



Diseño y certificación de absorbedor de impacto bajo la norma ANSI Z359.6

Franco Javier Yela Erazo

Informe de práctica para optar al título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Silvio Andrés Salazar Martínez

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Mecánica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita

(Yela Erazo, 2024)

Referencia

F. J. Yela Erazo (2024). *Diseño y certificación de absorbedor de impacto bajo la norma ANSI Z359.6* Trabajo de grado profesional, Ingeniería Mecánica Universidad de Antioquia, Medellín.



Centro de documentación de ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arbolada Céspedes

Decano/Director: Julio César Saldarriaga

Jefe departamento: Pedro León Simancas

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

A mi abuelo Luis Antonio Erazo, quien en vida siempre creyó en mí, por el amor y cariño que me
brindo.

A mi abuela María Mercedes López, por enseñarme a trabajar en mis sueños, en mis metas, que
el carácter siempre va acompañado de una sonrisa.

A mi madre Janeth Erazo y mi padre Franco Yela, gracias por su amor incondicional, por sus
palabras de aliento y sabios consejos, y por el apoyo inquebrantable que me brindan para alcanzar
mis metas. Su presencia y apoyo son un regalo invaluable en mi vida.

A María Alejandra Grandos M., gracias por tu inmenso apoyo, cariño y sabios consejos durante
este camino. Tu presencia ha sido un faro de luz en momentos difíciles. ¡Gracias por estar
siempre ahí!

Agradecimientos

A los profesores Rufino Medina, Germán Osorio, Orfi Nelly, y al profesor Silvio Salazar, gracias
por enseñar con pasión y por inspirarme a alcanzar mis metas. Su dedicación y apoyo han sido
invaluables en mi camino hacia el éxito. ¡Gracias por todo!

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract.....	12
Introducción	13
1. Objetivos	14
1.1. Objetivo general	14
1.2. Objetivos específicos	14
2. Marco teórico	15
Normas	15
ISI ingeniería en seguridad industrial	17
Propiedades de los materiales	21
Análisis de materiales.....	23
3. Metodología	24
4. Resultados	40
5. Conclusiones	46
6. Recomendaciones	49
Referencias.....	50

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados de absorbedores que activaron el sistema de amortiguación en estudios anteriores.....	25
Tabla 2. Propiedades físicas y dimensionales de los absorbedores.....	28
Tabla 3. Resultados de las pruebas realizadas.....	42
Tabla 4. Resultados de deformación obtenidos por Ansys.....	43

Lista de imágenes

Imagen 1. Ficha técnica de línea de vida vertical de ISI ingeniería.	18
Imagen 2. Ficha técnica de línea de vida horizontal de ISI ingeniería.	19
Imagen 3. Ficha técnica del kit de absorbedor de impacto de ISI ingeniería.	19
Imagen 4. Certificado de que ISI ingeniería hace los procesos con calidad.	21
Imagen 5. MatWeb, base de datos virtual de las características de los materiales.	22
Imagen 6. Modelo 2 Referencia 1 Absorbedor de Impacto ISI Ingeniería	24
Imagen 7. Modelo 2 Referencia 2 Absorbedor de Impacto ISI Ingeniería	25
Imagen 8. Pestaña del sistema de absorción que se va a analizar.	29
Imagen 9. Ensamble para hacer análisis.	30
Imagen 10. Procedimiento inicial para hacer un análisis estático en ANSYS.	31
Imagen 11. Propiedades del acero AISI 304.	32
Imagen 12. Propiedades del material AISI 304 ingresados en el software ANSY	32
Imagen 13. Ajuste del modelo para el análisis estático.	33
Imagen 14. Ventana "Model" para determinar las características de frontera del diseño.	34
Imagen 15. Determinaciones de las variables geométricas para el análisis del diseño.	35
Imagen 16. Nuevo sistema de coordenadas, determinado con los cuerpos a estudiar.	36
Imagen 17. Características del mallado para nuestros elementos.	36
Imagen 18. Forma del mallado en los elementos a analizar	37
Imagen 19. Características de frontera.	37
Imagen 20. Determinando que la deformación máxima va hacer una característica de salida cuando se cambie el espesor.	38
Imagen 21. Deformación máxima, al entrar el espesor de las pestañas, sin necesidad de hacer todo el procedimiento.	39
Imagen 22. Vectores de deformación en el modelo.	40

Imagen 23. Esfuerzos resultantes.....41

Imagen 24. Deformación máxima de la pestaña teniendo en cuenta los espesores de prototipos colocados a prueba.....42

Imagen 25. deformación máxima de la pestaña según ANSYS.....43

Lista de tablas

Tabla 1. Resultados de absorbedores que activaron el sistema de amortiguación en estudios anteriores.....	25
Tabla 2. Propiedades físicas y dimensionales de los absorbedores.....	28
Tabla 3. Resultados de las pruebas realizadas.....	42
Tabla 4. Resultados de deformación obtenidos por Ansys.....	43

Lista de graficas

Gráfico 1.Resultados de las pruebas realizadas a prototipos.	26
Gráfico 2. resultados de prueba dinámica del Absorbedor ROTHOBLAAS.....	26
Gráfico 3. Resultados Fuerza de Impacto VS Tiempo Absorbedor de Impacto M2R1P4.....	27
Gráfico 4.Resultados Fuerza de Impacto VS Tiempo Absorbedor de Impacto M2R2P5.....	27
Gráfico 5. Resultados de las pruebas de los prototipos y el área transversal de la primera pestaña del absorbedor.	28
Gráfico 6. Comportamiento de la deformación según la altura de las pestañas.	44
Gráfico 7. Diseño del absorbedor al introducirle la pestaña de 5 mm.....	45

Siglas, acrónimos y abreviaturas

ANSI

Instituto Nacional Estadounidense de Estándares

Resumen

El presente trabajo de grado se describe la investigación y desarrollo llevado a cabo por la empresa ISI Ingeniería en Seguridad Industrial, en colaboración con varios ingenieros, practicantes y conocedores de estos sistemas, que se enfocan en la creación de un dispositivo innovador capaz de absorber impactos en caídas desde alturas, con el objetivo de obtener la certificación conforme a la norma ANSI Z359.16. Para alcanzar este propósito, se ha realizado una exhaustiva recopilación y análisis de investigaciones previas, lo que ha permitido proponer mejoras sustanciales en el diseño de un absorbedor de líneas de vida.

La utilización del software ANSYS para llevar a cabo análisis de elementos finitos ha sido fundamental en este proceso. Este software ha posibilitado la evaluación detallada de cómo modificaciones en las características del dispositivo impactan en su capacidad para cumplir con los requisitos estipulados por la normativa. Uno de los requisitos cruciales es que, en caso de una caída, el dispositivo garantice que el usuario reciba una fuerza inferior a 8 kN

Los resultados obtenidos a través de los análisis realizados muestran avances prometedores en el desarrollo del dispositivo. Sin embargo, se reconoce la necesidad de llevar a cabo una verificación experimental para validar completamente la efectividad y seguridad del dispositivo propuesto. Este paso adicional es esencial para garantizar que el producto final cumpla con los más altos estándares de calidad y seguridad exigidos por la normativa pertinente.

Palabras clave: Absorbedor, Alturas, norma ANSI Z359.16, Análisis.

Abstract

The present thesis describes the research and development carried out by ISI Industrial Safety Engineering, in collaboration with various engineers, interns, and experts in these systems, focusing on creating an innovative device capable of absorbing impacts from falls at heights, with the aim of obtaining certification according to ANSI Z359.16 standard. To achieve this goal, an exhaustive collection and analysis of previous research has been conducted, allowing for substantial improvements to be proposed in the design of a lifeline absorber.

The utilization of ANSYS software to perform finite element analysis has been pivotal in this process. This software has enabled a detailed evaluation of how modifications to the device's characteristics impact its ability to comply with the requirements stipulated by the standards. One of the crucial requirements is that, in the event of a fall, the device ensures that the user experiences a force of less than 8 kN.

The results obtained through the analyses conducted show promising advancements in the device's development. However, there is a recognized need to carry out experimental verification to fully validate the effectiveness and safety of the proposed device. This additional step is essential to ensure that the final product meets the highest standards of quality and safety required by the relevant regulations.

Keywords: Absorber, Heights, ANSI Z359.16 standard, Analysis

Introducción

El desarrollo de dispositivos para garantizar la integridad física de las personas es de suma importancia, ya que contribuye significativamente a salvar vidas. En este sentido, ISI Ingeniería en Seguridad Industrial, una empresa colombiana con sede en Antioquia y diez años de experiencia, se dedica a hacer de Colombia un lugar más seguro, centrándose especialmente en la protección de trabajadores que realizan labores en alturas.

Con un compromiso firme hacia la seguridad en trabajos en altura, la empresa ha dedicado tiempo y recursos al desarrollo de un absorbedor de impacto para líneas de vida, con el objetivo de obtener certificaciones internacionales como la norma ANSI Z359.16 o la EN 795. Inicialmente, se ha comenzado el desarrollo con el propósito de cumplir con la norma ANSI Z359.16. El objetivo principal es que el dispositivo absorba la mayor cantidad de energía posible, asegurando que el usuario reciba un máximo de 8 kN en caso de impacto.

El proceso de desarrollo incluye una exhaustiva recopilación de datos de estudios previos, con el fin de analizar los cambios realizados en los prototipos anteriores y determinar cómo cada modificación afecta al dispositivo. Basándonos en estos análisis, se selecciona un cambio específico y se evalúa mediante estudios de elementos finitos cómo esta variación puede mejorar la eficacia del absorbedor en la disipación de energía.

Finalmente, se compararon los resultados obtenidos mediante el programa ANSYS con los resultados de pruebas de prototipos anteriores. Esta comparación permitió determinar el grado de desviación entre ambos conjuntos de resultados. Tras calcular que las desviaciones eran mínimas, se procedió a realizar cambios graduales en el diseño del dispositivo. El objetivo era encontrar la medida óptima para la pestaña inicial del absorbedor.

Tras una serie de ajustes, se determinó que la medida adecuada para la pestaña inicial del absorbedor esta entre 4.5 y 5 mm. Este valor asegura que el dispositivo absorba adecuadamente el impacto en caso de una caída desde altura. Este proceso meticuloso de ajuste fino garantiza que el dispositivo cumpla con los estándares de seguridad requeridos y maximice su efectividad en la protección del usuario

1. Objetivos

1.1. Objetivo general

Diseñar un absorbedor de energía para líneas de vida, el cual cumpla con la norma ANSI Z359.16, realizando cambios totales o parciales a prototipos ya existentes de la empresa ISI ingeniería en seguridad industrial.

1.2. Objetivos específicos

- Revisar estudios anteriores de ISI ingeniería en seguridad industrial sobre absorbedores de impacto para identificar los cambios realizados en su diseño y cómo afectaron su rendimiento.
- Analizar los datos recopilados para determinar qué características del absorbedor de impacto tienen el mayor impacto en su capacidad para absorber energía.
- Utilizar el software ANSYS para simular el comportamiento del absorbedor de impacto al modificar una variable específica, como el material o la geometría.
- Contrastar los resultados obtenidos de la simulación con ANSYS con los datos recopilados de estudios anteriores para validar la precisión del modelo.
- Determinar si.
- Basándose en los hallazgos de la simulación y la investigación previa, diseñar un absorbedor de impacto optimizado.
- Producir el absorbedor de energía según el diseño establecido, utilizando los materiales y procesos adecuados.
- Someter el absorbedor de impacto fabricado a pruebas de laboratorio según los estándares de la norma ANSI Z359.16 para evaluar su rendimiento y seguridad.

2. Marco teórico

Los trabajos en alturas han estado presentes en toda la historia de la humanidad, e inicialmente las soluciones que empezaron a dar fueron rudimentarias e ineficientes en muchos casos, sin embargo, desde la revolución industrial este tipo de trabajos empezó a realizarse con mayor frecuencia, como consecuencia del avance industrial y tecnológico y junto a la concientización de la problemática de accidentes de trabajo en altura, empezó a desplegar el desarrollo de productos para prevención de caídas, siendo así que desde década de los sesenta los sistemas de protección se han ido desarrollando en diferentes aspectos como el tipo de materiales, la configuraciones, formas, entre muchos otros aspectos; y junto a este desarrollo se empezó a crear normas nacionales e internacionales para que todo aparato o sistema sea seguro. Todo el avance que se ha desarrollado en tareas en alturas se realiza con el fin de evitar accidentes y/o muerte.

En Colombia la norma actual que habla sobre los trabajo en altura es la resolución 4272 del 2021, la cual manifiesta la capacitación que debe tener una persona que trabaje en alturas, descripción de los lugares de entrenamiento y entrenadores, y características mínimas que deben tener los sistemas de protección contra caídas; entre los sistema que describe la norma están los absorbedores de energía, los cuales pueden de estar en líneas de vida y su funciones es disminuir la fuerza de impacto que recibe una persona al sufrir una caída a gran altura. Esta norma también indica las características de las líneas de vida, las cuales pueden ser verticales horizontales, fijas o móviles; su principal función es proteger a un operario tras una caída cuando este se desplaza entre diferentes puntos, ya que la línea de vida es un sistema que utiliza cuerdas o cables y en un extremo esta un absorbedor d energía (Ministerio del Trabajo, 2021).

