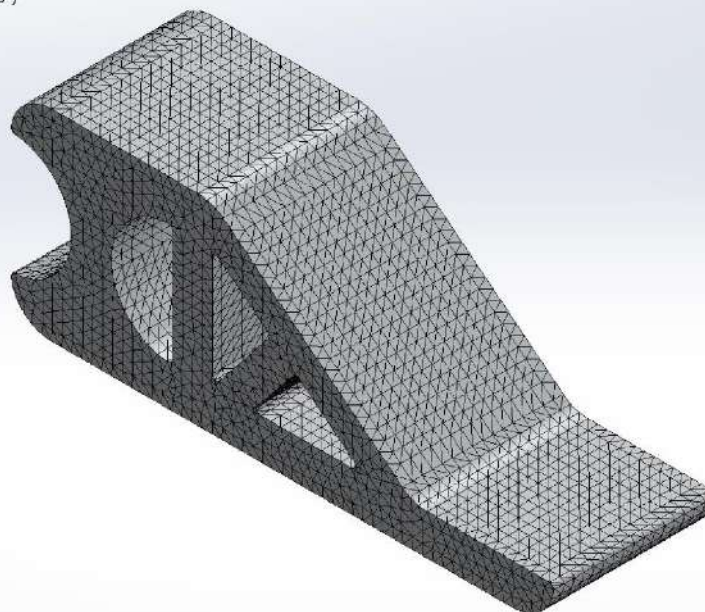
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,03039 mm
Tolerancia	0,25152 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	84723
Número total de elementos	56451
Cociente máximo de aspecto	9,3894
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) -A4(-Predeterminado-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

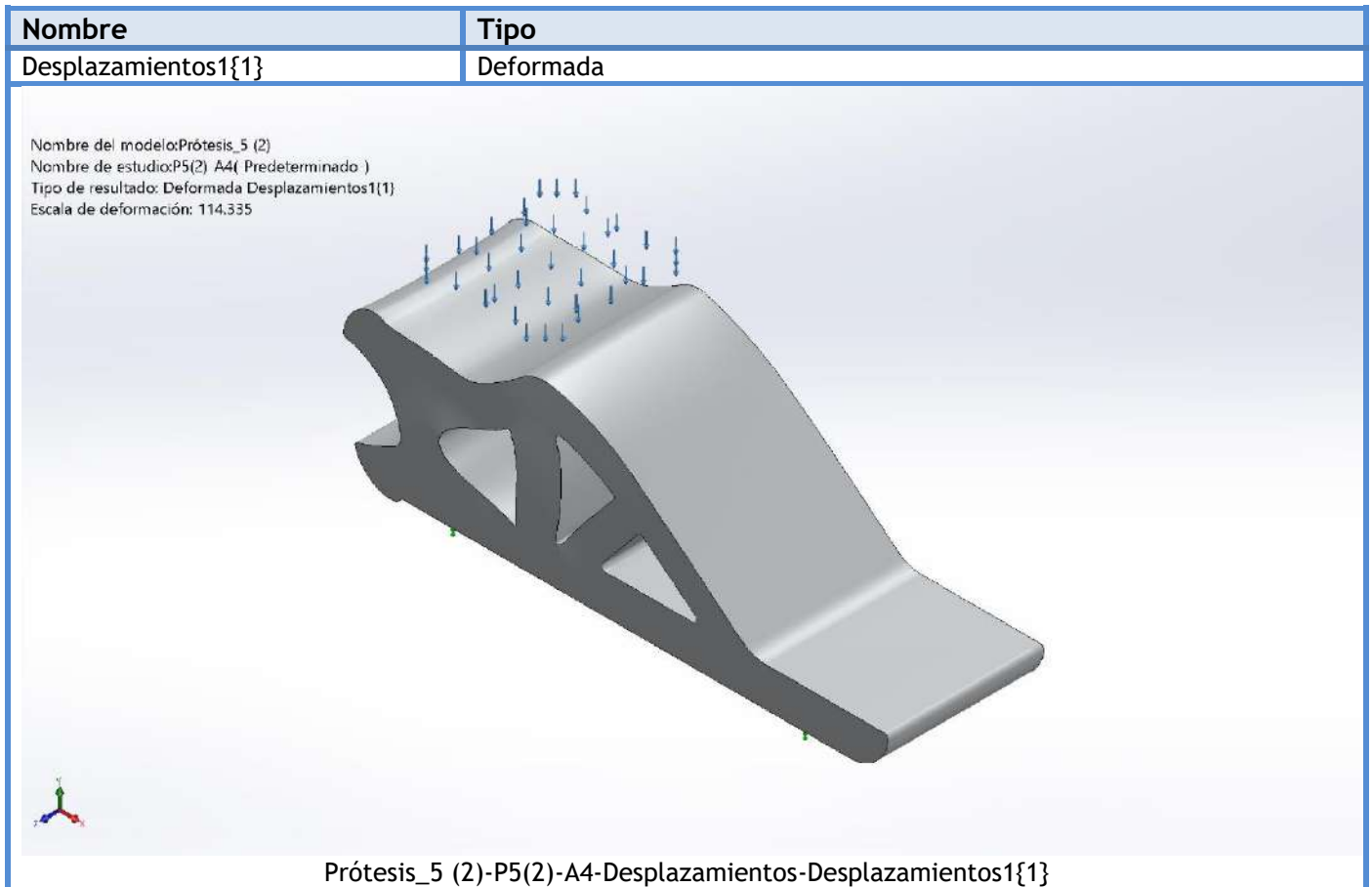
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00276557	613,142	0,00791017	613,142

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



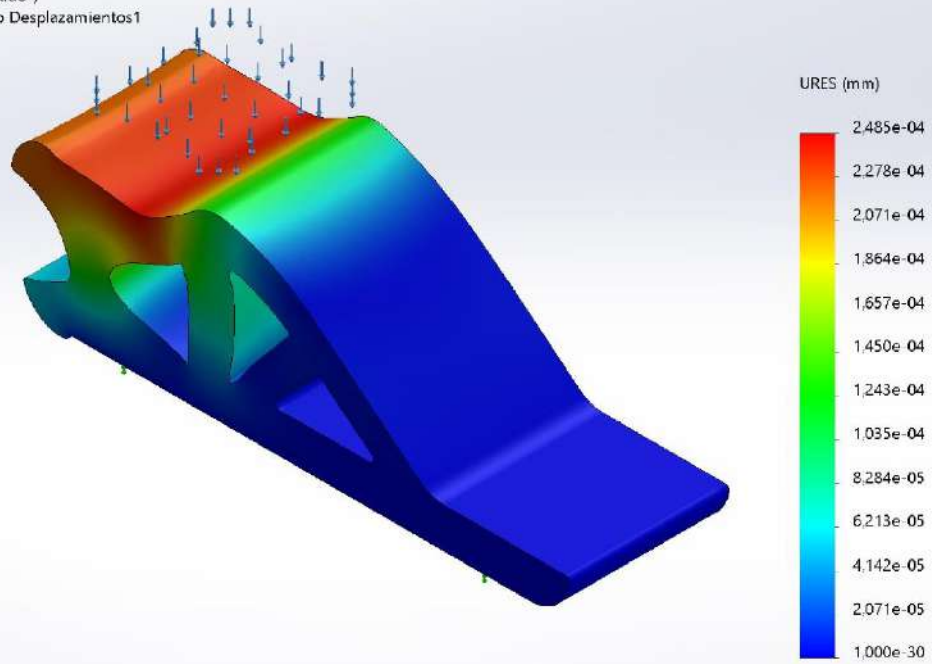
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1526	2,485e-04 mm Nodo: 644



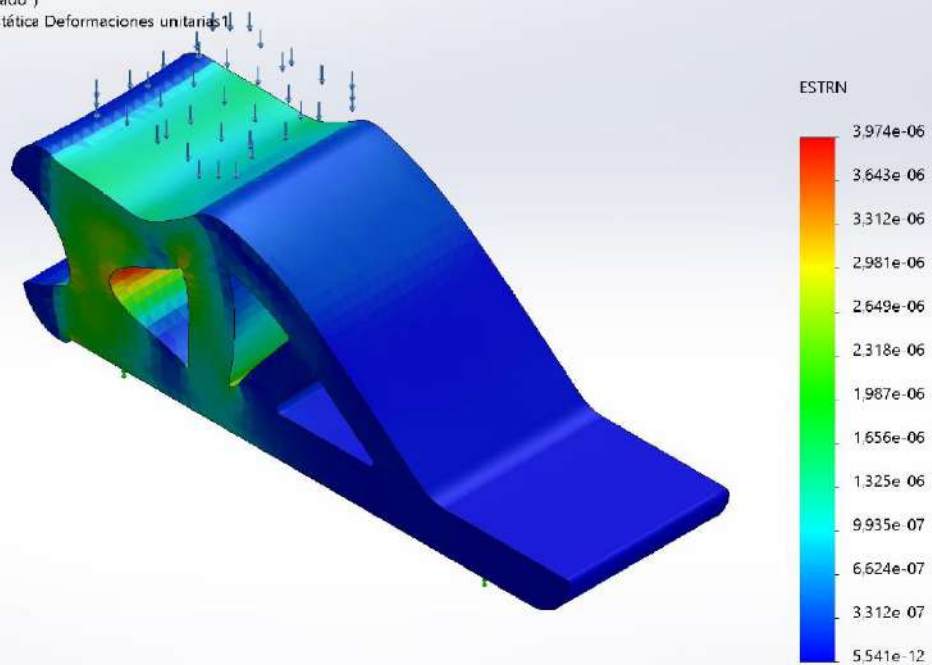
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 114.335



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	5,541e-12 Elemento: 8263	3,974e-06 Elemento: 8203

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) A4(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 114.335

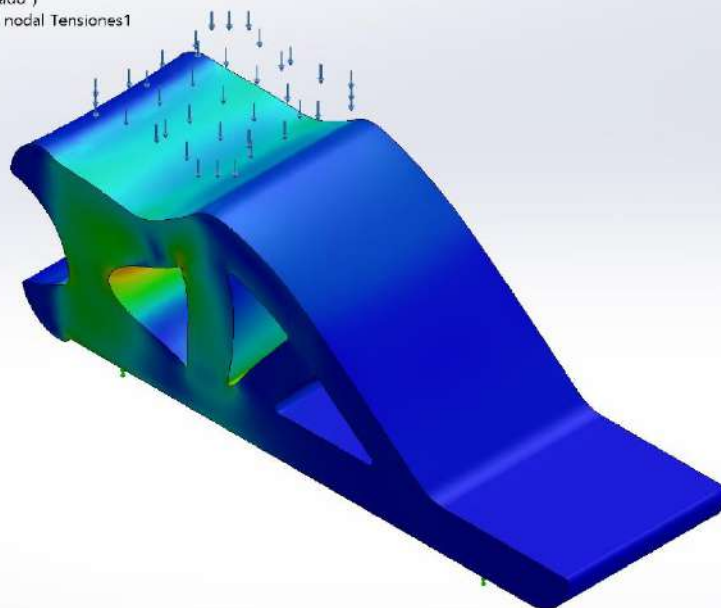


Prótesis_5 (2)-P5(2)-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

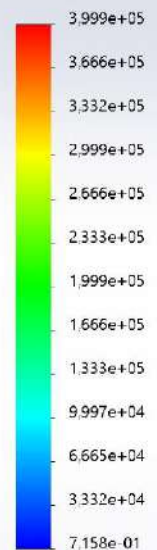


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,158e-01 N/m ² Nodo: 74960	3,999e+05 N/m ² Nodo: 64364

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A4(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 114,335



von Mises (N/m²)

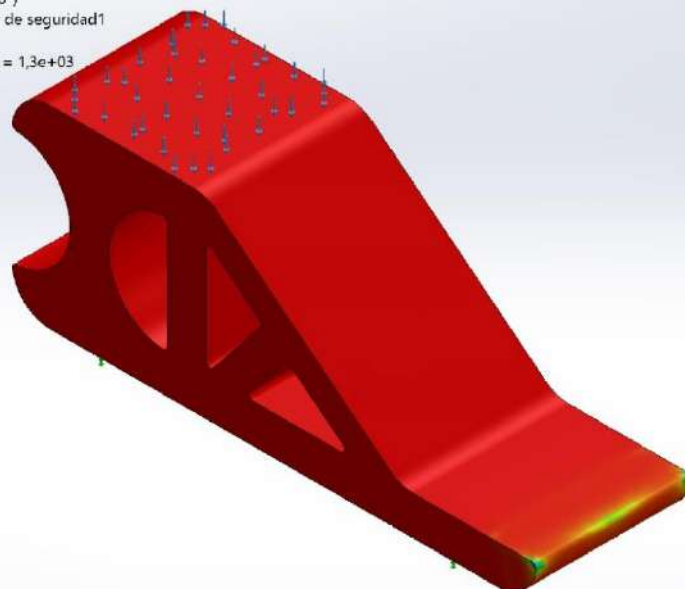


→ Límite elástico: 5.050e+08

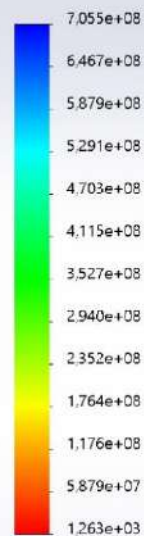
Prótesis_5 (2)-P5(2)-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,263e+03 Nodo: 64364	7,055e+08 Nodo: 74960

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A4(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,3e+03



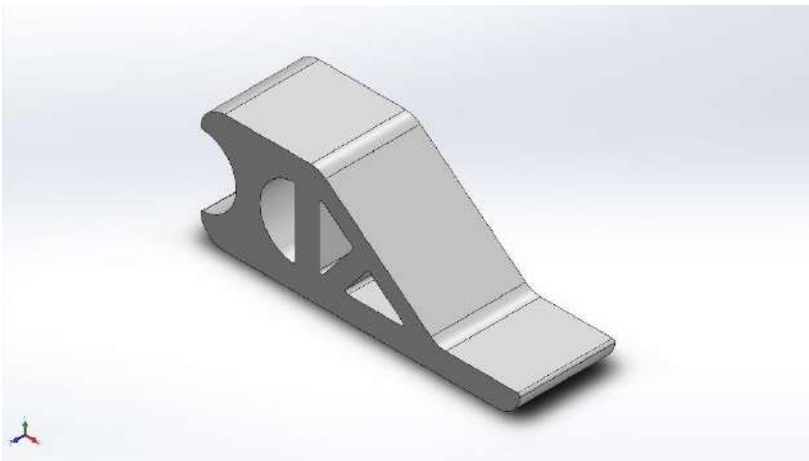
FDS



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: jueves, 9 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(2)-A5

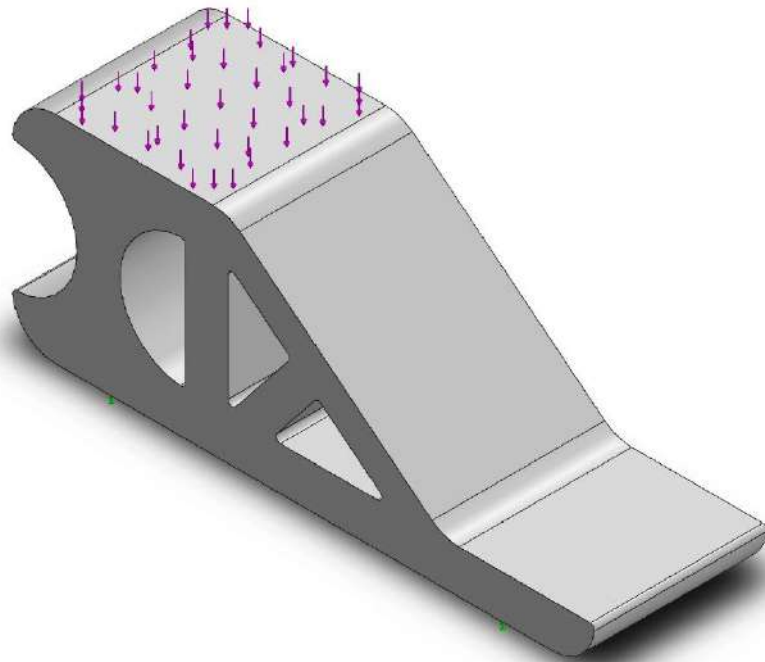
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8




Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_5 (2)</p> 	Sólido	<p>Masa: 1,06853 kg Volumen: 0,00101765 m³ Densidad: 1.050 kg/m³ Peso: 10,4716 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>



Propiedades de estudio

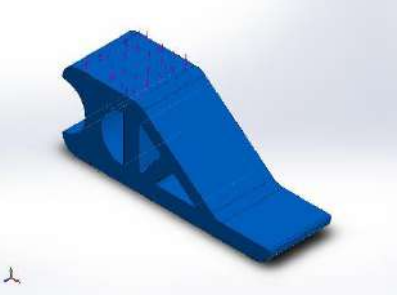
Nombre de estudio	P5(2)-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

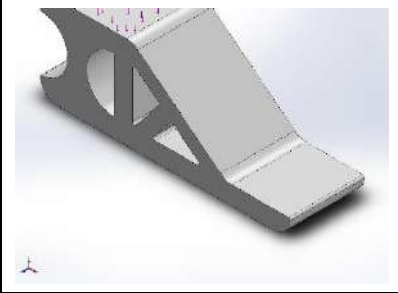


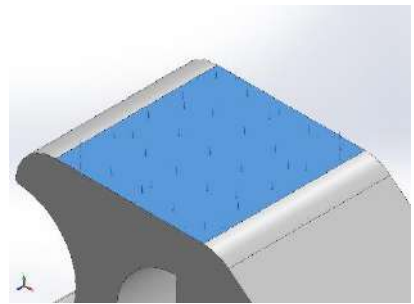
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: ABS Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 3,2e+07 N/m² Límite de tracción: 4,3e+07 N/m² Límite de compresión: 4,6e+07 N/m² Módulo elástico: 2,3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,394 Densidad: 1.050 kg/m³ Módulo cortante: 3,189e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00138208	613,125	0,010982	613,125
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



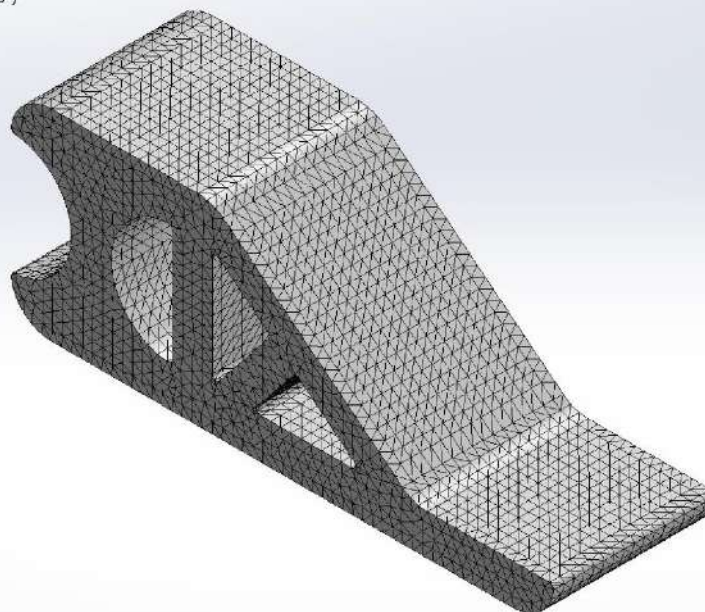
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,03039 mm
Tolerancia	0,25152 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	84723
Número total de elementos	56451
Cociente máximo de aspecto	9,3894
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) -A5(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

