

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ABSORBEDOR DE ENERGÍA
PARA LÍNEAS DE VIDA DE TRABAJO EN ALTURAS PARA LA EMPRESA
HIDRAQUIP SAS”**



Por:
Cristian Camilo Angarita Ramírez



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
VILLAVICENCIO
2025**

**TRABAJO DE GRADO MODALIDAD PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ABSORBEDOR DE ENERGÍA
PARA LÍNEAS DE VIDA DE TRABAJO EN ALTURAS PARA LA EMPRESA
HIDRAQUIP SAS”**

Por:
Cristian Camilo Angarita Ramírez

Documento Proyecto Grado Modalidad Proyecto Investigación presentado como
requisito para optar el título de Ingeniero Mecánico

Aprobado por:
Ing. Jerson Fabian Maldonado, M.S.
Director

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
VILLAVICENCIO
2025**

AUTORIDADES ACADÉMICAS

P. Álvaro José ARANGO RESTREPO, O.P.
Rector General

P. Mauricio Antonio CORTES GALLEG0, O.P.
Vicerrector Académico General

P. José Antonio BALAGUERA CEPEDA, O.P.
Rector Seccional Villavicencio

P. Adrián Mauricio GARCÍA PEÑARANDA, O. P
Vicerrector Académico Seccional Villavicencio

Mg. Julieth Andrea SIERRA TOBÓN, M.S.
Secretaria General Seccional Villavicencio

Mg. Handel Andrés MARTÍNEZ SARACHE, PH.D.
Decano Facultad de Ingeniería Mecánica

RESUMEN

El desarrollo del presente proyecto de grado en la modalidad de investigación generó un dispositivo absorbedor de energía para la empresa HIDRAQUIP SAS a usarse en los sistemas de líneas de vida verticales y horizontales de equipos de protección contra caídas para trabajo en alturas. El documento abarca un desarrollo investigativo de tipo cualitativo y cuantitativo respecto de la revisión documental del estado del arte de los modelos actuales de absorbedores energía para trabajo en alturas y de cuyo análisis se desarrolla el modelo propio y genera un producto físico; de este modo, este proyecto también contempla pruebas de cargas y simulaciones por método de elementos finitos del elemento desarrollado teniendo como referencia normativa principal la resolución 4272 del 2021 para trabajo en alturas del Ministerio de trabajo de Colombia.

Palabras Clave: Absorbedor, Anclaje, Línea de vida, Trabajo en alturas, Inspección.

ABSTRACT

The development of this degree project in the modality of research seeks the general design and manufacture of an energy absorbing device to be used in vertical and horizontal lifeline systems of fall protection systems for work at heights, the document covers a qualitative and quantitative documentary methodology regarding the state of the art of the current models of energy absorbers for work at heights from the analysis of which the model itself is developed and generates a physical product; In this way, this project also contemplates load tests and simulations by finite element method of the developed element having as main normative reference the resolution 4272 of 2021 for work at heights of the Colombian Ministry of Labor.

Keywords: Absorber, Anchorage, Lifeline, Work at heights, Inspection.

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	8
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	9
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. OBJETIVOS	12
4.1. Objetivo General	12
4.2. Objetivos Específicos.....	12
5. MARCO DE REFERENCIA.....	13
5.1. Absorbedores de energía.....	19
5.1.1. Absorbedores de energía de cinta	19
5.1.2. Absorbedores de energía de fuelle y de freno	20
5.1.3. Absorbedores de fabricación textil	20
5.1.4. Absorbedores Metálicos	21
5.2. Patentes de Sistemas Absorbedores de Energía	26
5.3. Marco Contextual Hidraquip SAS.....	30
6. METODOLOGÍA	31
6.1 Descripción general de la metodología.....	31
6.2. Descripción de etapas y tareas.....	32
7. RESULTADOS.....	34
7.1. Diseño y fabricación del sistema absorbedor de energía.....	35
7.2. Ingeniería	38
7.2.1 Cálculo del resorte	38
7.3. Simulación y análisis de resistencia de materiales del sistema absorbedor de energía.....	48
7.4. Simulación dinámica del absorbedor de energía	61
7.5. Proceso de fabricación y ensamblaje.....	73
7.6. Recomendaciones de uso.....	78
7.7. Análisis de costos y competitividad económica.	79
7.8. Discusión.	82
8. CONCLUSIONES	83
9. BIBLIOGRAFÍA	84
10. ANEXOS	88

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Referencias Normativas	14
Tabla 2 Resumen de requisitos Resolución 4272 del 2021	14
Tabla 3 Resumen de ensayos de las normas internacionales ANSI z359.13 y EN 355	15
Tabla 4 Tabla de sección de resultados y cronograma	34
Tabla 5 Diámetros estándar para resortes	39
Tabla 6 Propiedades Mecánicas de Aceros para resortes	40
Tabla 7 Constantes A y m	41
Tabla 8 Propiedades ASTM A227	42
Tabla 9 Propiedades Típicas ASTM A227	43
Tabla 10 Especificación de diseño para este resorte de alambre A227	45
Tabla 11 Propiedades de estudio estático	51
Tabla 12 Unidades	52
Tabla 13 Propiedades	52
Tabla 14 Información de malla	53
Tabla 15 Información de malla - Detalles	53
Tabla 16. Propiedades del estudio dinámico.....	61
Tabla 17 Unidades	62
Tabla 18 Fuerzas resultantes	63
Tabla 19 Información de malla	64
Tabla 20 Información de malla - Detalles	64
Tabla 21. Análisis comparativo.....	79
Tabla 22. Análisis de costos sistema absorbedor de impacto tipo resorte.	81

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Absorbedor metálico	19
Figura 2 Absorbedor de energía textil	20
Figura 3 Absorbedor Zorbit, Zorbit™, Coiled stainless o Absorbinator.....	21
Figura 4 Absorbedor coiled stainless.	22
Figura 5 Absorbinator	22
Figura 6 Absorbedor de energía metálico.	23
Figura 7 Froglink, roglink, Tilelink Y Eyebolt.....	23
Figura 8 TileLink.....	24
Figura 9 Eyebolt.	24
Figura 10 SpiraTech Force Management.	25
Figura 11 Resorte absorbedor de energía, Spring Absorber Energy.	26
Figura 12 Absorbedor de energía para líneas de vida horizontales en sistemas anticaídas.....	27
Figura 13 Absorbedor de energía y postes incluyen absorbedor de energía.	28
Figura 14 Absorbedor de energía de línea de vida horizontal.	29
Figura 15 Dispositivo absorbedor de energía.....	29
Figura 16 Absorbedor de impacto para sistemas de cables de seguridad.	30
Figura 17 Diagrama de flujo de la metodología aplicada al desarrollo del proyecto	31
Figura 18 Cuerpo o carcasa.	36
Figura 19 Resorte helicoidal.....	36
Figura 20 Tuerca de ojo y tornillo M12.	37
Figura 21 Grillete.....	37
Figura 22 Gráfica (log-log) de la resistencia a tracción vs diámetro del alambre ..	41
Figura 23 Modelo desarrollado.....	46
Figura 24 Planos del modelo desarrollado	47
Figura 25 Simulación resistencia de materiales carga de diseño.....	51
Figura 26 Resultados del análisis por elementos finitos.....	55
Figura 27 Detalles de sujeción geometría fija.....	62
Figura 28 Fuerza aplicada en función del tiempo.....	63
Figura 29. Mallado por método de elementos finitos del modelo	64
Figura 30 Tensiones y desplazamientos	65
Figura 31 Tensiones y desplazamientos	71
Figura 32 Análisis de absorción de energía bajo condiciones estáticas.....	72
Figura 33 Estudio dinámico	73
Figura 34. Carcasa protectora.	74
Figura 35. Resorte.....	74
Figura 36. Tuerca de ojo M12.	75
Figura 37. Tornillo M12	75
Figura 38. Sistema absorbedor fabricado.	76
Figura 39. Sistema absorbedor instalado 1.	77
Figura 40. Sistema absorbedor instalado 2.....	77
Figura 41. Sistema absorbedor instalado 3.....	78

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo en alturas es una actividad de alto riesgo que se encuentra presente en diversos sectores económicos de Colombia, como la construcción, la minería, las telecomunicaciones, la energía eléctrica, entre otros. Según el Ministerio del Trabajo, en el año 2022 se registraron 7.800 accidentes de trabajo en alturas, de los cuales 250 fueron fatales (MINSALUD, 2022).

Un elemento esencial en un sistema de protección contra caídas es el absorbedor de energía, el cual según la resolución colombiana para trabajo en altura número 4272 del 2021 (Ministerio del Trabajo y la Seguridad Social, 2021) es un equipo que hace parte integral de un sistema de detención de caídas, cuya función es disminuir y limitar las fuerzas de impacto en el cuerpo del trabajador o en los puntos de anclaje en el momento de una caída. Los absorbedores de energía están diseñados para disipar la energía cinética de una caída, lo que reduce la fuerza de impacto que experimenta el usuario, ayudando a prevenir lesiones graves e incluso la muerte (20. Asociación de Empresas de la Comunidad de Madrid, n.d.).

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

HIDRAQUIP SAS es una empresa ubicada en la ciudad de Yopal, capital del departamento del Casanare, Colombia y cuyo nicho de mercado hasta ahora se enfocaba principalmente en la Ingeniería estructural e hidráulica, sin embargo, debido a la normativa nacional para trabajo en alturas y en vista de la constante necesidad de las empresas de asegurar la vida de sus trabajadores que realizan labores a distintas alturas, se ha visto como una oportunidad comercial generar un producto absorbedor de energía para trabajos en altura; estos dispositivos son elementos fundamentales de los equipos de protección individual (EPI) contra caídas, diseñados para disipar la energía generada durante una caída, minimizando así el riesgo de lesiones graves o mortales y protegiendo el punto de anclaje donde se sujeta el trabajador.

El trabajo en alturas es una actividad que se realiza en cualquier lugar donde exista la posibilidad de una caída desde un nivel elevado. Esto puede incluir trabajos en edificios, torres, puentes, líneas eléctricas, andamios, escaleras y muchos otros tipos de estructuras. Las caídas desde alturas son una de las principales causas de muerte y lesiones graves en el lugar de trabajo a nivel mundial. Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT), cada año se producen alrededor de 300.000 muertes y 2,3 millones de lesiones graves por caídas desde alturas (OIT, 2021). La importancia del trabajo seguro en alturas se ve reflejada en la protección de la vida y la salud de los trabajadores la reducción de los costos económicos, mejora de la productividad, cumplimiento de las normas y reglamentaciones.

Las líneas de vida son sistemas de seguridad que se utilizan para proteger a los trabajadores de caídas desde alturas elevadas. Sin embargo, en caso de una caída, la fuerza de impacto puede ser lo suficientemente grande como para causar lesiones graves o incluso la muerte al trabajador. Los absorbedores de impacto son dispositivos que se instalan en las líneas de vida para reducir la fuerza de impacto en caso de una caída (Germak, J y Aycok, R. 2007). La instalación de absorbedores de impacto en las líneas de vida puede ayudar a prevenir estas lesiones y muertes (Muscati, A y Migliore, L. 2016).

Los absorbedores de impacto funcionan mediante la absorción de la energía cinética de la caída. Esto se logra generalmente mediante el uso de materiales deformables, como cuerdas o resortes, que se comprimen o estiran durante el impacto. La cantidad de energía que puede absorber un absorbedor de impacto depende de su diseño y de la longitud de la caída (Szymczak, A.y Karczewski, K., 2016).

El presente proyecto de investigación busca fortalecer la relación Universidad - Empresa mediante el desarrollo de un absorbedor de energía para líneas de vida para la empresa HIDRAQUIP SAS a instarse en los sistemas de seguridad anticaídas aportando desde la academia a los continuos avances en materiales, diseños y sistemas que permitan la mejora de los sistemas absorbedores de energía para líneas de vida para trabajo en alturas y garanticen la seguridad y la vida de los

trabajadores. En este sentido el presente proyecto de investigación se plantea como pregunta problematizadora ¿Cómo desarrollar un absorbedor de energía para líneas de vida de trabajo en alturas que cumpla con la normatividad vigente Colombiana para trabajo seguro en alturas para la empresa HIDRAQUIP SAS?

3. JUSTIFICACIÓN

La creciente demanda de equipos de seguridad industrial, impulsada por normativas cada vez más exigentes y una mayor conciencia sobre la importancia de la prevención de accidentes, posiciona al mercado de absorbedores de energía como un sector con un gran potencial de crecimiento y de diversificación de producto para la empresa HIDRAQUIP SAS.

Los accidentes de trabajo en alturas en Colombia son una problemática de gran envergadura, representando una de las principales causas de muerte y lesiones graves en el ámbito laboral. Según cifras del Ministerio del Trabajo y la Seguridad Social, en el año 2020 se registraron 57 muertes por caídas desde alturas, lo que equivale a una tasa de 6,4 muertes por cada 100.000 trabajadores (Ministerio del Trabajo y la Seguridad Social, 2021). El sector de la construcción es el más afectado por este tipo de accidentes, seguido por el sector de servicios y el sector agropecuario.

En una caída libre, la fuerza de impacto puede ser hasta 25 veces el peso del trabajador, los absorbedores de energía reducen la fuerza de impacto reduciendo la fuerza de impacto a un nivel seguro para el cuerpo humano lo que puede prevenir lesiones graves o incluso la muerte (Accidentes de trabajo en alturas en Colombia, n.d.).

El presente proyecto de grado plantea el diseño, simulación, fabricación de un equipo absorbedor de impacto a ser utilizado en líneas de vida para trabajo en alturas; el documento desarrolla el estudio de resistencia de materiales de los elementos que componen el sistema y las simulaciones realizadas arrojan resultados del comportamiento de los materiales frente a las fuerzas aplicadas, mostrando de manera gráfica como tensiones superficiales de Von Mises, deformaciones unitarias y factor de seguridad garantizando un factor de seguridad superior a 2 en cada uno de ellos dando cumplimiento a lo exigido por la resolución 4272 del año 2021 de trabajo en alturas (Ministerio del Trabajo y la Seguridad Social, 2021) y demás normatividad relacionada en el presente documento.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, simular y fabricar un sistema absorbedor de energía para líneas de vida de trabajo en alturas para la empresa HIDRAQUIP SAS teniendo en cuenta los criterios de carga de la resolución 4272 del 2021.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Diseñar un sistema absorbedor de energía de líneas de vida de trabajo en alturas para la empresa HIDRAQUIP SAS, aplicando cargas según la Resolución 4272 de 2021 de trabajo en alturas.
2. Analizar la resistencia de materiales del sistema absorbedor de energía desarrollado para la empresa HIDRAQUIP SAS mediante simulaciones de carga según la Resolución 4272 de 2021 de trabajo en alturas.
3. Realizar un análisis comparativo de costos del sistema absorbedor de energía desarrollado versus los diferentes dispositivos que se encuentran en el mercado a fin de identificar su viabilidad y competitividad económica.
4. Fabricar el sistema absorbedor de impacto para líneas de vida desarrollado para la empresa HIDRAQUIP SAS según la Resolución 4272 de 2021 de trabajo en alturas.

5. MARCO DE REFERENCIA

La Resolución 4272 de 2021 emitida por el Ministerio del Trabajo de Colombia representa un hito significativo en la regulación de los trabajos en altura en el país. Esta norma tiene como objetivo principal garantizar la seguridad y salud de los trabajadores que realizan sus labores a cierta distancia del suelo, minimizando así el riesgo de accidentes y lesiones. La Resolución establece una serie de requisitos mínimos de seguridad que deben cumplirse en todos los trabajos en altura, independientemente del sector económico o del tipo de actividad teniendo como foco la capacitación y formación, los equipos de protección personal (EPP) y las características técnicas que estos deben cumplir, inspecciones y mantenimiento.

Según el Artículo 3. de la Resolución 4272 de 2021 un absorbedor de energía es un equipo que hace parte integral de un sistema de detención de caídas, cuya función es disminuir y limitar las fuerzas de impacto en el cuerpo del trabajador o en los puntos de anclaje en el momento de una caída. Los absorbedores de energía son componentes críticos en los sistemas de protección contra caídas, diseñados para disipar la energía cinética generada durante una caída y reducir la fuerza de impacto sobre el trabajador, previniendo lesiones graves o incluso la muerte (ARL SURA, n.d.).

El desarrollo del presente trabajo de grado se fundamenta exclusivamente en la aplicación de la Resolución 4272 de 2021 emitida por el Ministerio del Trabajo de Colombia para trabajo en alturas, sin embargo, esta temática es un área que también está regulada bajo normativas internacionales de obligatorio cumplimiento a las cuales la resolución colombiana se encuentra normativamente y técnicamente alineada; específicamente para los absorbedores de energía se tiene normatividad importante como la norma OIT-160 de seguridad y salud en los trabajos en altura incluyendo las especificaciones para los absorbedores de energía, la Norma Técnica Colombiana NTC 4501 que complementa la Norma OIT-160 y proporciona requisitos más específicos para los absorbedores de energía utilizados en Colombia y la norma ANSI/ASSE Z350.1-2020 que es una norma estadounidense que también establece requisitos para los absorbedores de energía (Braham, G y Heinrich, H., 2015).

A continuación, se muestra una tabla con referencias normativas adicionales que están relacionadas directamente con los absorbedores de energía para líneas de vida a usarse en sistemas de trabajo seguro en alturas y que serán tenidas en cuenta en el desarrollo del presente proyecto de investigación (Hale, A y Prüfer, K., 2019).

Tabla 1 Referencias Normativas

NORMATIVIDAD	DEFINICIÓN
Resolución 4272 del 27 de diciembre de 2021	Se establecen los requisitos mínimos de seguridad para el desarrollo de trabajo en alturas. Derogando las resoluciones 1409 de 2012 Resolución 1903 de 2013, Resolución 3368 de 2014, resolución 1178 de 201 u resolución 1248 de 2020
NSR-10 del año 2010	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 segunda actualización (Elementos no estructurales).
Structural Welding Code— Steel AWS D1.1/D1.1M:2020	Requisitos de soldadura para cualquier tipo de estructura soldada fabricada con los materiales comúnmente utilizados en acero al carbono.
ASTM A-36	Acero al carbono estructural, de calidad estructural para el uso en puentes y edificaciones remachadas, atornilladas o soldadas.
OSHA Subparte 1926.500	Protección Contra Caídas.
ANSI Z359.1 – 2016	Requerimientos de seguridad de los sistemas de protección contra caída.
ANSI Z359.7 – 2011	Pruebas de calificación y verificación de productos de protección contra caídas
ANSI Z359.13 – 2013	Absorbedores de energía personales y eslingas absorbedores de energía
ANSI Z359.16 – 2016	Requisitos de seguridad para sistemas de detención de caídas al subir escaleras
ANSI Z359.18 – 2017	Requisitos de Seguridad para conectores de Anclaje
EN 355 – 2002	Equipos de protección individual contra caídas de altura – absorbedores de energía
EN 795 – 2012	Establece las bases de los equipos de protección contra caídas – conectores de anclaje.

Fuente: autor

Finalmente, La Resolución 4272 de 2021 del Ministerio del Trabajo de Colombia establece requerimientos mínimos para trabajos en alturas, priorizando la evaluación de riesgos y la implementación jerárquica de medidas de protección, como la prevención, la protección colectiva y la individual. La resolución establece que si los componentes y sistemas corresponden a un diseño de ingeniería estos deberán cumplir con los siguientes requisitos.

Tabla 2 Resumen de requisitos Resolución 4272 del 2021

RESOLUCIÓN 4272 DEL 2021
En el artículo 3 de la Resolución 4272 de 2021, define que: ○ Un equipo certificado debe contar como mínimo con un certificado de conformidad de producto expedido por el fabricante. ○ La máxima fuerza de detención, MFD: La máxima fuerza que puede soportar el trabajador sin sufrir una lesión, es 1.800 libras (8 kilo newtons — 816 kg)
En el artículo 22 de la Resolución 4272 del 21, define que

- Los elementos o equipos de los sistemas de protección contra caídas deben ser certificados y compatibles entre sí en tamaño, figura, materiales, forma, diámetro.
- Los equipos de protección contra caídas se deben seleccionar y usar según las necesidades determinadas para un trabajador, las condiciones, tipo de la tarea y los sistemas de acceso a utilizar. Todo sistema seleccionado debe: garantizar la seguridad del trabajador al momento de una caída, permitir la distribución de fuerza, amortiguar la fuerza de impacto, garantizar la resistencia de los componentes y estar protegido ante la corrosión o ser aislantes eléctricos, antiestáticos o ignífugos cuando se requieran brindando las demás protecciones a los riesgos asociados que sean requeridas.
- Un equipo de protección contra caídas, deben ser capaces de soportar mínimo una resistencia de 5.000 libras (22,2 kilo newtons - 2.272 kg). Si están diseñados por una persona calificada como parte de un sistema completo de protección personal contra caídas plenamente identificado, deben ser capaces de soportar la fuerza máxima de la caída manteniendo como mínimo un factor de seguridad de dos 2 teniendo en cuenta todas las condiciones normales de uso.