Normas

Como en Colombia en el mundo también existen normas para trabajos en alturas, entre las normas que más destacan en esta categoría están las normas de diseño y pruebas para absorbedores de energía, entre las mas destacadas están:

- EN 795: norma europea que inicia describiendo el material y configuración básica que debe tener una línea de vida horizontal (la norma la llama punto de anclaje tipo C) y su respectivo

absorbedor de energía. Esta continua con la descripción de las pruebas que se deben realizar, las características que debe cumplir las línea, las fuerzas a aplicar, las deformaciones admitidas, y demás detalles para evaluar si la línea de vida y su absorbedor son adecuados para salvaguardar la integridad de un operario (AENOR, 2012).

- ANSI Z359.6: norma americana que especifica los requisitos para el diseño y rendimiento de sistemas de protección contra, la cual incluye sistemas de restricción y detención de acidas verticales y horizontales. (American National Standard, 2016b)
- ANSI Z359.16: norma americana que manifiesta las pruebas que se realizan a líneas de vida verticales instaladas en sistemas de acceso (escalera tipo gato), la noma explica como que magnitud de fuerza debe aplicarse en las pruebas y dinámicas, como se debe realizar la prueba, y que resultados son los adecuados para que un sistema pueda ser certificado por esta norma (American National Standard, 2016a)

En Colombia para el desarrollo de dispositivos de protección contra caídas según la resolución 4272 del 2021 dice que la persona que diseña y aprueba este tipo de elementos debe ser una persona calificada que tengan la capacidad de calcular resistencia de materiales, diseñar, analizar, evaluar, autorizar puntos de anclaje y/o estructuras para protección contra caídas, y tiene que ir de acuerdo con el perfil establecido en el capítulo 2 de la Ley 400 de 1979.

Reconociendo las normas nacionales e internacionales que ayudan a identificar las exigencias del diseño de sistemas de protección contra caídas, se comprende que el componente más relevante en una línea de vida son los absorbedores de impacto también conocidos como disipadores de energía, los cuales son dispositivos fijos que se encuentran en un extremo de la línea de vida, y tiene la función de disminuir la energía recibida por una persona después de haber sufrido una caída a una altura elevada. Estos dispositivos se han desarrollado de diferentes formas y tamaños en diferentes partes del mundo, entre las empresas que están desarrollaron este producto se encuentra ISI ingeniería en seguridad industrial.

Los absorbedores de impacto son dispositivos que en su gran mayoría se instalan a la intemperie, por tanto, el material más usado es el acero inoxidable ya que sus características físicas y químicas hace que sea un material idóneo para resistir condiciones ambientales y sumado a esto,

sus propiedades mecánicas son adecuadas para la protección de operarios. en el desarrollo de estos sistemas en la actualidad existen diferentes tipos de diseño en el mercado, algunos utilizan resortes, otros son simplemente laminas, pero sin importar su construcción debe garantizar mínimamente la norma nacional.

ISI ingeniería en seguridad industrial

La empresa ISI ingeniería en seguridad industrial es una empresa que brinda sus servicios de seguridad y salud en el trabajo, en tres diferentes negocios, consultoría, formación e ingeniería, en este último se dedica a la instalación de sistemas de acceso, estructura metálica, puntos de anclaje y líneas de vida, en este último la empresa observó la necesidad de crear un absorbedor de impacto nacional, que cumpla con la normativa internacional EN 795 y ANSI Z359.16. por tanto desde el año 2018 uno de los fundadores y gerente de ISI fue la primera persona en detectar la necesidad de fabricar un absorbedor de impacto en la región, esta necesidad fue detectada, por que en los primeros años de operación, ISI compraba sus dispositivos a una empresa italiana llamada rothoblaas, pero la demora de hasta cuarenta y cinco (45) días en la llegada de los sistemas hizo que la empresa enfrentara retrasos en la ejecución de proyectos, por tanto, el gerente decidió invertir tiempo y dinero en el desarrollo de sistemas de absorbedores de energía.

Actualmente, la empresa lleva a cabo la instalación de líneas de vida verticales y horizontales, utilizando la mayoría de sus componentes, incluido el absorbedor, fabricados en Caldas, Antioquia. En la Imagen 1 se puede apreciar una línea de vida vertical, la cual se instala principalmente en escaleras tipo gato. Estos sistemas suelen contar con soportes metálicos en la parte superior e inferior de la escalera, lo que permite que el cable que forma la línea de vida se extienda a lo largo de todo el sistema de acceso. Esta configuración proporciona seguridad desde el primer escalón, garantizando así la protección adecuada durante el ascenso y descenso.

Imagen 1. Ficha técnica de línea de vida vertical de ISI ingeniería.



Fuente: Registro interno de ISI ingeniería en seguridad industrial S.A.

En la Imagen 2, se presenta la configuración de una línea de vida horizontal que incluye varios accesorios, como el absorbedor, el tensor, guías intermedias rectas, guías intermedias semicurvadas y guías intermedias de 90°. Estos componentes se instalan de manera variada según las necesidades del cliente y la configuración del lugar de instalación. ISI Ingeniería ha implementado diferentes métodos de instalación, incluyendo el bridado, la soldadura y la fijación químicamente mediante epoxico. Cada método se elige cuidadosamente para garantizar la seguridad y la eficacia del sistema de línea de vida en cada entorno específico de instalación.

En la Imagen 3 se muestra el absorbedor de impacto utilizado actualmente por ISI Ingeniería en las instalaciones de líneas de vida. Este absorbedor cumple con rigurosos estándares de calidad y está fabricado en acero inoxidable para garantizar su durabilidad y resistencia a las condiciones climáticas adversas cuando se utiliza en exteriores. Este enfoque en la calidad del material y el diseño confiable es fundamental para asegurar la seguridad y confiabilidad de las líneas de vida instaladas por ISI Ingeniería.

Imagen 2. Ficha tecnica de linea de vida horizontal de ISI ingenieria.



Fuente: Registro interno de ISI ingeniería en seguridad industrial S.A.

Imagen 3. Ficha tecnica del kit de absorbedor de impacto de ISI ingenieria.



Fuente: Registro interno de ISI ingeniería en seguridad industrial S.A.

En el año 2022 el practicante de ingeniería mecánica hoy en día Ingeniero de la empresa ISI, realizo el trabajo de grado titulado: “*Diseño, optimización y validación de absorbedores de impacto de líneas de vida fijas para el trabajo seguro en alturas bajo requerimientos de ANSI Z359.6*”(Cesar Benavides Rojas, 2022)., donde presenta el desarrollo de diferentes prototipos los cuales fueron creados y puestos a prueba, con el objetivo de obtener un absorbedor de impacto nacional, sin embargo, los resultados no fueron los deseados, pero muy utilices para seguir el desarrollo de este dispositivo.

ISI al ser una empresa certificada con ISO 9001:2015 en prestación de servicio de ingeniería como muestra la imagen 4, y siendo una empresa comprometida con la calidad, el desarrollo de un proyecto tiene un procedimiento que consiste en (ISI Ingenieria en Seguridad Industrial SA, 2017):

1. Planificación del servicio
2. Intervención física
3. Inspecciones estructurales
4. Seguimiento y control

Imagen 4. Certificado de que ISI ingeniería hace los procesos con calidad.



Fuente: Registro interno de ISI ingeniería en seguridad industrial S.A.

Propiedades de los materiales

Elegir el material adecuado es esencial para garantizar el correcto funcionamiento de cualquier dispositivo, ya que sus propiedades determinan en gran medida si se pueden alcanzar los

objetivos deseados. Para seleccionar un material de manera adecuada, es fundamental tener en cuenta una serie de factores, como las condiciones de uso, los materiales con los que estará en contacto, el entorno en el que trabajará, los procesos de fabricación necesarios y si el material está respaldado por normativas específicas.

Una vez que se han establecido las características requeridas del material, es esencial contar con información detallada sobre sus propiedades mecánicas. En este sentido, la disponibilidad de una sólida base de datos resulta invaluable. Un ejemplo de ello es el sitio web MATWEB, el cual proporciona una extensa base de datos que incluye las características mecánicas de numerosos materiales. Empresas reconocidas como COMSOL, Solidworks, Autodesk y ANSYS contribuyen a alimentar esta base de datos, lo que garantiza la fiabilidad y veracidad de la información que se encuentra en ella.

La Imagen 5 ilustra las empresas que colaboran con este sitio web, destacando la importancia y la confiabilidad de los datos disponibles en MATWEB para la selección y el análisis de materiales en el diseño y la ingeniería de dispositivos.

Imagen 5. MatWeb, base de datos virtual de las características de los materiales.

MatWeb MATERIAL PROPERTY DATA Data sheets for over 180,000 metals, plastics, ceramics, and composites

Advertise with MatWeb REGISTER NOW

HOME • SEARCH • TOOLS • SUPPLIERS • FOLDERS • ABOUT US • FAQ • LOG IN

Searches: Advanced | Category | Property | Metals | Trade Name | Manufacturer | Recently Viewed Materials

MatWeb, Your Source for Materials Information

What is MatWeb? MatWeb's searchable database of material properties includes data sheets of thermoplastic and thermoset polymers such as ABS, nylon, polycarbonate, polyester, polyethylene and polypropylene; metals such as aluminum, cobalt, copper, lead, magnesium, nickel, steel, superalloys, titanium and zinc alloys; ceramics; plus semiconductors, fibers, and other engineering materials.

Benefits of registering with MatWeb
Premium membership Feature: - Material data exports into CAD/FEA Programs including:

COMSOL SolidWorks Autodesk Simulation ETBX ENGINEERS TOOLBOX
 NEiWorks ANSYS SPACECLAIM

How to Find Property Data in MatWeb

Quantitative Searches:

- Physical Properties
- Alloy Composition
- Advanced Search (Registration Required)

Categorized Searches:

- Material Type
- Manufacturer Name
- Trade Name
- Metal UNS Number

Text Search:

- Enter a key word or phrase in the box below (this search is also available at the top of every page).

SEARCH

Click here to see how to enter your company's materials into MatWeb.

We have over 180,000 materials in our database, and we are continually adding to that total to provide you with the most comprehensive free source of material property data on the web. For your convenience, MatWeb also has several Converters and Calculators that make common engineering tasks available at the click of a button. MatWeb is a work in progress. We are continually striving to find better ways to serve the engineering community. Please feel free to contact us with any comments or suggestions.

Fuente: <https://www.matweb.com/>

Análisis de materiales

El análisis de materiales es un proceso fundamental en el diseño y desarrollo de cualquier dispositivo. Implica la evaluación de cargas axiales, momentos flexionantes, torsión y cargas transversales para garantizar que el material seleccionado sea capaz de soportar las demandas del dispositivo durante su funcionamiento. Aunque es posible realizar estos análisis de forma manual, la complejidad de las ecuaciones aumenta considerablemente al considerar múltiples fenómenos simultáneamente, lo que puede aumentar el margen de error humano.

En la actualidad, contamos con una amplia variedad de herramientas informáticas que facilitan y optimizan el análisis de materiales. Estas herramientas permiten visualizar los fenómenos físicos y determinar la magnitud de las cargas y deformaciones resultantes, lo que brinda a los ingenieros la capacidad de tomar decisiones más informadas y precisas durante el proceso de diseño.

Una de estas herramientas es el software ANSYS, que se utiliza comúnmente para realizar análisis estáticos de materiales. Este software permite simular y evaluar el comportamiento de diferentes materiales bajo diversas condiciones de carga, lo que ayuda a los ingenieros a identificar áreas de preocupación y realizar ajustes en el diseño para garantizar la integridad estructural y el rendimiento óptimo del dispositivo.

Al utilizar herramientas de simulación como ANSYS, los ingenieros pueden realizar análisis detallados y exhaustivos que les permiten comprender mejor el comportamiento de los materiales y optimizar el diseño de los dispositivos para cumplir con los requisitos de rendimiento y seguridad. Esto resulta en productos finales de mayor calidad y fiabilidad, así como en una reducción del tiempo y los costos asociados con el desarrollo y la fabricación de dispositivos. En resumen, el uso de herramientas de simulación en el análisis de materiales es esencial para el diseño eficiente y efectivo de dispositivos en una amplia gama de aplicaciones industriales y tecnológicas.

3. Metodología

En el proceso de diseño de un dispositivo, es esencial seguir un procedimiento coherente que integre las necesidades específicas de la empresa, las regulaciones vigentes, el software disponible, el presupuesto disponible y un procedimiento meticulosamente diseñado. Este enfoque integral garantiza la calidad del producto final mientras se optimizan los costos del proceso, asegurando así una creación eficiente y efectiva del dispositivo

En el proceso, comenzaremos analizando las características de los diseños fabricados por ISI en estudios previos. Nos enfocaremos en los prototipos más cercanos a los requisitos de la normativa. En este caso, identificamos dos prototipos relevantes: el M2R1P4 y el M2R2P5. Durante las pruebas dinámicas, el M2R1P4 registró una fuerza de impacto máxima de 9.68 kN, mientras que el M2R2P5 registró 8.525 kN.