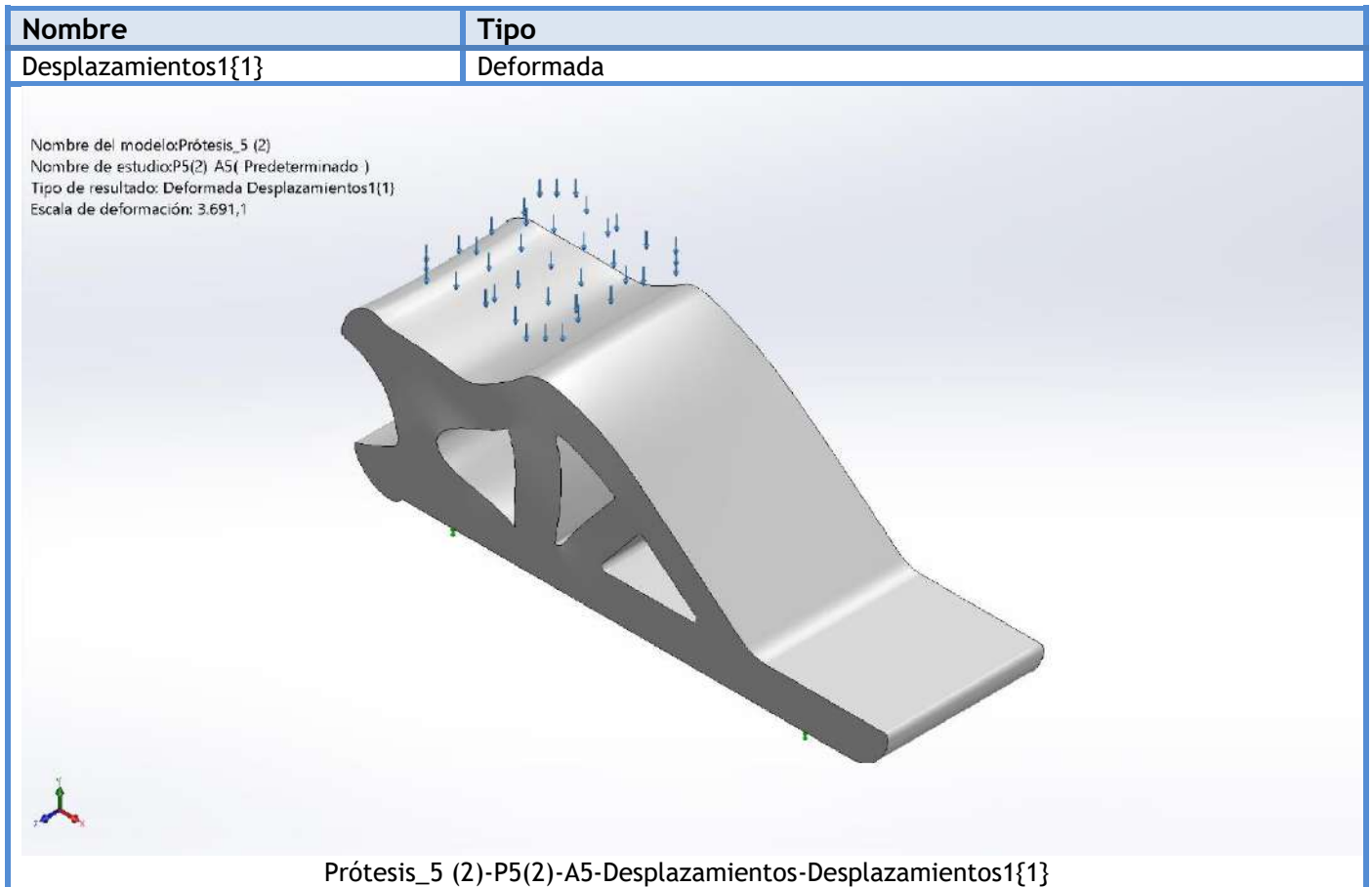
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00138208	613,125	0,010982	613,125

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



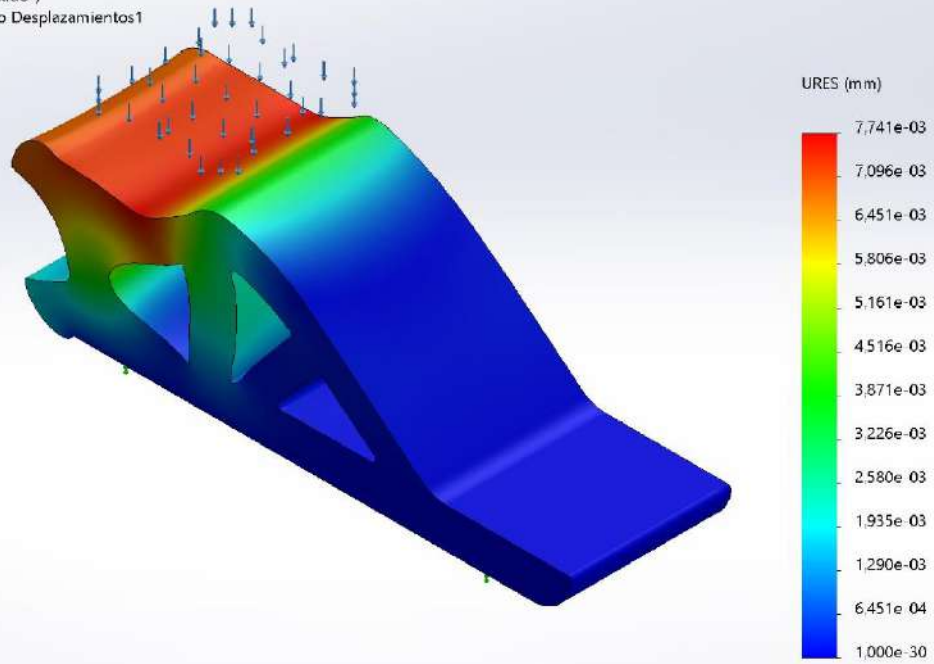
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1526	7,741e-03 mm Nodo: 678



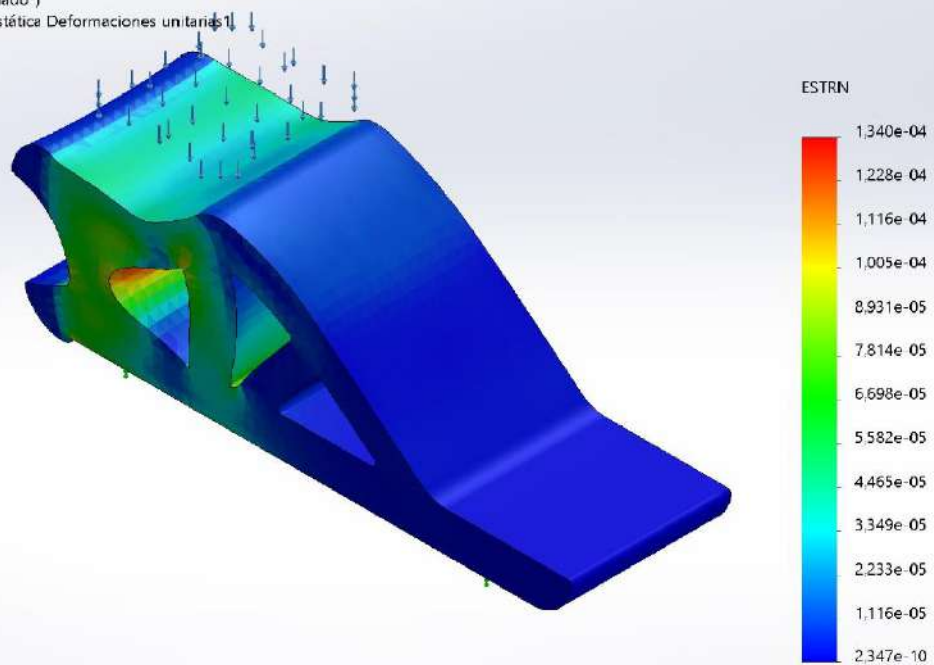
Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio:P5(2) A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 3.691,1



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,347e-10 Elemento: 6752	1,340e-04 Elemento: 8203

Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio:P5(2) A5(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 3.691,1

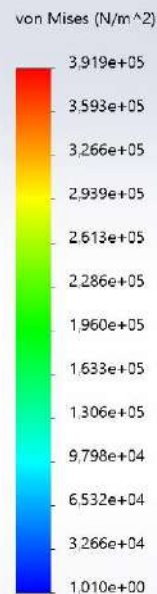
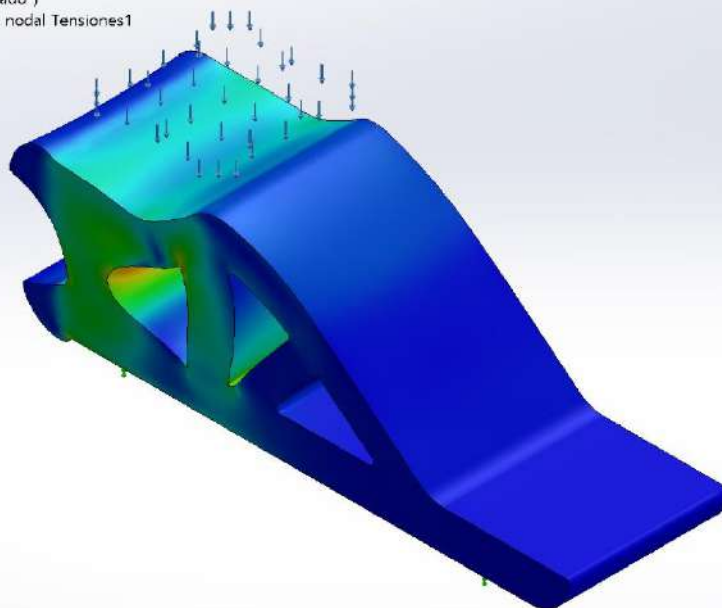


Prótesis_5 (2)-P5(2)-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,010e+00 N/m ² Nodo: 74960	3,919e+05 N/m ² Nodo: 67672

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A5(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 3.691,1

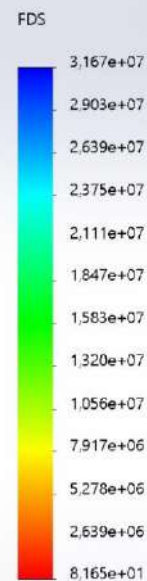
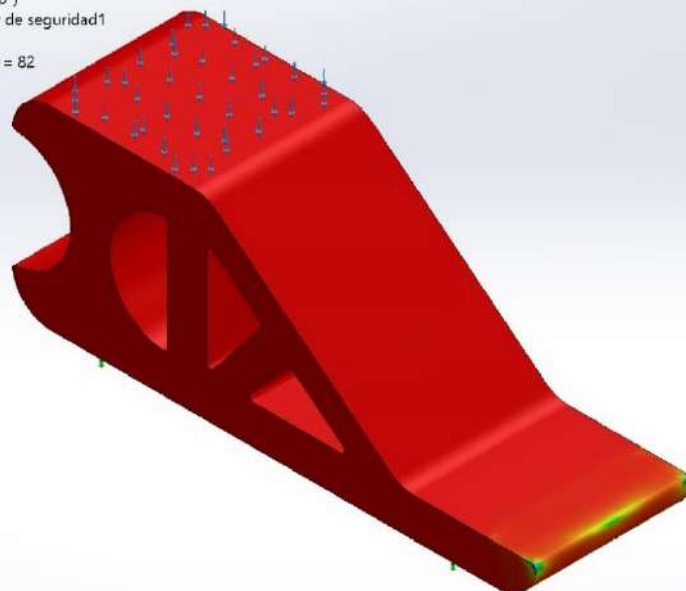


→ Límite elástico: 3.200e+07

Prótesis_5 (2)-P5(2)-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	8,165e+01 Nodo: 67672	3,167e+07 Nodo: 74960

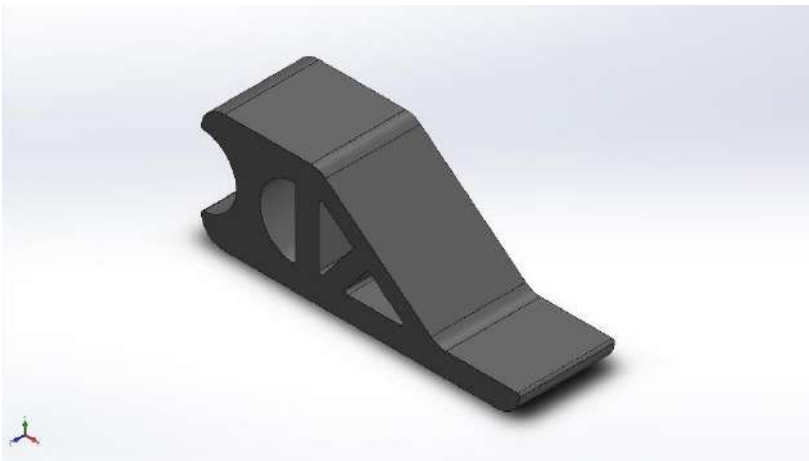
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2) A5(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 82



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

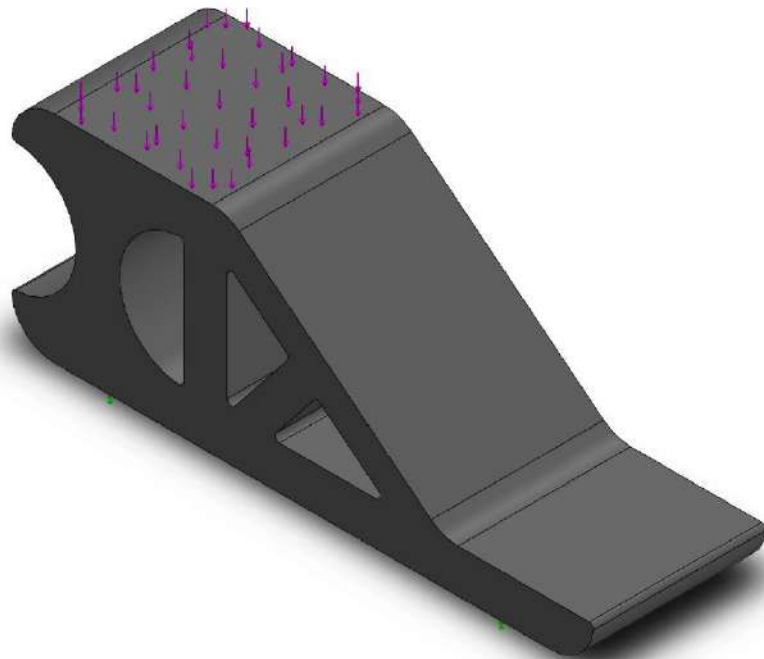
Fecha: sábado, 18 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(2)-A6
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

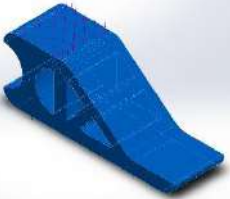


Información de modelo



Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
<p>Prótesis_5 (2)</p> 	Sólido	<p>Masa: 1,16012 kg Volumen: 0,00101765 m³ Densidad: 1.140 kg/m³ Peso: 11,3691 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>



Propiedades de estudio

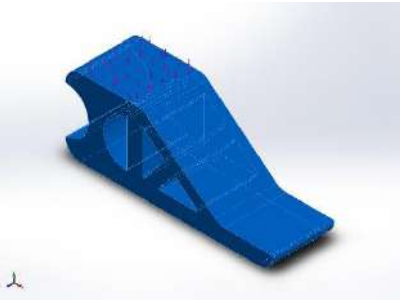
Nombre de estudio	P5(2)-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

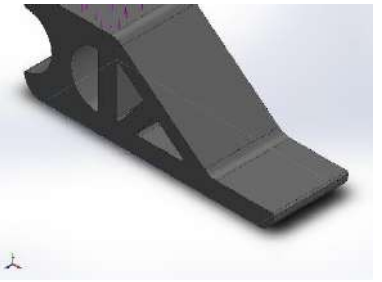


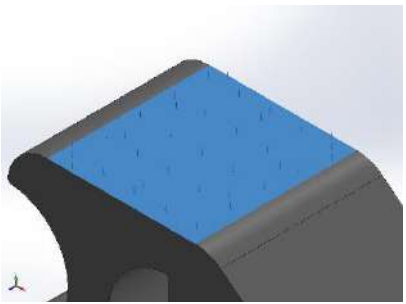
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: PA Tipo 6 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 7,8e+07 N/m² Límite de tracción: 8e+07 N/m² Límite de compresión: 6,3e+07 N/m² Módulo elástico: 3e+09 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,4 Densidad: 1.140 kg/m³ Módulo cortante: 9,704e+08 N/m² </p>	<p>Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2))</p>
<p>Datos de curva:N/A</p>		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-0,00594518	613,142	0,0021157	613,142
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



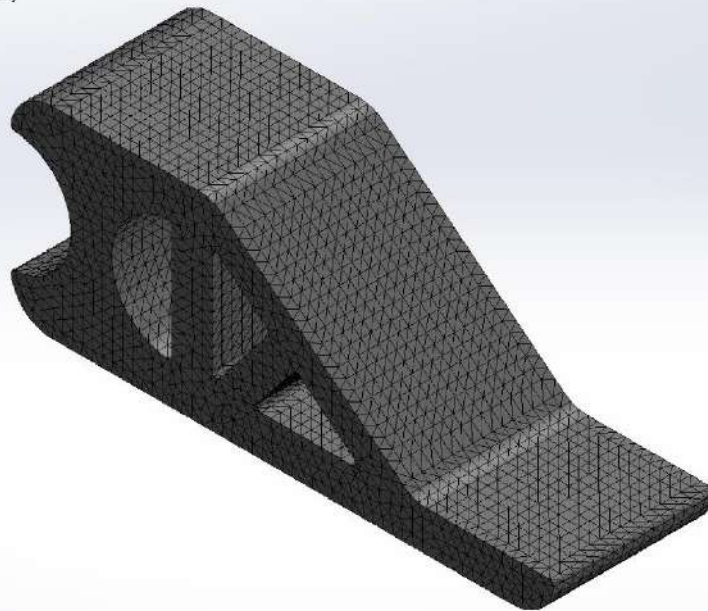
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,03039 mm
Tolerancia	0,25152 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	84723
Número total de elementos	56451
Cociente máximo de aspecto	9,3894
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)-A6(-Predeterminado-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

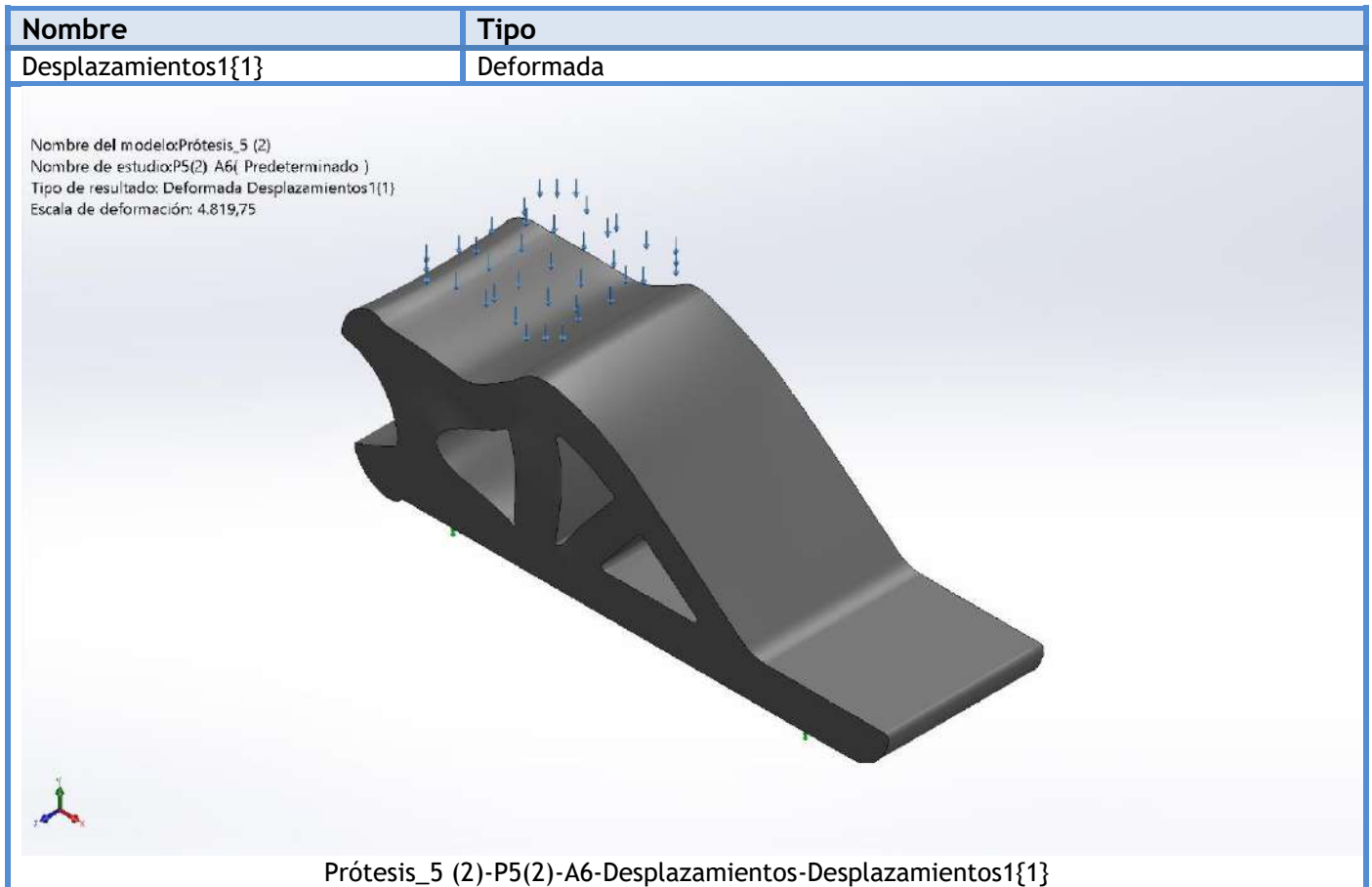
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,00594518	613,142	0,0021157	613,142