Fuente: autor

Además de la normativa nacional, se analizó la metodología de certificación de absorbedores de energía a nivel internacional, teniendo en cuenta las normas ANSI Z359.13 y EN 355. Estas normas exigen la realización de ensayos destructivos con el fin de evaluar la resistencia, la capacidad de absorción de energía y la durabilidad de los componentes. Dichos ensayos incluyen pruebas de carga estática, carga dinámica, pruebas de corrosión y de acondicionamiento, la siguiente tabla describe en resumen de cada una de ellas.

Tabla 3 Resumen de ensayos de las normas internacionales ANSI z359.13 y EN 355

Z359.13	EN 355
Prueba de precarga estática	Ensayo de precarga estática
La prueba de carga estática inicia midiendo y registrando la longitud de los absorbedores de energía, desde un extremo hasta el otro, cuando este se encuentre bajo una tensión de 10 libras (4,5 kg). Luego, el absorbedor de energía se somete a una fuerza mínima de 450 libras (2 kN) durante al menos 1 minuto, tras lo cual se examina para detectar signos de activación. Ahora, el absorbedor se retira del equipo de prueba y se deja reposar en posición no tensada durante 1 hora. Posteriormente,	El ensayo de precarga estática consiste en instalar el absorbedor en la máquina de ensayo y someterlo a la fuerza de precarga estática especificada entre sus dos extremos. La fuerza debe mantenerse durante 3 minutos, observando si se produce una extensión permanente. La extensión permanente causada por la activación del absorbedor de energía, tras una precarga de 2 kN, no debe superar los 50mm.

se mide y registra nuevamente su longitud bajo una tensión de 10 libras (44 N) para calcular su elongación permanente. Si el absorbedor forma parte de un subsistema o sistema y no tiene un conector integral en su extremo, se debe simular lo más fielmente posible el medio previsto para su conexión. Los absorbedores de energía personales, al ser sometidos a una fuerza estática de al menos 450 libras (2 kN), no deben mostrar signos de activación ni presentar un alargamiento permanente superior a 2 pulgadas (51 mm).	
Prueba de resistencia estática	Ensayo de resistencia estática
La prueba de resistencia estática de los absorbedores de energía se realiza con unidades previamente activadas en ensayos dinámicos, sin necesidad de medir su longitud ni la fuerza máxima de detención. Para ello, la muestra se conecta al equipo de prueba de tracción mediante los conectores en cada extremo y se somete a una fuerza mínima de 5000 libras (22,2 kN) durante al menos 1 minuto. La aplicación de esta fuerza debe realizarse en un tiempo no menor a 3 minutos para evitar efectos dinámicos. En caso de que el absorbedor no se haya desplegado completamente durante la prueba dinámica, su despliegue debe completarse durante esta fase de ensayo.	El ensayo de resistencia estática consiste en someterlo a la fuerza de ensayo especificada entre sus dos puntos extremos. La fuerza debe mantenerse durante 3 minutos, garantizando que el absorbedor no se fracture. Esta prueba se realiza con una fuerza máxima de 15 kN, el dispositivo debe soportar el ensayo sin desgarrarse ni romperse.
Prueba de resistencia dinámica	Ensayo dinámico
La prueba de desempeño dinámico de los absorbedores de energía requiere el uso de una estructura de prueba de caída, un peso de prueba, instrumentación adecuada, un cable de prueba y un mecanismo de liberación rápida. La estructura de prueba debe contar con suficiente altura y espacio libre lateral para garantizar la caída sin obstrucciones. Además, debe tener una	El ensayo de rendimiento dinámico para un absorbedor de energía como componente se realiza fijando una masa de 100 kg en un extremo del absorbedor mediante un conector, y en el otro extremo, un tramo de cadena conforme a la norma EN 354, asegurando que la longitud total del sistema de conexión sea $(2,0 \pm 0,25)$ m. El sistema ensamblado se

frecuencia natural mínima de 200 Hz y una deformación elástica máxima de 0,04 pulgadas (1 mm) bajo una carga estática de 4500 libras (20 kN). El peso de prueba debe ser rígido y pesar 282 ± 2 libras ($128 \pm 0,9$ kg), con su centro de gravedad ubicado a $15 \pm 0,5$ pulgadas (381 ± 130 mm) del punto de apoyo superior y una distancia de $30 \pm 0,5$ pulgadas (762 ± 130 mm) hasta la conexión de prueba de cadera. La instrumentación de la prueba dinámica debe incluir una celda de carga, con capacidad para registrar cargas de hasta 5000 lb (22 kN) con una precisión del 0,5 %, y un sistema de grabación con una frecuencia mínima de 1000 muestras por segundo. El cable de prueba, debe ser fabricado en acero inoxidable 302, debe cumplir con la especificación MIL-W-83420E, con un diámetro de 3/8 de pulgada (10 mm) y empalmes de ojo Flemish asegurados con accesorios estampados. El mecanismo de liberación rápida, operado a distancia, debe permitir la caída del peso sin impartirle movimiento y sincronizarse con el sistema de registro de datos. Para la prueba, se mide y registra la longitud inicial del absorbedor bajo una tensión de $10 \pm 0,5$ libras ($4,5 \pm 0,2$ kg). Luego, se conecta un extremo del absorbedor a la celda de carga, el otro extremo al cable de prueba, y finalmente, el cable al peso de prueba. El peso se eleva a la distancia de caída libre especificada (6 pies $\pm 0,1$ o 12 pies $\pm 0,1$) y se libera desde un punto no mayor a 12 pulgadas (305 mm) horizontalmente desde la celda de carga. Se registra el evento y se recopilan los datos para calcular la fuerza promedio y la fuerza de detención máxima. Después de la prueba, se mide nuevamente la longitud del absorbedor	suspende de un anclaje estructural rígido con un instrumento de medición de fuerza, y la masa se eleva 4 m, con un desplazamiento horizontal máximo de 300 mm desde el anclaje. Luego la masa se sostiene mediante un dispositivo de liberación rápida y se deja caer, midiendo la fuerza máxima durante la etapa de detención. Después de la caída y con la masa en reposo, se mide el desplazamiento H en el punto de fijación de la masa al absorbedor. Cuando la prueba se realiza con una masa rígida de acero de 100 kg o un maniquí de torso de igual peso, la fuerza de frenado máxima (F_{max}) no debe superar los 6 kN, y la distancia de detención (H) debe cumplir la condición $H < 2L_t + 1,75$ m, donde L_t es la longitud total del absorbedor de energía, incluida la cuerda de seguridad.
---	--

de energía mientras el peso aún está suspendido para calcular su distancia de despliegue. Finalmente, los resultados se comparan con los criterios establecidos: Para absorbedores FF de 6 pies, la fuerza de detención promedio no debe superar 900 libras (4 kN), la distancia máxima de despliegue debe ser 48 pulgadas (1,2 m), sin exceder una fuerza de detención máxima de 1800 libras (8 kN). Para absorbedores FF de 12 pies, la fuerza de detención promedio no debe superar 1350 libras (6 kN), la distancia máxima de despliegue debe ser 60 pulgadas (1,5 m), sin superar una fuerza de detención máxima de 1800 libras (8 kN).	
Pruebas de condiciones simples o (condiciones ambientales)	Prueba de acondicionamiento
Para realizar las pruebas ambientales en los absorbedores de energía, cada muestra se somete a un acondicionamiento específico antes de la prueba, utilizando muestras nuevas para cada requisito. La prueba debe realizarse dentro de los 5 minutos posteriores al acondicionamiento. Para la prueba de humedad ambiental, las muestras FF de 6 pies y FF de 12 pies deben sumergirse en agua a 68 ± 4 °F (20 ± 2 °C) durante un mínimo de 8 horas. En la prueba de secado en frío, las muestras deben acondicionarse a -31 ± 4 °F (-35 ± 2 °C) durante al menos 8 horas. Finalmente, en la prueba de secado en caliente, las muestras deben ser acondicionadas a 113 ± 4 °F (45 ± 2 °C) por un período mínimo de 8 horas.	La prueba se realiza para simular el envejecimiento o las condiciones de uso que pueden afectar el comportamiento del dispositivo, utilizando una muestra nueva para cada ensayo. La prueba se desarrolla bajo tres condiciones específicas: en calor, donde la cámara debe mantener una temperatura de (50 ± 2) °C con una humedad relativa de $(85 \pm 5)\%$ durante 2 horas; en frío, con una temperatura de (-30 ± 2) °C durante 2 horas en una cámara refrigerada; y en agua, mediante un aparato de rociado que suministra agua a un ritmo de aproximadamente 70 L/h durante 2 horas, con una temperatura entre 10 °C y 30 °C.
Prueba de corrosión	Prueba de corrosión
La prueba de corrosión se realiza mediante la exposición del absorbedor en niebla salina, este dispositivo se coloca en una cámara de niebla salina con una solución de cloruro de sodio al	El aparato utilizado para ensayar la resistencia a la corrosión de los metales debe ser capaz de ejecutar el procedimiento de ensayo NSS (niebla salina neutra), conforme a la norma

5% con pH entre 6.5 y 7.2, donde se expone durante un período de 96 horas. Finalizado este proceso, el equipo es sometido nuevamente a las pruebas estáticas y dinámicas.	ISO 9227:1990. Para ello, el equipo se coloca en una cámara de niebla salina con una solución de cloruro de sodio al 5% % con pH entre 6.5 y 7.2, donde se expone durante un período de 48 horas. Finalizado este proceso, el equipo es sometido nuevamente a las pruebas estáticas y dinámicas.
---	--

Fuente: autor

5.1. ABSORBEDORES DE ENERGÍA

Los absorbedores de energía funcionan mediante diversos mecanismos para disipar la energía de la caída, donde los materiales como cintas textiles o fuelles se deforman y absorben energía al comprimirse o estirarse, también existe el desgarramiento controlado en donde por medio de costuras o bandas especiales se rompen de forma controlada, liberando energía gradualmente y funcionamiento por fricción al deslizarse entre sí, disipando energía en forma de calor (Torres Z y Pinzón R, 2019).

Existen diversos tipos de absorbedores de energía para líneas de vida, cada uno con sus propias características y ventajas como absorbedores de energía textiles, los cuales son fabricados con materiales textiles de alta resistencia, como nylon o poliéster, estos absorbedores disipan la energía mediante la rotura progresiva de las fibras. En este documento, se presenta una revisión exhaustiva del estado del arte en absorbedores de energía para líneas de vida, incluyendo los tipos, materiales, principios de funcionamiento, aplicaciones y tendencias recientes.

5.1.1. Absorbedores de energía de cinta

Similar a los absorbedores de energía textiles, utilizan cintas de material textil para disipar la energía. Ofrecen mayor capacidad de absorción que los absorbedores textiles y son adecuados para alturas medias (Super Anchor Safety, n.d.).

Figura 1 Absorbedor metálico



Fuente: (Super Anchor Safety, n.d.)

5.1.2. Absorbedores de energía de fuelle y de freno

Estos absorbedores utilizan fuelles de material flexible para almacenar la energía cinética durante una caída. Su diseño compacto permite una mejor maniobrabilidad y son ideales para espacios reducidos. Los absorbedores de energía de freno funcionan mediante un sistema de frenado mecánico o hidráulico para controlar la disipación de energía (Asociación Gremial Colombiana de Seguridad y Salud en el Trabajo, n.d.). Ofrecen una alta capacidad de absorción y son adecuados para aplicaciones de gran altura, los materiales utilizados en la fabricación de absorbedores de energía son cruciales para su rendimiento y confiabilidad, los materiales más comunes incluyen nylon, poliéster, acero inoxidable y aramida entre otros (Castaño L y Agudelo, J., 2022).

5.1.3. Absorbedores de fabricación textil

Los absorbedores de energía de fabricación textil son dispositivos comúnmente utilizados como sistema personal de protección contra caídas en alturas y también usado para proteger las líneas de vida horizontales y verticales. Según Energy absorbers (Gravitec systems Inc, n.d.) los materiales más utilizados en la fabricación de estos elementos son el nylon, poliéster y polipropileno las cuales ofrecen una mezcla de resistencia, ligereza y durabilidad.

El diseño de estos dispositivos puede variar en función de la capacidad, fuerza de detención o tipo de aplicación, ya sea que se incorpore a un sistema de vida o que se encuentren adheridos a otros equipos de protección anticaídas, este tipo de disipador actúa mediante el proceso de desgarrar de costuras o bien sea empleando un material viscoelástico para el almacenamiento de energía cuando se produce una caída.

Figura 2 Absorbedor de energía textil



Fuente: (FallTech, n.d.)

El fabricante de elementos de protección para trabajos en alturas FALLTECH experto fabricante de absorbedores de energía en poliéster y describe que sus equipos detienen una caída con un rango de desaceleración que oscila entre las 900 lbs y 1350 lbs, además asegura que todos sus equipos son capaces de soportar tensiones de 5000 lbs. De acuerdo con los fabricantes de este tipo de absorbedor, advierten que estos elementos de protección deben ser reemplazado cuando ha sido sometido a una caída o presenta daños visibles como cortes, abrasiones o quemaduras.

5.1.4. Absorbedores Metálicos

Los absorbedores de energía metálicos son un componente crucial de los sistemas de detención de caídas para trabajos en altura. Su función principal es disminuir la fuerza de impacto que experimenta el cuerpo del trabajador en caso de una caída, reduciendo así el riesgo de lesiones graves (Honeywell Safety, n.d.). Los absorbedores de energía metálicos están diseñados para absorber y disipar la energía cinética generada por la caída del trabajador mediante un mecanismo de deformación controlada del material metálico del absorbedor (Asociación Española de Seguridad, n.d.). A continuación, se muestran algunos absorbedores metálicos que se encuentran en el mercado.

Los siguientes tres absorbedores de energía en acero inoxidable implementado para líneas de vida horizontal marca 3M™ DBI-SALA® Metal Horizontal Lifeline Energy Absorber 7401013 son del tipo una correa mecanizada de dos canales en su interior, aquí se encuentra una lámina enrollada en forma de espiral que se separa cuando se produce una fuerza de alta magnitud, este elemento sufre un alargamiento por el desgarrar de un canal, logrando amortiguar la energía generada por una caída.

Figura 3 Absorbedor Zorbit, Zorbit™, Coiled stainless o Absorbinator



Fuente: 3M™ DBI-SALA® Metal Horizontal Lifeline Energy Absorber 7401013, Stainless. (3M, 2018)

Figura 4 Absorbedor coiled stainless.



Fuente: (Honeywell, n.d.)

Figura 5 Absorbinator



Fuente: (Fall Protection Systems, n.d.)

Los siguientes cuatro absorbedores metálicos son fabricados en acero inoxidable e implementados para líneas de vida horizontal por Metal energy absorber replacemen, los diseños cuentan con un cordón metálico enrollado en forma de espiral que se despliega cuando ocurre una caída. Este sistema de línea de vida está diseñado para 2 trabajadores con un peso máximo de 420lbs por persona incluyendo vestimenta, equipos y herramientas. El promedio de carga dinámica de extracción y la máxima carga dinámica de extracción para este dispositivo es de 2000lbs y 2500lbs, con una longitud de despliegue máxima de 48.5 pulg (Guardian Fall, n.d.).

Figura 6 Absorbedor de energía metálico.



Fuente: (Guardian Fall Protection, n.d.)

Según ROOF ANCHORS, S. F. SAFETYLINK® es un diseñador y fabricante de equipos de seguridad personal para trabajos en altura, SAFETYLINK® diseño 3 tipos de anclajes para techos en acero inoxidable que absorben la energía contra caídas multidireccionales, el FROGLINK, el TILELINK y el EYEBOLT son dispositivos unipersonales capaces de disipar la energía generada por una caída de hasta 15kN, son fabricados en acero inoxidable y diseñados para adaptarse a cualquier tipo de estructura (concreto, metálico, madera), estos dos elementos cuentan con el mismo mecanismo de disipación de energía donde al ocurrir una caída se extienden las pestañas que están recogidas hasta el punto de no poderlo hacer más. La diferencia entre los dos anclajes es que el FROGLINK queda estéticamente visible porque es instalado directamente al tejado, contrario a el TILELINK que es fijado por debajo de las tejas, dejando solo el punto de conexión visible (SafetyLink, n.d.).

Figura 7 Froglink, roglink, Tilelink Y Eyebolt.



SafetyLink FrogLink

Fuente: (SafetyLink, n.d.).

Figura 8 TileLink.



SafetyLink TileLink

Fuente: (SafetyLink, n.d.).

Figura 9 Eyebolt.



Energy Absorbing Eyebolt

Fuente: Roof Anchors (SafetyLink, n.d.).

A continuación, se muestra el funcionamiento del elemento absorbedor EYEBOLT cuyo funcionamiento es diferente ya que tiene un vástago de acero inoxidable en forma cónica que al momento de ocurrir una caída esta será deformada como una caña de pescar (SafetyLink, n.d.). Para realizar trabajos en alturas utilizando este equipo es necesario contar con un sistema personal de detención de caídas como lo manifiesta la administración de salud y seguridad ocupacional (OSHA). Cabe señalar que si estos elementos han sido sometidos a fuerzas de una caída o presentan alguna deformación en la estructura es necesario remplazarlo.

Figura 10 SpiraTech Force Management.



Fuente:(3M, 2018).

El absorbedor tipo resorte es un dispositivo versátil ya que es usado como único punto de anclaje y como elemento importante en un sistema de línea de vida horizontal, este sistema puede absorber la energía en cualquier dirección dado que cuenta con un sistema de resorte llamado SpiraTech Force de aleación marina, su mecanismo de función es lograr extender su longitud cuando se somete a una fuerza sin importar desde que dirección sea aplicada. El fabricante de este dispositivo especifica que debe ser usados para techos planos o con una inclinación máxima del 25%, también, advierte que este innovador producto está diseñado para reducir fuerzas generadas a menos de 5kN. El anclaje está diseñado para una persona con una capacidad máxima de 310lbs incluyendo equipos y vestimenta. Si es usado en un sistema de línea de vida horizontal debe considerar las limitaciones del sistema horizontal.

Figura 11 Resorte absorbedor de energía, Spring Absorber Energy.



Fuente:(3M, 2018).

Este resorte es usado para formar parte de un sistema de línea horizontal, capaz de absorber la energía de una caída en alturas hasta de 2 personas, incluso, puede restringir una caída de hasta 4 personas por línea de vida, este elemento se elongará cuándo ocurra una fuerza que supere las 2000lbs y sufrirá un desplazamiento máximo de 52 pulgadas y un desplazamiento mínimo de 21 pulgadas, el peso máximo por persona no debe exceder los 340lbs incluyendo equipos y vestimenta. Este absorbedor cuenta con un indicador de carga para medir la tensión durante la instalación, es de resaltar que la implementación de este elemento absorbedor de energía para líneas de vida debe estar tensionada entre el rango de 250 a 300lbs esto con el fin de que el absorbedor haga su función correctamente.