Imagen 6. Modelo 2 Referencia 1 Absorbedor de Impacto ISI Ingeniería



Fuente: Elaborado por ISI Ingeniería en Seguridad Industrial

Imagen 7. Modelo 2 Referencia 2 Absorbedor de Impacto ISI Ingeniería

Fuente: Elaborado por ISI Ingeniería en Seguridad Industrial

La Tabla 1 proporciona una visión detallada de las características físicas resultantes de las pruebas aplicadas a los dos absorbedores estudiados en proyectos anteriores. Estos datos incluyen mediciones clave como la fuerza de impacto y la deformación por cada absorbedor durante las pruebas realizadas.

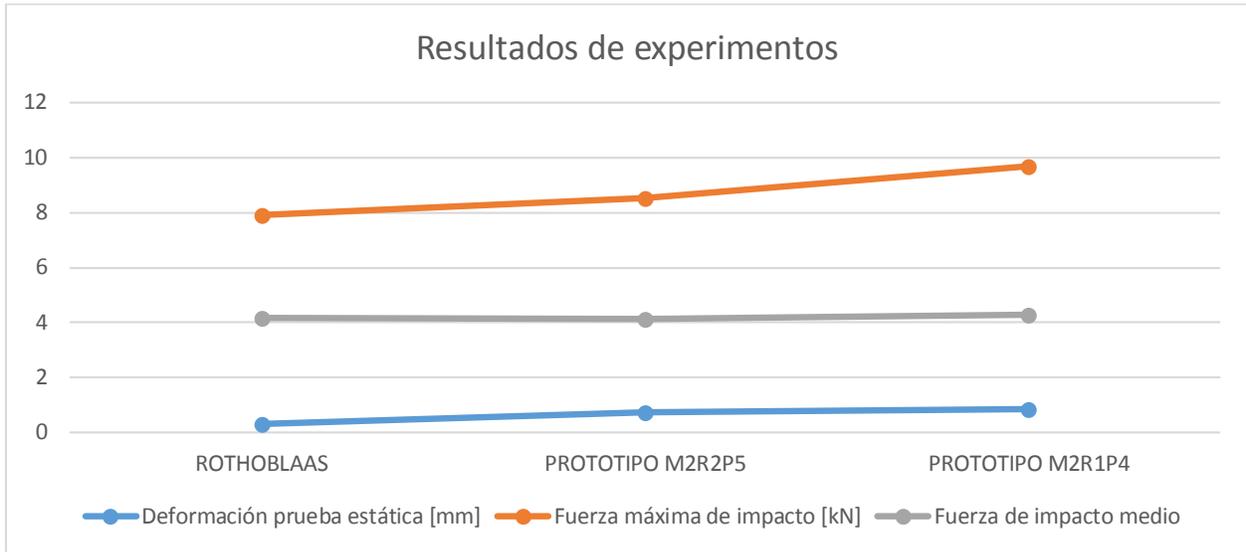
Al observar la gráfica 1, podemos notar una tendencia clara de proporcionalidad entre la deformación y la fuerza de impacto. A medida que la deformación aumenta, también lo hace la fuerza de impacto registrada.

Tabla 1. Resultados de absorbedores que activaron el sistema de amortiguación en estudios anteriores.

	ROTHOBLAAS	PROTOTIPO M2R2P5	PROTOTIPO M2R1P4
Deformación prueba estática [mm]	0,3	0,75	0,86
Fuerza máxima de impacto [kN]	7,92	8,53	9,68
Fuerza de impacto medio	4,17	4,13	4,27

Fuente: Elaborado propia

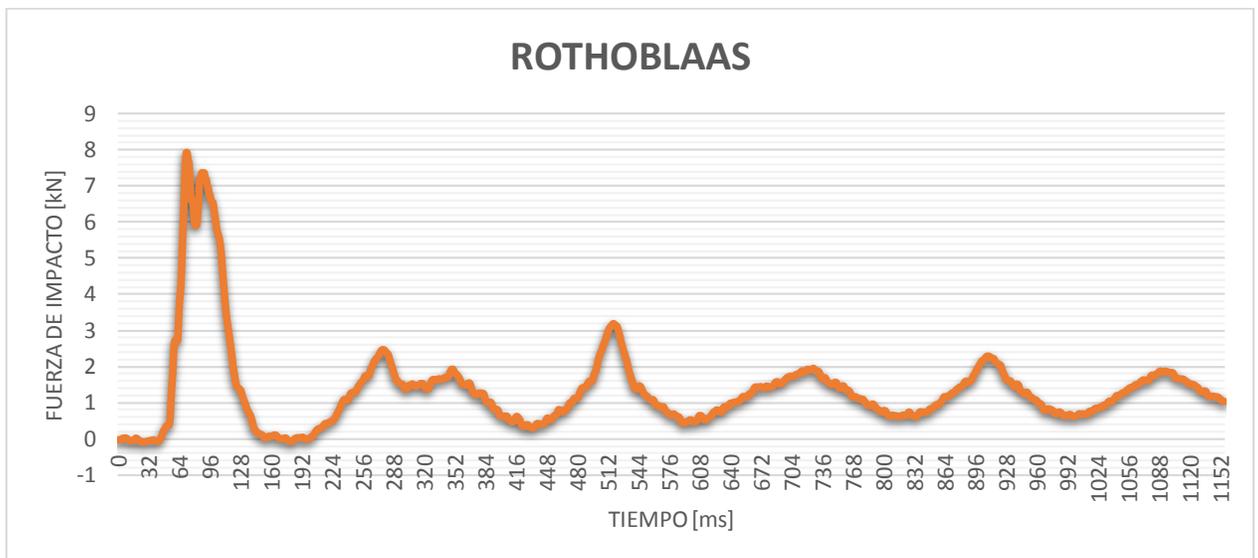
Gráfico 1. Resultados de las pruebas realizadas a prototipos.



Fuente: Elaboración propia

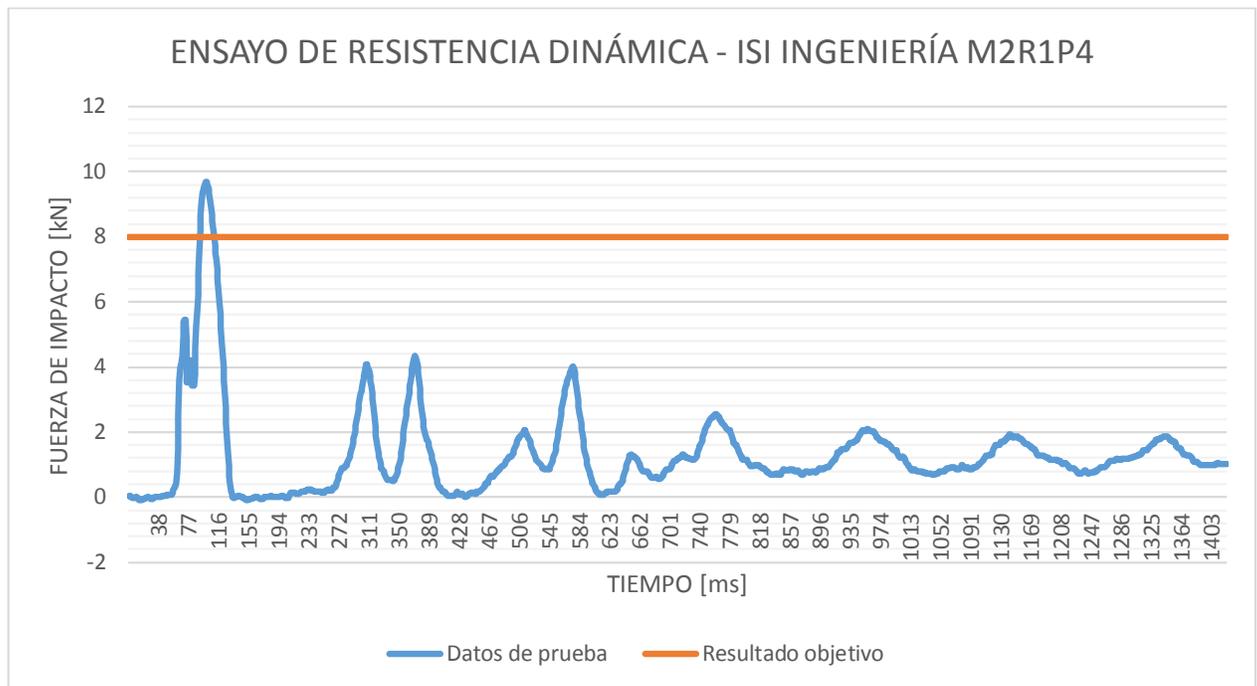
Los Gráficos 3, 4 y 5 presentan los resultados de las pruebas de impacto del dispositivo de impacto base, así como los dos prototipos más cercanos a cumplir con la normativa establecida. Estas representaciones visuales nos permiten comparar y analizar de manera clara y directa el rendimiento de cada diseño frente a los estándares requeridos.

Gráfico 2. resultados de prueba dinámica del Absorbedor ROTHOBLAAS.



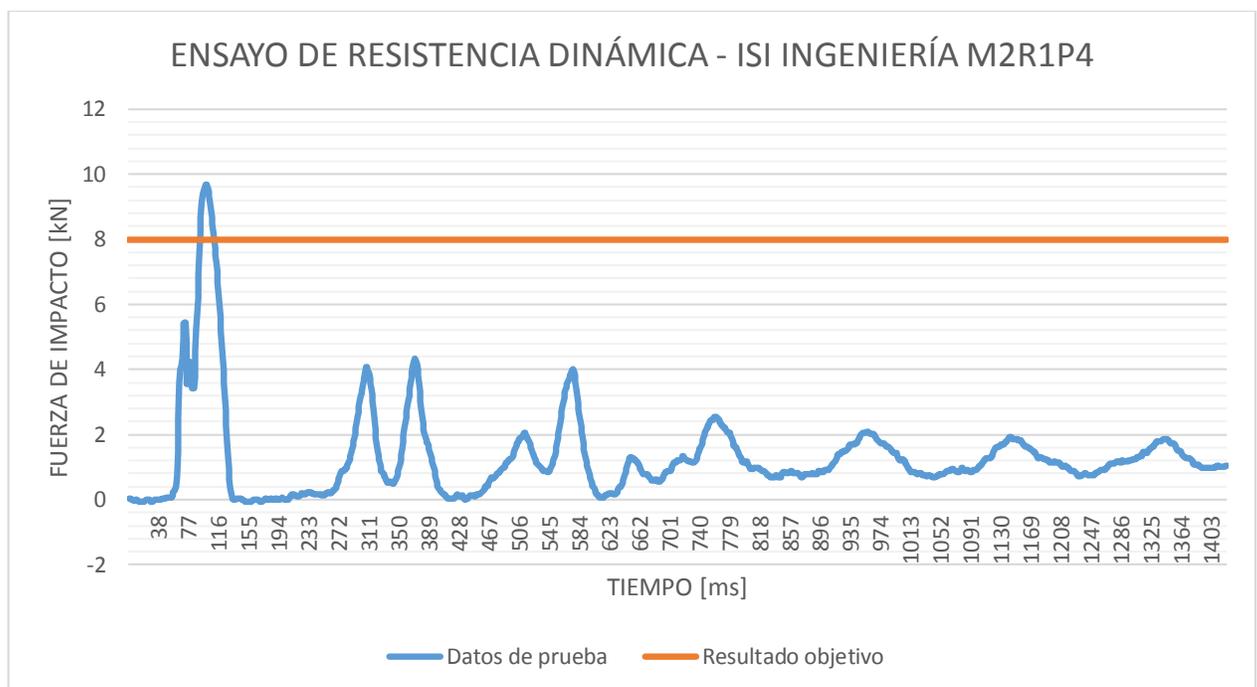
Fuente: Registro interno ISI Ingeniería en Seguridad Industrial (2022)

Gráfico 3. Resultados Fuerza de Impacto VS Tiempo Absorbedor de Impacto M2R1P4



Fuente: Registro interno ISI Ingeniería en Seguridad Industrial (2022)

Gráfico 4. Resultados Fuerza de Impacto VS Tiempo Absorbedor de Impacto M2R2P5



Fuente: Registro interno ISI Ingeniería en Seguridad Industrial (2022)