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0

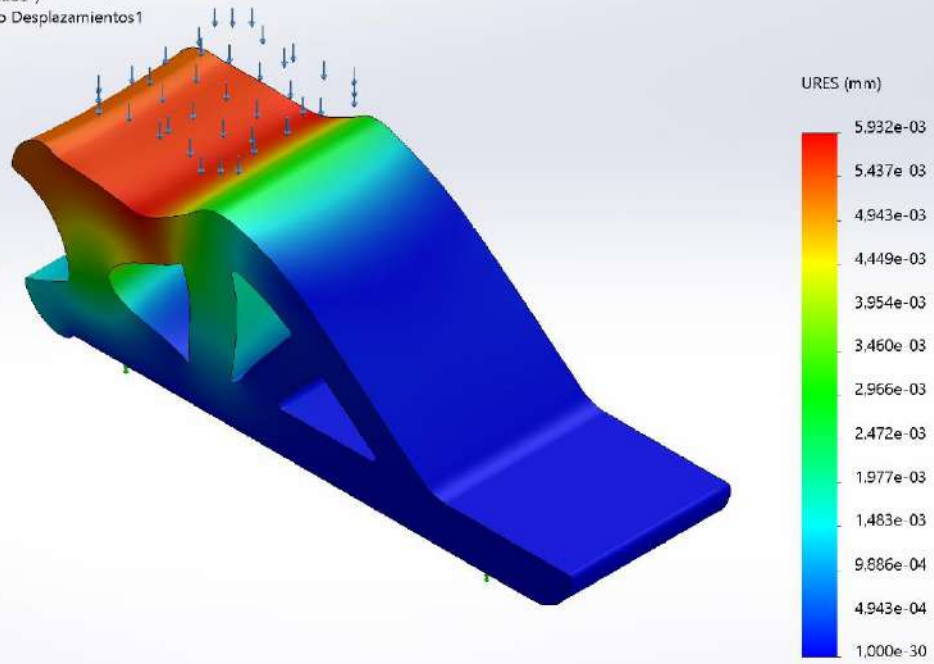


Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 1526	5,932e-03 mm Nodo: 678

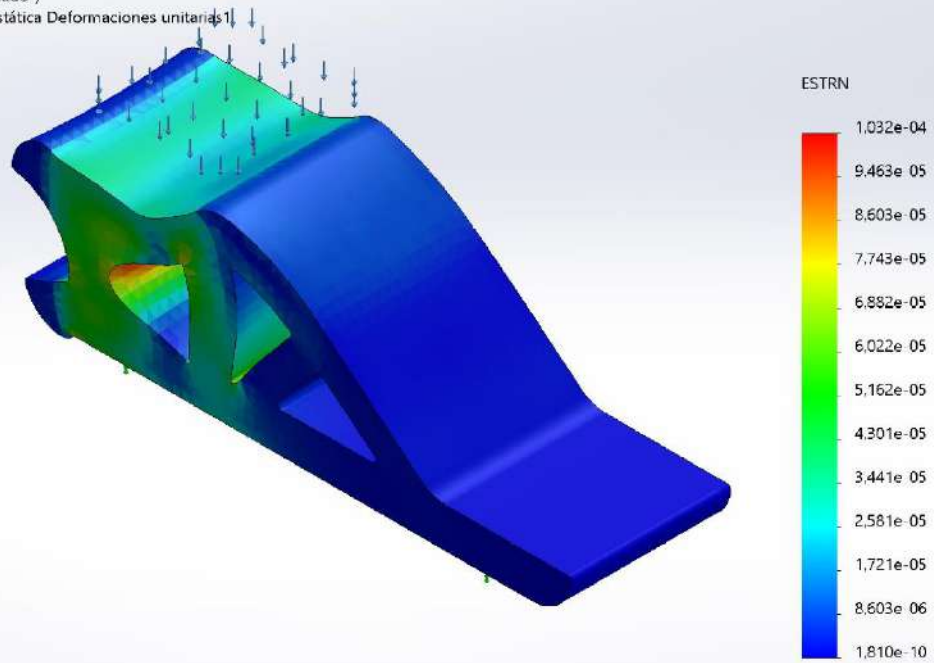
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) A6(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 4.819,75



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,810e-10 Elemento: 6752	1,032e-04 Elemento: 8203

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2) A6(Predeterminado)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 4.819,75

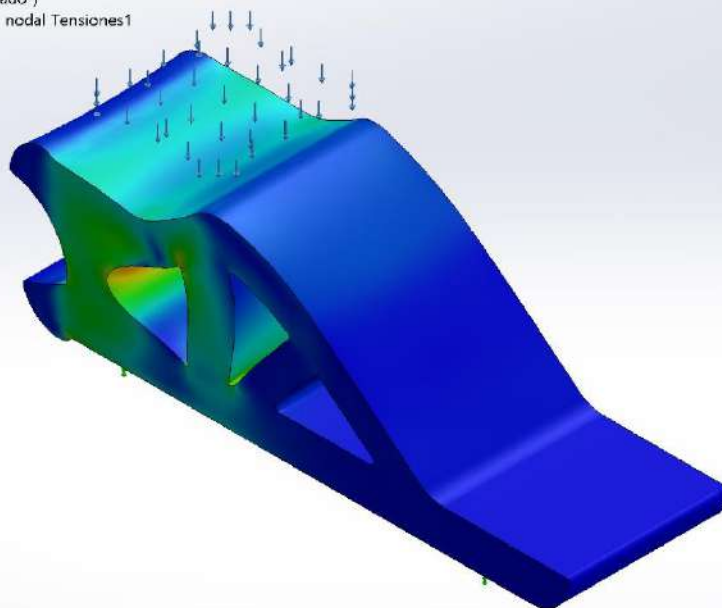


Prótesis_5 (2)-P5(2)-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	1,034e+00 N/m ² Nodo: 74960	3,913e+05 N/m ² Nodo: 67672

Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio:P5(2) A6(Predeterminado)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 4.819,75



von Mises (N/m²)

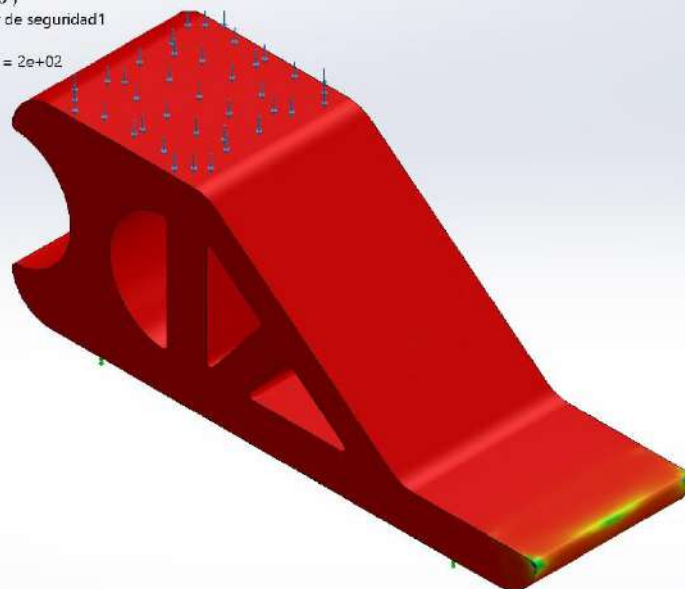


Limite elástico: 7.800e+07

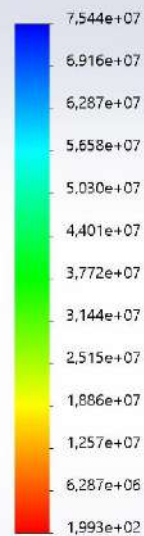
Prótesis_5 (2)-P5(2)-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,993e+02 Nodo: 67672	7,544e+07 Nodo: 74960

Nombre del modelo:Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio:P5(2) A6(Predeterminado)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2e+02



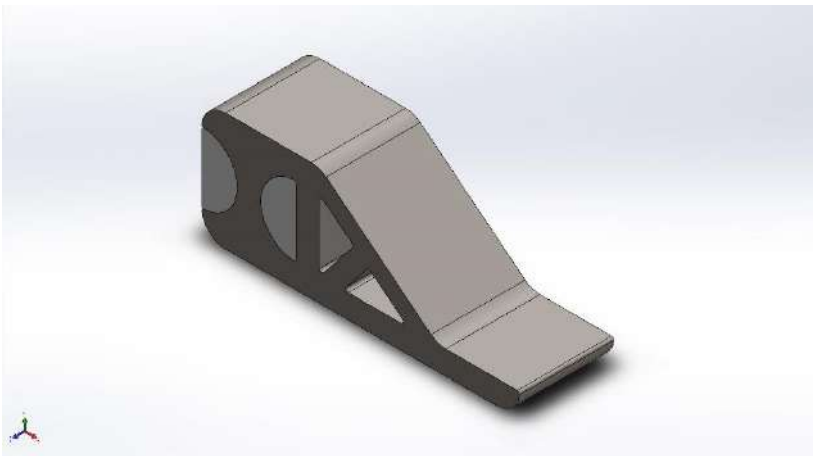
FDS



Prótesis_5 (2)-P5(2)-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

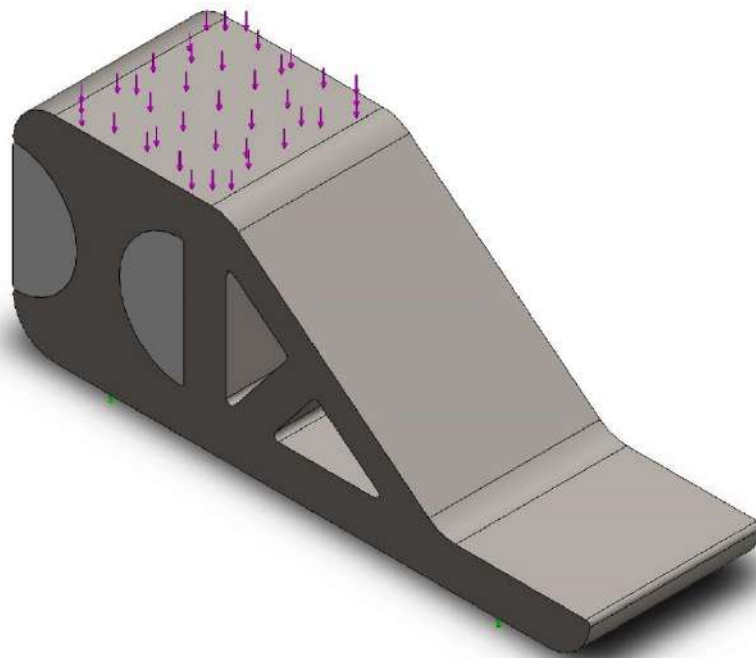
Fecha: domingo, 12 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

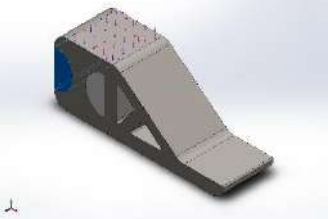
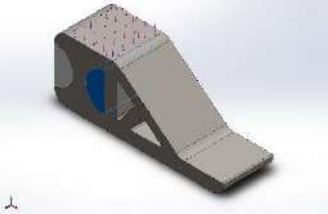


Información de modelo




Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020



<p>Prótesis_5 (2)</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:7,83588 kg Volumen:0,00101765 m³ Densidad:7.700 kg/m³ Peso:76,7916 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Propiedades de estudio

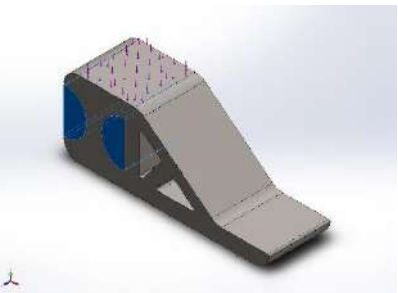
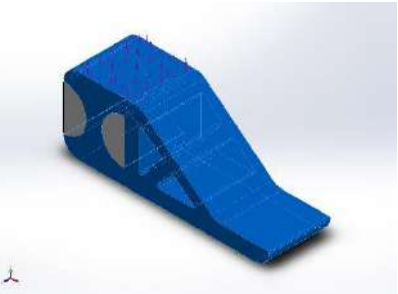
Nombre de estudio	P5(2)(2)-A1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

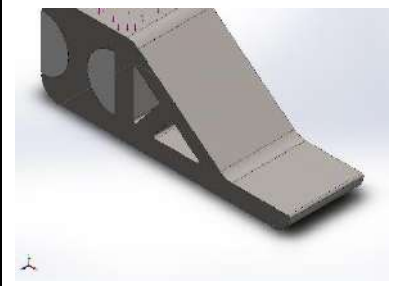


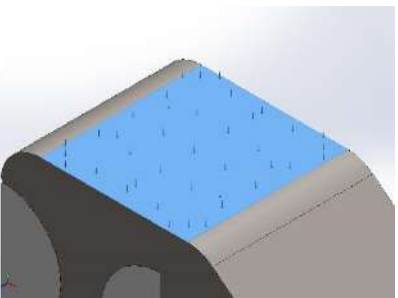
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: SBR</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,4e+06 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+06 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,56e+06 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,49</p> <p>Densidad: 1.600 kg/m³</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-1),</p> <p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Acero aleado (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 6,20422e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 7,23826e+08 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,1e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,28</p> <p>Densidad: 7.700 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 7,9e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 1,3e-05 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000686338	613,124	-0,000977698	613,124
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



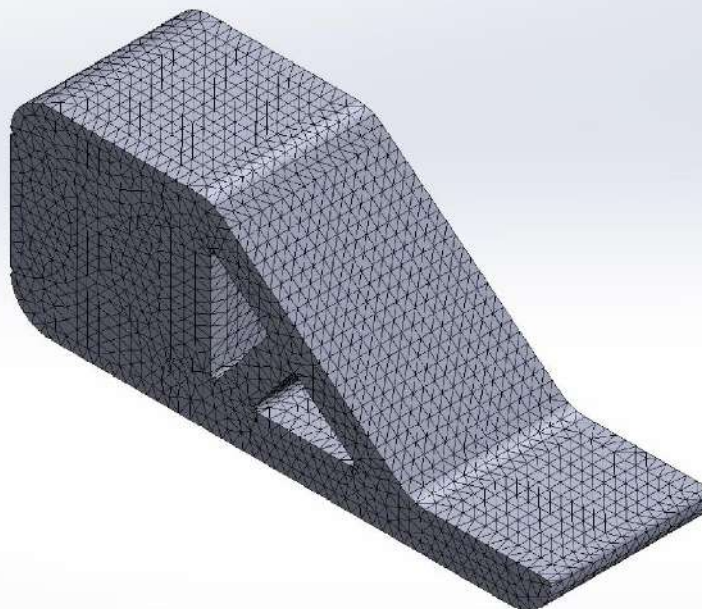
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37798 mm
Tolerancia	0,268899 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	80169
Número total de elementos	54460
Cociente máximo de aspecto	12,914
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00184
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A1(-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

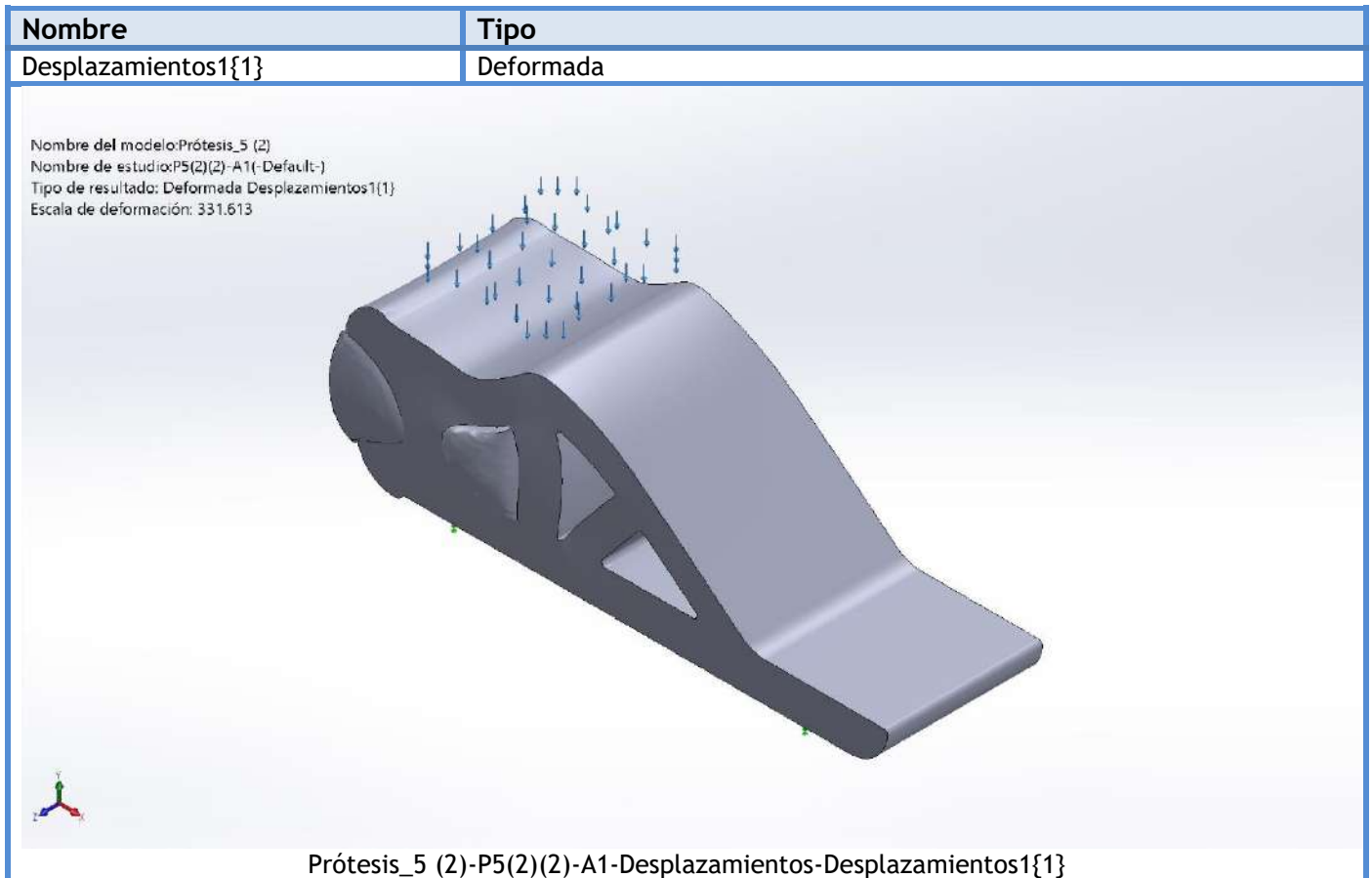
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000686338	613,124	-0,000977698	613,124