5.2. PATENTES DE SISTEMAS ABSORBEDORES DE ENERGÍA

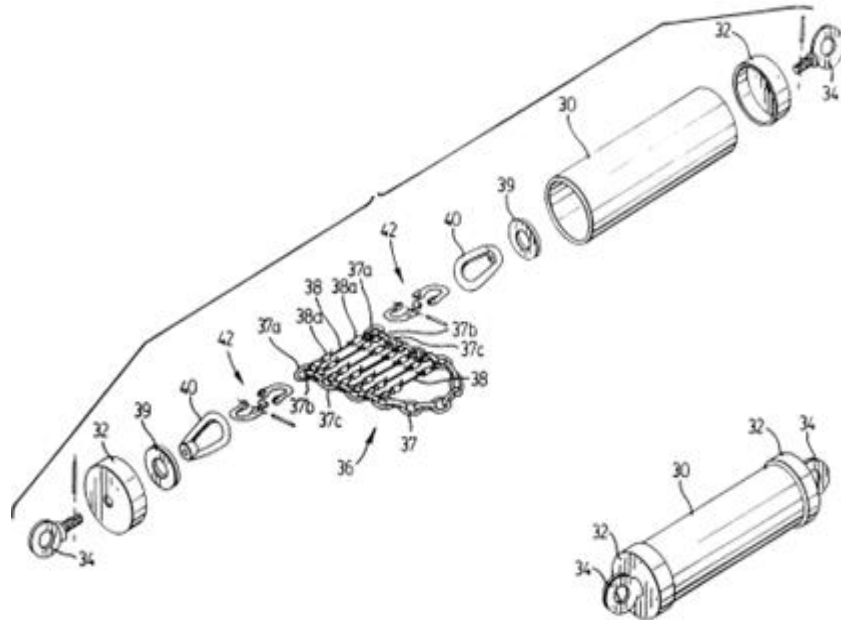
A continuación, se muestran algunas patentes de desarrolladas para sistemas absorbedores de energía para líneas de vida horizontales en sistemas anticaídas”.

Patente #1: Dispositivo de absorción de energía para línea de rescate horizontal en sistemas anticaídas.

Este elemento absorbedor de energía para líneas de vida horizontal ha sido patentado en las oficinas de patentes europea, registrada con numero de patente 0496028A1 y publicada el 29 de julio de 1992, este elemento diseñado por (Justia Patents, n.d.) cuenta con una cadena eslabonada metálica unida entre si mediante un cable con una resistencia apropiada para romperse cuando ha habido una fuerza de tracción en los extremos del dispositivo de amortiguamiento (Justia Patents, n.d.).

Este dispositivo fue diseñado para mantener las fuerzas que actúan en los anclajes de las líneas de vida horizontales por debajo de los 18kN, siempre y cuando, la persona que cae no supere los 100kg. Si se requiere trabajar con dos personas se debe incorporar dos absorbedores de energía en serie al sistema de línea de vida. Los diseñadores advierten que se debe remplazar el dispositivo después del despliegue de la cadena eslabonada.

Figura 12 Absorbedor de energía para líneas de vida horizontales en sistemas anticaídas.

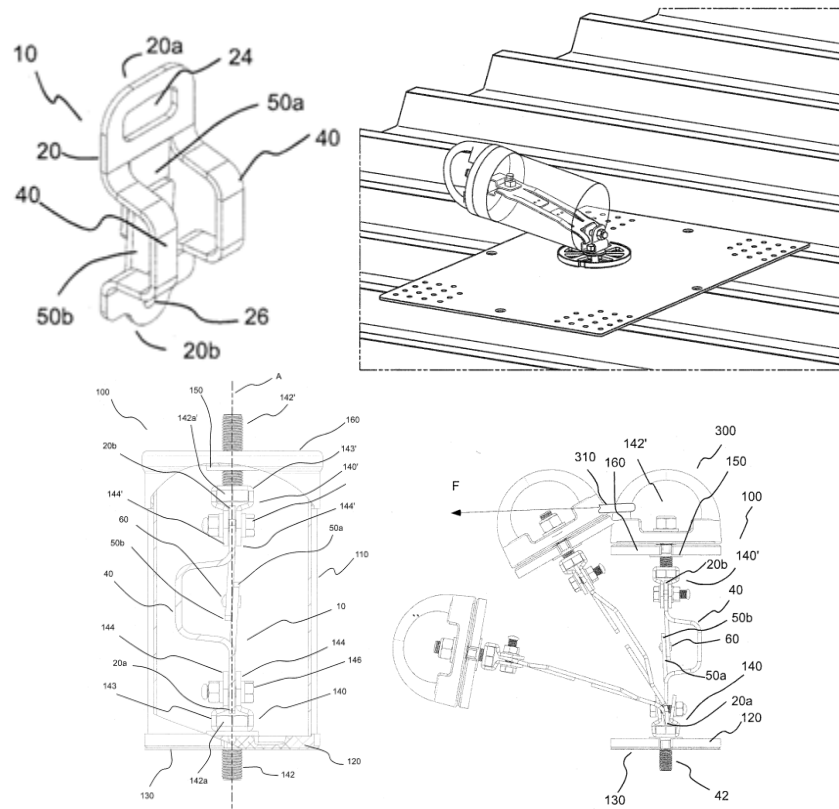


Fuente:(Justia Patents, n.d.).

Patente #2: Postes para uso en protección anticaídas.

Este elemento fue diseñado y patentado por Justin Shane Patton y Brian C. Montgomery, con número de registro internacional WO2012/021563A2, publicado el 16 de febrero del 2012, según (Justia Patents. n.d) describen este producto como un punto de anclaje que incluye un absorbedor de energía. Este diseño cuenta con una correa mecanizada en forma de H de acero inoxidable, la cual, se extiende desde el extremo (20a) al extremo (20b) teniendo como un aproximado de 8 pulgadas de largo, 2¼ pulgadas de ancho y 1/8 pulgadas de espesor. Los extremos (50^a) y (50^b) son extremos que están separados por un espacio debido a que estos fueron diseñados para que se superpusieran las caras de estos, en el momento de la instalación, estos extremos deben conectarse mediante un pasador de seguridad (60) capaz de cortarse o romperse cuando se someta a la fuerza de detención de una caída (Justia Patents. n.d). Este dispositivo se deforma para poder amortiguar y minimizar las fuerzas que afectan los componentes de un sistema de línea de vida. Los diseñadores aseguran que es necesario remplazar el dispositivo cuando ya ha sido usado en una detención de caída.

Figura 13 Absorbedor de energía y postes incluyen absorbedor de energía.

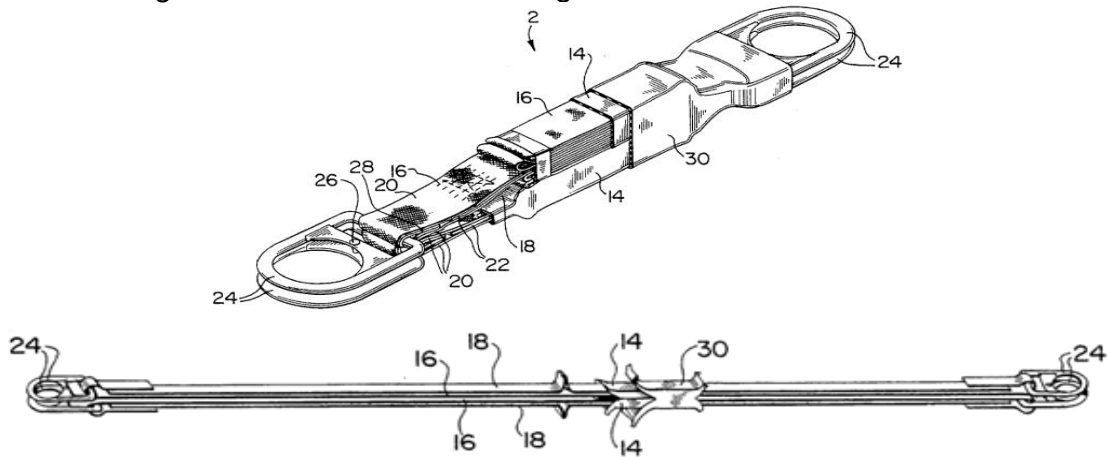


Fuente: (Justia Patents, n.d.).

Patente #3. Absorbedor de energía de línea de vida horizontal.

Este dispositivo patentado el 4 de febrero de 1997 por Michael J. O'Rourke, con numero de publicación 5598900 en Estados Unidos, según (O'rourke M., 1999) fue creado para minimizar el uso de componentes metálicos en los sistemas de líneas de vida horizontal. Cuando ocurre una fuerza de tensión en los anillos Dee (24) se produce un desgarramiento en la envoltura de caucho (30) que contiene el conjunto de cintas de nylon tejidas (16) y el conjunto de cintas de nylon desgarrable (18) que se despliegan hasta producir un alargamiento, donde solo actuaran las cintas tejidas para contrarrestar la fuerza de caída de una persona que trabaja en alturas (O'rourke M., 1999). Este elemento es utilizado para usarse por única vez en la detención de una caída, por lo que debe ser remplazado si presenta daños o deterioro.

Figura 14 Absorbedor de energía de línea de vida horizontal.



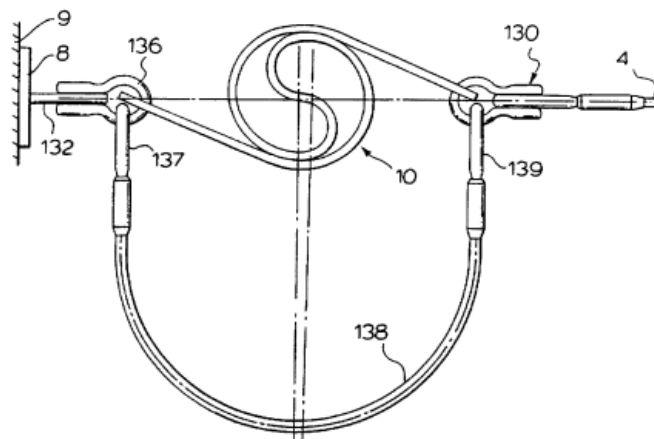
Fuente: (O'rourke M., 1999).

Patente #4: Conector de absorción de energía.

Este diseño de dispositivo esta patentado por Gregory E. Small con numero de registro 5799760 publicado el 1 de septiembre de 1998, este elemento disipa la energía generada por una caída en alturas mediante el alargamiento de una lámina de acero inoxidable que se encuentra enrollada en forma de "S" desde su vista lateral.

Este componente se conecta al punto de anclaje y a la línea de vida con una pre tensión para asegurar el correcto funcionamiento del amortiguador, además se puede instalar un cable de acero secundario de igual longitud de desarrollo al absorbedor de energía esto para garantizar una capacidad mayor de carga en la línea de vida. Cabe mencionar que este dispositivo debe ser remplazado si ya ha sido usado en la detención de una caída.

Figura 15 Dispositivo absorbedor de energía.

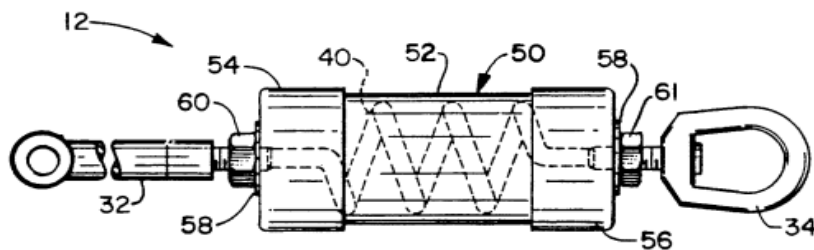


Fuente: (Small G., 1995).

Patente #5 Absorbedor de impacto para sistemas de cables de seguridad.

Este absorbedor de energía fue diseñado y patentado por Charles W. Duncan con numero de registro 5332071, publicado el 26 de julio de 1994 en Estados Unidos, con mecanismo principal de disipación de energía de este dispositivo se compone mediante un resorte helicoidal (Justia Patents, n.d). Charles empleo este elemento para formar parte de un sistema de línea de vida horizontal o vertical para realizar trabajos en alturas. En caso de que ocurra la caída de un trabajador, la fuerza que ejerce la línea de vida sobre el anillo hace que se expanda y se deforme plásticamente el resorte, estableció una aleación de acero como material para la fabricación del resorte helicoidal de $\frac{1}{2}$ pulgada de calibre y recalca que este elemento no debe ser reutilizado en caso de que ya haya sido usado en la disipación de energía de una caída, es decir el elemento está diseñado para un uso único.

Figura 16 Absorbedor de impacto para sistemas de cables de seguridad.



Fuente: (Justia Patents, n.d).

5.3. MARCO CONTEXTUAL HIDRAQUIP SAS.

HIDRAQUIP SAS es una empresa Casanareña ubicada en la Calle 18 # 21-35 en la ciudad de Yopal - Casanare – Colombia identificada con número de identificación tributaria NIT: 901138431, con más de 10 años de liderazgo regional en la prestación de servicios hidráulicos industriales, en el suministro, fabricación, remanufactura y reparación de componentes hidráulicos y neumáticos; herramientas de perforación direccional y levantamiento artificial del sector petrolero así como ingeniería estructural y e ingeniería mecánica especializada cuyo foco misional estaba basado únicamente fabricación, reparación, reconstrucción, mantenimiento y suministro de cilindros hidráulicos, proyectos y montajes mecánicos y estructurales, cálculos, diseños y fabricación de maquinaria y equipos con recurso humano técnico y profesional calificado con procesos de manufactura de la más alta calidad. El desarrollo del presente trabajo de investigación permitió a la empresa HIDRAQUIP SAS agregar un producto nuevo a su portafolio de servicios relacionados con sistemas de protección para trabajo en alturas.

El desarrollo del presente proyecto de investigación contó con la participación y apoyo del personal operativo y administrativo de la empresa HIDRAQUIP SAS, en especial contó con el apoyo y la codirección del Gerente Administrativo de la empresa Jaime Jeanpierre Bernal Olarte Ingeniero mecánico, MSc Ingeniería Mecánica.

6. METODOLOGÍA

6.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA METODOLOGÍA

La metodología para el desarrollo de este proyecto de grado se realiza bajo un procedimiento de etapas y tareas como se describe a continuación.

Figura 17 Diagrama de flujo de la metodología aplicada al desarrollo del proyecto



Fuente: Autor.

6.2. DESCRIPCIÓN DE ETAPAS Y TAREAS

El diseño y fabricación del sistema absorbedor de energía es un proceso complejo que requiere de una metodología rigurosa y sistemática para garantizar su efectividad y seguridad. A continuación, se presenta una descripción general de las etapas y tareas involucradas en este proceso, para tal efecto el presente proyecto se dividirá en cinco (5) etapas principales de desarrollo:

Etapas 1: Actividades preliminares y definición de requisitos.

En esta etapa inicial se pretende contextualizar el problema objeto del proyecto de grado, y la consecución del marco teórico que será soporte de la investigación, para ello también se realizará la identificación de necesidades específicas del absorbedor de energía, considerando factores como la aplicación prevista, la energía cinética que debe disipar, las restricciones de peso y tamaño, y las condiciones ambientales de uso.

Se realizará un análisis exhaustivo de los riesgos asociados al uso del absorbedor de energía, incluyendo posibles fallas, condiciones de uso extremo y escenarios de impacto y se establecerán los criterios de diseño con base en las necesidades y el análisis de riesgos, se establecen criterios de diseño específicos para el absorbedor de energía, como la capacidad de disipación de energía, la fuerza máxima de impacto permitida, la vida útil y los materiales de construcción.

Etapas 2: Diseño conceptual y detallado:

En esta segunda etapa se desarrolla el diseño y simulación del sistema absorbedor de energía a desarrollar, como primera medida se realizará el diseño conceptual en donde se generan diferentes conceptos de diseño para el absorbedor de energía, explorando diversas configuraciones, mecanismos de disipación de energía y materiales.

En esta etapa también se evalúan los diferentes conceptos de diseño en base a los criterios establecidos en la etapa anterior. La implementación de herramientas de modelado 3D y análisis computacional simplifica el diseño del sistema absorbedor de energía y permite así elegir el modelo que ofrece el mejor equilibrio entre rendimiento, costo y fabricación.

Etapas 3: Análisis de resistencia de materiales y fabricación:

En esta tercera etapa se lleva a cabo la fabricación del sistema absorbedor de energía, en esta etapa se realiza la elección de materiales adecuados para la fabricación del absorbedor de energía, considerando propiedades como la resistencia mecánica, la ductilidad, la resistencia a la corrosión y la compatibilidad ambiental. En este punto también se llevarán a cabo los estudios de resistencia de materiales mediante análisis de esfuerzos que se realizan mediante análisis de elementos finitos, para evaluar la distribución de cargas y tensiones en el

absorbedor de energía bajo diferentes condiciones de carga a fin de que optimice el diseño del absorbedor de energía, buscando mejorar su rendimiento y reducir su peso y tamaño.

También se hace la preparación de materiales de acuerdo con las especificaciones de diseño, incluyendo procesos como corte, mecanizado, tratamiento térmico y recubrimientos. Se fabrican los diferentes componentes del absorbedor de energía utilizando técnicas de fabricación adecuadas, como soldadura, mecanizado, ensamblaje y pruebas de calidad.

El desarrollo de las tres primeras etapas de la metodología dará solución a los dos primeros objetivos específicos del presente proyecto de investigación, cuyo fundamento se basa en el diseño y fabricación del sistema absorbedor de energía, teniendo como fundamento análisis de resistencia de materiales.

Etapas 4: Análisis de costos:

En esta cuarta etapa se realiza un estudio comparativo de costos del sistema absorbedor de energía desarrollado versus los diferentes dispositivos que se encuentran en el mercado a fin de identificar su viabilidad y competitividad económica. El desarrollo de esta cuarta etapa de la metodología dará solución al tercer objetivo específico planteado en el presente proyecto de investigación y cuyo fondo buscará identificar la viabilidad económica del sistema absorbedor de energía y las ventajas competitivas respecto de otros productos similares presentes en el mercado colombiano.

Etapas 5: Elaboración del informe

Esta quinta etapa es la última parte del proceso, en donde se concluye el proyecto con el desarrollo del documento y análisis de resultados, en esta etapa se elabora toda la documentación del diseño del absorbedor de energía en detalle, incluyendo planos, especificaciones técnicas, manuales de usuario y procedimientos de mantenimiento. En esta etapa se realiza el registro de datos, pruebas y validación del diseño para su trazabilidad y futuras referencias.

La etapa cinco tiene como conclusión la elaboración del documento final entregable que refleje y represente el cumplimiento del objetivo general y los objetivos específicos trazados en el presente proyecto de grado en la modalidad investigación, esta quinta etapa de la metodología dará solución y último objetivo específico planteado en el presente proyecto de investigación.

7. RESULTADOS

Los resultados esperados en la realización de este proyecto están en función de los objetivos específicos mencionados, y, además, son producto de la metodología propuesta; los resultados e impactos esperados del diseño y construcción del dispositivo absorbedor de energía para líneas de vida de trabajo en alturas, evidencia los principales aportes del proyecto en términos de ingeniería y responden al problema planteado.

A continuación, se describe cada uno de los resultados esperados respectivamente.

Tabla 4 Tabla de sección de resultados y cronograma

RESULTADO	INDICADOR	OBJETIVO RELACIONADO
Recopilación del estado del arte sistemas absorbedores de energía para líneas de vida	Fuentes consultadas, Marco teórico	Objetivo específico 1
Identificación de los procesos de diseño y manufactura de sistemas absorbedores de energía para líneas de vida	Fuentes consultadas, Procesos identificados, Marco teórico	Objetivo específico 1
Diseño del sistema absorbedor de energía para líneas de vida	Modelado del sistema absorbedor de energía para líneas de vida	Objetivo específico 1
Simulación y análisis de resistencia de materiales del sistema absorbedor de energía para líneas de vida desarrollado	Memoria de cálculo	Objetivo específico 2
Análisis de costos del sistema absorbedor de energía para líneas de vida desarrollado	Análisis monetario	Objetivo específico 3
Fabricación y certificación del sistema absorbedor de energía para líneas de vida desarrollado	Fabricación y certificación	Objetivo específico 4

Fuente: Autor

Cabe resaltar que en el desarrollo del presente proyecto no se llevaron a cabo pruebas de ensayo bajo metodologías internacionales, debido a los altos costos asociados a los ensayos exigidos por las normas ANSI Z359.13 y EN 355. Dado que estas normas internacionales requieren pruebas destructivas para certificar absorbedores de energía, lo cual representa una inversión económica significativa en el trabajo de grado como se describe a continuación.