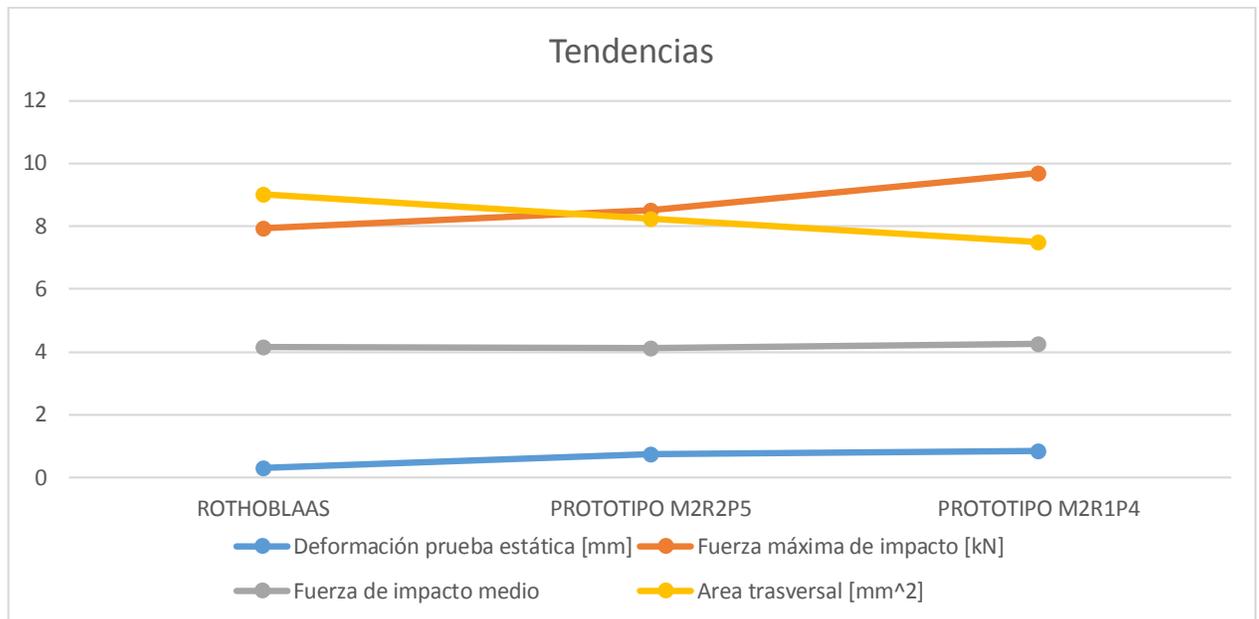
Además de registrar las propiedades resultantes, se procedió a medir el alto y el ancho de la primera pestaña de cada prototipo, esto nos permite determinar el área transversal, Estos datos se presentan en la Tabla 2, junto con los resultados obtenidos, los cuales han sido graficados en la gráfica 5. Esta información adicional nos muestra una relación entre el área transversal, deformación de la prueba estática y la fuerza máxima de impacto.

Tabla 2. Propiedades físicas y dimensionales de los absorbedores.

	ROTHOBLAAS	PROTOTIPO M2R2P5	PROTOTIPO M2R1P4
Deformación prueba estática [mm]	0,3	0,75	0,86
Fuerza máxima de impacto [kN]	7,92	8,53	9,68
Fuerza de impacto medio	4,17	4,13	4,27
Alto [mm]	3,00	2,75	2,50
Ancho [mm]	3,00	3,00	3,00
Área trasversal [mm ²]	9,0	8,3	7,5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 5. Resultados de las pruebas de los prototipos y el área transversal de la primera pestaña del absorbedor.



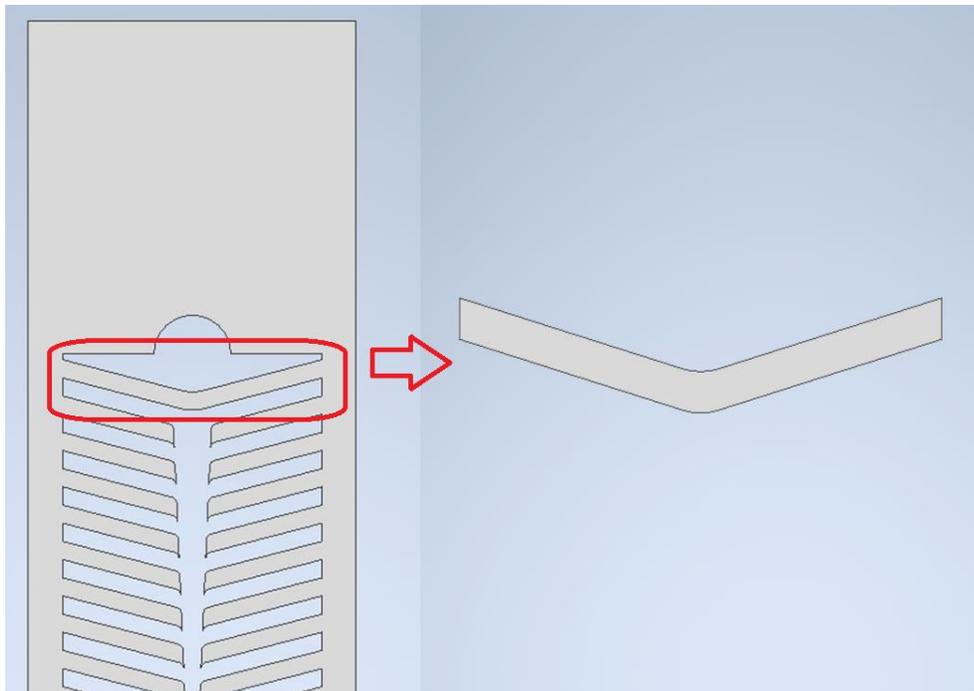
Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta la forma de las gráficas 2, 3 y 4, así como la estructura de los absorbedores de impacto y la información proporcionada en la gráfica 5, coincidimos en que el

pico más alto representa la fuerza que absorbe la primera pestaña hasta su deformación máxima. Esto sugiere que a medida que aumenta el área transversal de la primera pestaña, la deformación estática tiende a disminuir, lo que a su vez reduce la fuerza de impacto registrada. Por tanto, la absorción inicial del absorbedor es responsabilidad principalmente de la primera pestaña, la cual juega un papel crucial en la absorción de la fuerza de impacto inicial y la reducción de la deformación estática, lo que contribuye a mejorar la seguridad y la eficacia del sistema de línea de vida.

Teniendo en cuenta esta hipótesis, simplificaremos el análisis centrándonos en la primera pestaña del absorbedor, donde variaremos el espesor para determinar cuál nos proporciona un rendimiento cercano al prototipo certificado. Para este fin, utilizaremos el software de diseño CAD de AUTODESK para modelar el prototipo y luego emplearemos el software ANSYS para llevar a cabo el análisis estático. El prototipo por analizar se muestra en la Imagen 8. En este proceso evaluaremos cómo afecta esto a la capacidad de absorción de impacto del absorbedor y a la deformación estática resultante.

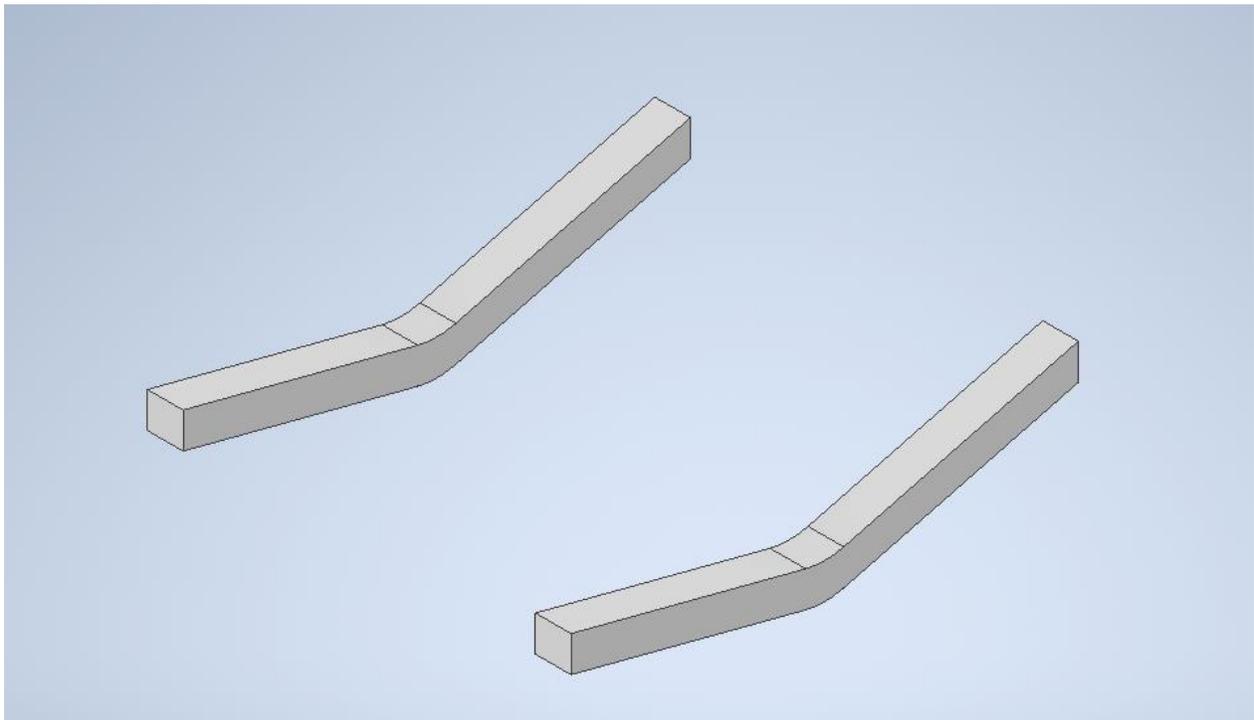
Imagen 8. Pestaña del sistema de absorción que se va a analizar.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de Inventor

Al decidir analizar únicamente la pestaña inicial del absorbedor, es importante tener en cuenta que el absorbedor está compuesto por una lámina doblada, lo que significa que el tornillo descansa sobre dos superficies equidistantes, correspondientes a las dos pestañas. La Imagen 9 ilustra el ensamblaje para este análisis, destacando las dos pestañas del absorbedor. Este montaje nos permite simular con precisión la carga aplicada sobre la pestaña inicial y evaluar su respuesta bajo condiciones de carga reales.

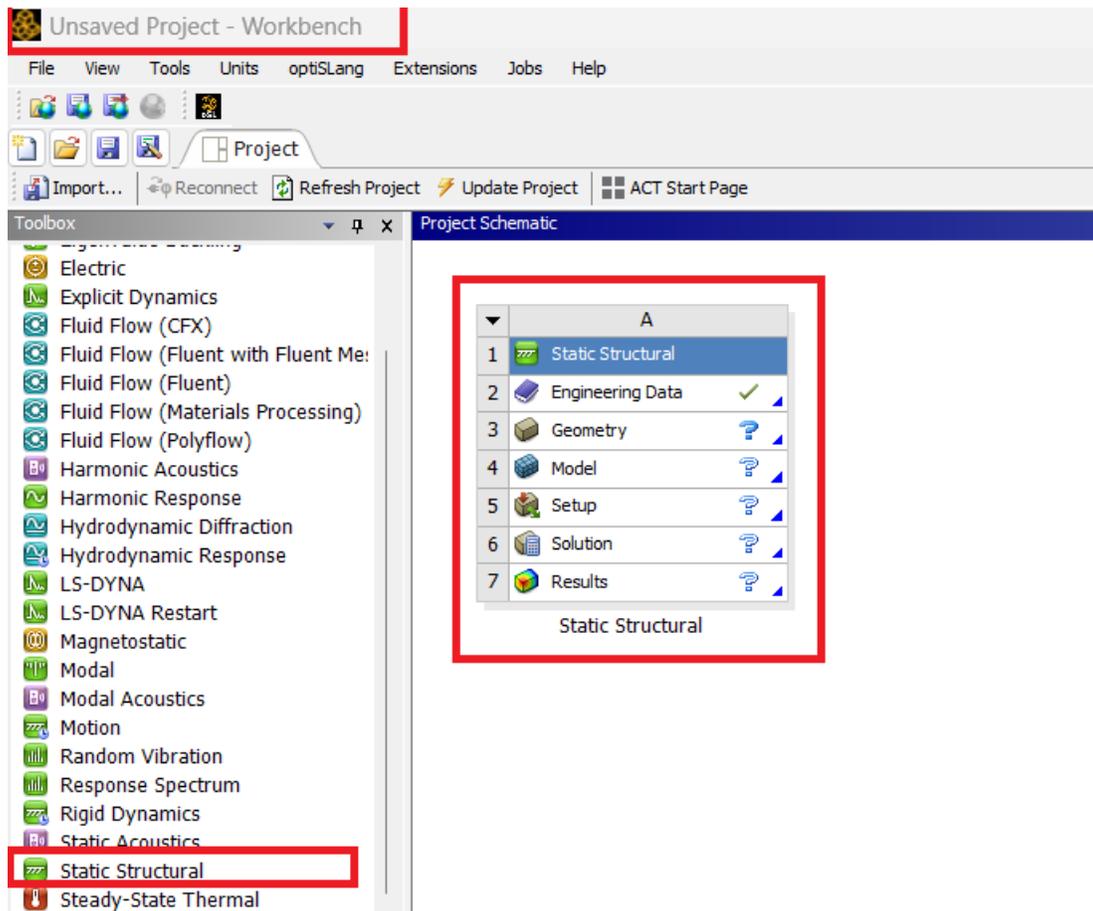
Imagen 9. Ensamble para hacer analisis.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de Inventor

Para iniciar el estudio estático en ANSYS, utilizamos la herramienta "Workbench". En esta plataforma, seleccionamos el estudio de "Static Structural". Esto nos permite realizar un análisis estático de la estructura en cuestión. Al seleccionar esta opción, se despliega un cuadro que sigue el paso a paso que se muestra en la Imagen 10. Este paso a paso nos guía a través del proceso de configuración del estudio estático, donde podemos definir las condiciones de carga, restricciones y propiedades del material. Este enfoque paso a paso facilita la configuración precisa del análisis

Imagen 10. Procedimiento inicial para hacer un análisis estático en ANSYS.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Para iniciar el estudio en estático, hemos determinado que el material con el que se fabricará el dispositivo es acero inoxidable AISI 304. Este material ha sido seleccionado debido a sus adecuadas características mecánicas para trabajos en exteriores y porque cumple con los requisitos de la normativa aplicable. Las propiedades de este material se muestran en la Imagen 11, obtenidas de MATWEB. Estos datos son los que se utilizarán en el análisis estático, lo que nos permitirá evaluar con precisión el comportamiento del dispositivo bajo diferentes condiciones de carga y asegurar su funcionalidad y seguridad en aplicaciones prácticas.