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



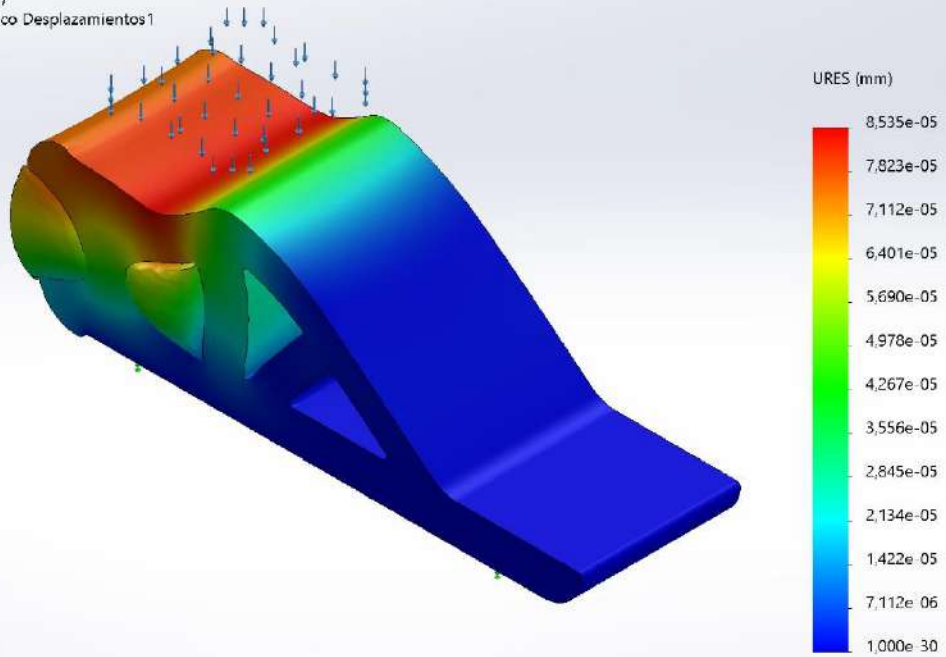
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 15303	8,535e-05 mm Nodo: 77049



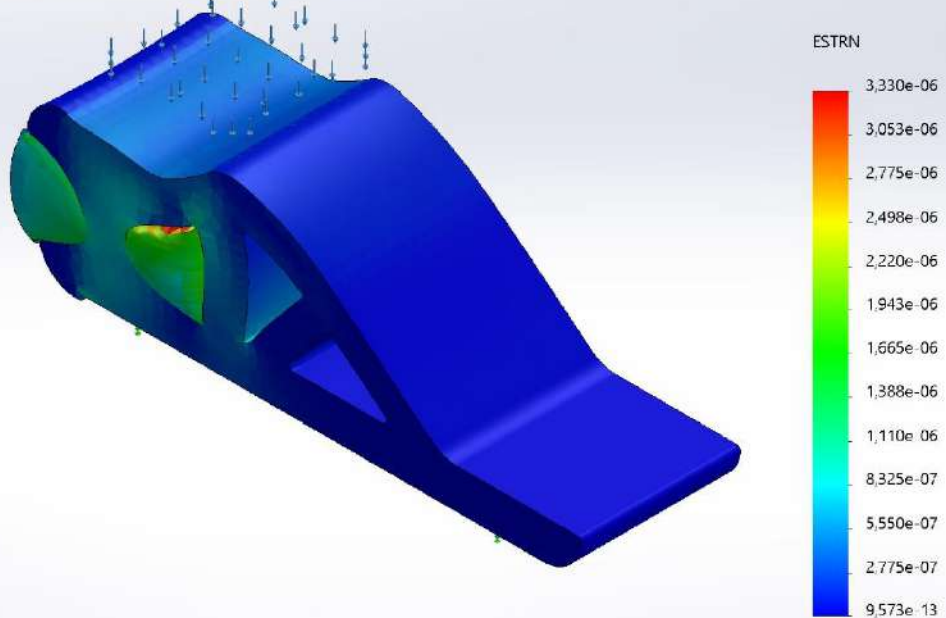
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A1(-Default-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 331.613



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	9,573e-13 Elemento: 17120	3,330e-06 Elemento: 6897

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A1(-Default-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 331.613

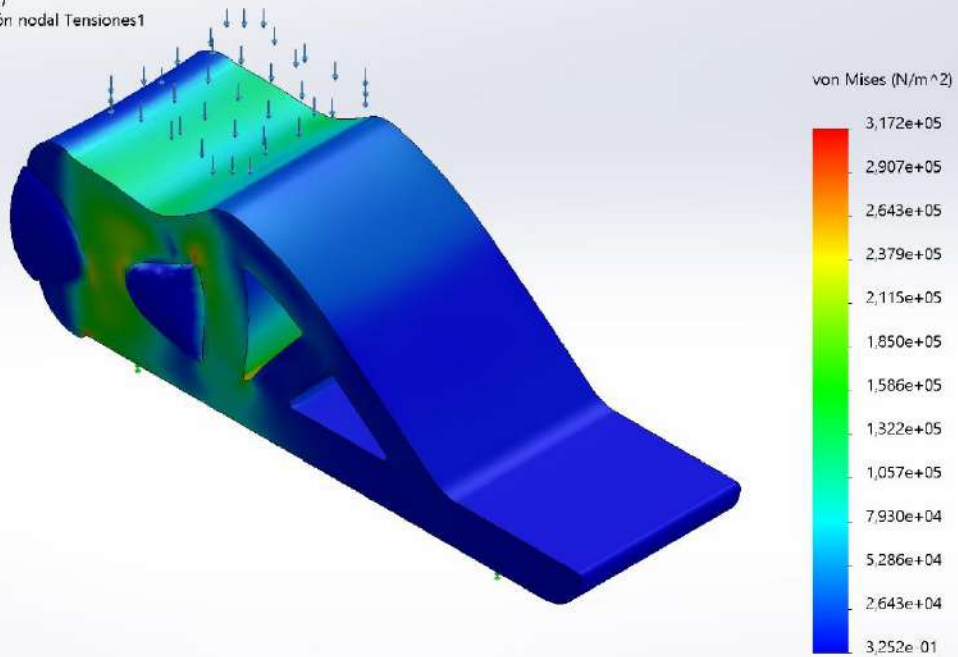


Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A1-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	3,252e-01 N/m ² Nodo: 72775	3,172e+05 N/m ² Nodo: 63846

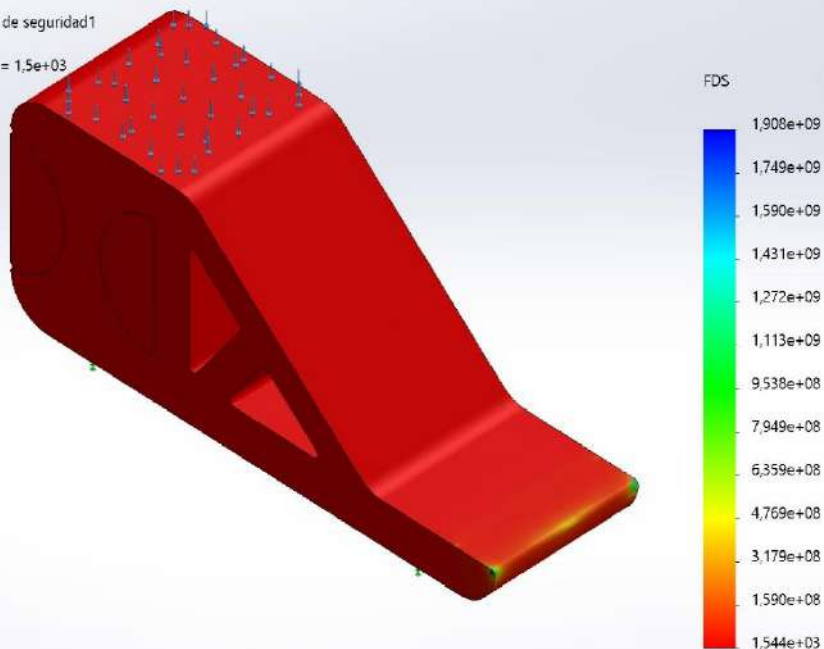
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A1(-Default-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 331.613



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A1-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,544e+03 Nodo: 12566	1,908e+09 Nodo: 72775

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A1(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,5e+03



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(2)(2)-A2

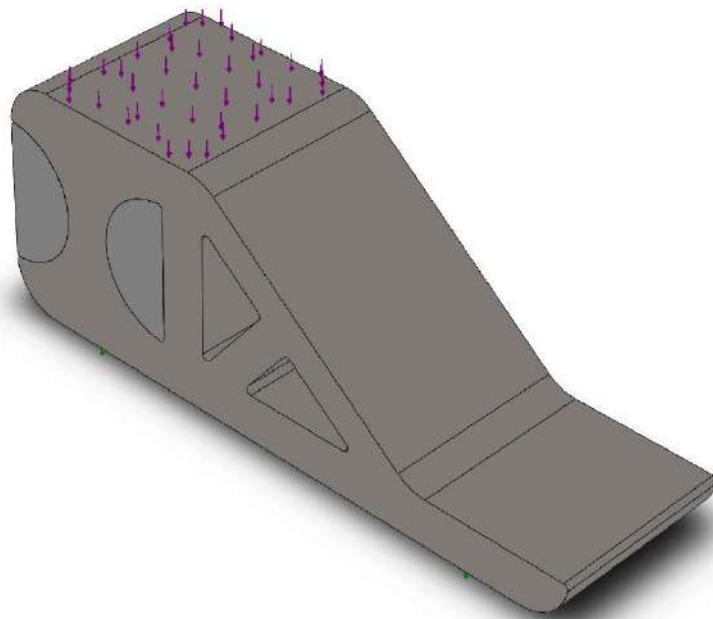
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

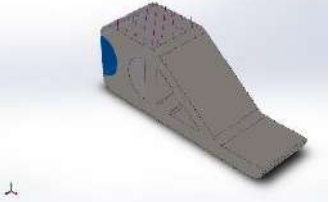
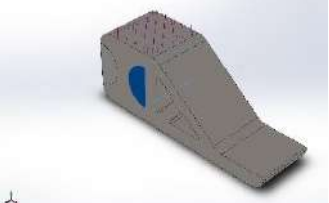


Información de modelo




Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020



<p>Prótesis_5 (2)</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:4,73206 kg Volumen:0,00101765 m³ Densidad:4.650 kg/m³ Peso:46,3742 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Propiedades de estudio

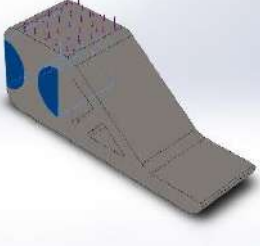
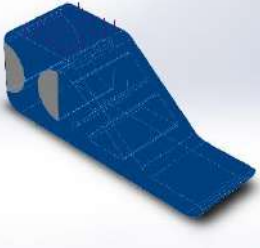
Nombre de estudio	P5(2)(2)-A2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

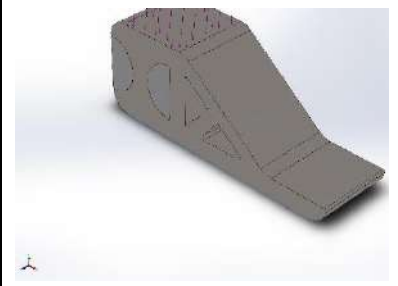


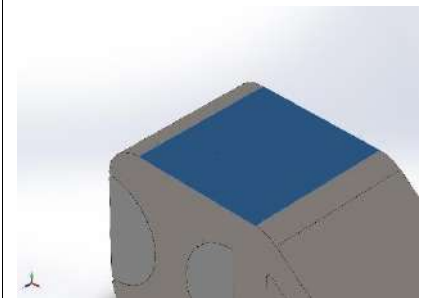
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: SBR</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,4e+06 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+06 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,56e+06 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,49</p> <p>Densidad: 1.600 kg/m³</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-1),</p> <p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: Ti-6Al-2Sn-2Zr-2Mo-2Cr-0.25Si (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,07e+09 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 1,16e+09 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 1,17e+09 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,23e+11 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 4.650 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 4,6e+10 N/m²</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: 9e-06 /Kelvin</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000643356	613,125	0,000843082	613,125
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



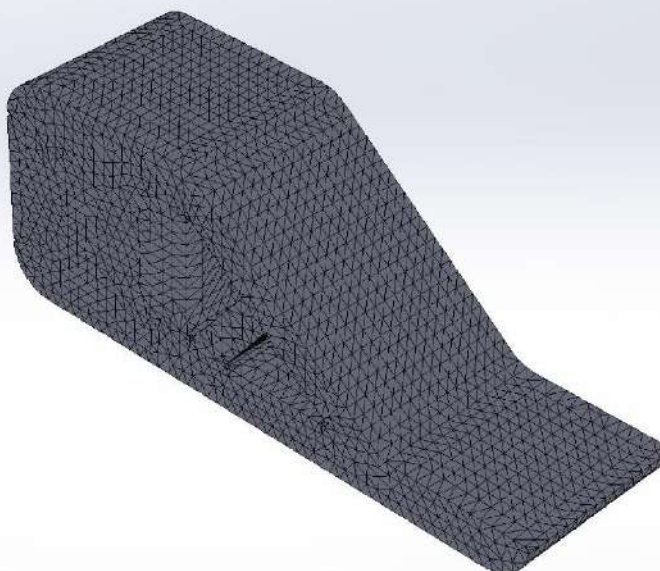
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37798 mm
Tolerancia	0,268899 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	80169
Número total de elementos	54460
Cociente máximo de aspecto	12,914
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00184
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A2(-Default-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

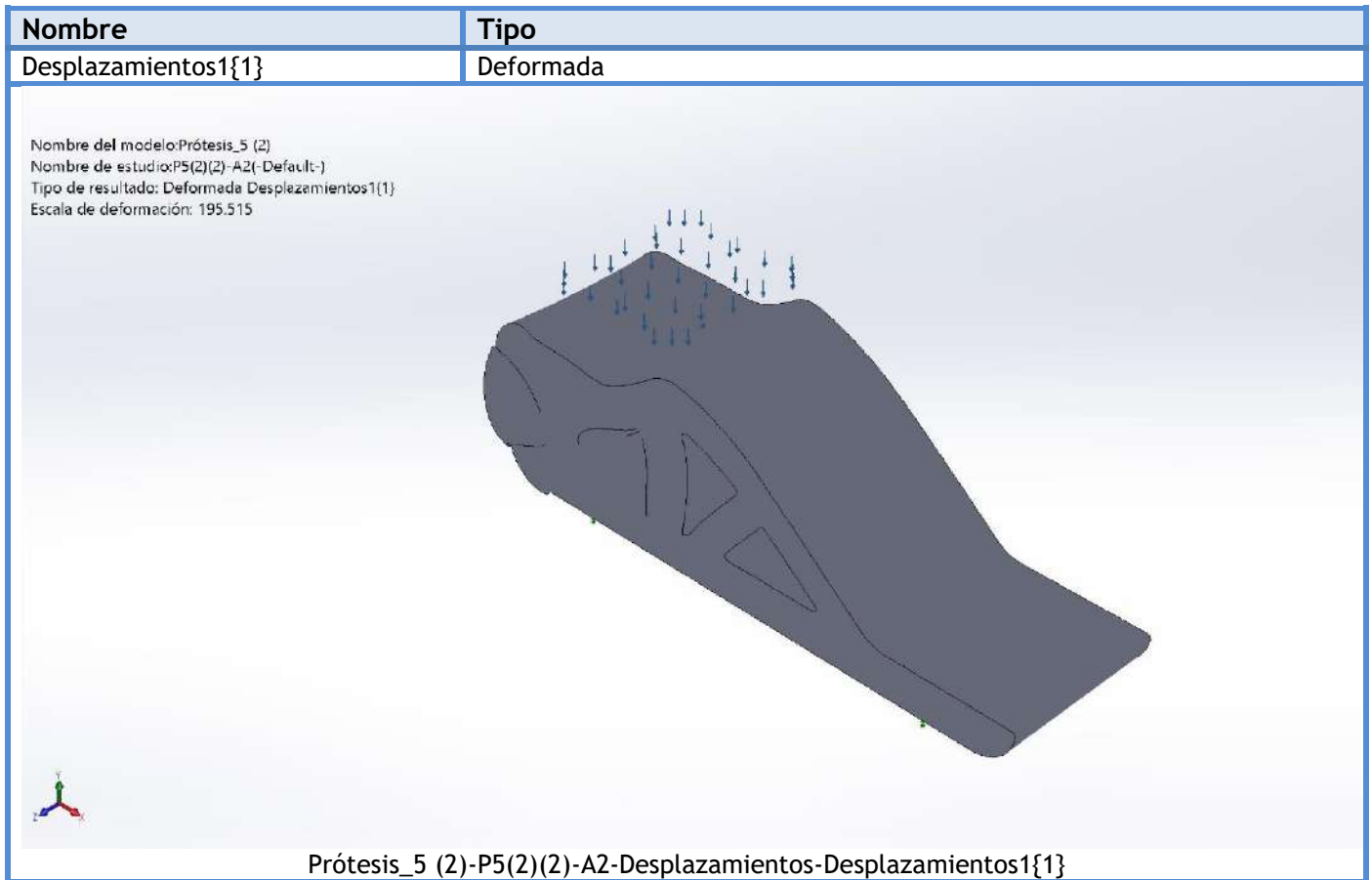
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000643356	613,125	0,000843082	613,125

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



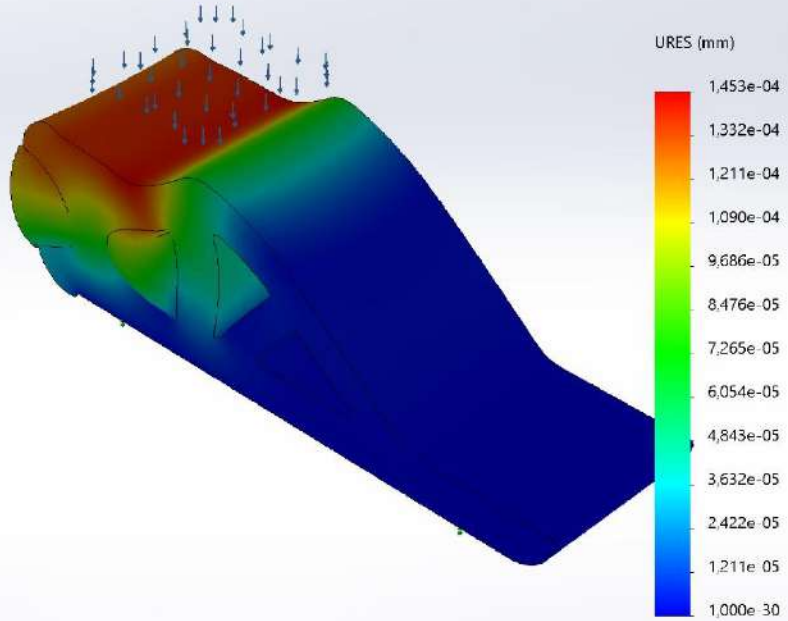
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 15303	1,453e-04 mm Nodo: 77049