- Pruebas de caída dinámica: Su costo varía según el laboratorio y la complejidad del dispositivo, pero generalmente oscila entre \$2.000.000 y \$3.000.000 COP por muestra.
- Pruebas de resistencia estática: Aunque son menos costosas que las pruebas dinámicas, también representan una inversión considerable, con un costo estimado entre \$2.000.000 y \$3.000.000 COP por muestra.
- Pruebas de resistencia a la corrosión: Dependiendo de la duración de la exposición a la niebla salina y del laboratorio, el costo puede oscilar entre \$1.000.000 y \$2.000.000 COP por muestra.

- Pruebas ambientales: Estas pruebas consideran factores como temperatura extrema y exposición a radiación UV. Su costo estimado también se encuentra entre \$1.000.000 y \$2.000.000 COP por muestra.

Finalmente me permito anexar a este documento, una cotización de los ensayos destructivos requerida por la normativa internacional, emitida por el Laboratorio de Ensayos de Armadura S.A.S., ubicado en Bogotá, D.C. En ella se evidencia que el costo total asciende a aproximadamente 8 millones de pesos, realizando un ensayo de resistencia estática y de rendimiento dinámico bajo normativa ANSI, y un ensayo de resistencia dinámica bajo normativa EN.

Para suplir la realización de estas pruebas destructivas, se optó por la ejecución de simulaciones por elementos finitos, las cuales permiten cumplir con los requisitos de los numerales 4.3 (resistencia estática) y 4.4 (rendimiento dinámico) de la norma ANSI Z359.13. Estas simulaciones se desarrollaron utilizando el software especializado SOLIDWORKS y se presentan en los apartados 7.3 y 7.4 de este trabajo de grado.

7.1. DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL SISTEMA ABSORBEDOR DE ENERGÍA

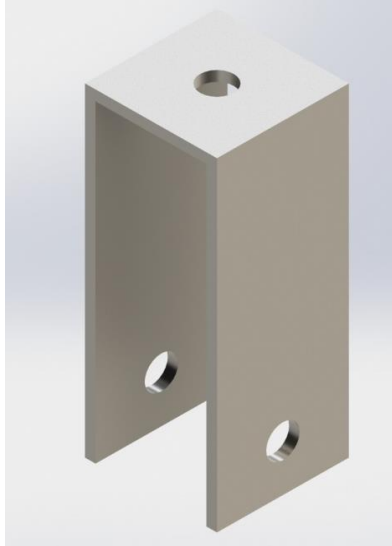
El diseño del sistema absorbedor de energía desarrollado se fundamenta en los prototipos estudiados en el capítulo 5.1 Estado del arte, a partir del cual se tiene como premisa la fabricación de un sistema absorbedor de tipo resorte, en base a los productos ya disponibles en el mercado, con el objetivo principal de desarrollar un dispositivo que no solo cumpla con los requisitos específicos de una aplicación, sino que también supere a sus competidores en términos de rendimiento, durabilidad y costo.

La fabricación de un absorbedor de energía tipo resorte involucra procesos y técnicas precisas para garantizar su rendimiento y durabilidad. El desarrollo del sistema absorbedor de energía tipo resorte, se basa en múltiples modelos comerciales, identificando sus componentes, materiales, geometrías y mecanismos de funcionamiento, del mismo modo se tiene en cuenta los costos de fabricación y materiales de cada modelo para identificar áreas de potencial reducción de costos y poder del mismo modo evaluar la facilidad con la que se pueden procesar los materiales seleccionados. El objetivo principal es desarrollar un dispositivo que cumpla con requisitos específicos de rendimiento, durabilidad y costo, a la vez que aproveche las lecciones aprendidas de productos similares en el mercado.

El desarrollo del sistema absorbedor de energía, comprendió cuatro elementos principales, los cuales fueron fabricados y ensamblados en el Taller metalmecánico HIDRAQUIP SAS empresa ubicada en la Calle 18 # 21 - 35 Yopal, Casanare, Colombia.

1. **Cuerpo o carcasa:** Estructura metálica que aloja el resorte y los puntos de fijación brindando protección y rigidez al sistema.

Figura 18 Cuerpo o carcasa.



Fuente: Autor.

2. **Resorte helicoidal:** El corazón del sistema, encargado de almacenar y disipar energía.

Figura 19 Resorte helicoidal.



Fuente: Autor.

3. **Tuerca de ojo y tornillo M12:** Permiten conectar el resorte con el cuerpo del absorbedor, la tornillería sujeta el resorte al cuerpo y asegura la conexión de la tuerca de ojo.

Figura 20 Tuerca de ojo y tornillo M12.



Fuente: Autor.

4. **Grillete:** Elemento de anclaje que se suele usar como pieza intermedia entre el cáncamo o gancho y el sistema de protección anticaídas. El grillete consta de una argolla y un perno de seguridad.

Figura 21 Grillete.



Fuente: Autor.

7.2. INGENIERÍA

Se diseñaron los planos detallados del sistema absorbedor, considerando factores como la capacidad de carga (5.000 lbs según res 4272 del 2021), la longitud de caída libre, la fuerza de detención y la normativa aplicable.

El diseño del sistema absorbedor de energía para líneas de vida de resorte es un proceso que involucra los principios de la mecánica, los materiales y las normas de seguridad específicamente este proyecto se fundamenta en la norma colombiana de trabajo en alturas la resolución 4272 del 2021. Estos dispositivos juegan un papel crucial en la protección de los trabajadores en alturas, disipando la energía generada durante una caída y minimizando el riesgo de lesiones

Los absorbedores de energía deben ser capaces de soportar la fuerza máxima de la caída manteniendo la resistencia mínima de 5.000 libras (22.2 kilo newtons — 2.272 kg) como mínimo con un factor de seguridad de dos (2) teniendo en cuenta todas las condiciones normales de uso del anclaje. Máximo se puede conectar dos trabajadores a un mismo mecanismo de absorbedor fijo, pero solamente en el caso de líneas de vida horizontales, en los cuales deberá poseer el doble de la capacidad exigida certificada.

El diseño de un absorbedor de energía tipo resorte, basado en modelos existentes, implica un proceso que combina la ingeniería, la experimentación y el análisis. El objetivo principal es desarrollar un dispositivo que cumpla con requisitos específicos de rendimiento, durabilidad y costo, a la vez que aprovecha las lecciones aprendidas de productos similares en el mercado

Se eligen los materiales adecuados para cada componente, priorizando la resistencia, durabilidad y la capacidad de absorción de energía y teniendo en cuenta el factor de competitividad. La selección de los materiales tuvo como criterios la capacidad de carga, el entorno de trabajo teniendo en cuenta las condiciones ambientales del lugar de trabajo (temperatura, humedad, productos químicos, etc.) para lo cual todos los materiales son anticorrosivos y finalmente la facilidad de uso y formación, esto para que los trabajadores que utilicen equipos de protección contra caídas con absorbedores de energía deben recibir una formación adecuada sobre su uso y mantenimiento.

Los materiales adquiridos suministrados por HIDRAQUIP SAS como grillete, tornillería y resorte se encuentran certificados individualmente con el anexo 2.

7.2.1 Cálculo del resorte

El cálculo del diámetro necesario del alambre es uno de los resultados más importantes del diseño de resortes. La selección del diámetro del alambre es un paso crucial en el diseño de resortes, ya que influye directamente en su rendimiento y durabilidad. Considerando factores como la carga máxima y el tipo de resorte, el diseñador debe elegir el diámetro óptimo de entre la amplia gama de opciones

estándar disponibles en el mercado. La siguiente tabla presenta un ejemplo de estos diámetros estándar, el alambre se fabrica en piezas de diámetro estándar que abarca un rango muy amplio, como se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 5 Diámetros estándar para resortes

Metric sizes, mm					
First preference	Second preference	Third preference	First preference	Second preference	Third preference
0.10			2.5		
	0.11				2.6
0.12				2.8	
	0.14		3.0		
0.16					3.2
	0.18			3.5	
0.20					3.8
	0.22		4.0		
0.25					4.2
	0.28			4.5	
0.30					4.8
	0.35		5.0		
0.40				5.5	
	0.45		6.0		
0.50				6.5	
	0.55			7.0	
0.60					7.5
	0.65		8.0		
	0.70				8.5
0.80				9.0	
	0.90				9.5
1.0			10.0		
	1.1			11.0	
1.2			12.0		
		1.3		13.0	
	1.4		14.0		
1.6				15.0	
	1.8				
2.0			16.0		
		2.1			

Fuente: (Fundamental of Mechanical Component Design, n.d.)

La resistencia a la tracción y la dureza de cada grado de muelle están completamente determinadas por el grosor del alambre utilizado. Es posible lograr las mismas características para distintos diámetros modificando el contenido de carbono, los materiales utilizados en los resortes pueden ser contrastados al evaluar sus capacidades de resistencia a la tensión, las cuales pueden cambiar dependiendo del grosor del alambre, Por lo que la resistencia a la tensión no se puede especificar hasta que se conozca el diámetro. La representación gráfica de la resistencia a la tracción en función del diámetro del alambre tiende a ser aproximadamente lineal para ciertos materiales al ser trazada en una escala logarítmica.

La tabla 4 proporciona datos técnicos sobre diferentes tipos de alambres utilizados en la fabricación de resortes. Estos datos son fundamentales para seleccionar el alambre adecuado según las características deseadas del resorte, como su resistencia, rigidez y durabilidad.

- **Material:** Identifica el tipo de acero utilizado para fabricar el alambre (ej: Music wire A227).
- **Elastic Limit, Percent of S_{ut} Tension Torsion:** Indica el límite elástico del material expresado como un porcentaje de la resistencia a la tracción última (S_{ut}) tanto para tensión como para torsión. Esto nos da una idea de hasta dónde se puede deformar el material elásticamente antes de sufrir una deformación permanente.
- **Diameter, d , in:** Especifica el diámetro del alambre en pulgadas.
- **E, Mpsi:** Módulo de elasticidad en millones de libras por pulgada cuadrada (Mpsi). Esta propiedad mide la rigidez del material.
- **E, GPa:** Módulo de elasticidad en gigapascuales (GPa). Es la misma propiedad que la anterior, pero expresada en unidades del Sistema Internacional.
- **G, Mpsi:** Módulo de corte en millones de libras por pulgada cuadrada (Mpsi). Indica la resistencia del material a la deformación por cizallamiento.
- **G, GPa:** Módulo de corte en gigapascuales (GPa). Es la misma propiedad que la anterior, pero expresada en unidades del Sistema Internacional.

Tabla 6 Propiedades Mecánicas de Aceros para resortes

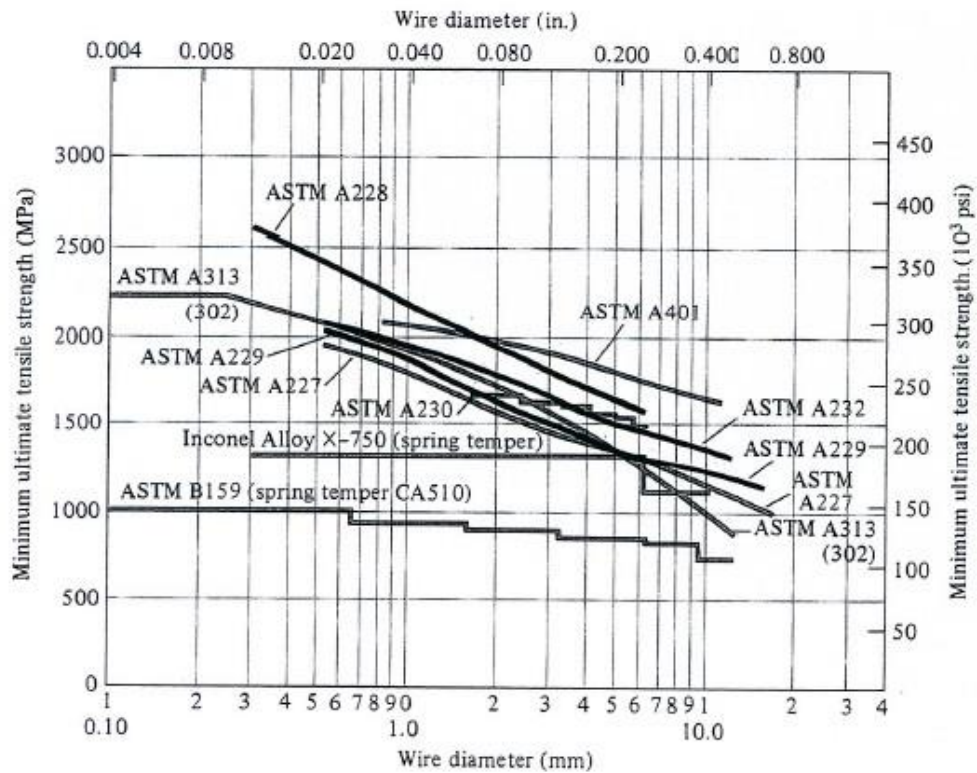
Material	Elastic Limit, Percent of S_{ut} Tension Torsion		Diameter d , in	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Music wire A228	65–75	45–60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033–0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064–0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
HD spring A227	60–70	45–55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033–0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064–0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6
Oil tempered A239	85–90	45–50		28.5	196.5	11.2	77.2
Valve spring A230	85–90	50–60		29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-vanadium A231	88–93	65–75		29.5	203.4	11.2	77.2
A232	88–93			29.5	203.4	11.2	77.2
Chrome-silicon A401	85–93	65–75		29.5	203.4	11.2	77.2
Stainless steel A313*	65–75	45–55		28	193	10	69.0

Fuente: (ASKELAND M, Donald R, n.d.)

La gráfica log-log es una herramienta poderosa para visualizar relaciones entre variables que varían en órdenes de magnitud. En el contexto de los materiales, como los alambres para resortes, esta gráfica nos permite observar de manera más

clara la relación entre la resistencia a la tracción y el diámetro del alambre. (González & Mesa G., 2004)

Figura 22 Gráfica (log-log) de la resistencia a tracción vs diámetro del alambre



Fuente: THE IRON AND STEEL INSTITUTE.

Las constantes A y m son parámetros empíricos utilizados en el diseño de resortes helicoidales. Estas constantes se utilizan en ecuaciones que permiten estimar la resistencia a la tensión mínima del alambre de un resorte, teniendo en cuenta su diámetro.

Tabla 7 Constantes A y m .

Material	ASTM No.	Exponent m	Diameter, in	A , kpsi · in ^{m}	Diameter, mm	A , MPa · mm ^{m}	Relative Cost of wire
Music wire*	A228	0.145	0.004–0.256	201	0.10–6.5	2211	2.6
OQ&T wire†	A229	0.187	0.020–0.500	147	0.5–12.7	1855	1.3
Hard-drawn wire‡	A227	0.190	0.028–0.500	140	0.7–12.7	1783	1.0
Chrome-vanadium wire§	A232	0.168	0.032–0.437	169	0.8–11.1	2005	3.1
Chrome-silicon wire	A401	0.108	0.063–0.375	202	1.6–9.5	1974	4.0
302 Stainless wire#	A313	0.146	0.013–0.10	169	0.3–2.5	1867	7.6–11
		0.263	0.10–0.20	128	2.5–5	2065	
		0.478	0.20–0.40	90	5–10	2911	

Fuente: (Askeland M, Donald R, 1998)

De manera que la ecuación para calcular la resistencia mínima a la tensión quedaría:

$$s_{ut} = \frac{A}{d^m};$$

La ecuación $s_{ut} = A / d^m$ es una herramienta fundamental para estimar la resistencia mínima a la tracción de un alambre, donde s_{ut} es la resistencia a la tracción, d es el diámetro del alambre, y A y m son constantes específicas para cada material. Estas constantes, que pueden encontrarse en tablas como la Tabla 6, que permiten calcular la resistencia de manera sencilla y precisa.

La elección de las unidades para A depende del sistema de unidades utilizado para el diámetro (milímetros o pulgadas). La bibliografía especializada, como los trabajos de Shigley, Hamrock, Norton y Faires, proporciona información detallada sobre las propiedades de los materiales para resortes, incluyendo los valores de las constantes A y m . En este caso se relaciona la tabla del acero ASTM A 227 adecuado para aplicaciones de carga estática, fatiga, alta resistencia a la corrosión y mejor facilidad de conformación.

Tabla 8 Propiedades ASTM A227.

	<i>Rango de tamaños (mm)</i>	<i>Módulo Elast, E (Gpa)</i>	<i>Módulo Elast, G (Gpa)</i>	<i>Temp. Máx (°C)</i>	<i>A</i>	<i>m</i>
<i>Shigley [1]</i>	0.8 – 12	<i>Tabla 4.1</i>	<i>Tabla 4.1</i>	120	<i>Tabla 4.2</i>	<i>Tabla 4.2</i>
<i>Hamrock [3]</i>	0.7 – 12	206.7	79.23	120	1750	0.192
<i>Norton [5]</i>	0.5 – 16	207	-	120	1753.3	0.182
<i>Faires [8]</i>	0.71 – 14	200	79.29	-	1784	0.19

Fuente: (Faires, V.M, 1995)

El acero ASTM A227 es un tipo de alambre de acero estirado en frío, reconocido por su alta resistencia a la tracción y su amplia aplicación en la industria. Se clasifica en dos clases principales:

Clase I: Ofrece una resistencia a la tracción ligeramente menor, pero es más fácil de formar.

Clase II: Presenta una resistencia a la tracción mayor, ideal para aplicaciones que requieren mayor rigidez.

Las propiedades mecánicas exactas del acero ASTM A227, debido a sus propiedades, el acero ASTM A227 se utiliza en una amplia variedad de aplicaciones, teniendo como uso principal la fabricación de resortes para grandes exigencias de seguridad, debido su alta resistencia y ductilidad que lo hacen ideal para la fabricación de resortes de tensión, compresión y torsión y se caracterizan por:

- Alta resistencia a la tracción: Esto lo hace ideal para aplicaciones donde se requieren fuerzas elevadas.
- Buena ductilidad: Permite que el alambre se deforme antes de fracturarse, lo que aumenta su capacidad para absorber energía.
- Buena resistencia a la fatiga: Puede soportar cargas cíclicas repetidas sin fallar prematuramente.
- Buena maquinabilidad: Se puede cortar, doblar y formar fácilmente.

Tabla 9 Propiedades Típicas ASTM A227

Propiedad	Clase I	Clase II
Resistencia a la tracción (MPa)	1500-1800	1800-2100
Límite elástico (MPa)	1300-1600	1600-1900
Alargamiento (%)	2-5	1-3
Dureza (Brinell)	250-300	300-350

Fuente: (Faires, V.M, 1995)

El cálculo del resorte se fundamenta en el método de (Norton, R.L, 2011). Con el fin de establecer las dimensiones óptimas del resorte para que pueda cumplir el requisito de que la pieza no falle durante el funcionamiento del mismo, se utiliza un factor de seguridad, de manera que el esfuerzo máximo que actúa sobre un resorte se mantiene por debajo de un esfuerzo admisible (S_{ys}), el factor de seguridad este dado por la siguiente ecuación.

$$N_s = \frac{S_{ys}}{\tau_{max}};$$

Donde τ_{max} es el esfuerzo máximo que se produce por una determinada fuerza F, si el esfuerzo calculado es demasiado alto, comparado con la resistencia del material, se puede cambiar el diámetro del material, el índice de resorte o el material mismo para mejorar el resultado.

El diseño de resortes, como cualquier proceso de diseño es iterativo, es una tarea obvia para ejecutarse mediante una computadora. Los programas que permiten resolver ecuaciones con iteración automática son especialmente útiles para este tipo de tareas, ya que abordan simultáneamente todos los componentes del problema. El proceso iterativo se realizó utilizando hojas de cálculo de Microsoft Excel.