Imagen 11. Propiedades del acero AISI 304.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	8.00 g/cc	0.289 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	123	123	Converted from Rockwell B hardness.
Hardness, Knoop	138	138	Converted from Rockwell B hardness.
Hardness, Rockwell B	70	70	
Hardness, Vickers	129	129	Converted from Rockwell B hardness.
Tensile Strength, Ultimate	505 MPa	73200 psi	
Tensile Strength, Yield	215 MPa @ Strain 0.200 %	31200 psi @ Strain 0.200 %	
Elongation at Break	70 %	70 %	in 50 mm
Modulus of Elasticity	193 GPa	28000 ksi	
Poissons Ratio	0.29	0.29	
Shear Modulus	77.0 GPa	11200 ksi	
Izod Impact	150 J @ Temperature -195 °C	111 ft-lb @ Temperature -319 °F	V-Notch
	150 J @ Temperature 21.0 °C	111 ft-lb @ Temperature 69.8 °F	V-Notch
Charpy Impact	325 J	240 ft-lb	

Fuente: <https://www.matweb.com/>

Las características proporcionadas por MATWEB se ingresaron a la sección "Engineering Data" del software, tal como se muestra en la Imagen 12, con el fin de garantizar que los resultados sean coherentes y que el material no sea un factor de estudio. Al utilizar las propiedades mecánicas exactas del acero inoxidable AISI 304, podemos simular con precisión el comportamiento del dispositivo bajo diferentes condiciones de carga y restricciones. Esto nos permite obtener resultados precisos y confiables que reflejen el comportamiento real del dispositivo en aplicaciones prácticas.

Imagen 12. Propiedades del material AISI 304 ingresados en el software ANSYS

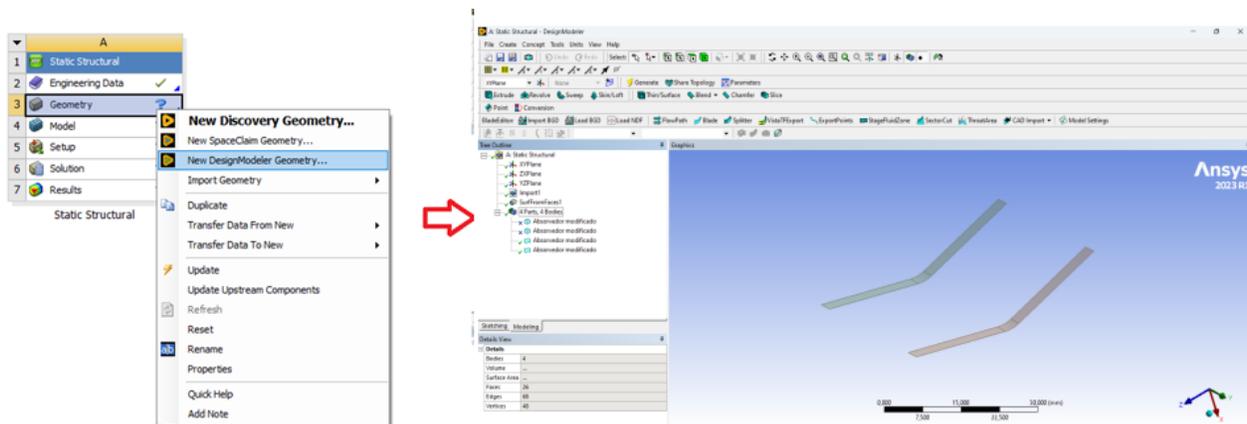
The screenshot shows the ANSYS Engineering Data interface. The top window is titled "Outline of Schematic A2: Engineering Data" and contains a tree view with columns A, B, C, D, and E. Row 3 is highlighted, showing "AISI 304". Below this, a window titled "Properties of Outline Row 4: AISI 304" displays a table of material properties.

	A	B	C	D	E
1	Property	Value	Unit		
2	Material Field Variables	Table			
3	Density	8	g cm ⁻³		
4	Isotropic Elasticity				
5	Derive from	Young's ...			
6	Young's Modulus	193	GPa		
7	Poisson's Ratio	0,29			
8	Bulk Modulus	1,5317E+11	Pa		
9	Shear Modulus	7,4806E+10	Pa		

Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Una vez determinadas las características del material, se avanza seleccionando la opción "New DesignModeler Geometry" en la sección de "Geometry". Esto lleva a una ventana donde se puede ajustar el modelo para eliminar características no deseadas que podrían interferir con el estudio, tal como se observa en la imagen 13. En este paso, se aseguran de limpiar el modelo y eliminar cualquier detalle innecesario o "basura" que podría afectar la precisión del análisis. Esto incluye la corrección de geometrías defectuosas o la eliminación de características que no son relevantes para el estudio en cuestión. Al limpiar el modelo de esta manera, se garantiza que el análisis se base en una representación precisa y simplificada de la geometría del dispositivo.

Imagen 13. Ajuste del modelo para el análisis estático.



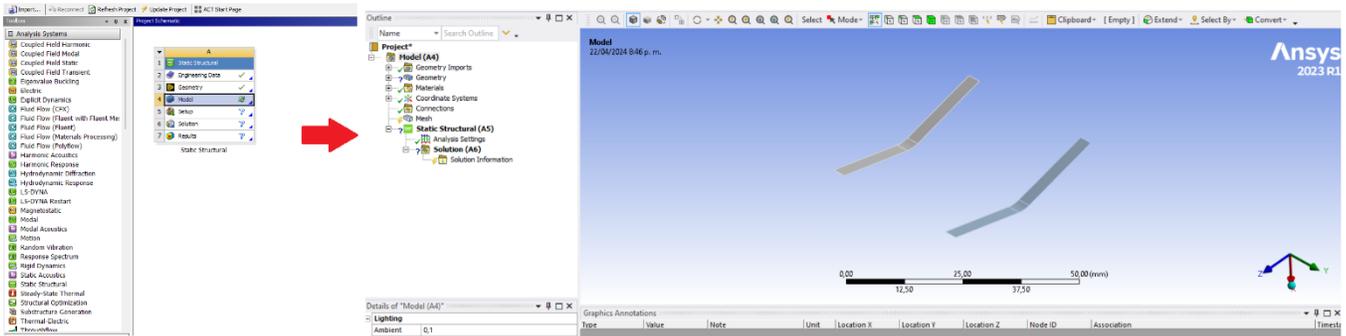
Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Una vez finalizado el diseño del amortiguador de impacto, nos preparamos para analizar sus características. Para ello, accedemos a la pestaña "Model", la cual nos permite definir las condiciones de frontera necesarias para el análisis. En la imagen 14 adjunta, se observa cómo se despliega la ventana y las diferentes características que debemos definir.

En este paso crucial, proporcionaremos las características detalladas de las piezas diseñadas. Esto incluirá parámetros como materiales utilizados, dimensiones exactas y propiedades físicas. El objetivo es realizar un análisis exhaustivo que nos permita evaluar la viabilidad y eficacia del diseño propuesto.

Una vez completado este análisis, estaremos en condiciones de realizar ajustes o modificaciones según sea necesario. Esto nos permitirá optimizar el diseño y garantizar su adecuación para su uso final.

Imagen 14. Ventana "Model" para determinar las características de frontera del diseño.

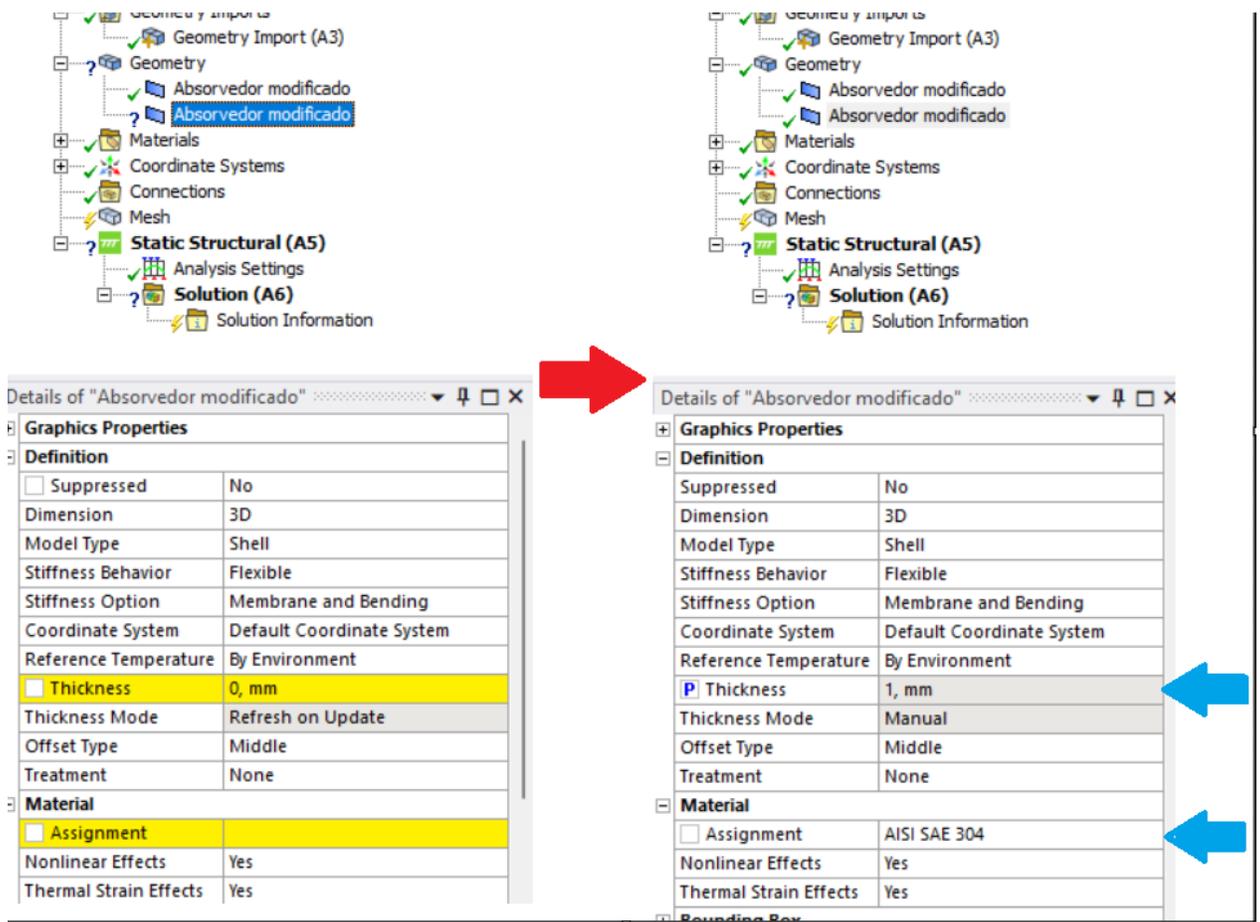


Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

El proceso comienza determinando el espesor de las piezas y su material. Esto se lleva a cabo en la sección de "Geometry". En la opción "Thickness", establecemos un espesor de 1 mm para el primer análisis. Al mismo tiempo, configuramos esta característica como variable, indicada por la letra P en el recuadro, con el propósito de evaluar su impacto en las deformaciones.