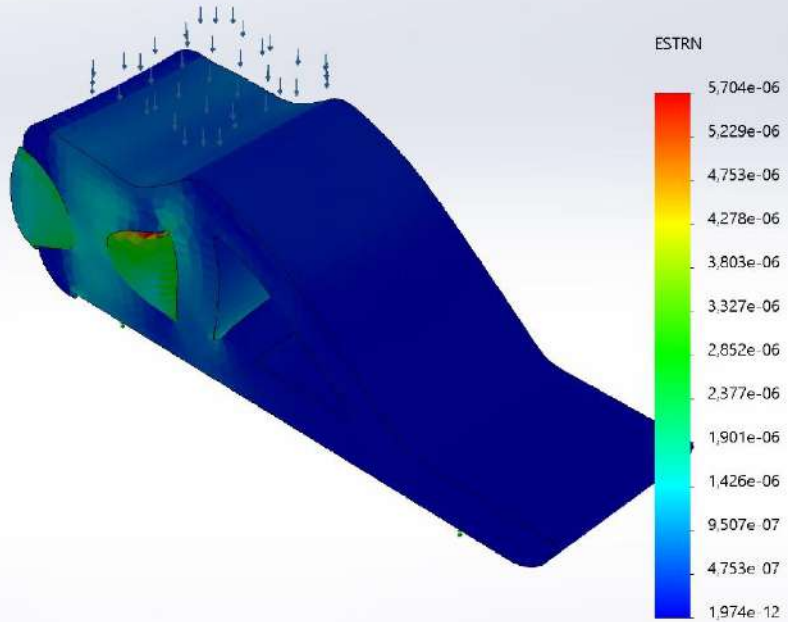
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A2(-Default-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 195.515



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,974e-12 Elemento: 17120	5,704e-06 Elemento: 6897

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A2(-Default-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 195.515

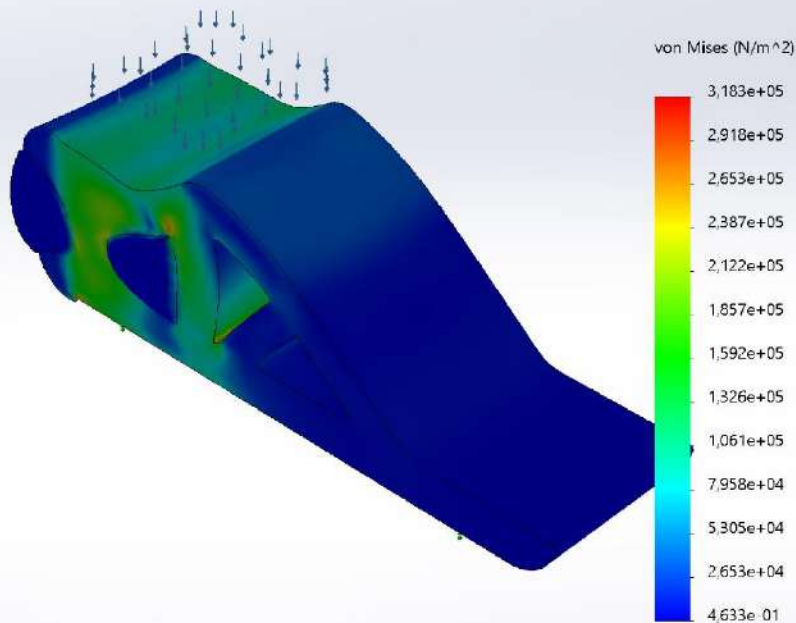


Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A2-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4,633e-01 N/m ² Nodo: 72775	3,183e+05 N/m ² Nodo: 63846

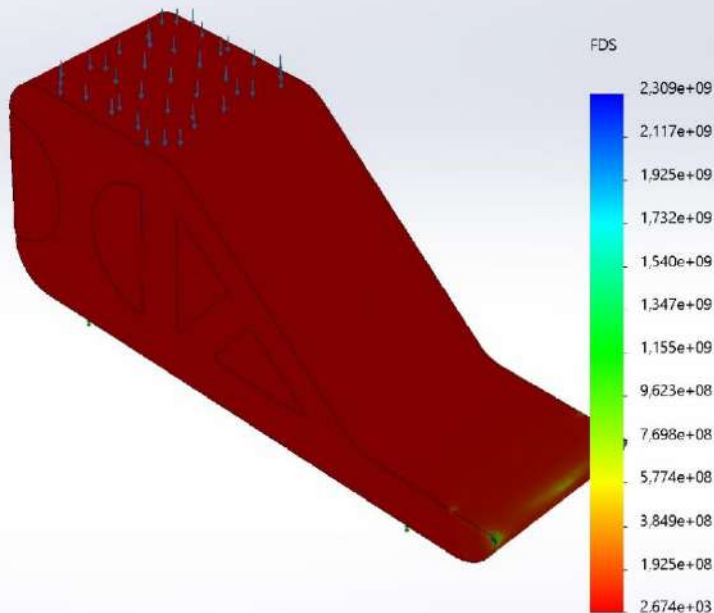
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A2(-Default-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 195.515



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A2-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	2,674e+03 Nodo: 12566	2,309e+09 Nodo: 72775

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A2(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,7e+03



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(2)(2)-A3

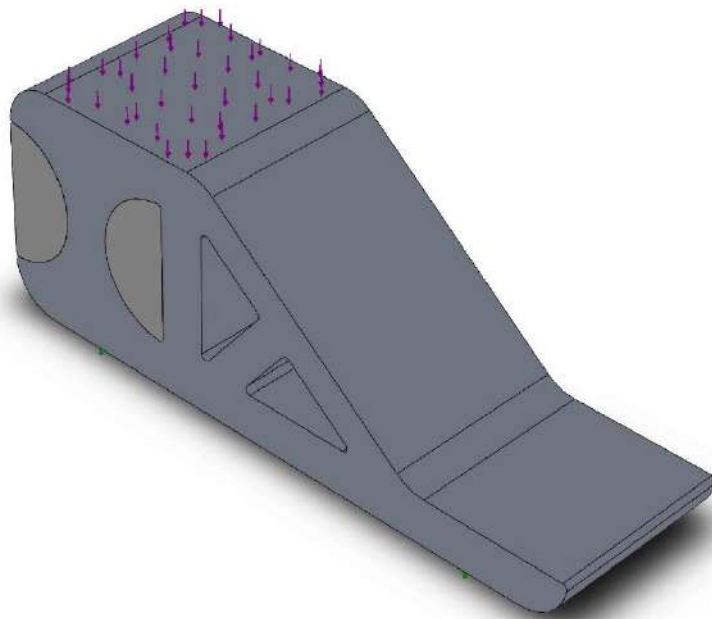
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

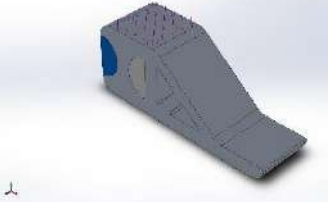
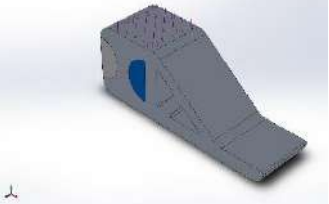


Información de modelo




Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020



<p>Prótesis_5 (2)</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2,74765 kg Volumen:0,00101765 m³ Densidad:2.700 kg/m³ Peso:26,9269 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Propiedades de estudio

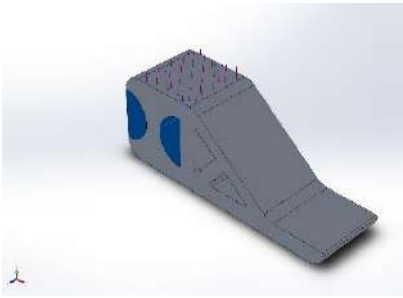
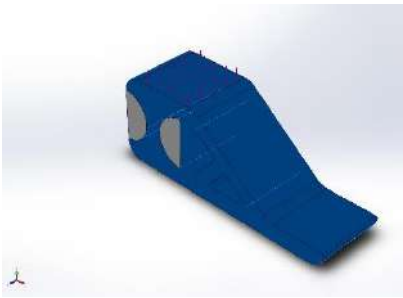
Nombre de estudio	P5(2)(2)-A3
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

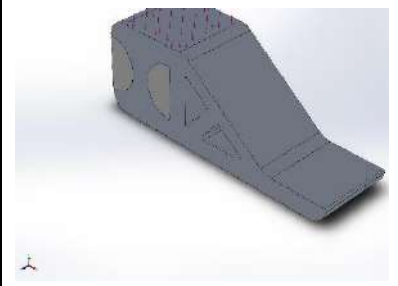


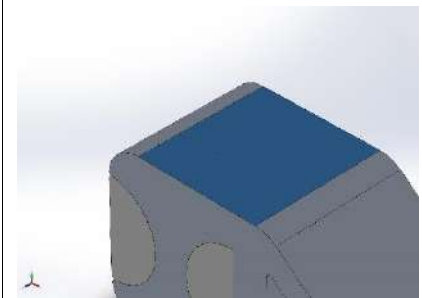
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p> Nombre: SBR Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 1,4e+06 N/m² Límite de tracción: 3e+06 N/m² Módulo elástico: 1,56e+06 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,49 Densidad: 1.600 kg/m³ </p>	<p> Sólido 1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-1), Sólido 1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-2) </p>
Datos de curva:N/A		
	<p> Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo cortante: 2,6e+10 N/m² Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin </p>	<p> Sólido 1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2)-1) </p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-3,64982e-05	613,125	-0,000555782	613,125
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



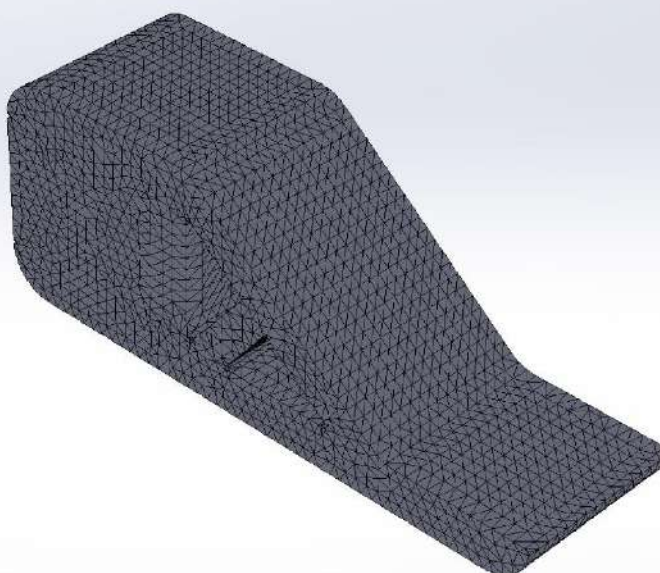
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37798 mm
Tolerancia	0,268899 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	80169
Número total de elementos	54460
Cociente máximo de aspecto	12,914
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00184
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A3(-Default-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

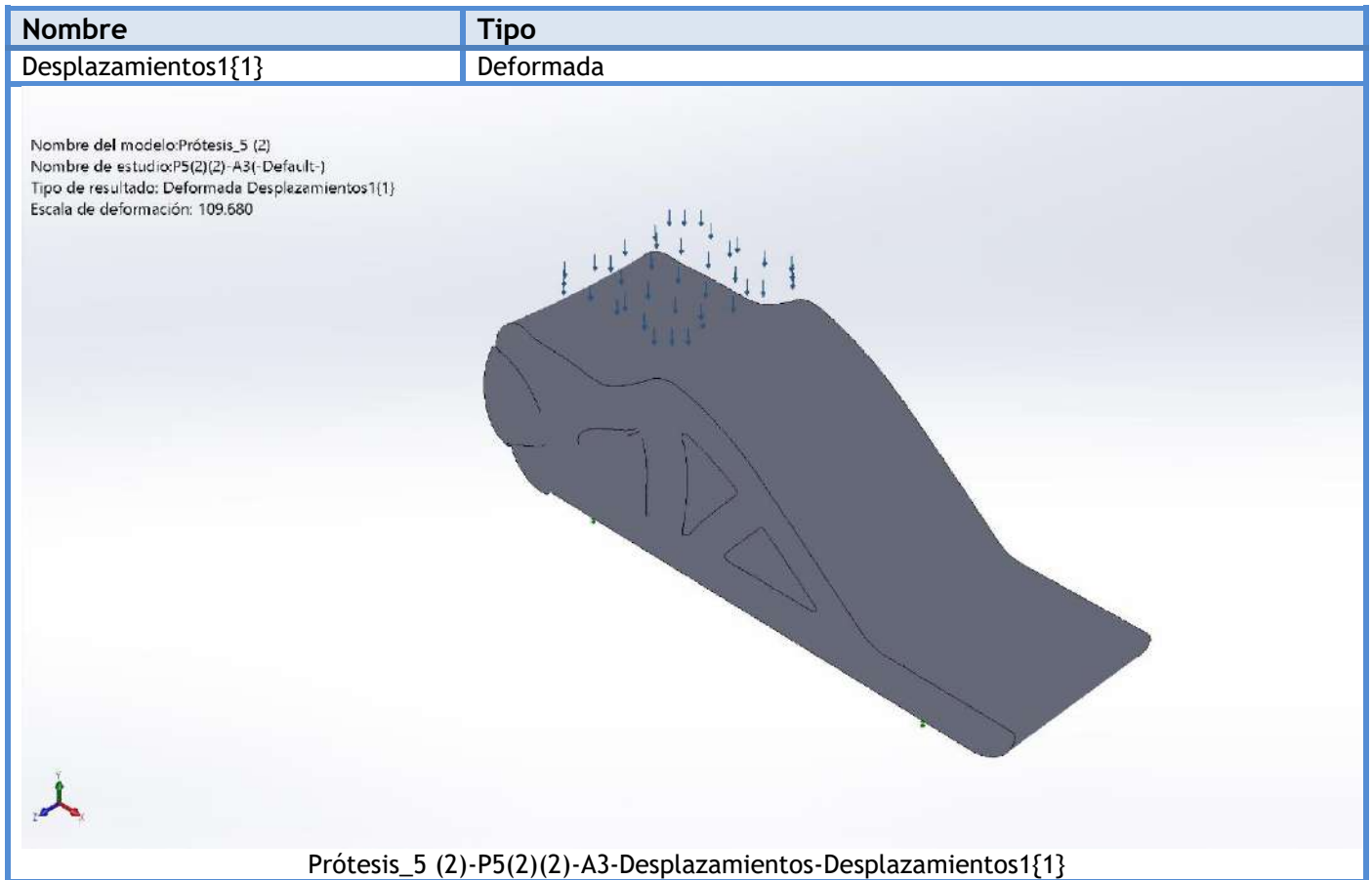
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-3,64982e-05	613,125	-0,000555782	613,125

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



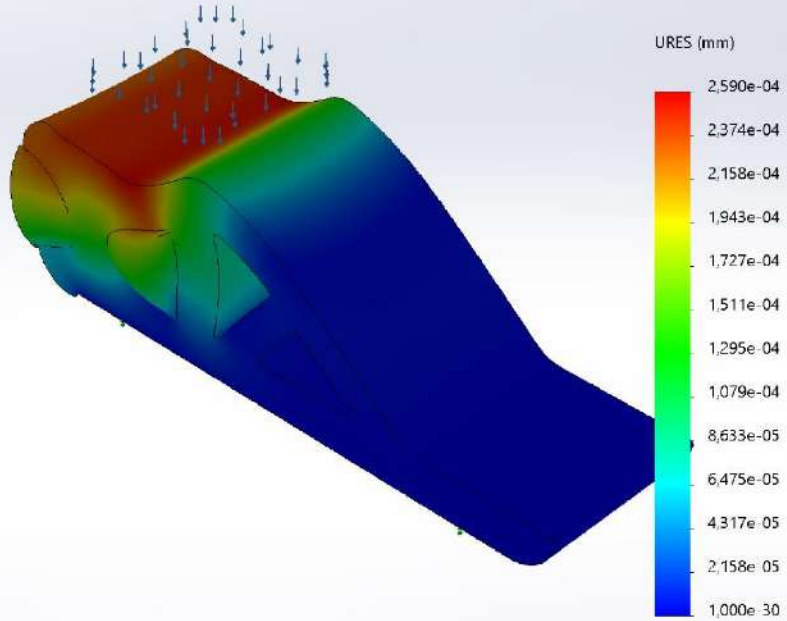
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 15303	2,590e-04 mm Nodo: 77049



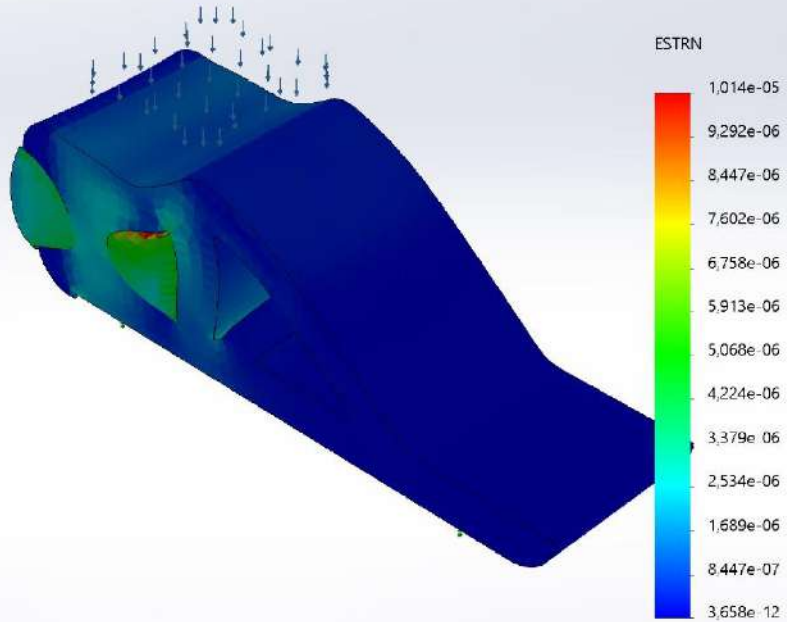
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A3(-Default-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 109.680



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A3-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,658e-12 Elemento: 17120	1,014e-05 Elemento: 6897

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A3(-Default-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 109.680

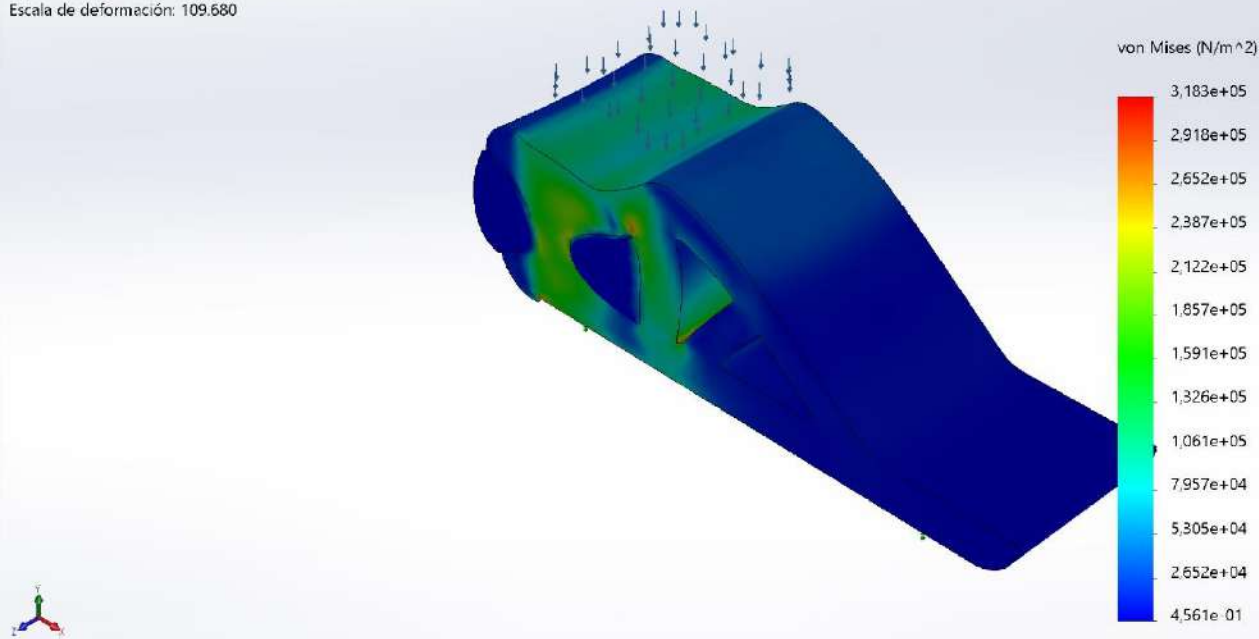


Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A3-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4,561e-01 N/m ² Nodo: 15144	3,183e+05 N/m ² Nodo: 63846