Como primer paso para el cálculo del diseño del resorte se debe suponer un diámetro d del alambre de prueba y elegir un índice C razonable del resorte. El índice C de resorte es la razón entre el diámetro D de la espiral y el diámetro d del alambre.

$$C = \frac{D}{d}; D = C * d = 3.75 * 8mm = 30mm$$

Para el cálculo del esfuerzo máximo de trabajo se propone el uso del factor de corrección por cortante K_s que depende solamente del índice del resorte, las ecuaciones están dadas de la siguiente manera.

$$k_s = 1 + \frac{0.5}{C} = 1 + \frac{0.5}{3.75} = 1.1333; \quad \tau_{max} = k_s \frac{8FD}{\pi d^3} = 1.1333 \frac{8 \cdot 2224.1 \cdot 30}{\pi \cdot 8^3} = 3.67E + 08;$$

Por otra parte, para calcular la resistencia máxima a la fluencia por torsión, por cortante y calcular la constante del resorte se emplea las siguientes ecuaciones.

$$S_{ys} = 0.6s_{ut} = 0.6 \frac{A}{d^m} = 0.6 \frac{1.75E+09}{8^{0.1822}} = 7.20E + 08;$$

$$S_{su} = 0.67s_{ut} = 0.67 \frac{A}{d^m} = 0.67 \frac{1.75E+09}{8^{0.1822}} = 8.40E + 08;$$

$$N_s = \frac{7.20}{3.67} = 2;$$

$$N_a = N_t - 2 = 7 - 2 = 5;$$

$$k = \frac{F}{y} = \frac{d^4 G}{8D^3 N_a} = \frac{8^4 \cdot 7.86E+10}{8 \cdot 30^3 \cdot 5} = 177,4615N/mm;$$

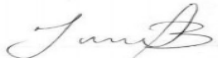
Una vez identificado que el diámetro del alambre de 8 mm cumple con la carga de diseño y cumple con el factor de seguridad se procede a suponer un número determinado de espiras (N_t) y una holgura entre ellas, para el resorte que se está diseñando se definió que el acabado de los extremos debe ser rectificado y a escuadra. Esto permite determinar la constante del resorte (k), la deflexión máxima (y), la longitud libre (LF), longitud solida (LS) y las demás dimensiones del resorte.

$$L_s = d \cdot N_t = 8mm \cdot 7 = 56mm;$$

$$L_f = 2d + pN_a = 2 \cdot 8mm + 12mm \cdot 5 = 76mm$$

Después de varias iteraciones, normalmente se obtiene una combinación razonable de parámetros que garantiza un factor de seguridad y considera las restricciones de diseño. En este caso la única restricción diseño del resorte es que el diámetro interno de la bobina sea mayor a ½ pulgada y que el factor de seguridad al cierre es de 1.2. A continuación, se presenta una tabla que resume los resultados del diseño del resorte obtenidos tras el proceso de iteración.

Tabla 10 Especificación de diseño para este resorte de alambre A227

Material	A227 HDR
d (mm)	8
LS (mm)	56
LF (mm)	76
P (mm)	12
Na (espiras activas)	5
Nt (espiras totales)	7
C (mm)	3,75
D (mm)	30
De (mm)	38
Di (mm)	22
K (constante del resorte) N/mm	177,4615
Fuerza de diseño	2224,1000
Ns	2
fuerza máxima de operación (N)	3086,29
F máx. cierre (N)	3549,23
F máx. fluencia	4259,08
F máx. Cortante	4968,92
τ diseño	3,67E+08
esfuerzo máx. operación (pascales)	5,2190E+08
esfuerzo a la altura del cierre (pascales)	6,0018E+08
Sys (pascales)	7,2022E+08
Sus (pascales)	8,4026E+08
Sut (pascales)	1,20E+09
Acabado puntas	A escuadra y rectificado
W (g)	212,1675601
Elaborado por:	Verificador por:
 Cristian Angarita  Ing. Jaime Bernal. MSc TP: SN230-121355	

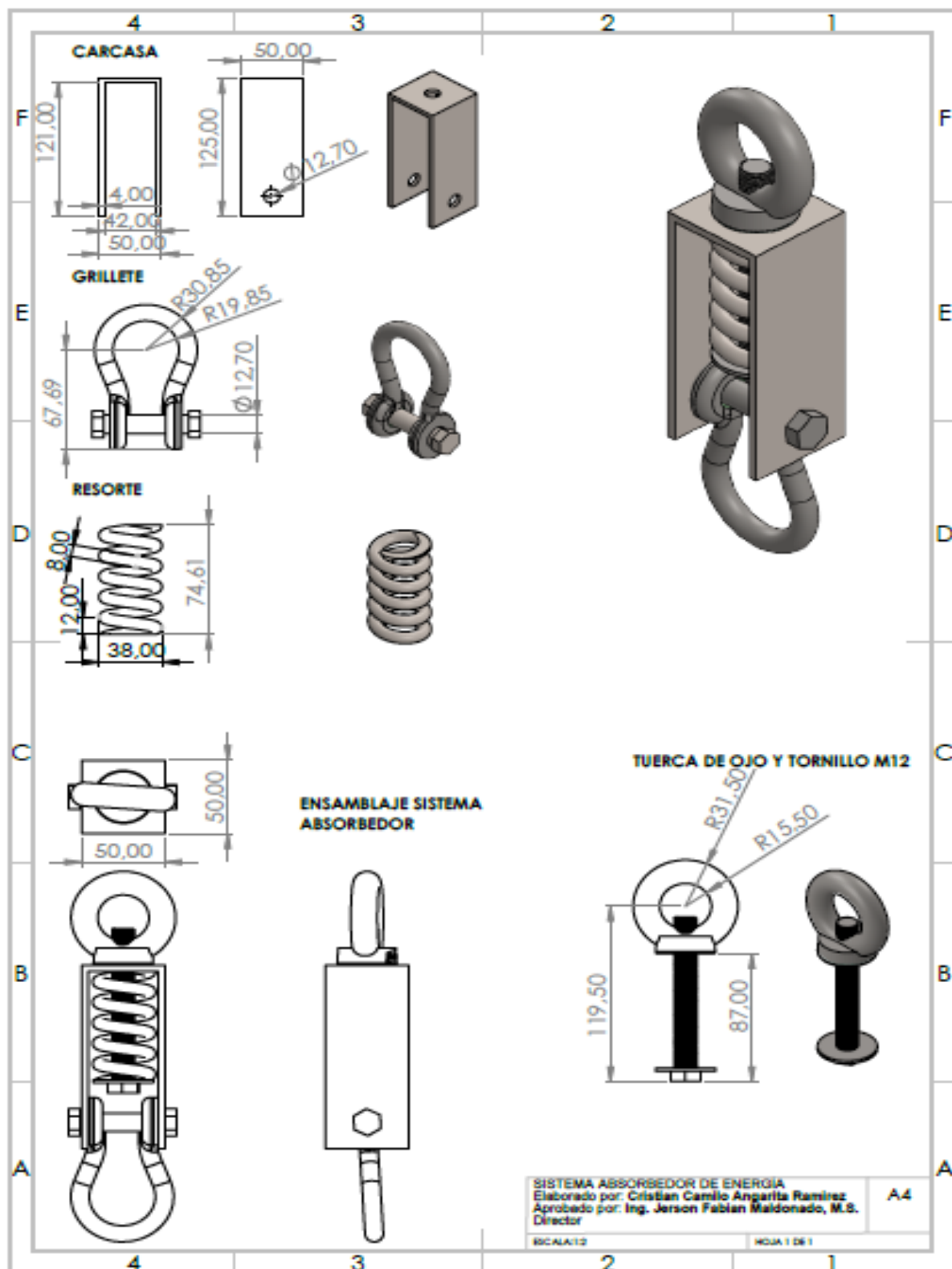
Fuente: Autor

Figura 23 Modelo desarrollado



Fuente: Autor.

Figura 24 Planos del modelo desarrollado



Fuente: Autor.

7.3. SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESISTENCIA DE MATERIALES DEL SISTEMA ABSORBEDOR DE ENERGÍA

En sistemas de detención de caídas, es necesario evaluar el desempeño de los dispositivos de protección contra caídas y garantizar la seguridad del trabajador en todo momento. Es posible prever las cargas que experimentará un usuario durante una caída mediante el uso de ecuaciones matemáticas y softwares de simulación, lo que permite optimizar el diseño del sistema y reducir los riesgos de lesión.

Para explicar el fenómeno de la caída de un trabajador se emplea los principios de conservación de la energía y dinámica del impacto. Durante la caída, la energía potencial gravitatoria (E_p) inicial del sistema se transforma en energía cinética (E_c) hasta el momento de la detención. Este proceso puede modelarse a través de las siguientes expresiones.

$$E_p = E_c$$

Donde

$$E_p = mgh ; E_c = \frac{1}{2}mv^2$$
$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 ; v = \sqrt{2gh}$$

En la cual m es la masa del trabajador, g la aceleración gravitacional (9.81 m/s^2), h la altura de caída y v la velocidad de impacto antes de la detención. Cuando el trabajador es detenido por un sistema de seguridad, la energía cinética debe disiparse en un intervalo de tiempo, aplicando el teorema del impulso y cantidad de movimiento, se obtiene la expresión de fuerza de choque;

$$F_c = \frac{mv}{\Delta t}$$

También se puede considerar el trabajo realizado por la fuerza de detención a lo largo de la distancia de desaceleración (d)

$$F_c d = \frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Despejando la fuerza de choque

$$F_c = \frac{mgh}{d}$$

Esto muestra que la fuerza de impacto generada durante una caída, está inversamente relacionada con la distancia de desaceleración y directamente proporcional a la altura desde la cual ocurre el evento. La distancia de desaceleración depende, en gran medida, del porcentaje de elongación del sistema de sujeción, compuesto por el arnés y la línea de vida, en el momento del impacto.

De acuerdo con la norma CI-1801, publicada por el Instituto Cordage (*Low Stretch and Static Kernmantle Life Safety Rope*), se recomienda el uso de cuerda semi-estática en los sistemas de detención de caídas. Esta normativa establece que el porcentaje de elongación de la cuerda debe situarse entre el 6 % y el 10 % de la longitud total, efectuando una carga similar al 10 % de la resistencia mínima a la rotura. (ASTM International, 2007)

En el análisis de impacto en la caída de un trabajador, es fundamental considerar un parámetro clave denominado factor de caída, el cual está intrínsecamente relacionado con la altura de la caída (h). Este factor se define como la relación entre la distancia de caída y la longitud del elemento de conexión utilizado en el sistema de protección (línea de vida). Su cálculo es esencial para evaluar el nivel de riesgo y las fuerzas generadas durante la detención de la caída, permitiendo seleccionar adecuadamente los dispositivos de seguridad y minimizar el impacto sobre el trabajador.

$$\text{Factor de caída} = \frac{\text{distancia de caída}}{\text{longitud del elemento de conexión}}$$

El factor de caída puede tomar valores entre 0 y 2. Un factor de caída de 0 indica que el trabajador cae menos que la longitud de la cuerda, lo que genera una menor fuerza de impacto. Un factor de caída de 1 ocurre cuando la distancia de caída es igual a la longitud de la cuerda, lo que representa una condición intermedia en términos de impacto. Un factor de caída de 2 significa que el trabajador cae el doble de la longitud de la cuerda, resultando en un impacto más severo y mayores fuerzas de detención.

Minimizar el factor de caída es fundamental para garantizar la seguridad del trabajador, ya que reduce la cantidad de energía cinética acumulada antes de la detención. No tener en cuenta este factor puede generar fuerzas de impacto que superen los límites de tolerancia del cuerpo humano, lo que aumenta el riesgo de lesiones graves, como fracturas, daños en la columna vertebral o hasta la muerte.

De acuerdo con la norma americana ANSI Z359.13, los absorbedores de energía deben estar clasificados según su capacidad para disipar la energía generada en diferentes factores de caída.

- Los absorbedores de energía para caídas libres de factor 1 están diseñados para situaciones donde la distancia de caída libre no excede los 6 pies (1,8 m). La fuerza de detención promedio no debe superar 900 libras (4 kN), la distancia máxima de despliegue debe ser 48 pulgadas (1,2 m). Adecuados para usuarios con un peso entre 130 y 282 libras (aproximadamente 59 a 128 kg).

- Los absorbedores de energía para caídas libres de factor 2 están diseñados para condiciones donde la distancia de caída libre puede llegar hasta 12 pies (3,6 m). La fuerza de detención promedio no debe superar 1350 libras (6 kN), la distancia máxima de despliegue debe ser 60 pulgadas (1,5 m). Adecuados para usuarios con un peso entre 130 y 282 libras (aproximadamente 59 a 128 kg).

El dispositivo desarrollado en el presente trabajo de grado fue diseñado para operar bajo condiciones de trabajo con un factor de caída igual a 1, lo que implica que la altura máxima utilizada para la simulación de impacto sea de 1.8 metros. Para las pruebas, se seleccionó un peso de ensayo de 128 kg, valor que corresponde a lo estipulado por la normativa americana. La distancia de frenado se establecerá en un 6% de la longitud total de la cuerda y no se tendrá en cuenta la elongación del arnés, por lo que el cálculo correspondiente se desarrollará a partir de este parámetro para garantizar una representación adecuada del comportamiento del sistema ante una caída.

Masa (m)= 128 kg

Gravedad (g)= 9,81 m/s²

Altura (h) = 1,8 m

Longitud del elemento de conexión (LEC) = 1,8 m

Factor de caída = 1

Distancia de frenado (d)= el 6% de LEC = 0,06*1,8m = 0,108 m

$$F_p = \frac{mgh}{d} = \frac{128 \text{ kg } 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 1,8 \text{ m}}{0,108 \text{ m}} = 20928 \text{ N} = 20,928 \text{ kN} = 4705 \text{ lbf}$$

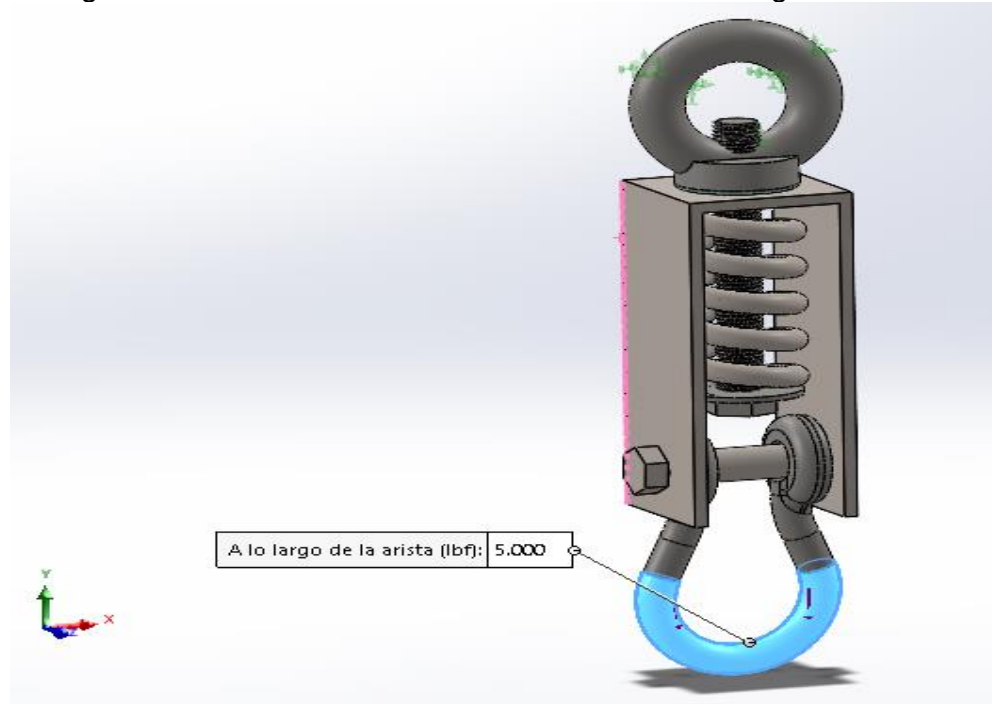
Esta fuerza promedio se asemeja al valor que solicita la resolución como carga de diseño mínima para garantizar la seguridad de los trabajadores al momento de ocurrir una caída. Este cumplimiento no solo valida la efectividad del diseño de los componentes, sino que también respalda su aplicabilidad en condiciones reales de operación.

Para esta fase, se empleó el software soliworx education que realiza simulaciones por elementos finitos, el software permite modelar el comportamiento del absorbedor durante una caída y verificar que cumpla con los requisitos de diseño, específicamente aplicando las cargas recomendadas por la resolución 4272 del 2021 que establece una carga de diseño mínima de 5.000 Lbs garantizando un factor de seguridad superior a 2.

El estudio de simulación y análisis de resistencia de materiales del sistema absorbedor de energía muestra el comportamiento de resistencia de materiales de los elementos que componen el absorbedor. La simulación y memoria de cálculo se

basa en un análisis de elementos finitos en donde se analiza la resistencia en cada punto del material (Von Mises), su deformación unitaria, su desplazamiento estático y el cálculo del factor de seguridad superior a 2 aplicando fuerzas de diseño de 5.000 Lbs-f.

Figura 25 Simulación resistencia de materiales carga de diseño



Fuente: Autor.

Tabla 11 Propiedades de estudio estático

Propiedades de estudio	
Masa = 1362.49 gramos volumen = 172408.67 milímetros cúbicos área de superficie = 76470.59 milímetros cuadrados centro de masa: (milímetros) X = -6.01; Y = 10.37; Z = 149.69	
Nombre de estudio	Análisis estático Absorbedor Energía
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	Automático

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

Fuente: Autor.

Tabla 12 Unidades

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

Fuente: Autor.

Tabla 13 Propiedades

Propiedades	
Nombre:	ACERO ASTM A-227 GALVANIZADO
Tipo de modelo:	Isotrópico elástico lineal
Criterio de error predeterminado:	Desconocido
Límite elástico:	7,202e+08 N/m ²
Límite de tracción:	1,2e+09 N/m ²
Módulo elástico:	1,965e+11 N/m ²
Coeficiente de Poisson:	0,27
Densidad:	7.860 kg/m ³
Coeficiente de dilatación	1,7e-05 /Kelvin

Fuente: Autor.

Tabla 14 Información de malla

Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	10,2988 mm
Tamaño mínimo del elemento	0,514941 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar

Fuente: Autor.

Tabla 15 Información de malla - Detalles

Información de malla - Detalles	
Número total de nodos	53198
Número total de elementos	30036
Cociente máximo de aspecto	194,07
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	71,1
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	9,62
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:09:38

Fuente: Autor.

En este proceso de análisis, se realizaron las simulaciones para cada componente del absorbedor (resorte, tornillo y tuerca de ojo, carcasa y grillete), en este apartado se establecieron las condiciones a las cuales está sometido cada elemento del dispositivo absorbedor de energía para líneas de vida, como sujeciones, conexiones, fuerzas externas, entre otros. A continuación, se describen los materiales y restricciones a las que se encuentran cada componente del absorbedor.

Resorte

El material utilizado para el análisis del resorte fue el acero ASTM A227, la sujeción para el análisis del resorte se definió colocando una geometría fija en uno de los extremos del resorte, la fuerza aplicada para la simulación fue de 500 lbs y fue situada al otro extremo del resorte, por último, se añadió una interacción entre

componentes llamado auto contactó con el fin de permitir el contacto con cada espiral.

Tornillo y tuerca de ojo

El material seleccionado para estos dos componentes fue el AISI 316 (acero inoxidable), la geometría fija se estableció en la tuerca de ojo y la fuerza aplicada para el análisis fue de 5.000 lbs, esta fuerza fue situada en la cabeza del perno en dirección contraria al eje del perno.

Carcasa

El material empleado para la estructura del absorbedor de energía fue el acero ASTM A36, una cara interna de la carcasa fue establecida como la geometría fija mientras que la fuerza aplicada fue ubicada en las perforaciones paralelas y en dirección contraria a la dirección de la geometría fija, la magnitud de la fuerza aplicada a la cual se realizó la simulación fue de 5.000 lbs.