En la sección de "Assignment", especificamos que el material de nuestro diseño es AISI SAE 304. Este paso se repite para cada componente del sistema. En la imagen 15 se muestra cómo se determinan estas variables. Cuando se configuran correctamente, una marca de verificación verde aparece junto a cada componente

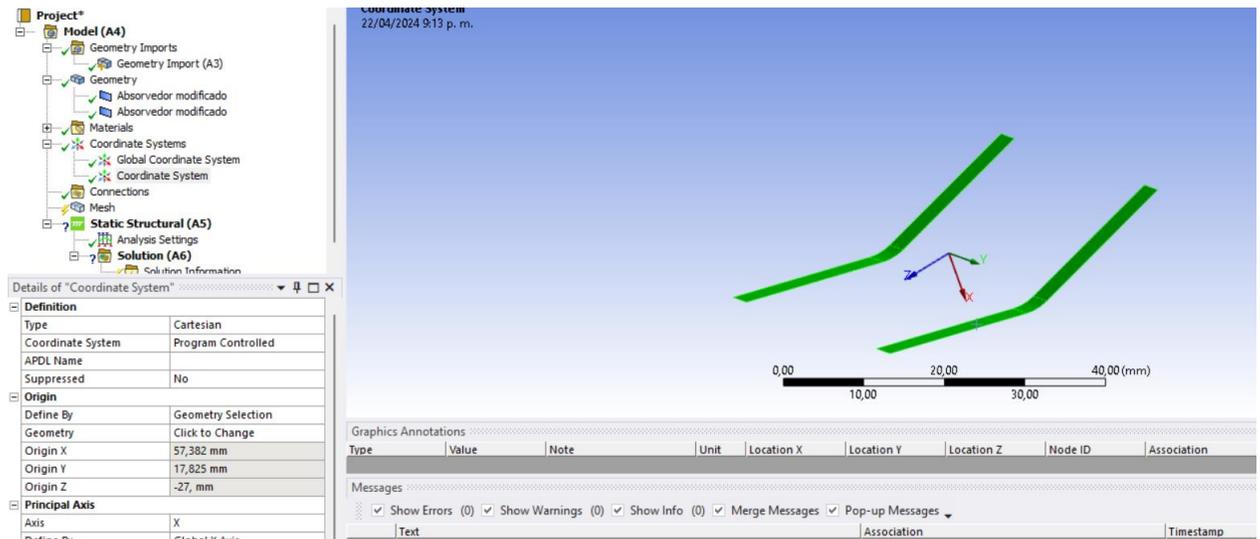
Imagen 15. Determinaciones de las variables geométricas para el análisis del diseño.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

En la siguiente etapa, establecimos un nuevo sistema de coordenadas en la sección "Coordinate Systems". El objetivo principal era asegurar que las fuerzas que actúan sobre los cuerpos estuvieran centradas en estos. Para lograrlo, seleccionamos cada cara de cada cuerpo, y el sistema determinó automáticamente el nuevo sistema de coordenadas, como se ilustra en la imagen 16.

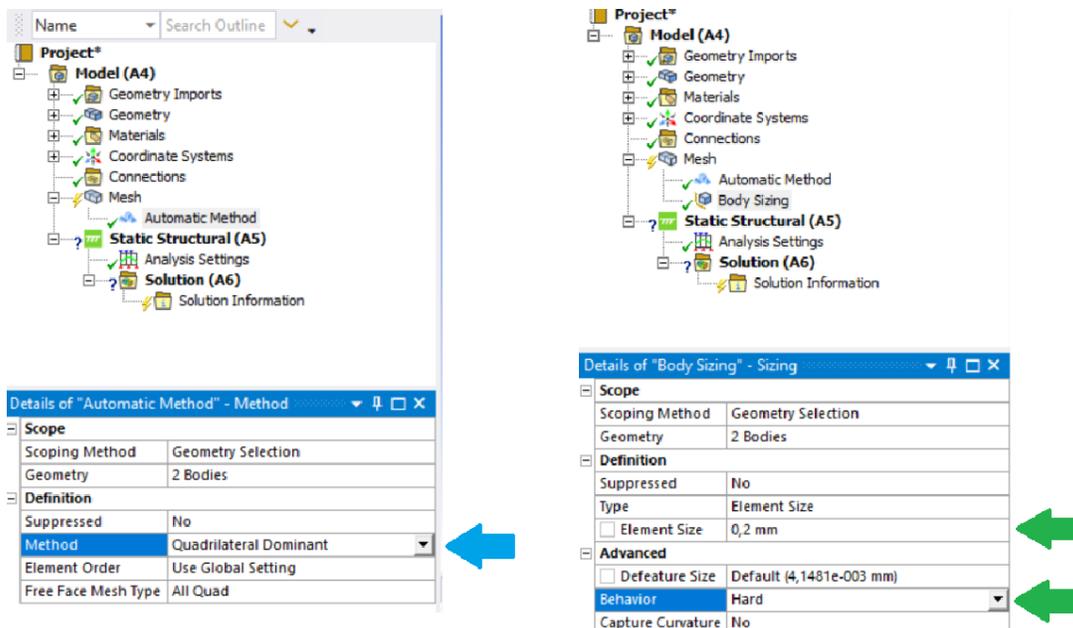
Imagen 16. Nuevo sistema de coordenadas, determinado con los cuerpos a estudiar.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

En la sección "Mesh", definimos el método y el tamaño de la malla. En la imagen 17, se observa que el tipo de mallado seleccionado es "Cuadrilátero Dominante", lo cual es una elección adecuada dada la forma del modelo. En cuanto al tamaño de la malla, determinamos que los elementos tengan un tamaño de 0,2 mm, con un comportamiento fuerte. Esta configuración nos garantiza que los resultados obtenidos sean altamente precisos.

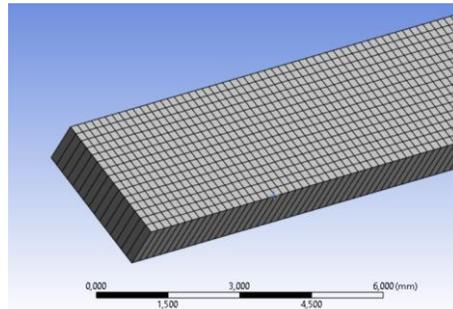
Imagen 17. Características del mallado para nuestros elementos.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

El resultado del mallado en elementos se puede apreciar en la imagen 18, donde observamos elementos ordenados en todo el cuerpo. El tamaño de estos elementos es adecuado, lo que nos permite obtener resultados muy cercanos a la realidad.

Imagen 18. Forma del mallado en los elementos a analizar

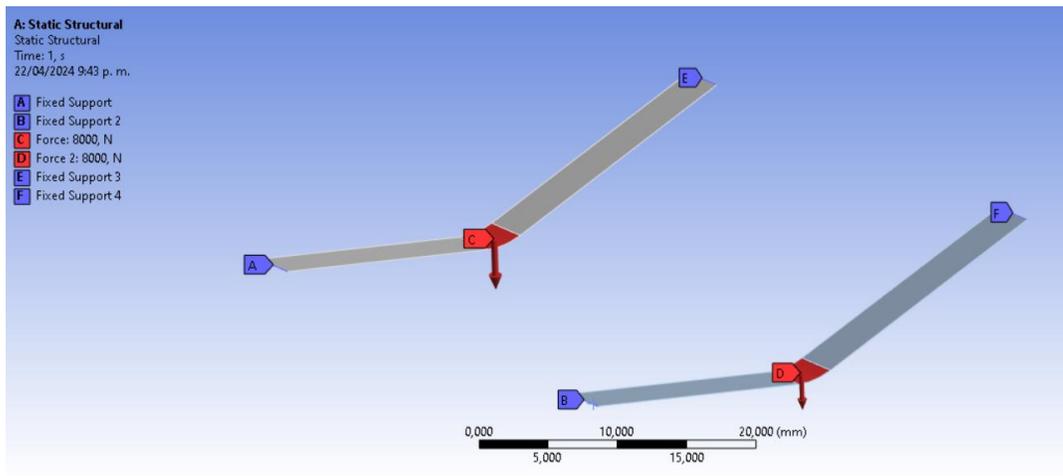


Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Continuamos definiendo las condiciones de frontera. En ellas, establecemos que las puntas de los cuerpos actúan como soportes fijos, dado que forman parte del absorbedor como un único componente. Además, aplicamos una fuerza de 8.000 N a cada componente, conforme a la norma ANSI Z359.16, sección 3.1.4.3, que requiere una fuerza de 16 kN durante 1 minuto en la prueba estática.

En este estudio, distribuimos la fuerza por igual entre las dos partes del cuerpo, por lo que cada lado debe soportar 8.000 N. En la imagen 19, se pueden observar con claridad las condiciones de frontera y sus valores.

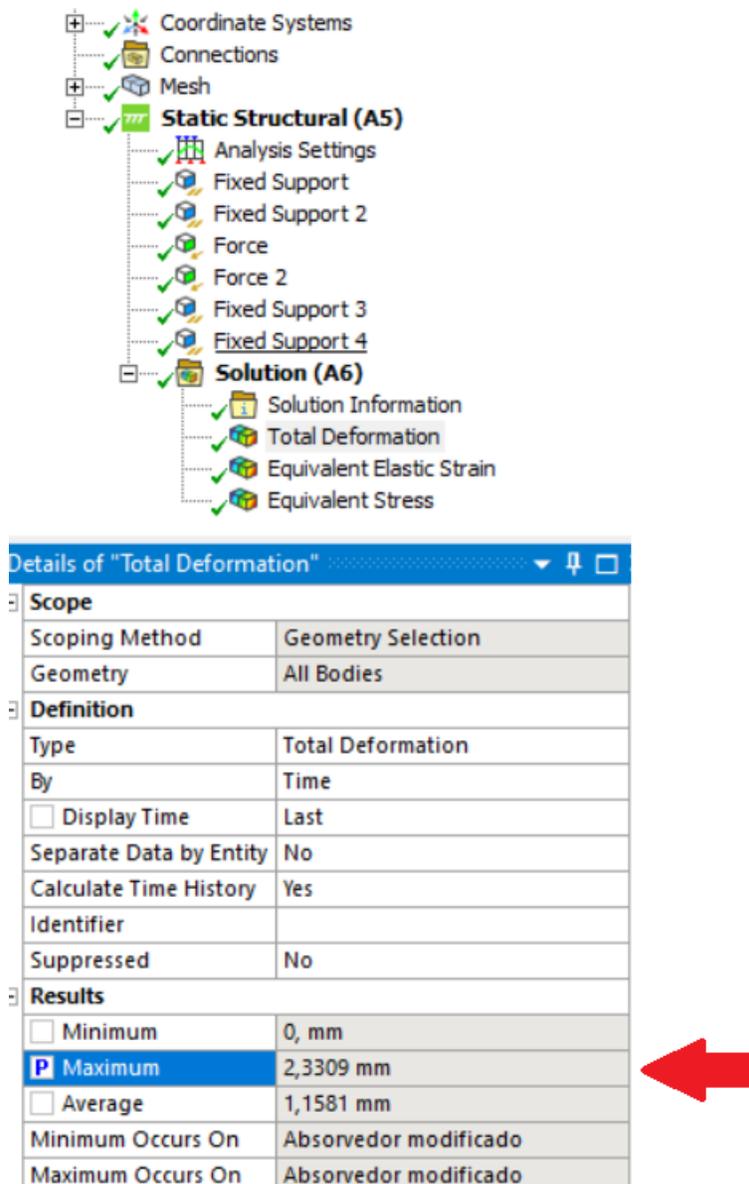
Imagen 19. Características de frontera.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Con todas las configuraciones establecidas, procedemos a verificar la deformación total, la deformación elástica y las tensiones equivalentes. Para la deformación total, determinamos que la máxima deformación sea un valor de salida al variar el espesor de los cuerpos. En la imagen 20, la flecha roja nos indica un "P" en la casilla de máximo, lo que significa que nos mostrará los resultados de la máxima deformación al cambiar el espesor.

Imagen 20. Determinando que la deformación máxima va hacer una característica de salida cuando se cambie el espesor.



The image shows the ANSYS Workbench interface. On the left, the tree view displays the following items:

- Coordinate Systems
- Connections
- Mesh
- Static Structural (A5)**
 - Analysis Settings
 - Fixed Support
 - Fixed Support 2
 - Force
 - Force 2
 - Fixed Support 3
 - Fixed Support 4
- Solution (A6)**
 - Solution Information
 - Total Deformation
 - Equivalent Elastic Strain
 - Equivalent Stress

Below the tree view, the 'Details of "Total Deformation"' window is open, showing the following settings:

Details of "Total Deformation"	
Scope	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	All Bodies
Definition	
Type	Total Deformation
By	Time
<input type="checkbox"/> Display Time	Last
Separate Data by Entity	No
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
Results	
<input type="checkbox"/> Minimum	0, mm
<input checked="" type="checkbox"/> Maximum	2,3309 mm
<input type="checkbox"/> Average	1,1581 mm
Minimum Occurs On	Absorvedor modificado
Maximum Occurs On	Absorvedor modificado

A red arrow points to the 'Maximum' result row in the table.

Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Después de obtener los resultados del primer análisis, donde determinamos un espesor de 1 mm, salimos de la ventana y nos dirigimos a la opción "Parameters". Aquí se despliega un recuadro donde ingresamos el espesor de las pestañas (flechas verdes) y obtenemos el resultado de la deformación máxima (flecha azul), sin necesidad de repetir todo el procedimiento para cada espesor a analizar. En la imagen 21 se pueden observar los parámetros de entrada y el resultado.