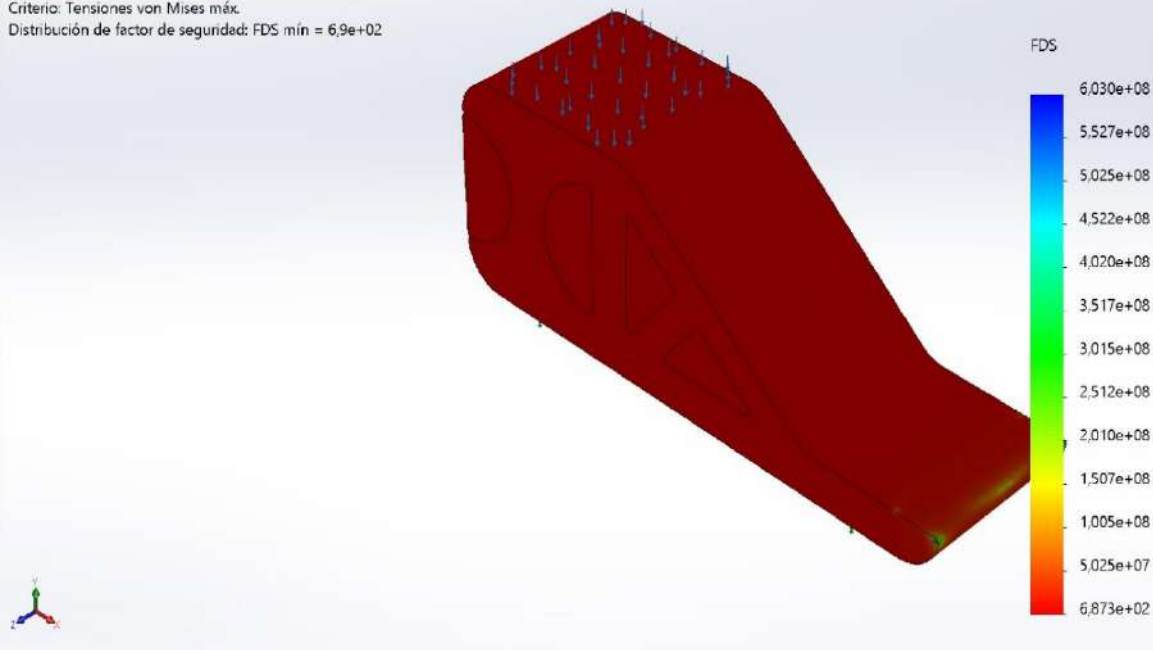
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A3(-Default-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 109.680



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A3-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	6,873e+02 Nodo: 12566	6,030e+08 Nodo: 15144

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A3(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6.9e+02



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A3-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(2)(2)-A4

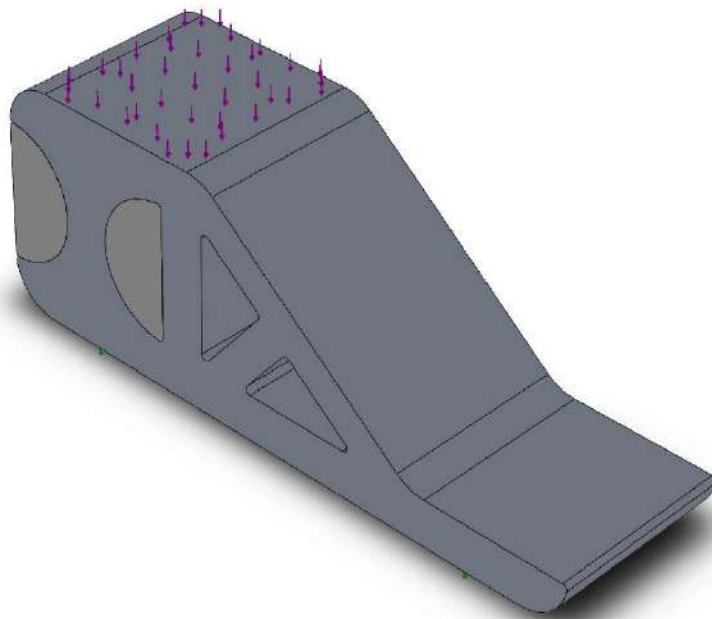
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

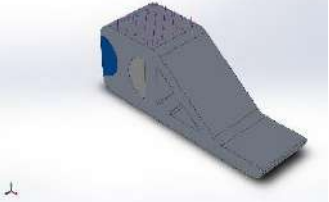
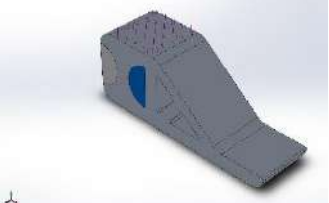


Información de modelo




Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020



<p>Prótesis_5 (2)</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa:2,85959 kg Volumen:0,00101765 m³ Densidad:2.810 kg/m³ Peso:28,024 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Propiedades de estudio

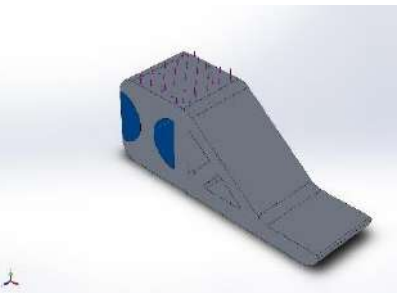
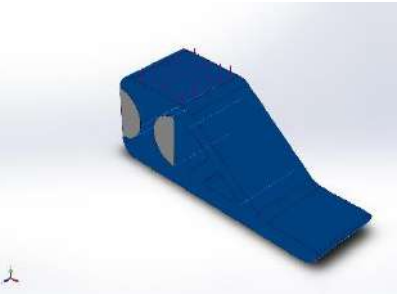
Nombre de estudio	P5(2)(2)-A4
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

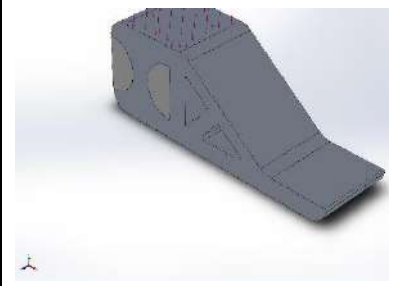


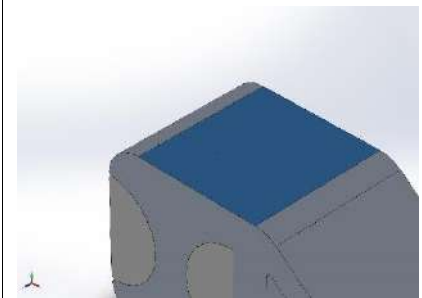
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: SBR</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: $1,4e+06 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $3e+06 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $1,56e+06 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,49</p> <p>Densidad: 1.600 kg/m^3</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-1),</p> <p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: 7075-T6, Chapa (SS)</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$</p> <p>Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$</p> <p>Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,33</p> <p>Densidad: 2.810 kg/m^3</p> <p>Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$</p> <p>Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 \text{ /Kelvin}$</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-7,65016e-05	613,125	-0,000546408	613,125
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



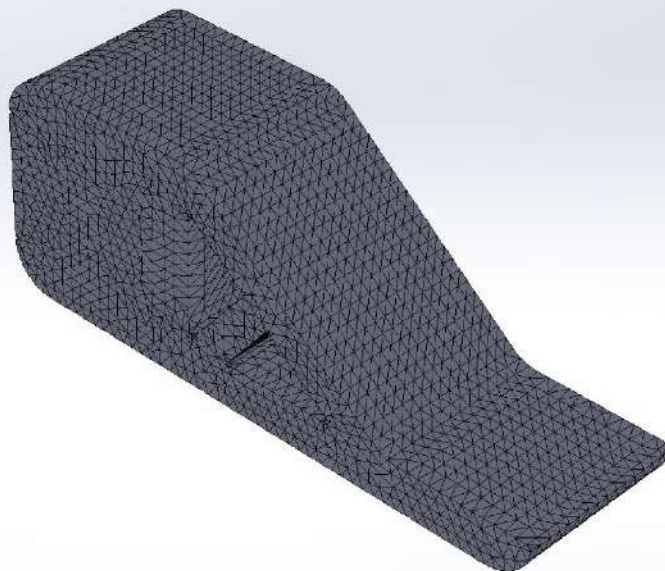
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37798 mm
Tolerancia	0,268899 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	80169
Número total de elementos	54460
Cociente máximo de aspecto	12,914
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00184
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A4(-Default-)
Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

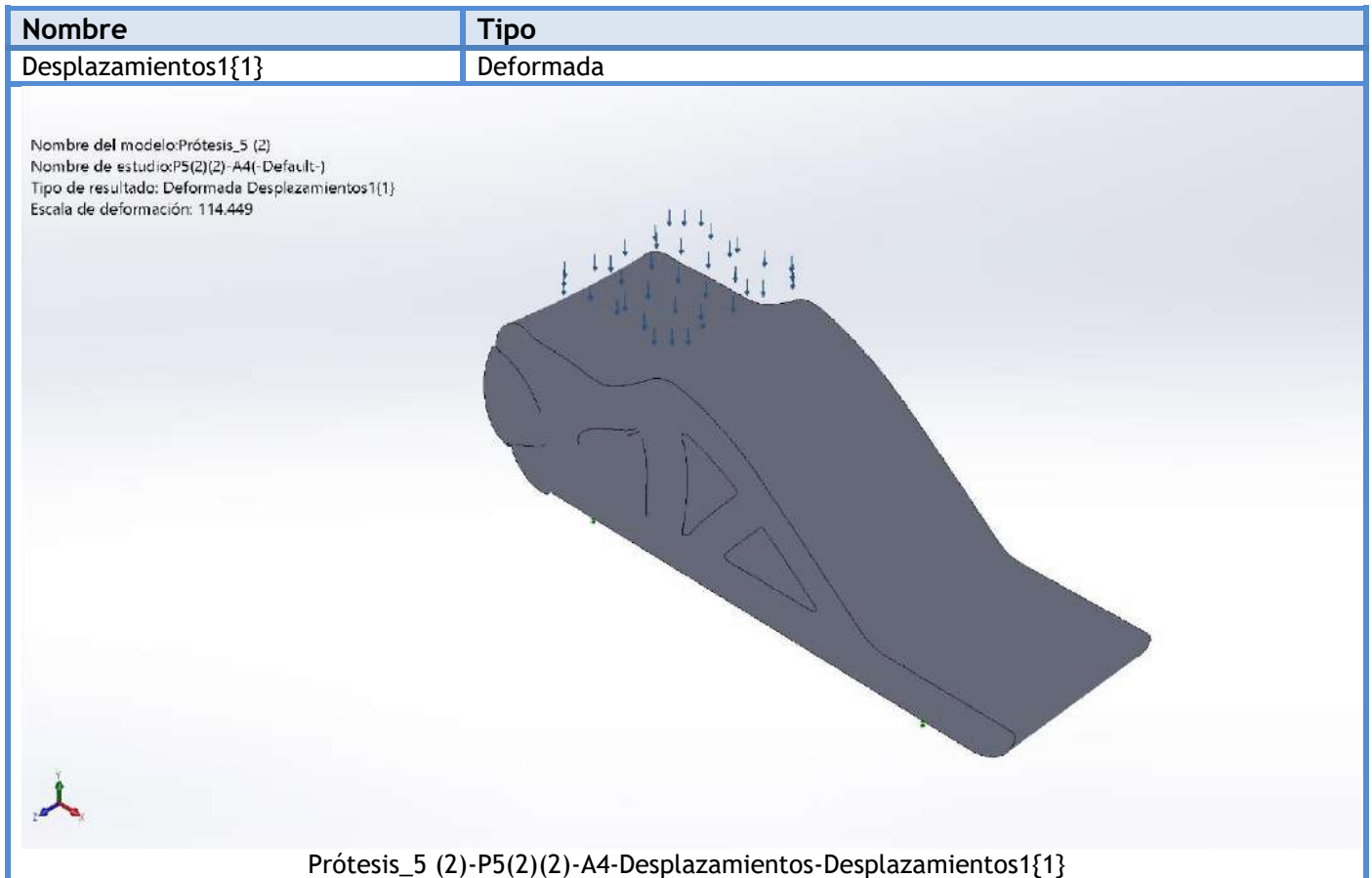
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-7,65016e-05	613,125	-0,000546408	613,125

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



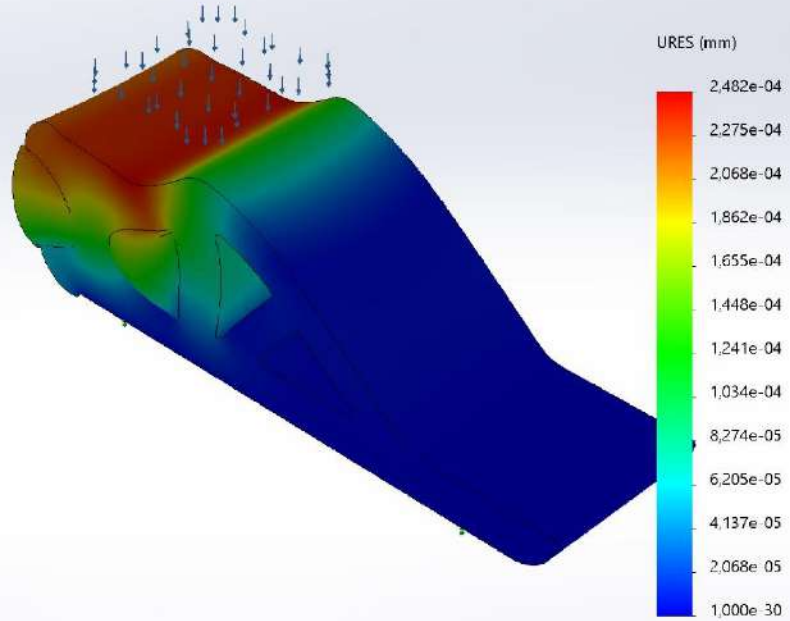
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 15303	2,482e-04 mm Nodo: 77049



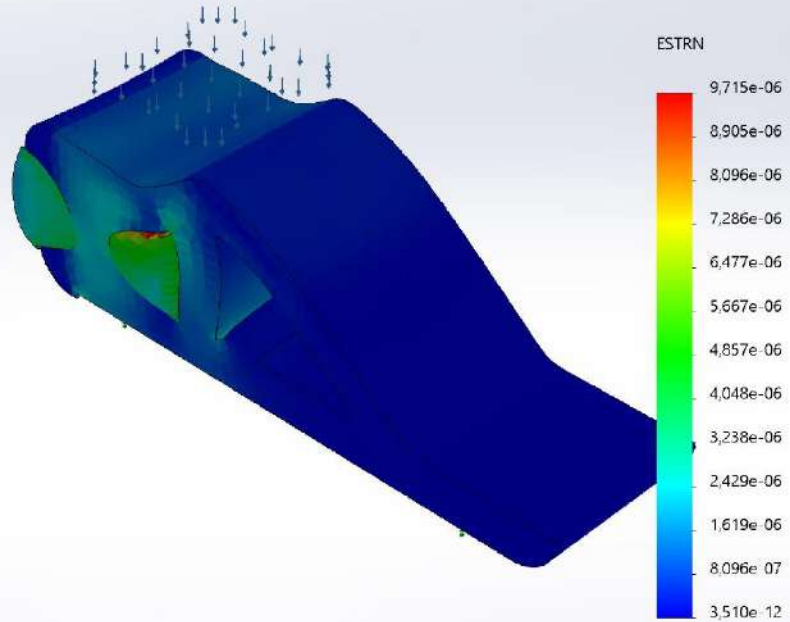
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A4(-Default-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 114.449



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A4-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,510e-12 Elemento: 17120	9,715e-06 Elemento: 6897

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A4(-Default-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 114.449

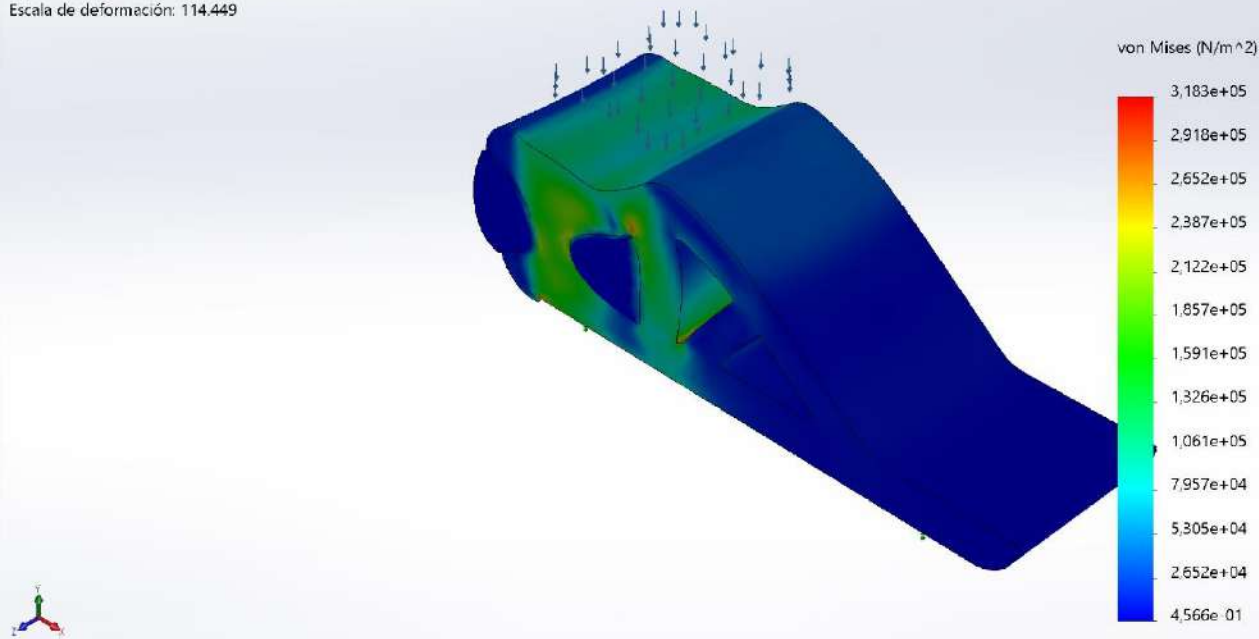


Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A4-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	4,566e-01 N/m ² Nodo: 15144	3,183e+05 N/m ² Nodo: 63846