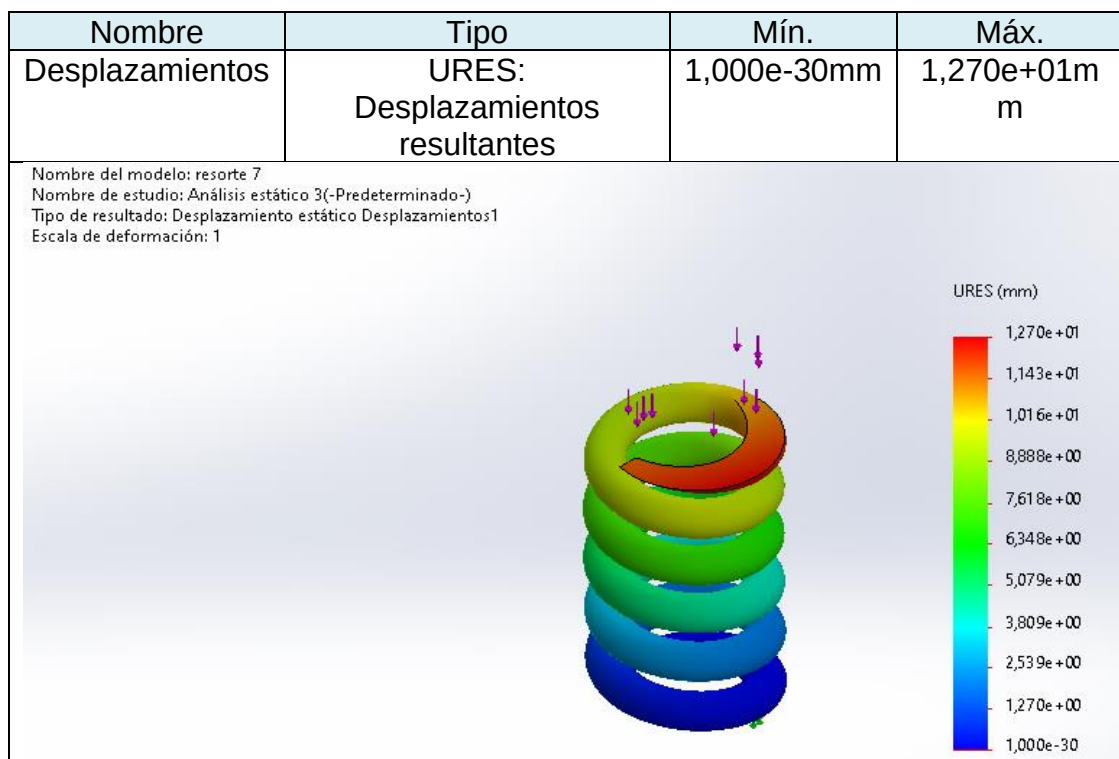
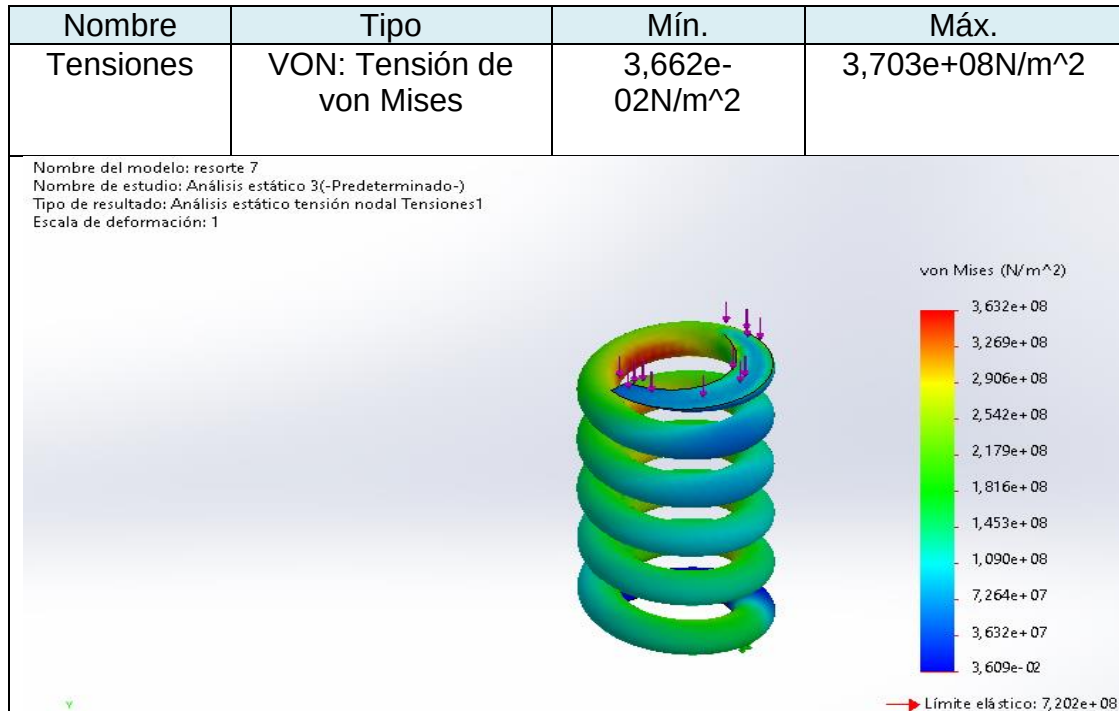
Grillete

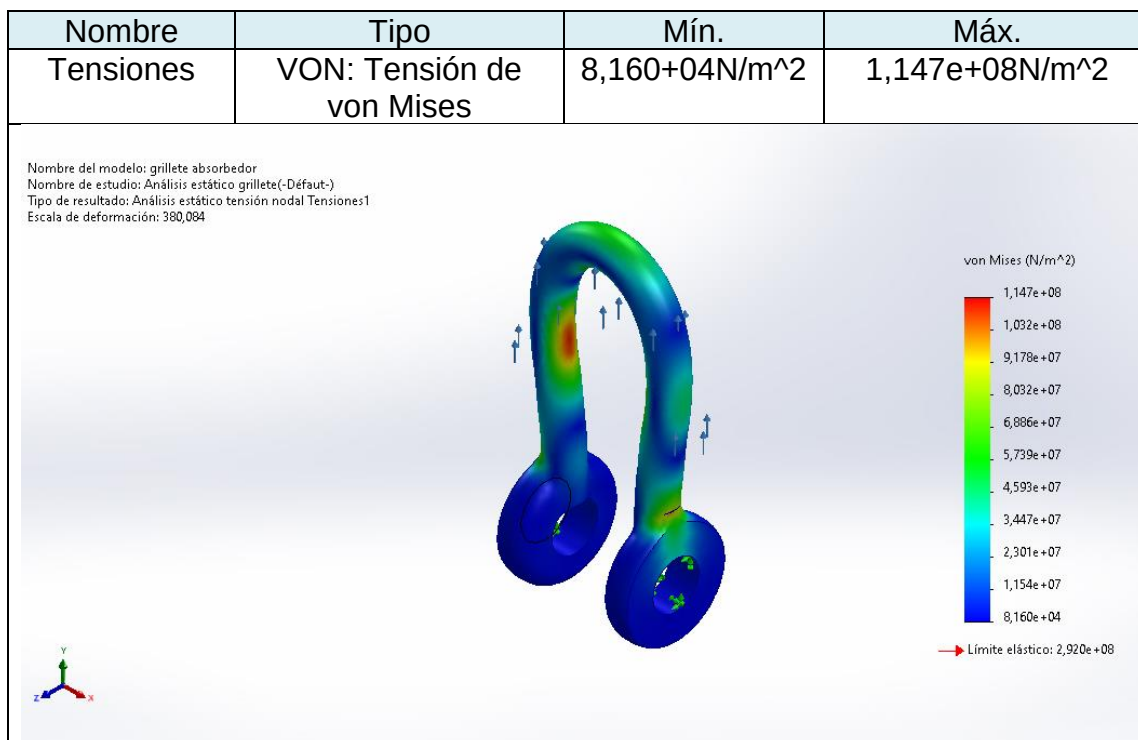
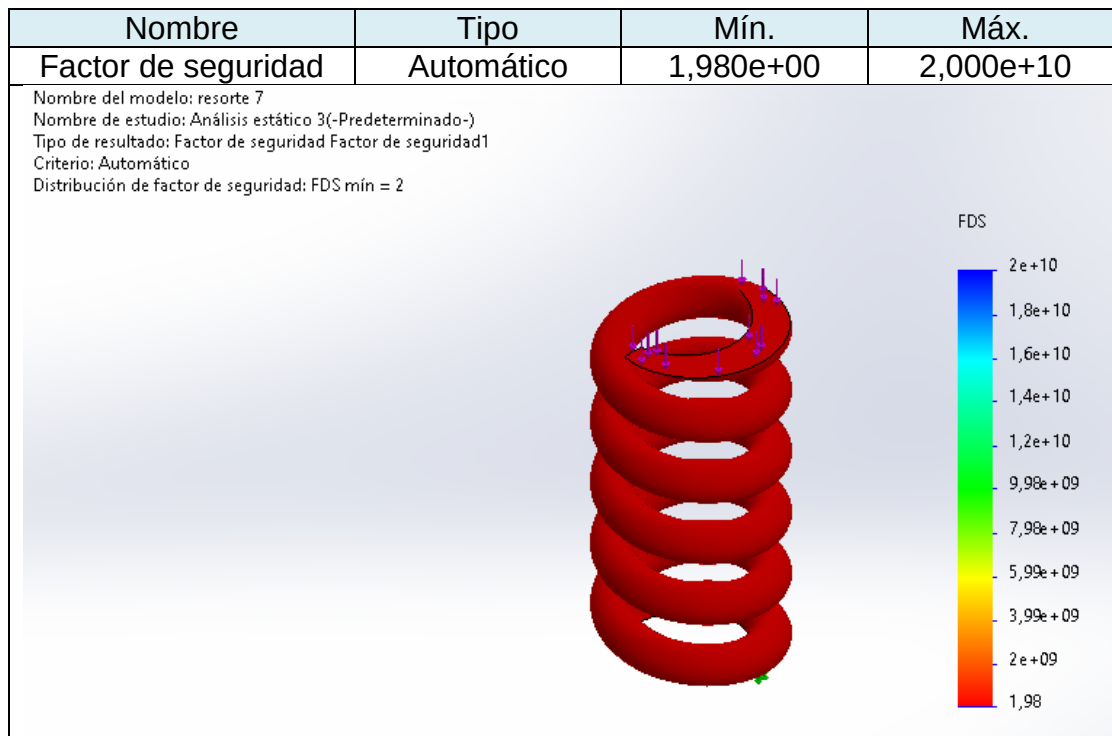
El material empleado para el grillete es un acero inoxidable (AISI 316), la geometría fija fue ubicada en las perforaciones paralelas mientras que la fuerza aplicada fue ubicada en la corona del cuerpo, la magnitud de la fuerza aplicada a la cual se realizó la simulación fue de 5.000 lbs.

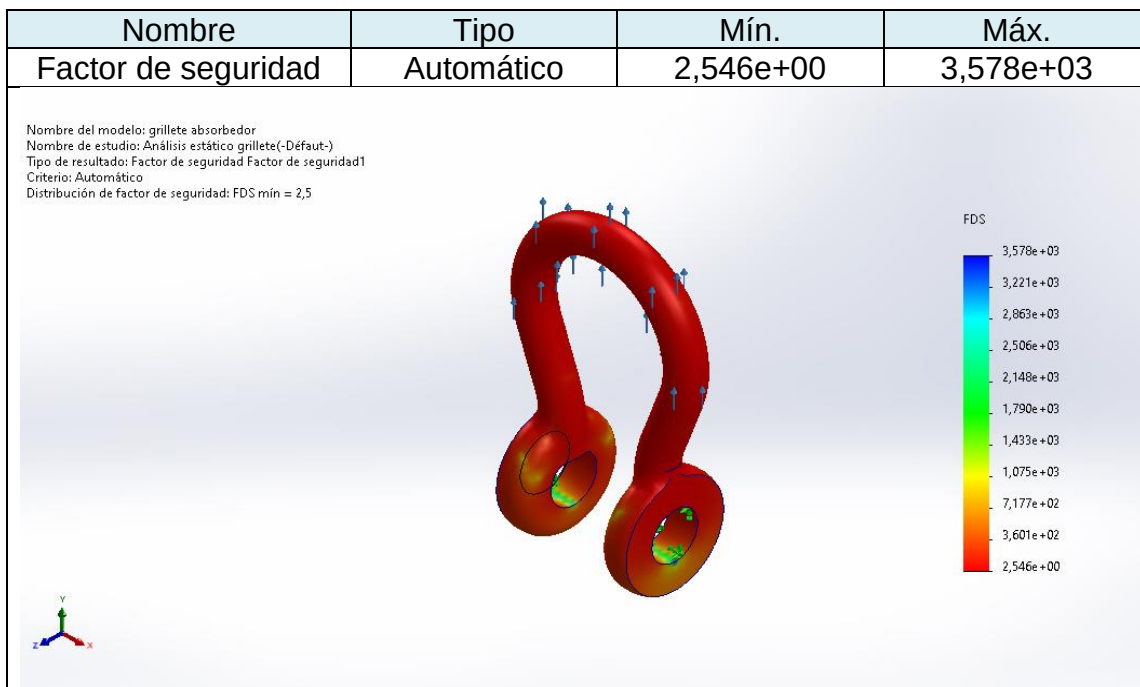
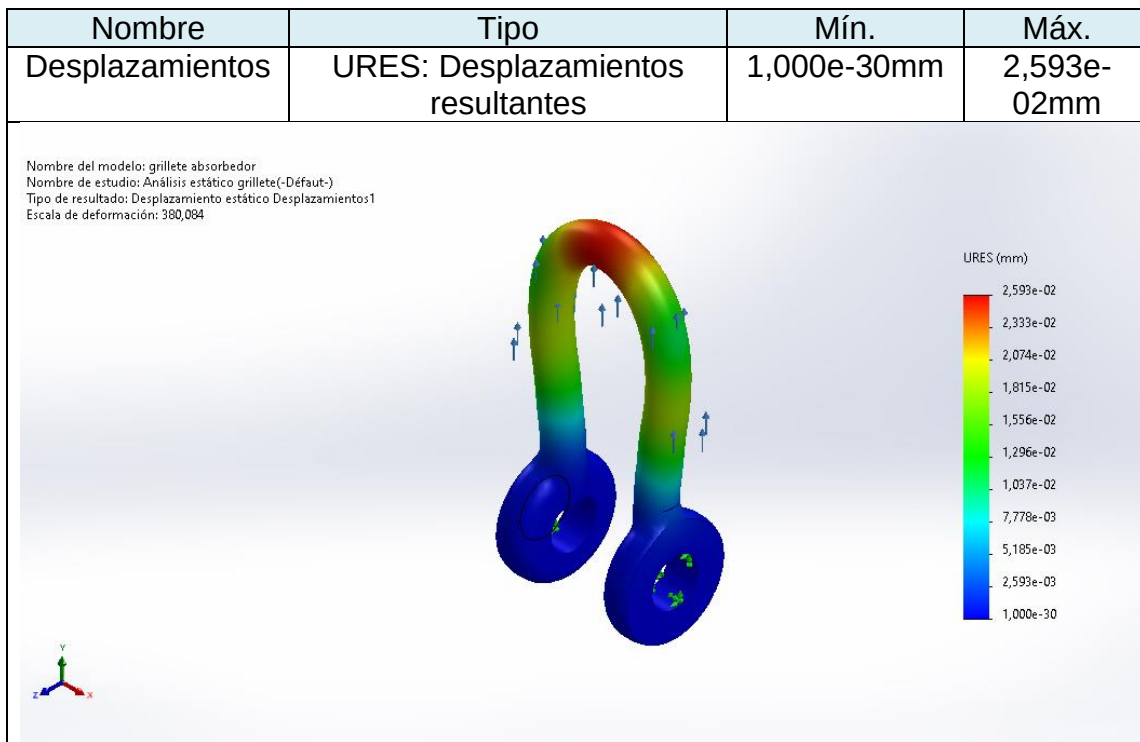
A continuación, se presentan los resultados del análisis por elementos finitos realizado sobre los componentes del absorbedor de energía descritos previamente.

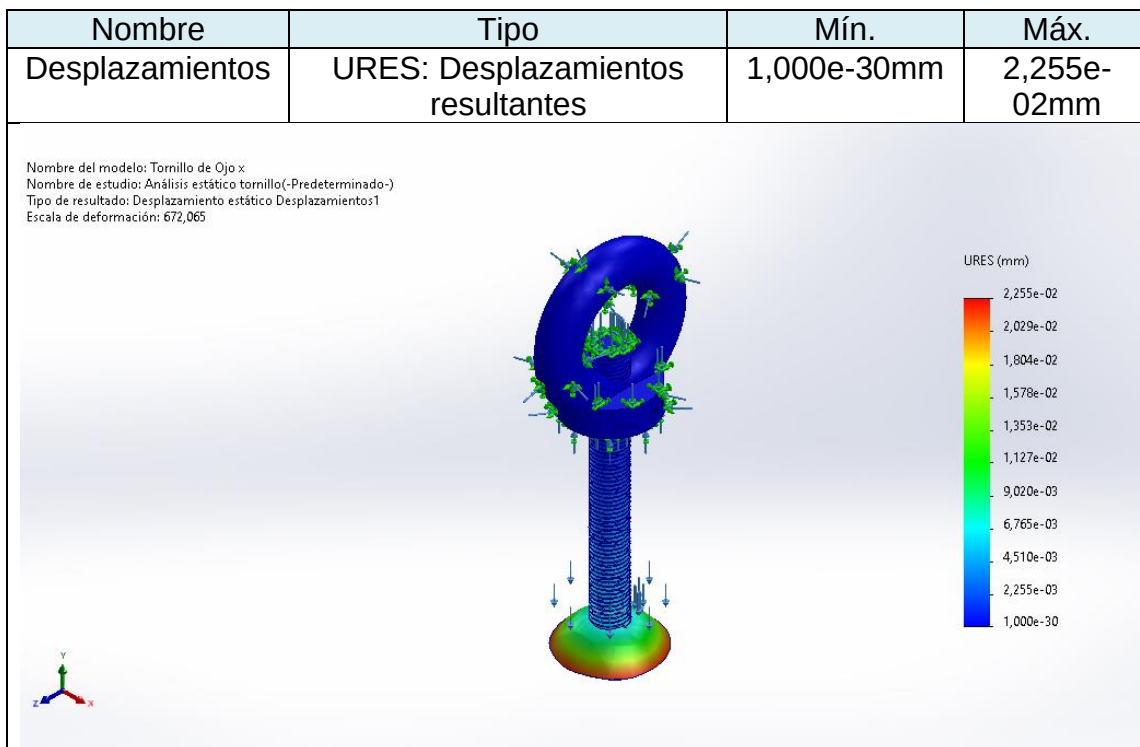
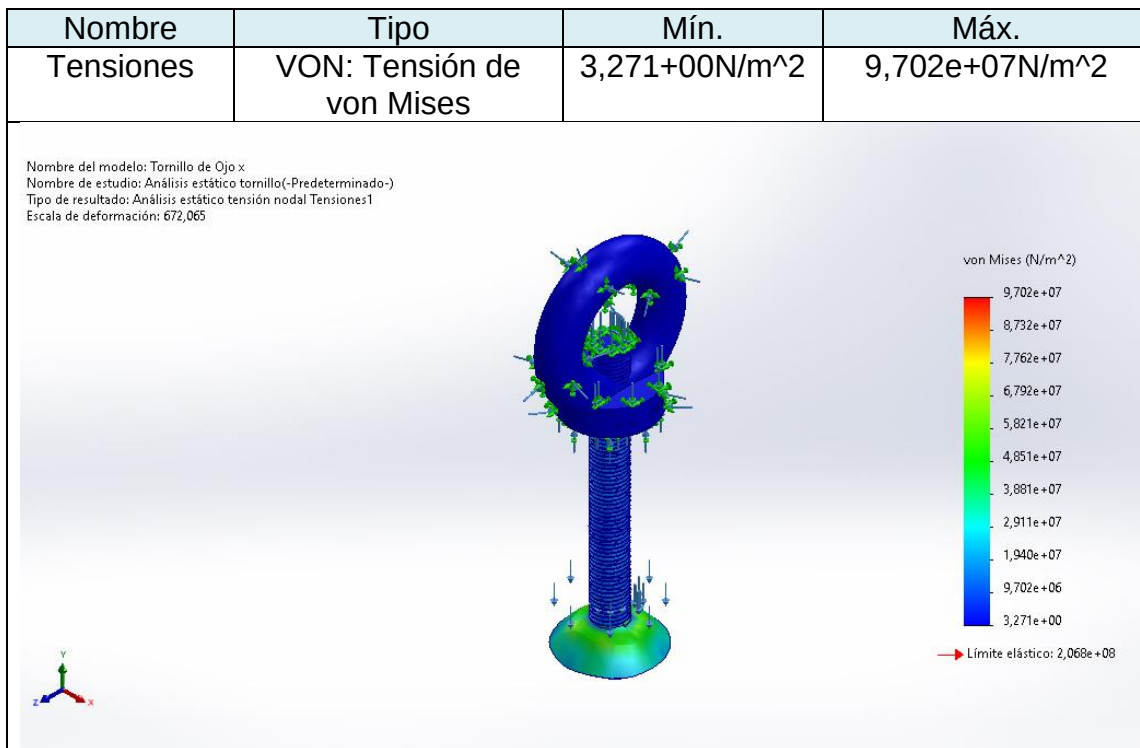
Resultados del estudio