Imagen 21. Deformación máxima, al entrar el espesor de las pestañas, sin necesidad de hacer todo el procedimiento

The image shows the ANSYS Parameters window and the Table of Design Points. The Parameters window is divided into Input Parameters and Output Parameters. The Input Parameters section shows two parameters: P1 and P2, both named 'Absorbed modified Thickness' with a value of 1 and units of mm. The Output Parameters section shows one parameter: P3, named 'Total Deformation Maximum' with a value of 2,3309 and units of mm. The Table of Design Points shows the results for three different thicknesses: 1 mm, 2.5 mm, and 2.75 mm. The maximum deformation values are 2,3309 mm, 2,5 mm, and 2,75 mm respectively. Green arrows point to the input parameters, and a blue arrow points to the output parameter.

ID	Parameter Name	Value	Unit
1	P1 - Absorbed modified Thickness	1	mm
2	P2 - Absorbed modified Thickness	1	mm
3	P3 - Total Deformation Maximum	2,3309	mm

Name	P1 - Absorbed modified Thickness	P2 - Absorbed modified Thickness	P3 - Total Deformation Maximum	Ret...	Retained Data	Note
DP 0 (Current)	1	1	2,3309	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
DP 1	2,5	2,5		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
DP 2	2,75	2,75		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Tras obtener los resultados para los espesores conocidos, calculamos el error utilizando la ecuación 1. Este cálculo se realiza teniendo en cuenta tanto los resultados obtenidos mediante ANSYS como los datos de experimentos previos.

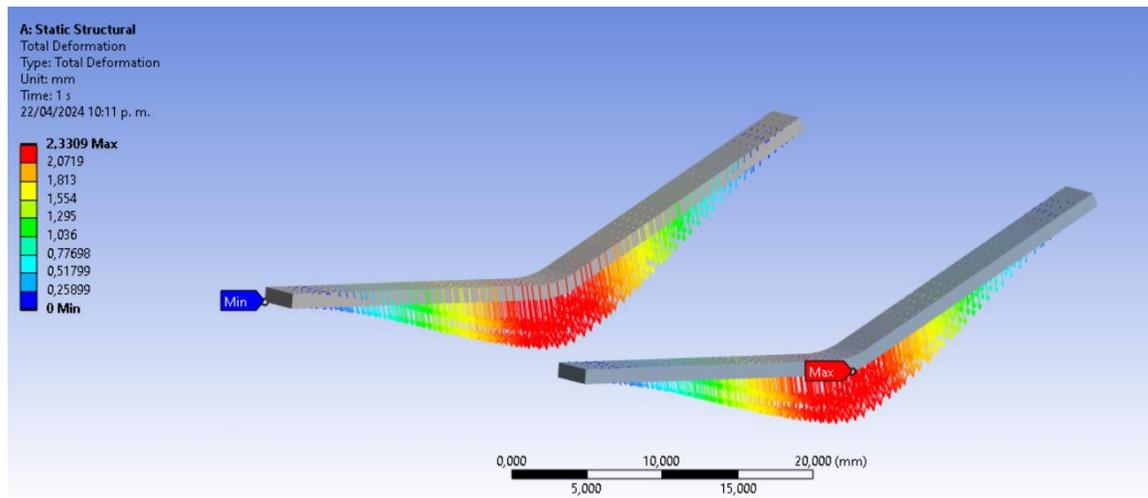
$$\% \text{ error} = \left| \frac{\text{Deformación}_{ansys} - \text{Deformación}_{prueba \text{ estatica}}}{\text{Deformación}_{prueba \text{ estatica}}} \right| \times 100 \quad (1)$$

Después de verificar que el porcentaje de error se encuentra dentro de un rango aceptable, procedemos a realizar análisis con varios espesores de la pestaña hasta encontrar aquel que se aproxime a los resultados estáticos de ROTHOBLAAS. Una vez determinado este espesor, diseñamos el prototipo en INVENTOR utilizando dicho valor de la pestaña.

4. Resultados

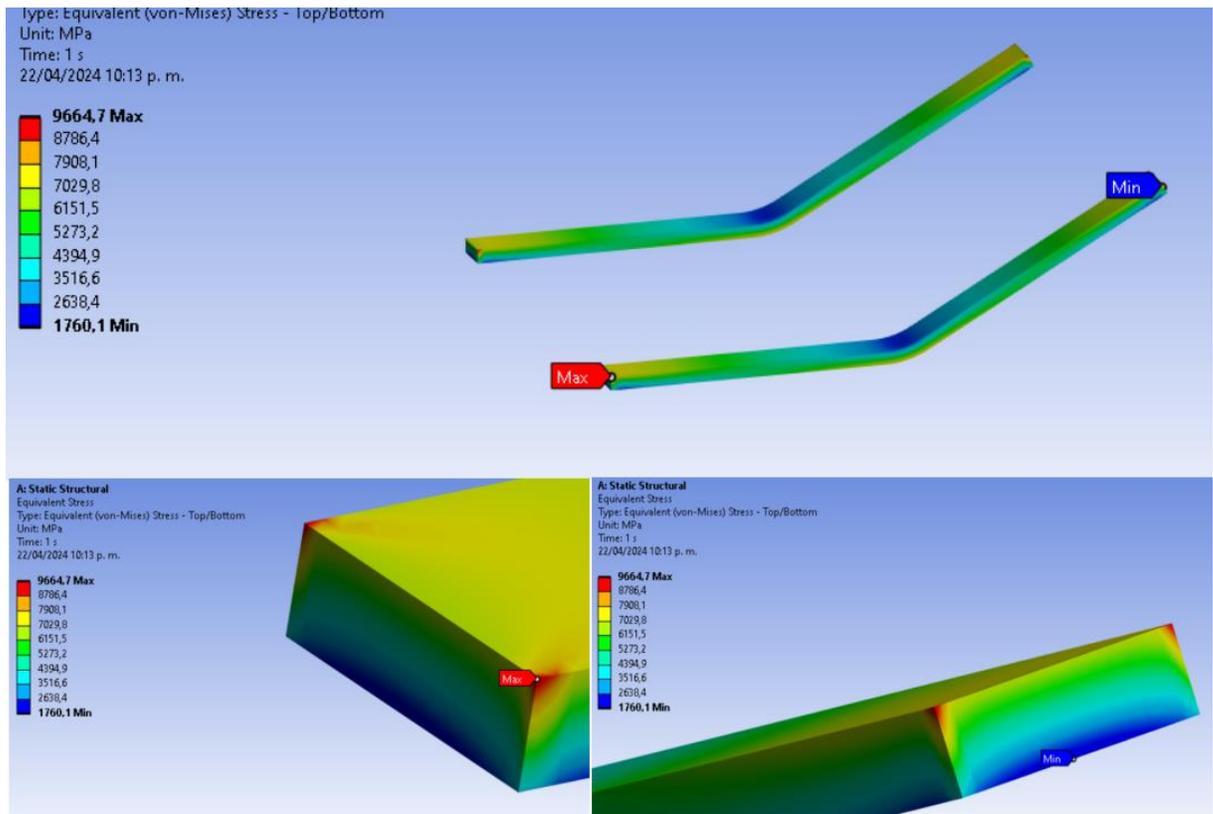
Durante el análisis estático realizado en el software ANSYS, observamos mediante vectores que la deformación más grande se encuentra en el centro del modelo, como se muestra en la imagen 22. En ella, podemos apreciar que la deformación mínima se encuentra en los extremos y aumenta gradualmente hasta alcanzar su punto máximo en el centro.

Imagen 22. Vectores de deformación en el modelo.



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

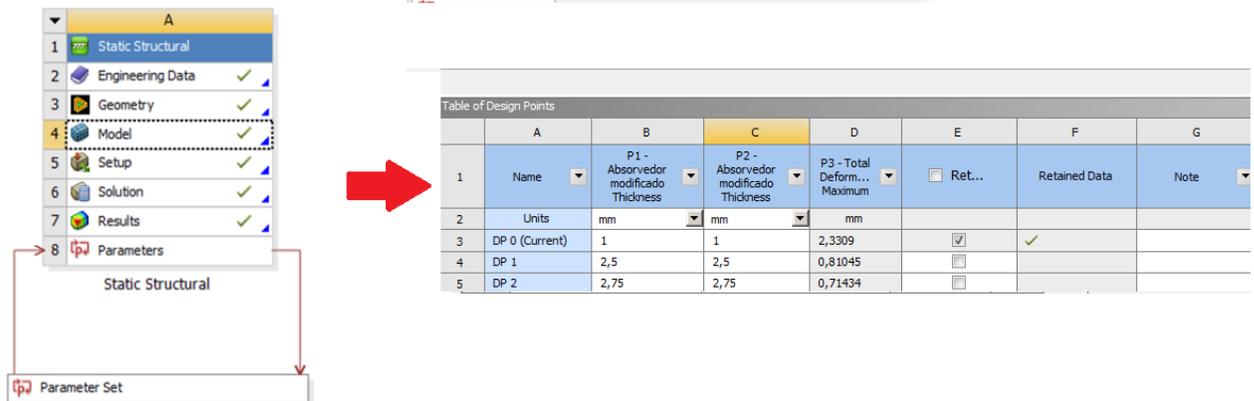
La imagen 23 ofrece una visión detallada de los esfuerzos resultantes en el diseño de la pestaña del amortiguador de impacto. Se destaca que los extremos superiores de la pestaña son las áreas que soportan los esfuerzos máximos, mientras que la deformación en la parte inferior es mínima. Estos hallazgos son cruciales para comprender la distribución de cargas y pueden guiar ajustes en el diseño para mejorar su durabilidad y eficacia.

Imagen 23. Esfuerzos resultantes.

Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Durante el análisis estático con un espesor de un milímetro en la pestaña, recurrimos a la opción "Parameters" para evaluar los resultados obtenidos en experimentos previos. En la imagen 24, se observa cómo al ajustar la altura de cada pestaña se obtiene la deformación máxima correspondiente, sin la necesidad de repetir el proceso de configuración del prototipo desde el principio. Este enfoque nos permite optimizar el diseño del amortiguador de impacto al comparar los resultados obtenidos con datos previamente establecidos.

Imagen 24. Deformación máxima de la pestaña teniendo en cuenta los espesores de prototipos colocados a prueba



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

Una vez obtenidos los resultados, procedimos a determinar el error comparando los resultados de ANSYS con los obtenidos en pruebas estáticas realizadas en prototipos de ensayos pasados. En la tabla 3, se observa que la diferencia entre los resultados del software ANSYS y las pruebas de los prototipos M2R2P5 y M2R1P4 es menor al 6%. Esto nos lleva a concluir que el análisis realizado es una herramienta confiable para determinar la altura de la pestaña. Por lo tanto, continuamos con el análisis de otras alturas hasta alcanzar resultados iguales o mejores que los de ROTHBLAAS, lo que nos permitirá optimizar aún más el diseño del amortiguador de impacto

Tabla 3. Resultados de las pruebas realizadas.

	ROTHOBLAAS	PROTOTIPO M2R2P5	PROTOTIPO M2R1P4
Deformación prueba estática [mm]	0,3	0,75	0,86
Fuerza máxima de impacto [kN]	7,92	8,53	9,68
Fuerza de impacto medio	4,17	4,13	4,27
Alto [mm]	3,00	2,75	2,50
Ancho [mm]	3,00	3,00	3,00
Area trasversal [mm^2]	9,0	8,3	7,5
Ansys real		0,71435	0,81046
Error		4,75%	5,76%

Fuente: Elaboración propia

Tomando en cuenta la validez de los análisis realizados por ANSYS, procedimos a ingresar más valores de altura a la pestaña en el cuadro de "Parameters". Decidimos incrementar la altura en intervalos de 0.5 mm, hasta alcanzar los 5 mm, como se muestra en la imagen 25. Sin embargo, al llegar a esta última altura, se obtuvo un resultado por debajo de los estándares establecidos por ROTHOBLAAS.

Imagen 25. deformación máxima de la pestaña según ANSYS.