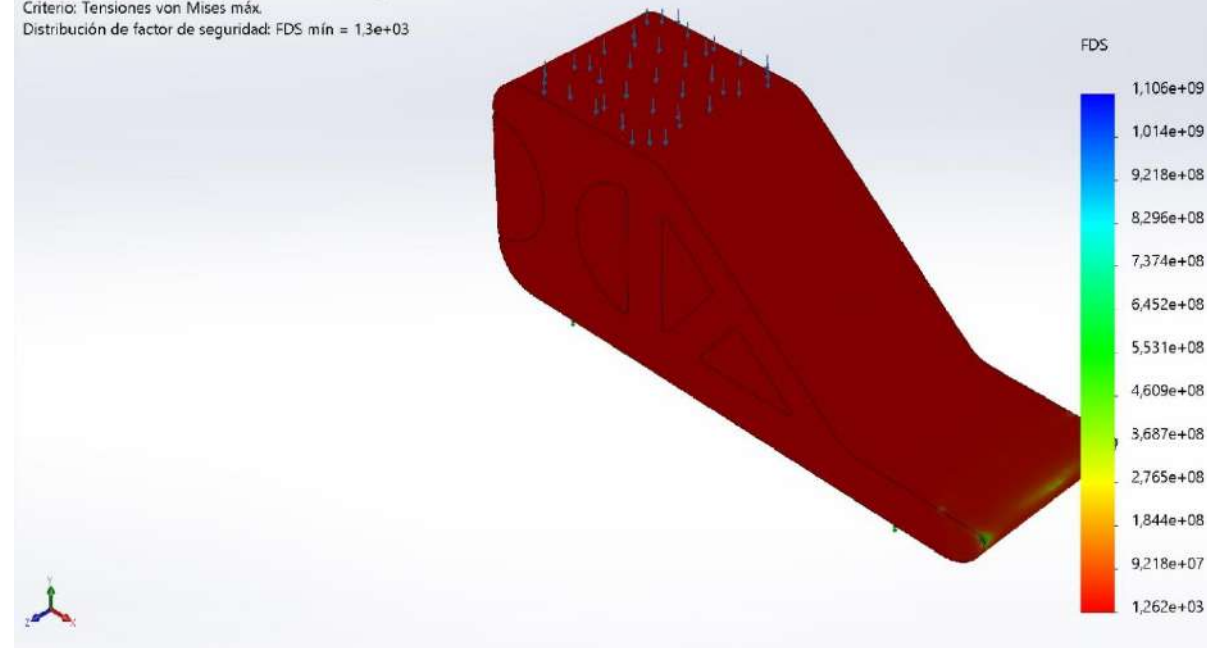
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A4(-Default-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 114,449



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A4-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,262e+03 Nodo: 12566	1,106e+09 Nodo: 15144

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A4(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,3e+03



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A4-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Prótesis_5 (2)

Fecha: domingo, 12 de julio de 2020

Diseñador: Solidworks

Nombre de estudio: P5(2)(2)-A5

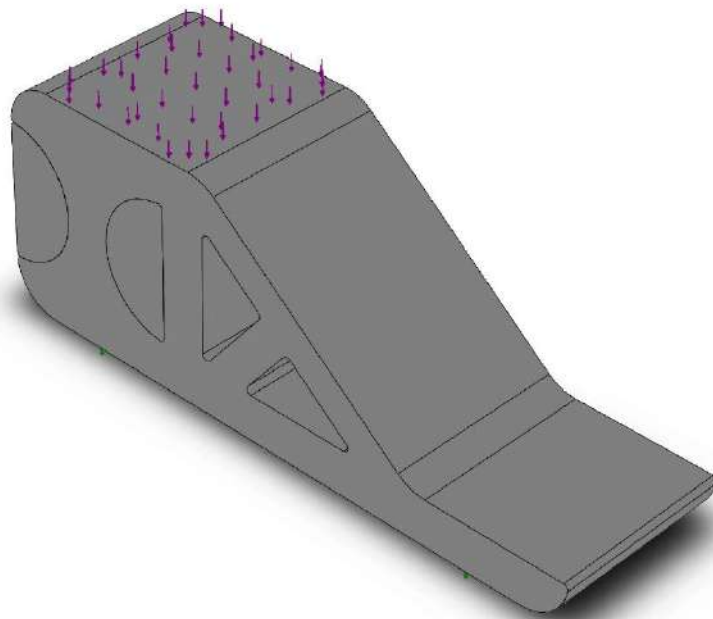
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	2
Propiedades de estudio	3
Unidades	3
Propiedades de material	4
Cargas y sujeciones	5
Información de malla	6
Fuerzas resultantes	7
Resultados del estudio	8

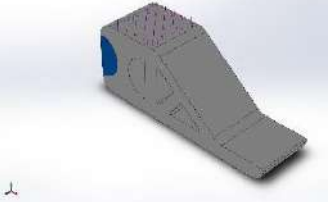
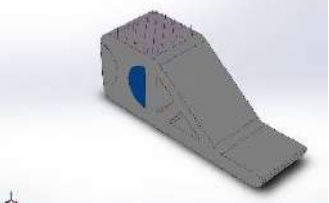


Información de modelo




Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020
	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020



<p>Prótesis_5 (2)</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 1,06853 kg Volumen: 0,00101765 m³ Densidad: 1.050 kg/m³ Peso: 10,4716 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Propiedades de estudio

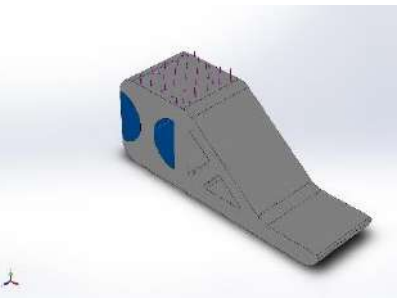
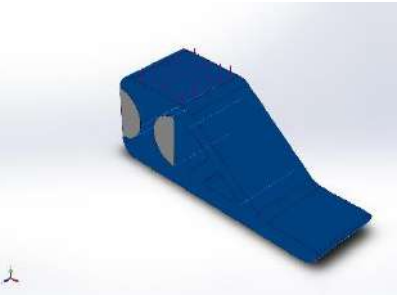
Nombre de estudio	P5(2)(2)-A5
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

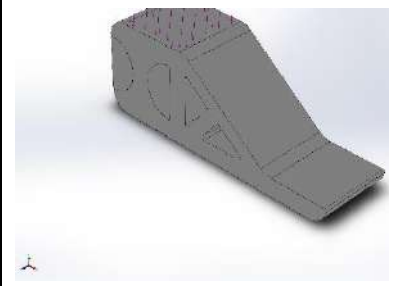


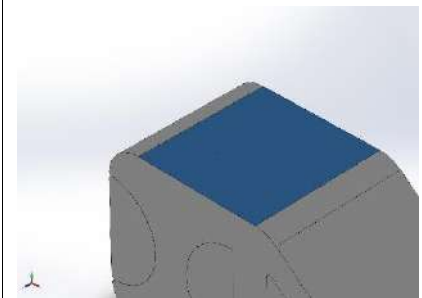
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: SBR</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,4e+06 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+06 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,56e+06 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,49</p> <p>Densidad: 1.600 kg/m³</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-1),</p> <p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: ABS</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Desconocido</p> <p>Límite elástico: 3,2e+07 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 4,3e+07 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 4,6e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 2,3e+09 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,394</p> <p>Densidad: 1.050 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 3,189e+08 N/m²</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	2,22924e-05	613,129	-0,00024447	613,129
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



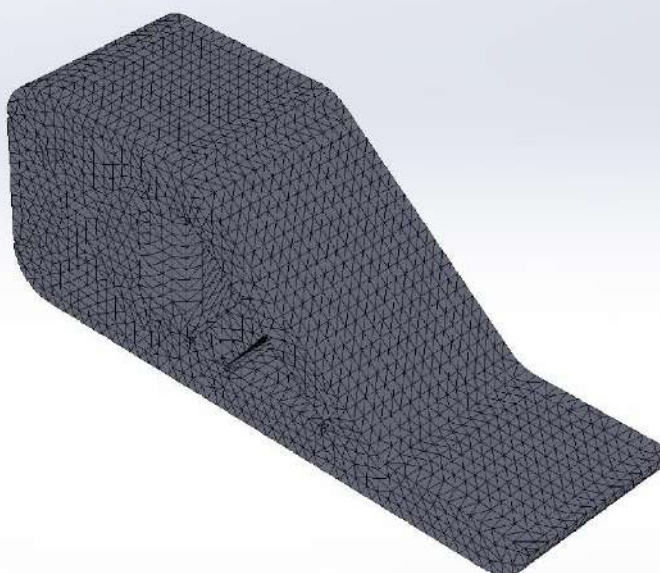
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37798 mm
Tolerancia	0,268899 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	80169
Número total de elementos	54460
Cociente máximo de aspecto	12,914
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00184
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A5(-Default-)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

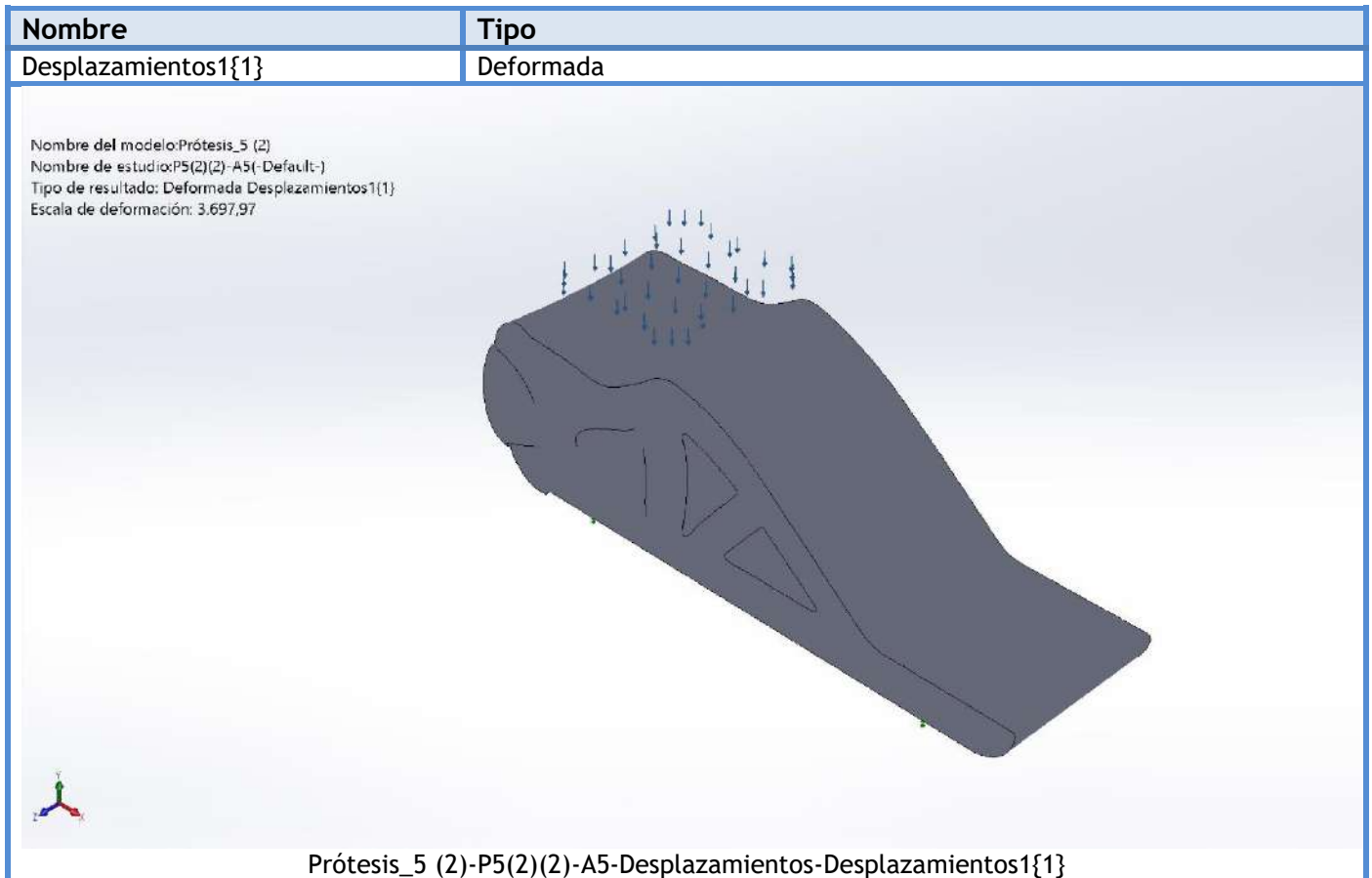
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	2,22924e-05	613,129	-0,00024447	613,129

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



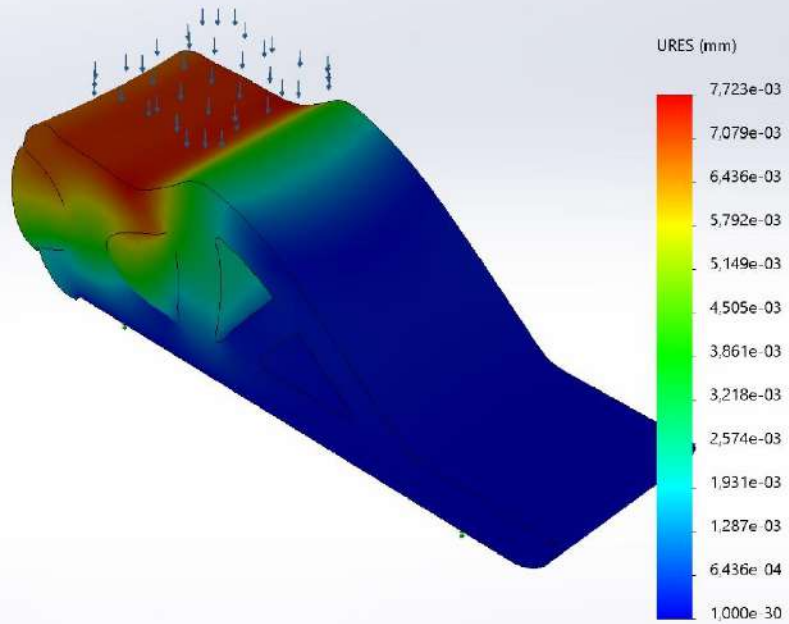
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 15303	7,723e-03 mm Nodo: 77049



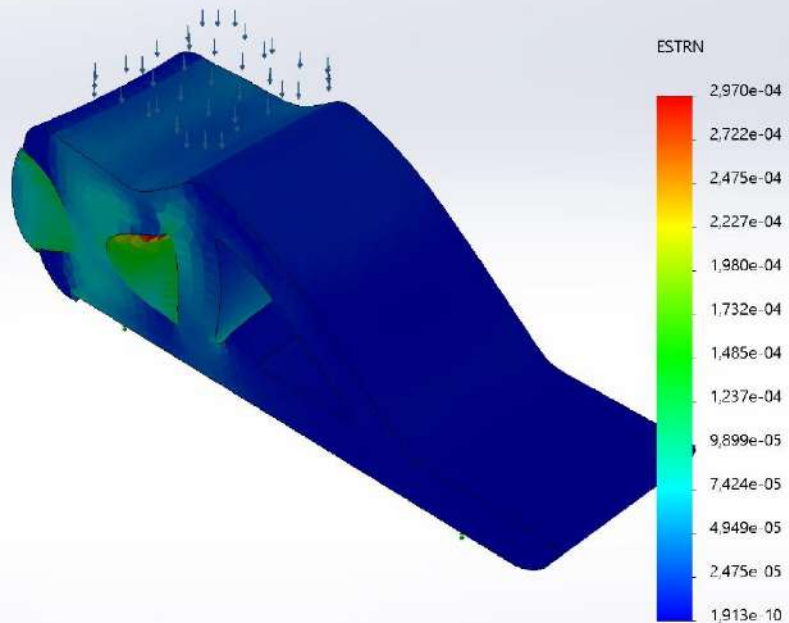
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A5(-Default-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 3.697,97



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A5-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,913e-10 Elemento: 17120	2,970e-04 Elemento: 6897

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2)-A5(-Default-)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 3.697,97

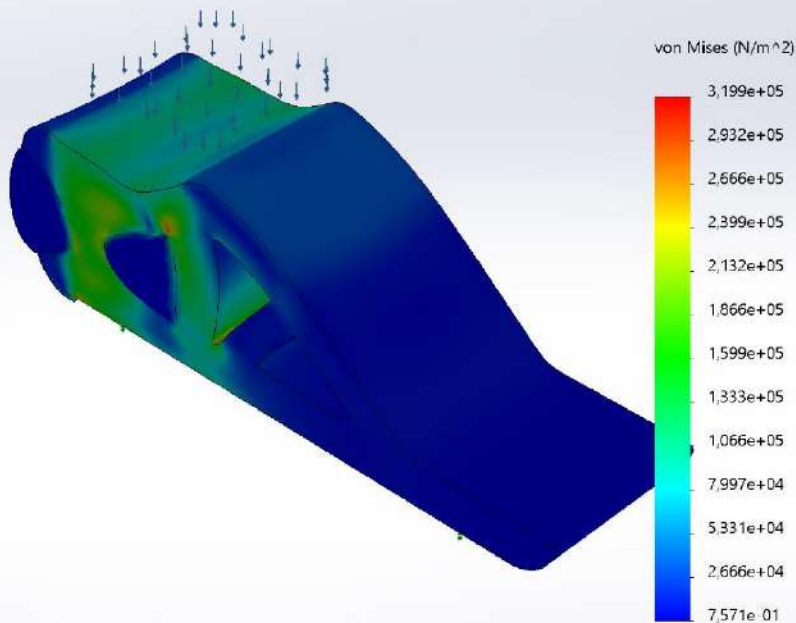


Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A5-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	7,571e-01 N/m ² Nodo: 15144	3,199e+05 N/m ² Nodo: 63846

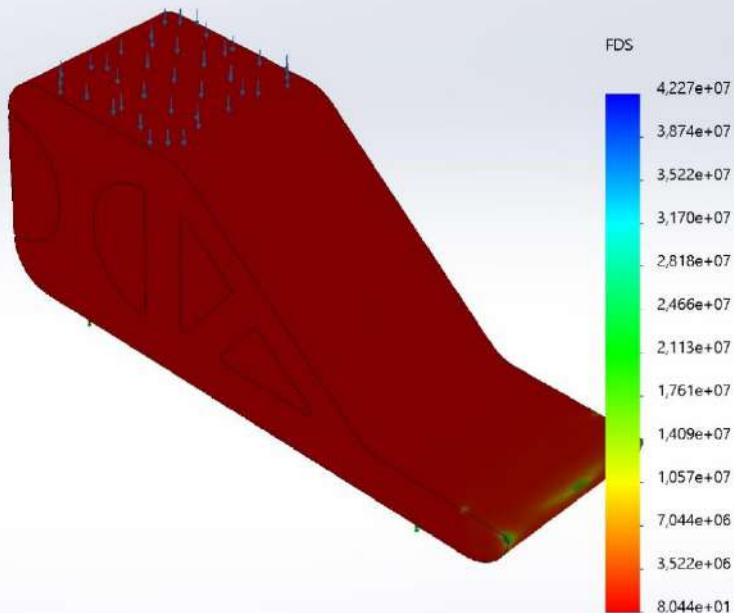
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A5(-Default-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 3.697,97



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A5-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	8,044e+01 Nodo: 12566	4,227e+07 Nodo: 15144

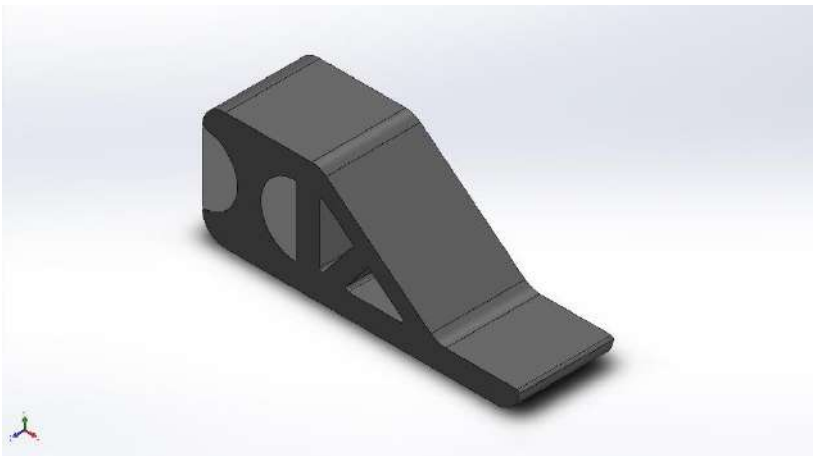
Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A5(-Default-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 80



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A5-Factor de seguridad-Factor de seguridad1







Simulación de Prótesis_5 (2)