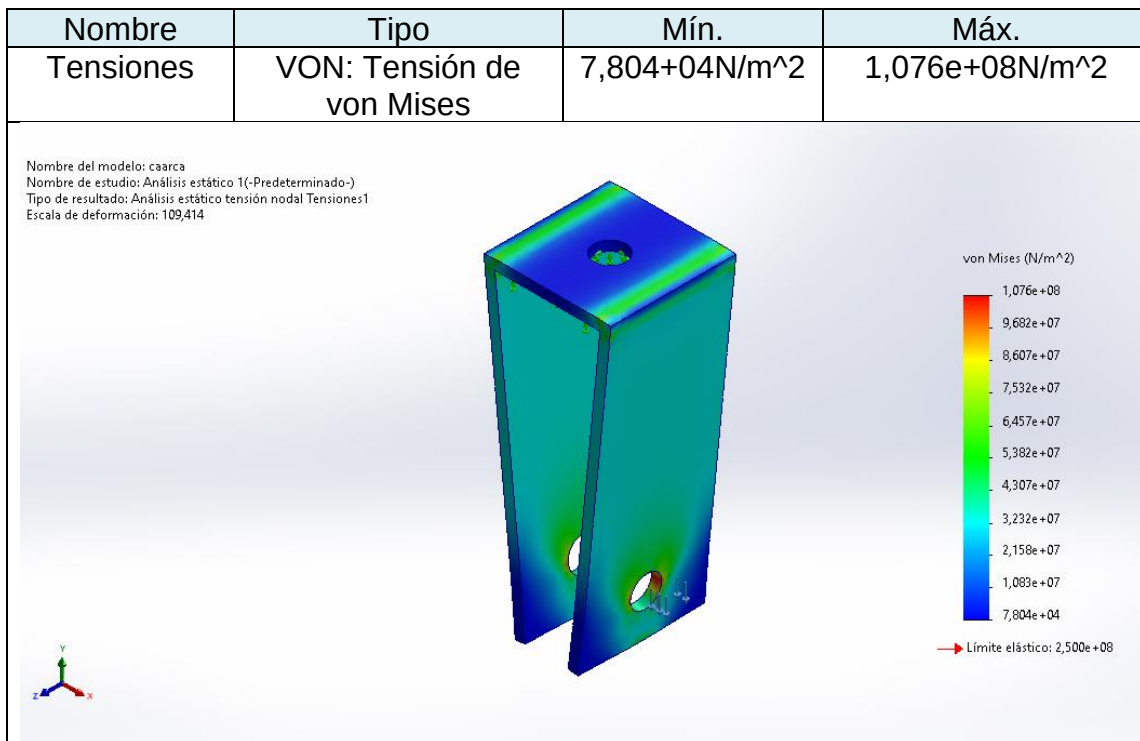
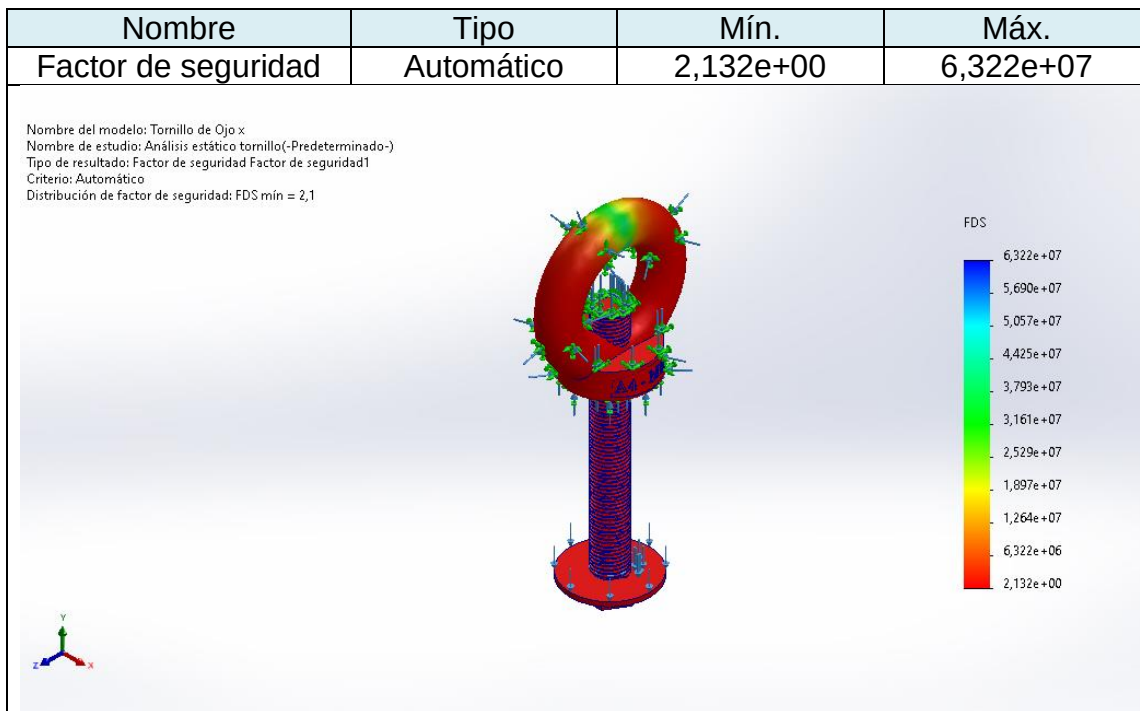
Figura 26 Resultados del análisis por elementos finitos

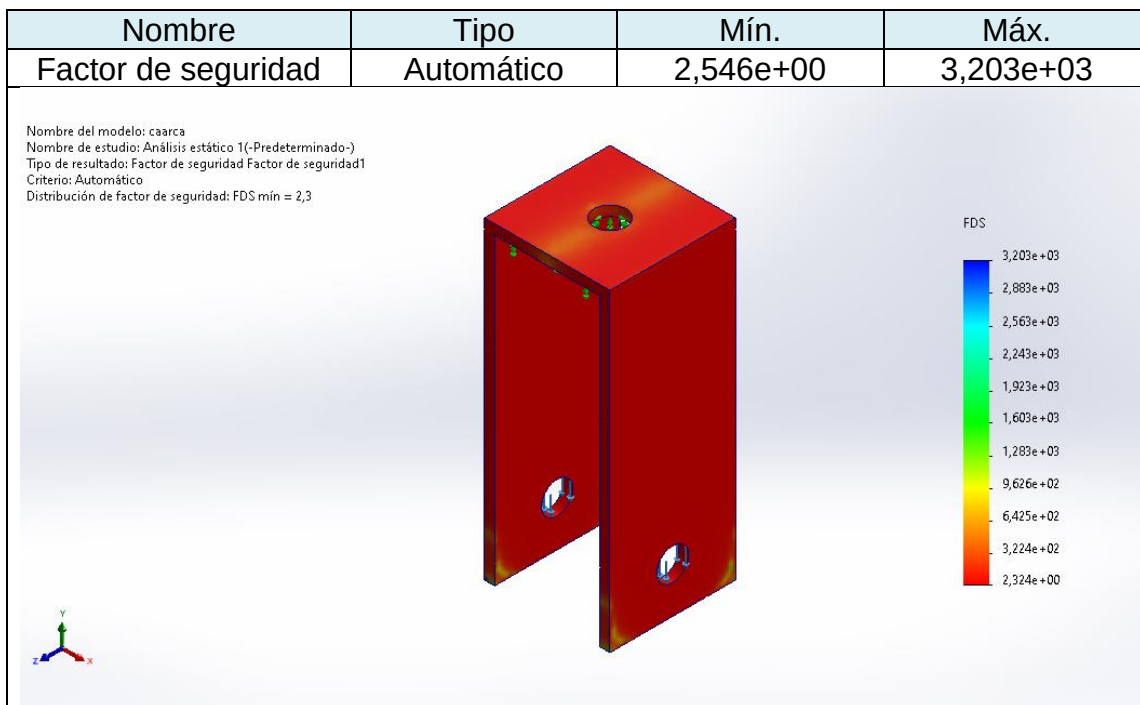
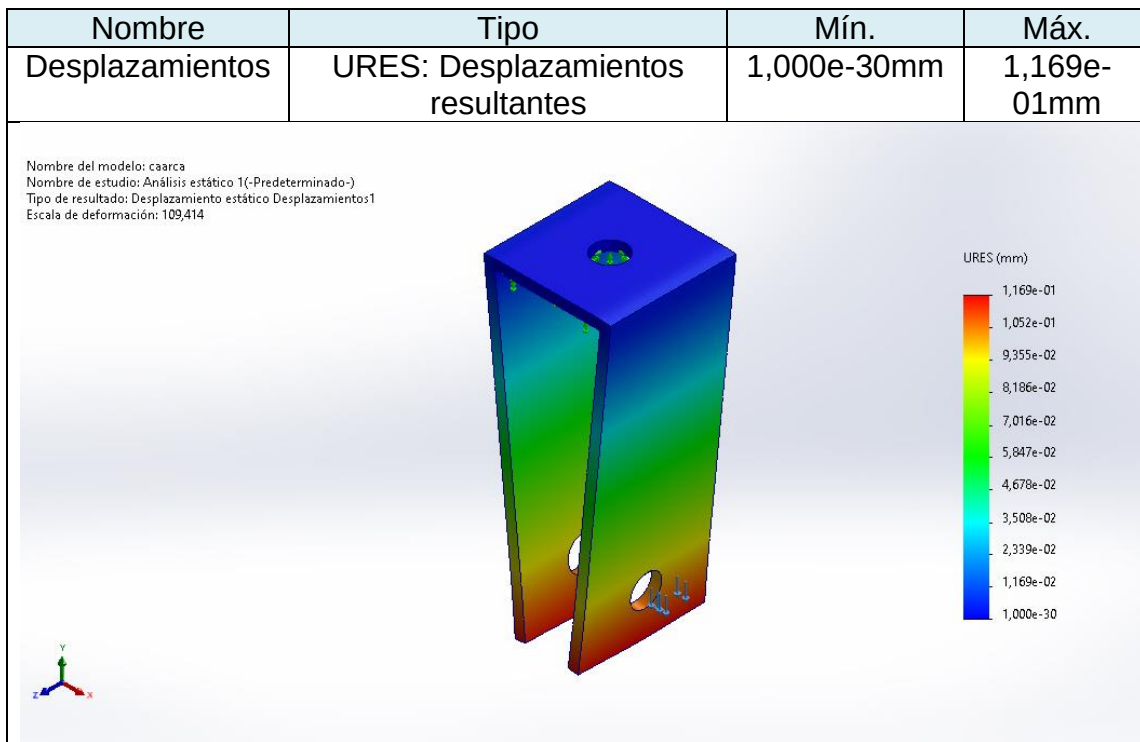












Fuente: Autor.

Del estudio de resistencia de materiales realizado se puede inferir que el sistema absorbedor de energía tipo resorte desarrollado garantiza un factor de seguridad superior a 2 luego de aplicar una carga de diseño de 5.000 Lbs.

7.4. SIMULACIÓN DINÁMICA DEL ABSORBEDOR DE ENERGÍA

Para realizar una simulación dinámica en SolidWorks se utiliza una masa equivalente de 128 kg (equivalente a una fuerza de 1280 N), la cual se libera en un instante específico de tiempo para generar cargas dinámicas, esta simulación se emplea con el objetivo de evaluar el comportamiento del sistema bajo condiciones reales de trabajo en alturas. para realizar la simulación se debe tener en cuenta el amortiguamiento modal de la estructura, ya que la disipación de energía es un proceso esencial que no solo minimiza la energía vibratoria, sino que también regula la distribución y transferencia de energía dentro de la estructura, permitiendo que éste se mantenga estable frente a perturbaciones dinámicas. (Dassault Systèmes, 2021)

El amortiguamiento modal describe la capacidad de un sistema para disipar energía en cada uno de sus modos de vibración en relación con una referencia llamada amortiguamiento crítico. Este valor crítico representa el límite a partir del cual el sistema puede retornar a su posición de equilibrio sin experimentar oscilaciones, funcionando como un punto de comparación para estimar que tan amortiguado está cada modo específico del sistema. El coeficiente de amortiguamiento modal puede determinarse con precisión mediante pruebas de campo adecuadas. Este coeficiente varía de 0,01 para sistemas con amortiguamiento ligero a 0,15 o más para sistemas con amortiguamiento elevado. De acuerdo con Vince Adams y Abraham Askenazi en su libro “Building Better Products with Finite Element Analysis” establecen las relaciones de amortiguamiento viscoso para diferentes sistemas y materiales, por lo que el coeficiente seleccionado para realizar la respectiva simulación dinámica es del 5 %. (Dassault Systèmes, 2013)

Tabla 16. Propiedades del estudio dinámico

Nombre de estudio	Dinámico 2 a partir de [Dinámico 1]
Tipo de análisis	Análisis dinámico lineal (Gráfico de historia-tiempo)
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	15
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 kelvin

Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Hora de inicio	0 segundos
Fin	0,21 segundos
Incremento de tiempo	0,01 segundos
Efectos de la carga muerta	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS

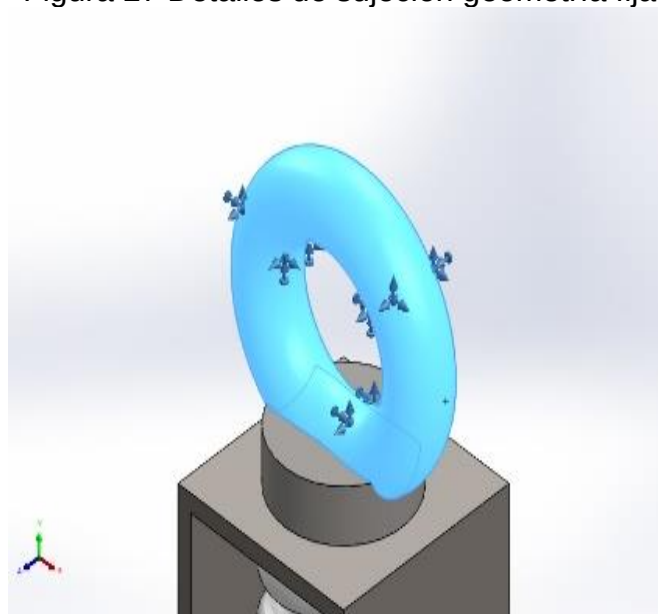
Fuente: Autor.

Tabla 17 Unidades

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

Fuente: Autor.

Figura 27 Detalles de sujeción geometría fija



Fuente: Autor

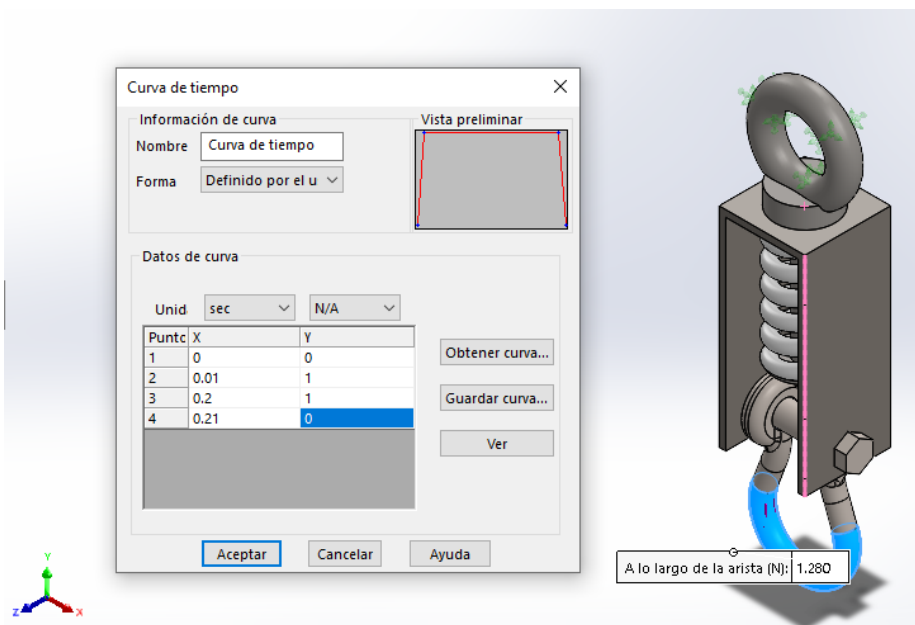
Tabla 18 Fuerzas resultantes

Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	2,16691	0,798448	5,43721	5,90731
Momento de reacción(N.m)	0	0	0	0

Fuente: Autor

La aplicación de la fuerza en la simulación se realizó mediante una curva multiplicadora de carga dependiente del tiempo. En esta metodología, la carga no se aplica en el instante 0 segundos. A los 0.01 segundos, se alcanza la carga máxima, la cual se mantiene aproximadamente hasta los 0.2 segundos. Posteriormente, en el instante 0.21 segundos, la carga deja de aplicarse. Este patrón de carga convierte la simulación en una prueba dinámica, al replicar de manera realista la forma en que una fuerza de impacto se desarrolla y disipa en el tiempo

Figura 28 Fuerza aplicada en función del tiempo



Fuente: Autor

Tabla 19 Información de malla

Información de malla	
Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	10,4556 mm
Tamaño mínimo del elemento	0,523489 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar

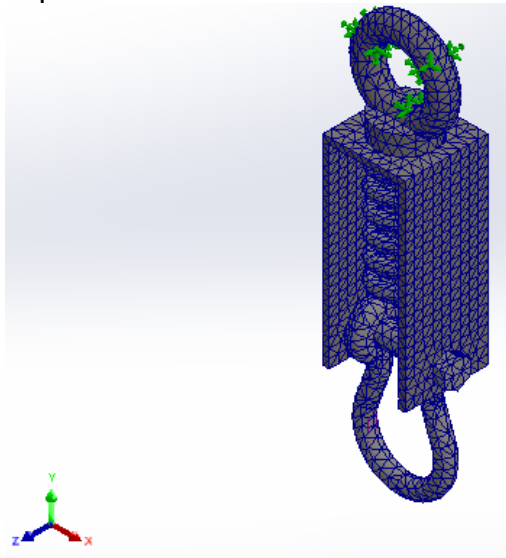
Fuente: Autor.