	A	B	C	D	E	F	G
1	Name	P1 - Absorvedor modificado Thickness	P2 - Absorvedor modificado Thickness	P3 - Total Deform... Maximum	<input type="checkbox"/> Ret...	Retained Data	Note
2	Units	mm	mm	mm			
3	DP 0 (Current)	1	1	2,3309	<input checked="" type="checkbox"/>	✓	
4	DP 1	2,5	2,5	0,81045	<input type="checkbox"/>		
5	DP 2	2,75	2,75	0,71434	<input type="checkbox"/>		
6	DP 3	3	3	0,63401	<input type="checkbox"/>		
7	DP 4	3,5	3,5	0,50795	<input type="checkbox"/>		
8	DP 5	4	4	0,41446	<input type="checkbox"/>		
9	DP 6	4,5	4,5	0,3433	<input type="checkbox"/>		
10	DP 7	5	5	0,28809	<input type="checkbox"/>		

Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de ANSYS

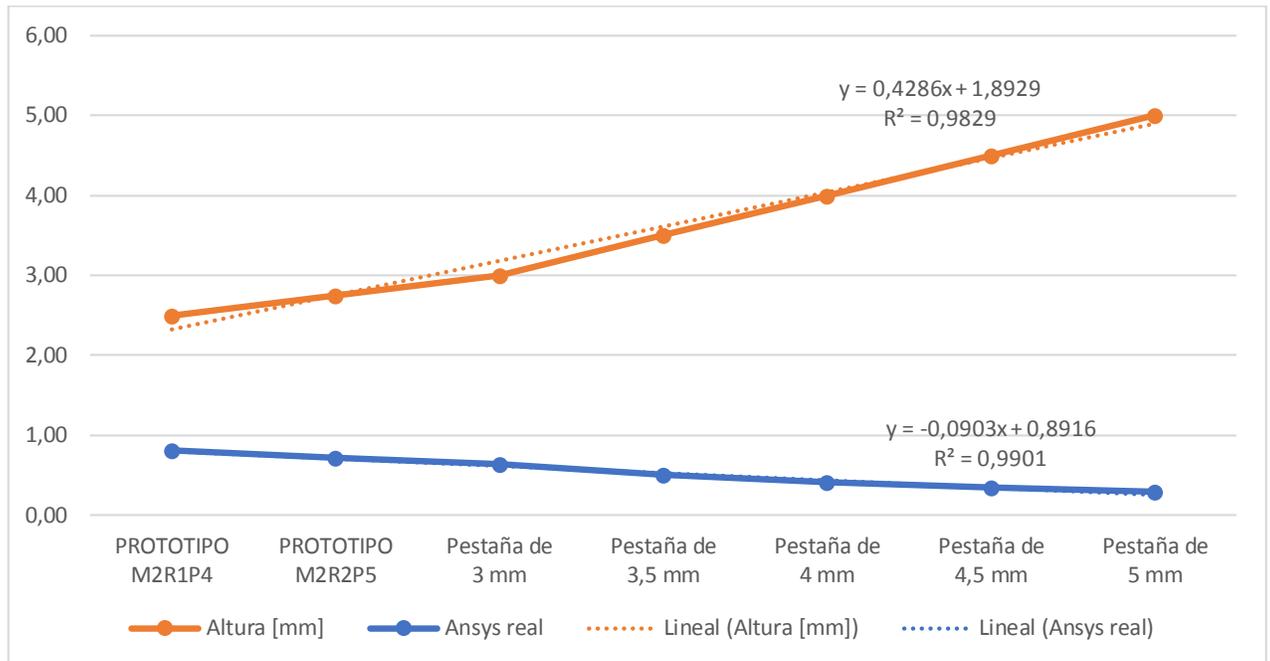
Una vez obtenidos estos resultados por ANSYS, como se muestra en la tabla 4, el comportamiento de los datos se presenta de manera visual en la gráfica 6. En ella, se observa que la deformación aumenta de manera directamente proporcional a la altura de la pestaña. Sin embargo, este incremento no ocurre en la misma proporción en todos los casos. Este análisis gráfico nos permite comprender mejor cómo varía la deformación en función de la altura de la pestaña.

Tabla 4. Resultados de deformación obtenidos por Ansys

	PROTOTIPO M2R1P4	PROTOTIPO M2R2P5	Pestaña de 3 mm	Pestaña de 3,5 mm	Pestaña de 4 mm	Pestaña de 4,5 mm	Pestaña de 5 mm
Deformación prueba estática [mm]	0,86	0,75					
Altura [mm]	2,50	2,75	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00
Ancho [mm]	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Area trasversal [mm ²]	7,5	8,3	9,0	10,5	12,0	13,5	15,0
Ansys real	0,81046	0,71435	0,63	0,50795	0,41446	0,34	0,28809

Fuente: Elaboración propia

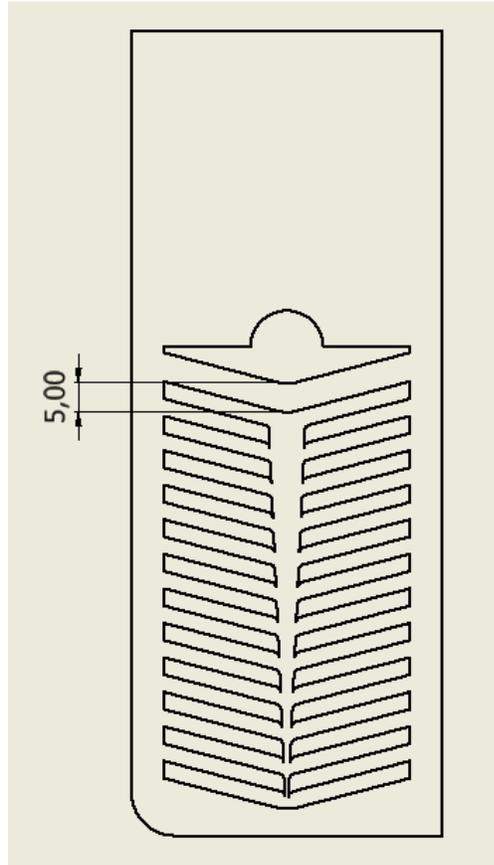
Gráfico 6. Comportamiento de la deformación según la altura de las pestañas.



Fuente: Elaboración propia

Teniendo en cuenta que la pestaña de 5 mm de altura podría ofrecer mejores resultados en la prueba estática, lo que se traduciría en una capacidad de amortiguación más efectiva durante una caída, se procedió a diseñar un prototipo en Inventor. En este diseño, se incorporó una primera pestaña de 5 mm de altura. Este ajuste en el diseño del prototipo refleja la confianza en los resultados obtenidos del análisis realizado por ANSYS.

Gráfico 7. Diseño del absorbedor al introducirle la pestaña de 5 mm



Fuente: Elaborado ISI Ingeniería en seguridad Industrial, Interfaz de Inventor

5. Conclusiones

- La pestaña inicial del absorbedor es fundamental, ya que es la primera en enfrentar el impacto. Como punto de contacto inicial, esta pestaña absorbe la mayor parte de la energía del impacto inicial, lo que reduce significativamente la carga sobre el usuario. Por lo tanto, su diseño y resistencia son críticos para garantizar la eficacia del absorbedor en la protección contra impactos y para mantener la integridad física de las personas que utilicen el sistema.
- El hecho de que la altura de la primera pestaña resultara considerablemente mayor que la del amortiguador distribuido por ROTHOBLAS indica que la forma de esta primera pestaña también juega un papel crucial en la absorción del impacto. La geometría y el diseño específico de la pestaña inicial pueden influir significativamente en cómo se distribuye y disipa la energía del impacto a lo largo del sistema del amortiguador. Por lo tanto, optimizar la forma de esta pestaña puede ser clave para mejorar la capacidad de absorción de impactos del amortiguador en su conjunto y garantizar un rendimiento óptimo en diversas condiciones de uso.
- Los cambios que se realicen en el absorbedor deben abordarse uno a uno para comprender cómo cada uno afecta al dispositivo en su conjunto. Esto implica llevar a cabo ajustes y modificaciones de manera incremental y sistemática, evaluando el impacto de cada cambio en el rendimiento, la funcionalidad y la seguridad del dispositivo. Adoptar un enfoque paso a paso nos permite identificar y comprender mejor cómo interactúan los diferentes componentes y aspectos del absorbedor, lo que nos ayuda a tomar decisiones informadas y a implementar mejoras de manera eficiente y efectiva.
- Este estudio indica que la altura óptima de la pestaña para nuestro diseño de amortiguador de impacto se sitúa entre 4.5 y 5 mm. Este rango nos proporciona una base sólida para ajustar el diseño final del amortiguador y alcanzar los niveles deseados de rendimiento y eficacia. Al trabajar dentro de este margen, podremos optimizar la capacidad del amortiguador para absorber impactos y garantizar una protección efectiva en una variedad de escenarios de uso. Este enfoque nos acerca

más a nuestro objetivo de desarrollar un amortiguador de impacto que cumpla con los estándares de seguridad y rendimiento establecidos.

- La norma Z359.16 nos proporciona una base sólida para determinar los objetivos del dispositivo y optimizar su diseño en aras de proteger al usuario. Esta normativa establece estándares y directrices claras para la seguridad en el diseño y uso de equipos de protección contra caídas. Al adherirse a estos estándares, podemos identificar los requisitos específicos de rendimiento y seguridad que nuestro dispositivo debe cumplir. Esto nos permite realizar una optimización precisa del diseño, asegurando que el dispositivo proporcione una protección efectiva y confiable para el usuario en situaciones de riesgo de caída. En última instancia, el cumplimiento de la norma Z359.16 garantiza que nuestro dispositivo cumpla con los más altos estándares de seguridad y brinde una protección adecuada al usuario en todo momento.
- El software ANSYS se presenta como una herramienta invaluable que proporciona respuestas muy cercanas a la realidad. Como hemos observado en el cálculo de los errores, sus resultados muestran un porcentaje de error bajo, lo que nos brinda confianza en la funcionalidad de los prototipos fabricados. Esta precisión en los análisis realizados por ANSYS nos permite tomar decisiones informadas durante el proceso de diseño y optimización del dispositivo. Con esta certeza en la funcionalidad de los prototipos fabricados, podemos avanzar con confianza en la implementación de mejoras y en la producción de dispositivos que cumplan con los estándares de seguridad y rendimiento requeridos.
- Es crucial que las pestañas subsiguientes a la primera estén separadas por una distancia considerable. Esto garantiza que la primera pestaña pueda experimentar una deformación total antes de que las siguientes comiencen a absorber el impacto. Si estas pestañas están muy cerca entre sí, podrían actuar como una sola unidad, limitando la capacidad del amortiguador para absorber eficazmente la energía del impacto. Además, al mantener una distancia adecuada entre las pestañas, se evita que la geometría se comprima prematuramente, lo que podría resultar en una resistencia adicional y una reducción en la eficacia del amortiguador.

Por lo tanto, la disposición adecuada de las pestañas es fundamental para garantizar el rendimiento óptimo del dispositivo en situaciones de caída

- La realización del prototipo y, consecuentemente, los ensayos de laboratorio para obtener la certificación bajo la norma ANSI Z359.16 no pudieron llevarse a cabo. Esto se debe a la necesidad de analizar más características antes de comprometerse con la fabricación y las pruebas.

6. Recomendaciones

- Es fundamental que todos los cambios realizados en los dispositivos sean individuales y debidamente documentados. Esto nos permite tener un registro claro de cada modificación realizada y cómo afecta al dispositivo en su conjunto. Al documentar cada cambio, podemos evaluar su impacto de manera precisa y evitar la necesidad de reprocesos innecesarios. Además, esta práctica nos permite mantener un control riguroso sobre el proceso de diseño y optimización, facilitando la identificación de posibles mejoras y la toma de decisiones informadas para garantizar la calidad y el rendimiento del dispositivo final.
- Antes de proceder con la fabricación de un dispositivo, es prudente realizar un estudio exhaustivo utilizando software de elementos finitos. Este enfoque nos permite simular y analizar el comportamiento del dispositivo en diversas condiciones y escenarios, sin incurrir en costos asociados con la producción física de prototipos. Al emplear el software de elementos finitos, podemos evaluar el rendimiento del dispositivo, identificar posibles áreas de mejora, prever posibles problemas de diseño y optimizar su funcionalidad y eficiencia de manera virtual. Esto nos brinda la oportunidad de realizar ajustes y refinamientos antes de comprometernos con la fabricación, lo que reduce significativamente el riesgo de errores costosos y garantiza un producto final más sólido y confiable.
- Es crucial evaluar la manufactura del dispositivo para determinar el método más adecuado, considerando el material, la geometría y costos. Esto implica analizar diferentes procesos de fabricación, como mecanizado, moldeo, corte laser, entre otros, y seleccionar el más apropiado en función de las características del dispositivo y los requisitos del proyecto.
- Analizar otras características antes de iniciar la fabricación de prototipos es fundamental para alcanzar de manera más eficiente los resultados deseados y reducir los costos asociados a las pruebas.

Referencias

- AENOR. (2012). *EN 795 Personal fall protection equipment-Anchor devices*.
- American National Standard. (2016a). *Safety Requirements for Climbing Ladder Fall Arrest Systems Part of the Fall Protection Code AMERICAN SOCIETY OF SAFETY ENGINEERS*.
- American National Standard. (2016b). *Specifications and Design Requirements for Active Fall Protection Systems Part of the Fall Protection Code*.
- Cesar Benavides Rojas. (2022). Diseño, optimización y validación de absorbedores de impacto de líneas de vida fijas para el trabajo seguro en alturas requerimiento de ANSI Z359.6. *Universidad de Antioquia*.
- ISI Ingeniería en Seguridad Industrial SA. (2017). *SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL PROCEDIMIENTO INGENIERÍA E INTERVENCIÓN ESPECIALIZADA*.
- Ministerio del Trabajo. (2021). *Resolución 4272-2021 Reglamenta Trabajo en Alturas*.