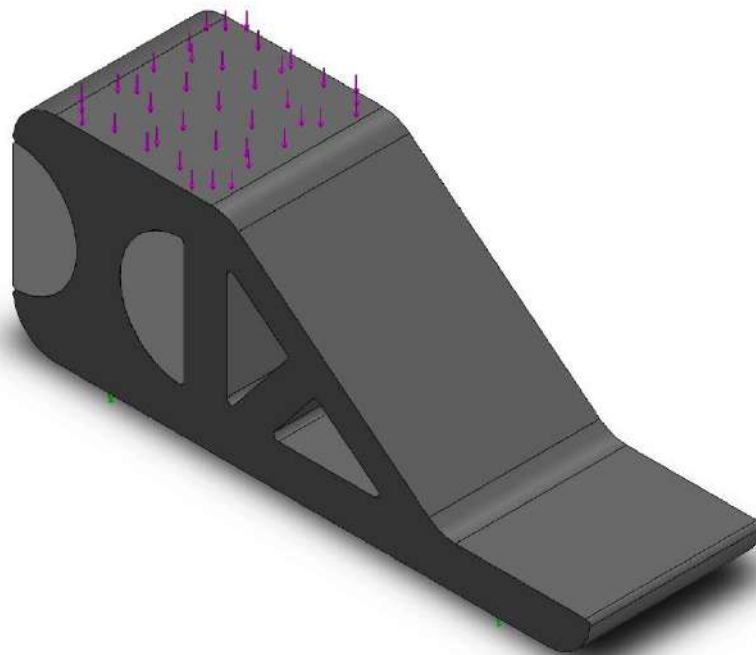
Fecha: sábado, 18 de julio de 2020
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: P5(2)(2)-A6
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

- Información de modelo 2
- Propiedades de estudio 3
- Unidades 3
- Propiedades de material 4
- Cargas y sujeciones 5
- Información de malla 6
- Fuerzas resultantes 7
- Resultados del estudio 8

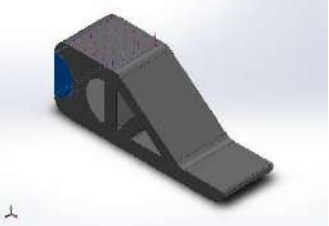
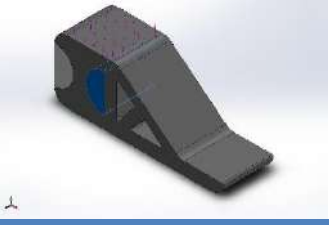


Información de modelo




Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
Configuración actual: Default

Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020
 Amortiguador Prótesis_5 (2)	Sólido	Masa:0,180711 kg Volumen:0,000112944 m ³ Densidad:1.600 kg/m ³ Peso:1,77096 N	C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Amortiguador Prótesis_5 (2).SLDPRT Jul 12 00:10:49 2020



<p>Prótesis_5 (2)</p> 	<p>Sólido</p>	<p>Masa: 1,16012 kg Volumen: 0,00101765 m³ Densidad: 1.140 kg/m³ Peso: 11,3691 N</p>	<p>C:\Users\alvaro\Documents\TFG\Prótesis_5 (2).SLDPRT Nov 26 12:50:44 2019</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------

Propiedades de estudio

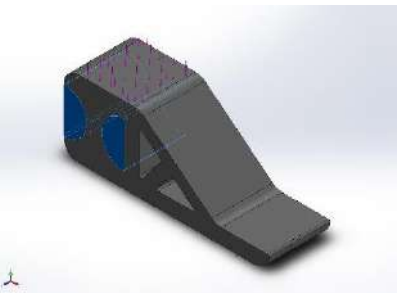
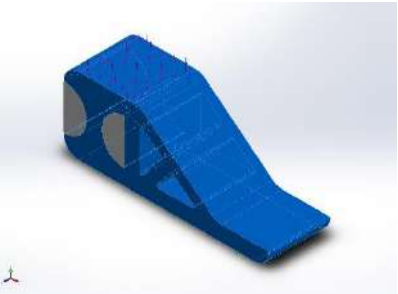
Nombre de estudio	P5(2)(2)-A6
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\alvaro\Documents\TFG)

Unidades

Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



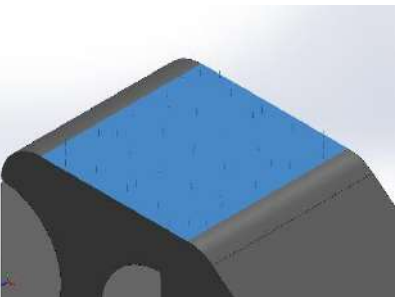
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: SBR</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 1,4e+06 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 3e+06 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 1,56e+06 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,49</p> <p>Densidad: 1.600 kg/m³</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-1),</p> <p>Sólido</p> <p>1(Redondeo1)(Amortiguador Prótesis_5 (2)-2)</p>
Datos de curva:N/A		
	<p>Nombre: PA Tipo 6</p> <p>Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 7,8e+07 N/m²</p> <p>Límite de tracción: 8e+07 N/m²</p> <p>Límite de compresión: 6,3e+07 N/m²</p> <p>Módulo elástico: 3e+09 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson: 0,4</p> <p>Densidad: 1.140 kg/m³</p> <p>Módulo cortante: 9,704e+08 N/m²</p>	<p>Sólido</p> <p>1(Redondeo2)(Prótesis_5 (2)-1)</p>
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00108572	613,127	-0,000285858	613,127
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza normal Valor: 613,125 N		



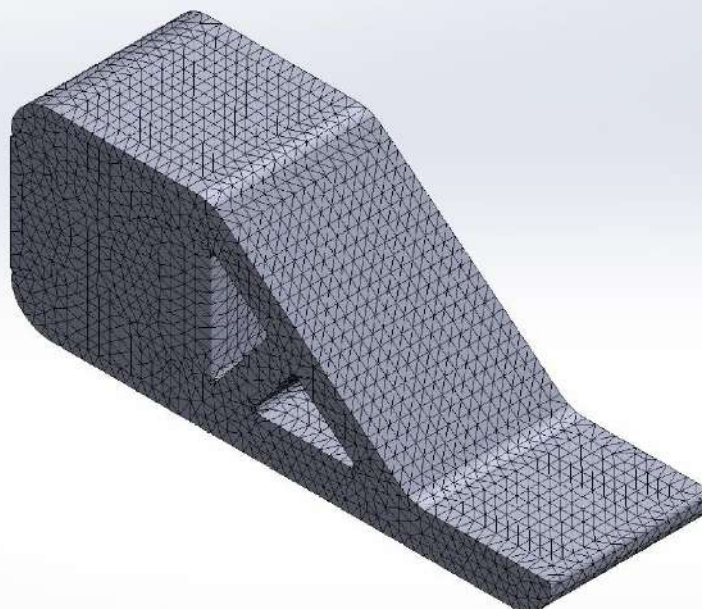
Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla estándar
Transición automática:	Desactivar
Incluir bucles automáticos de malla:	Desactivar
Puntos jacobianos	4 Puntos
Tamaño de elementos	5,37798 mm
Tolerancia	0,268899 mm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Regenerar la malla de piezas fallidas con malla incompatible	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	80169
Número total de elementos	54460
Cociente máximo de aspecto	12,914
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
% de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,00184
% de elementos distorsionados (Jacobiana)	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	

Nombre del modelo: Prótesis_5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2): A6(Default)
 Tipo de malla: Malla sólida



Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

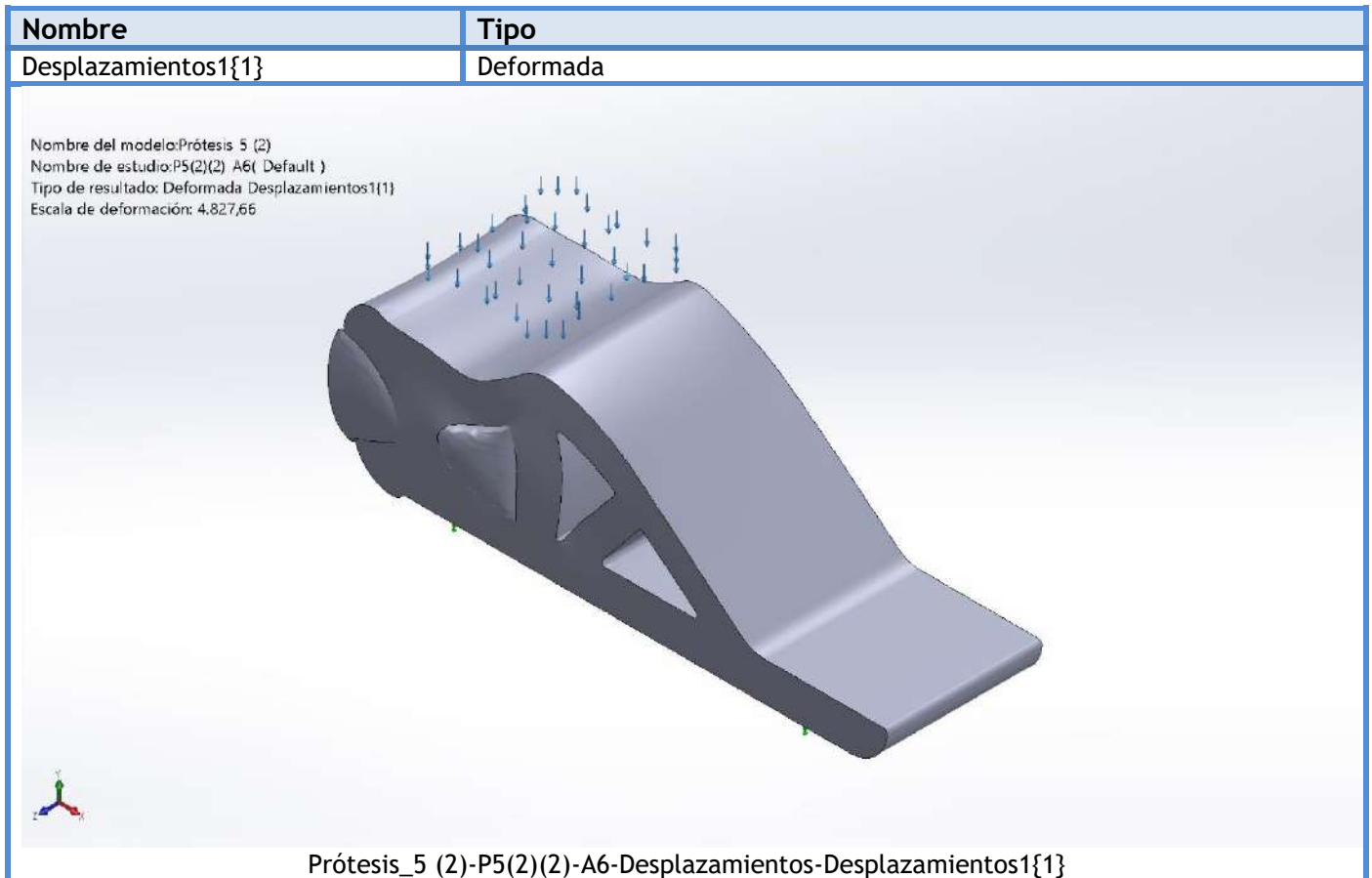
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00108572	613,127	-0,000285858	613,127

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	0



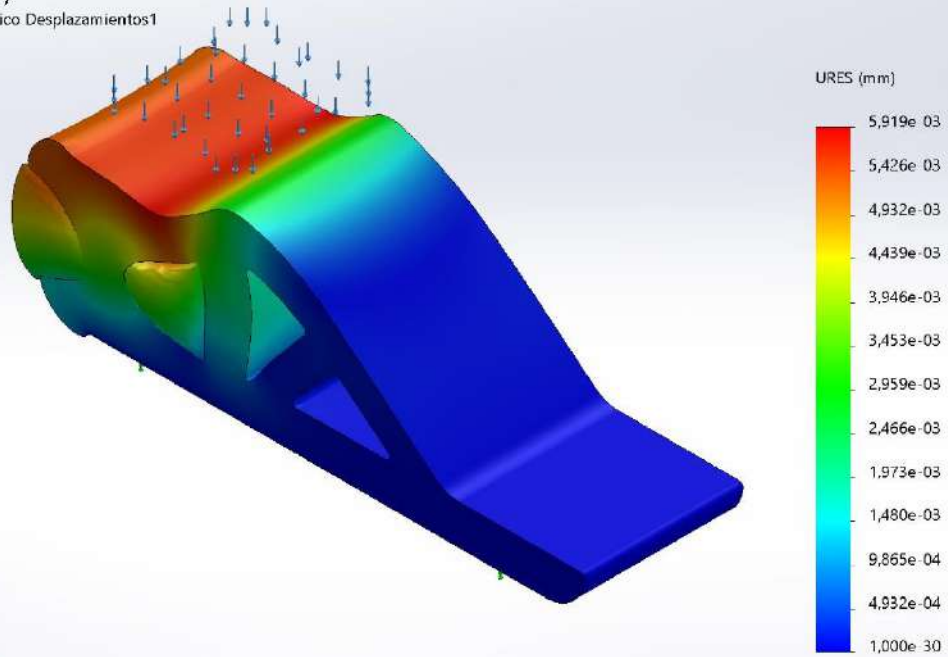
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00 mm Nodo: 15303	5,919e-03 mm Nodo: 77049



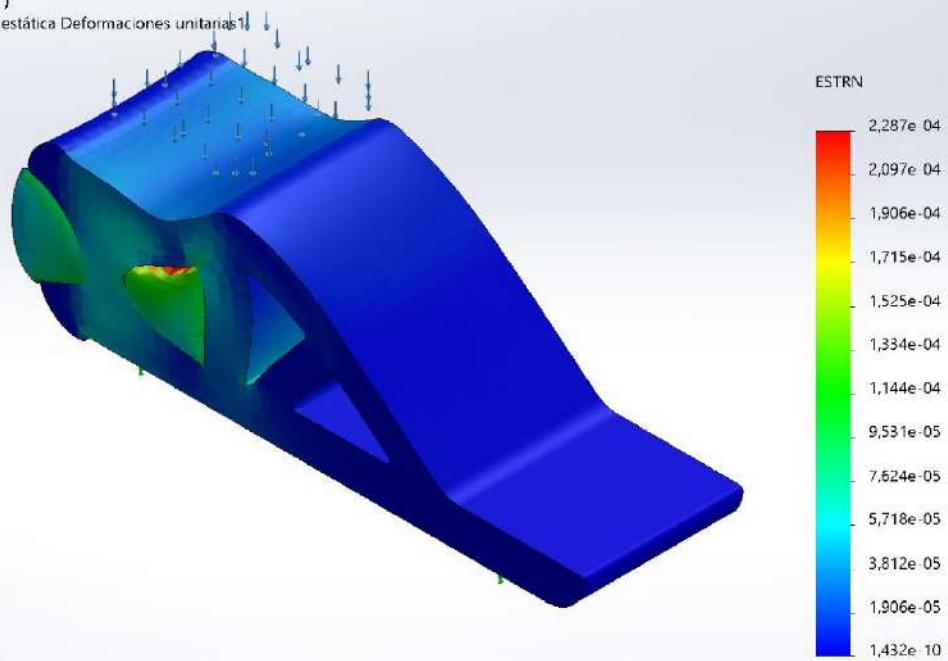
Nombre del modelo: Prótesis 5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2) A6(Default)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
 Escala de deformación: 4.827,65



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A6-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,432e-10 Elemento: 17120	2,287e-04 Elemento: 6897

Nombre del modelo: Prótesis 5 (2)
 Nombre de estudio: P5(2)(2) A6(Default)
 Tipo de resultado: Deformación unitaria estática Deformaciones unitarias1
 Escala de deformación: 4.827,65

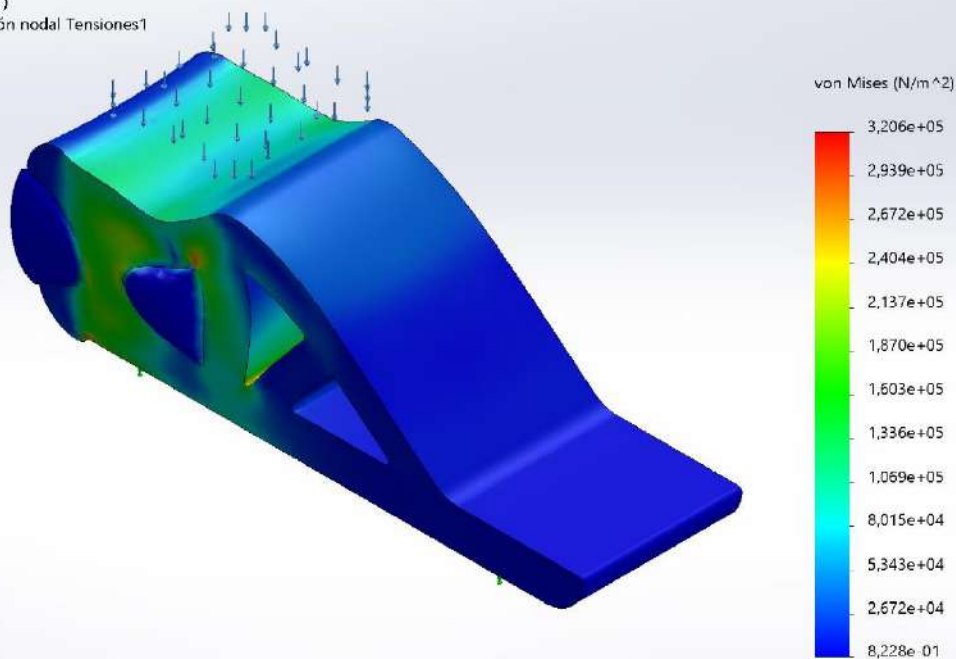


Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A6-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	8,228e-01 N/m ² Nodo: 72775	3,206e+05 N/m ² Nodo: 63846

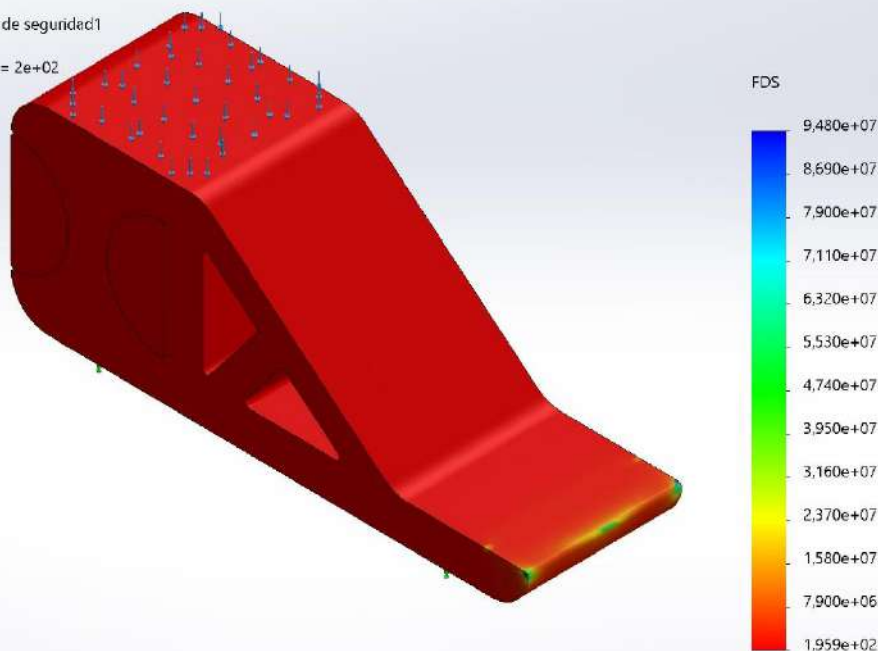
Nombre del modelo:Prótesis 5 (2)
Nombre de estudio:P5(2)(2) A6(Default)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal Tensiones1
Escala de deformación: 4,827,66



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A6-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,959e+02 Nodo: 12566	9,480e+07 Nodo: 72775

Nombre del modelo:Prótesis 5 (2)
Nombre de estudio:P5(2)(2) A6(Default)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Tensiones von Mises máx.
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2e+02



Prótesis_5 (2)-P5(2)(2)-A6-Factor de seguridad-Factor de seguridad1