Tabla 20 Información de malla - Detalles

Información de malla - Detalles	
Número total de nodos	5714
Número total de elementos	314268
Cociente máximo de aspecto	179,19
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	72,4
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	9,48
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:11:38

Fuente: Autor

Figura 29. Mallado por método de elementos finitos del modelo



Fuente: Autor

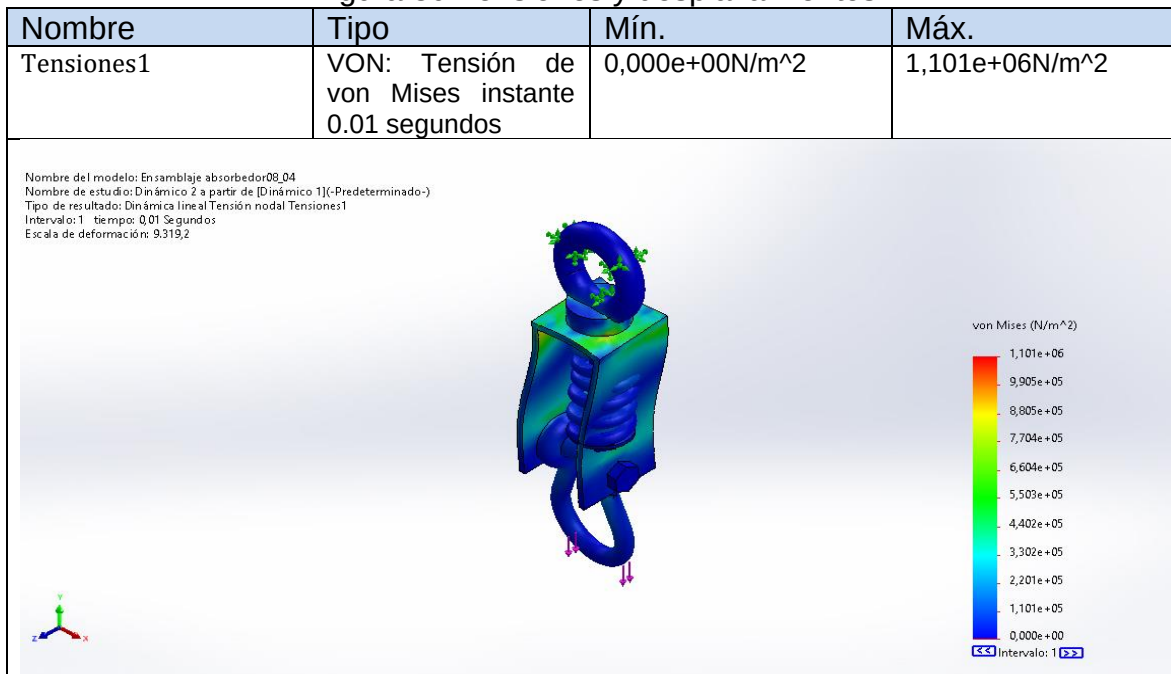
Resultados del estudio

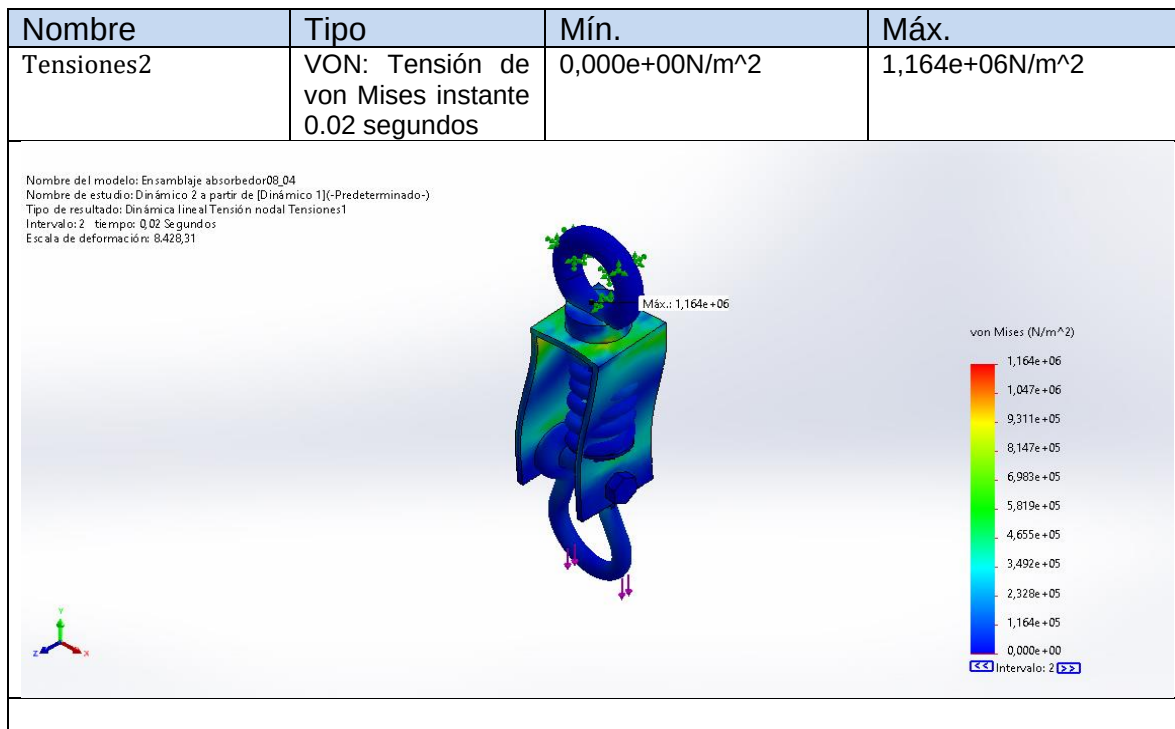
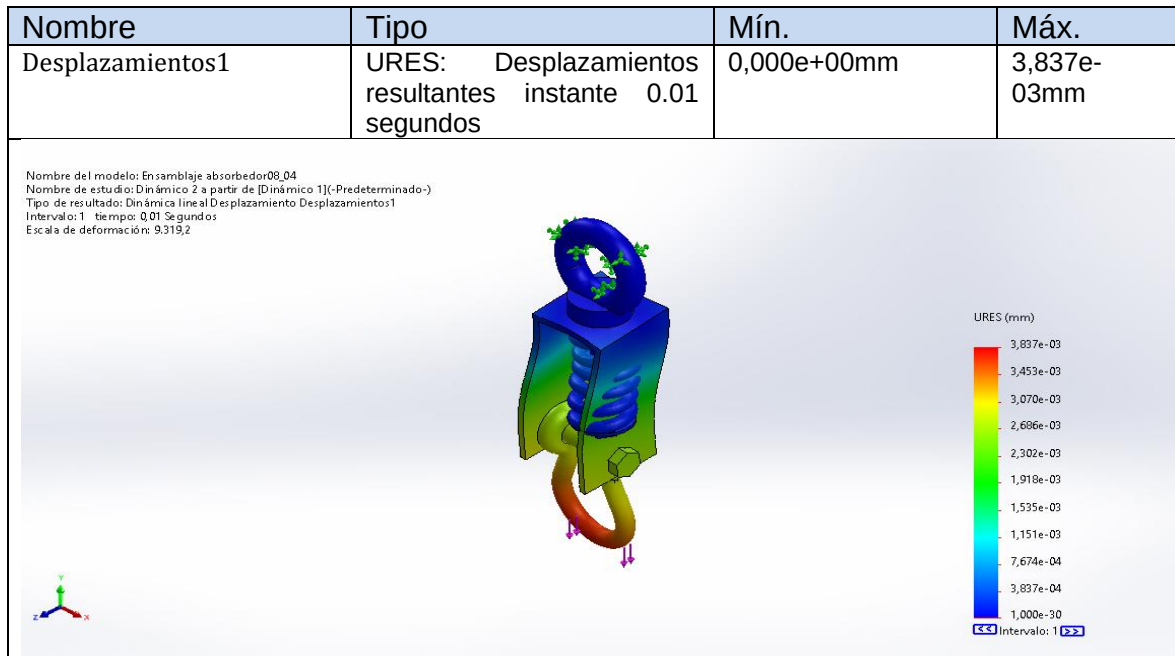
Tabla 21. Frecuencias naturales del absorbedor de energía

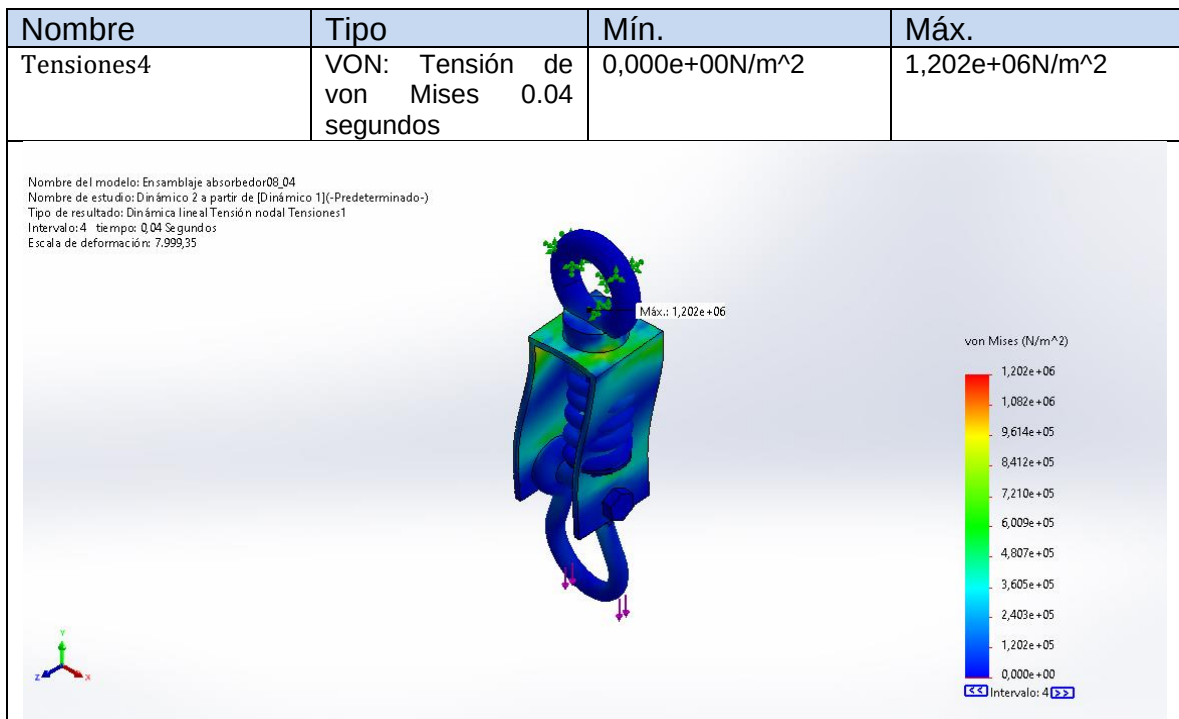
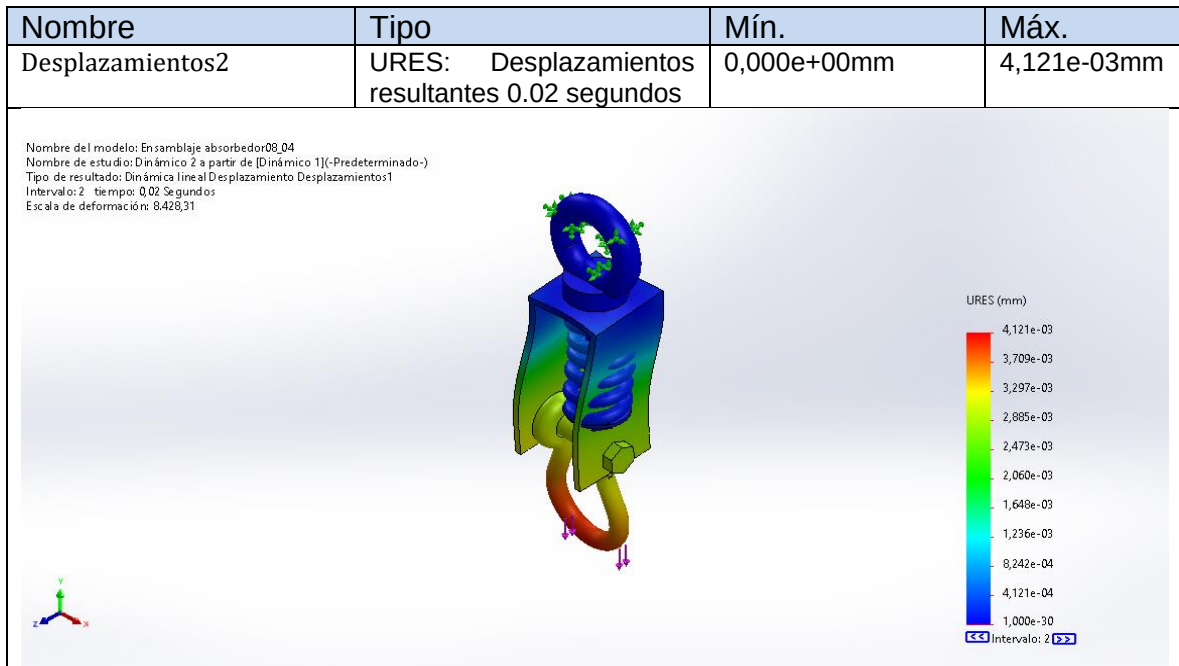
Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	1425,1	226,8	0,0044091
2	2626,8	418,07	0,0023919
3	2806,7	446,7	0,0022386
4	2817,1	448,36	0,0022303
5	3838,6	610,93	0,0016369
6	3927,1	625,02	0,0016
7	4827	768,24	0,0013017
8	4919,2	782,92	0,0012773
9	5441,6	866,06	0,0011547
10	7169,9	1141,1	0,00087633
11	7382,3	1174,9	0,00085111
12	8076,6	1285,4	0,00077794
13	8176	1301,2	0,00076849
14	9558,6	1521,3	0,00065733
15	10030	1596,3	0,00062643

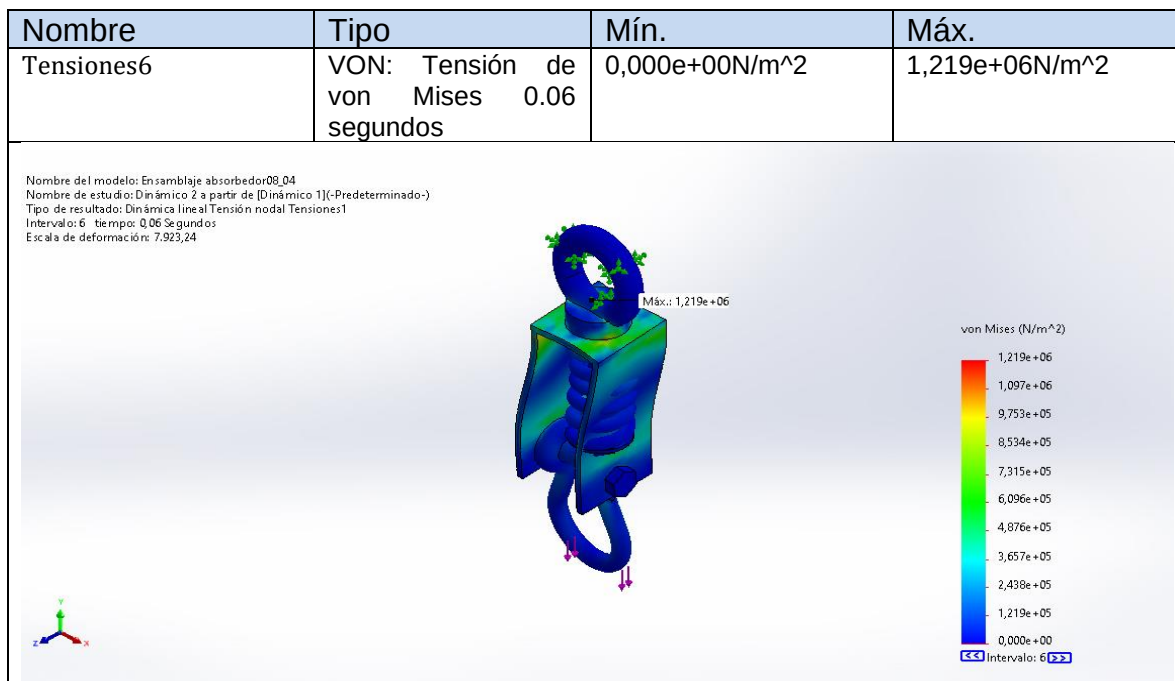
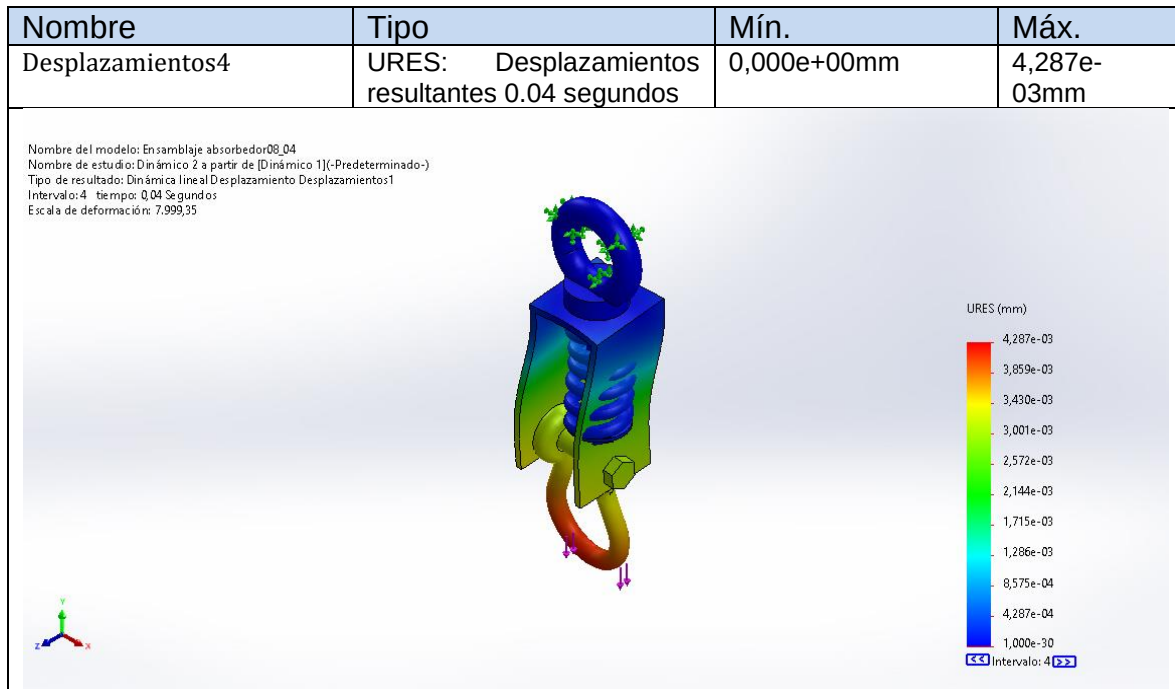
Fuente: Autor

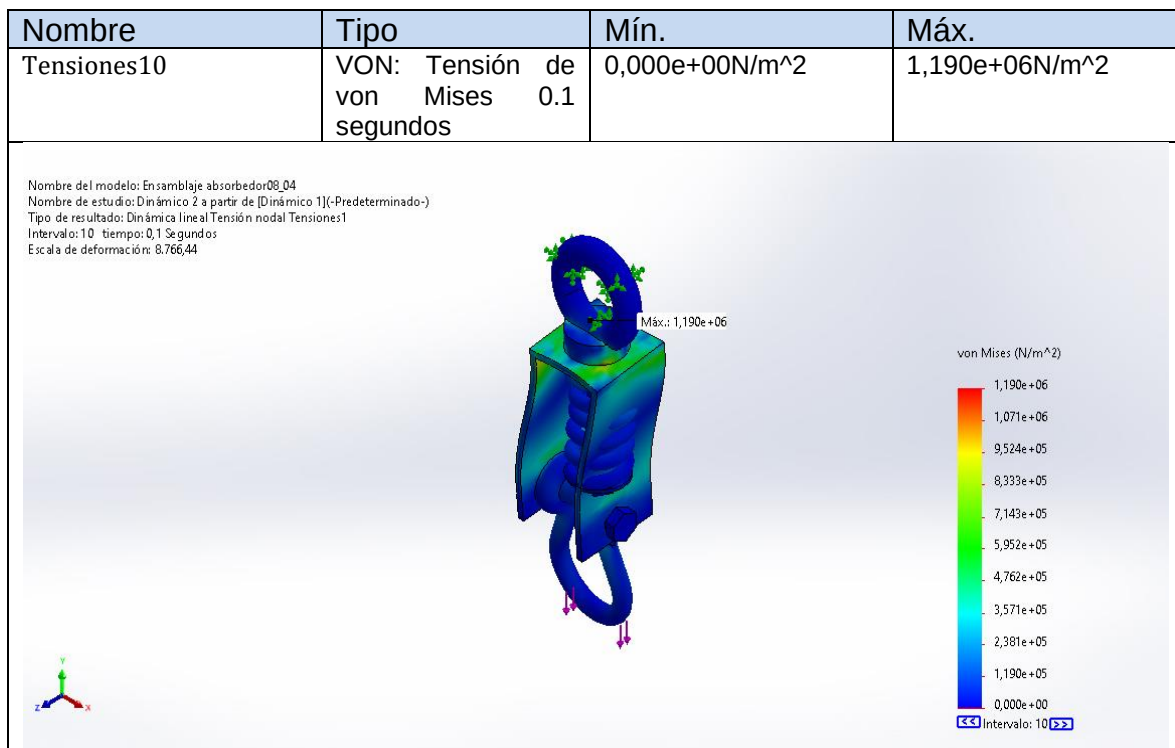
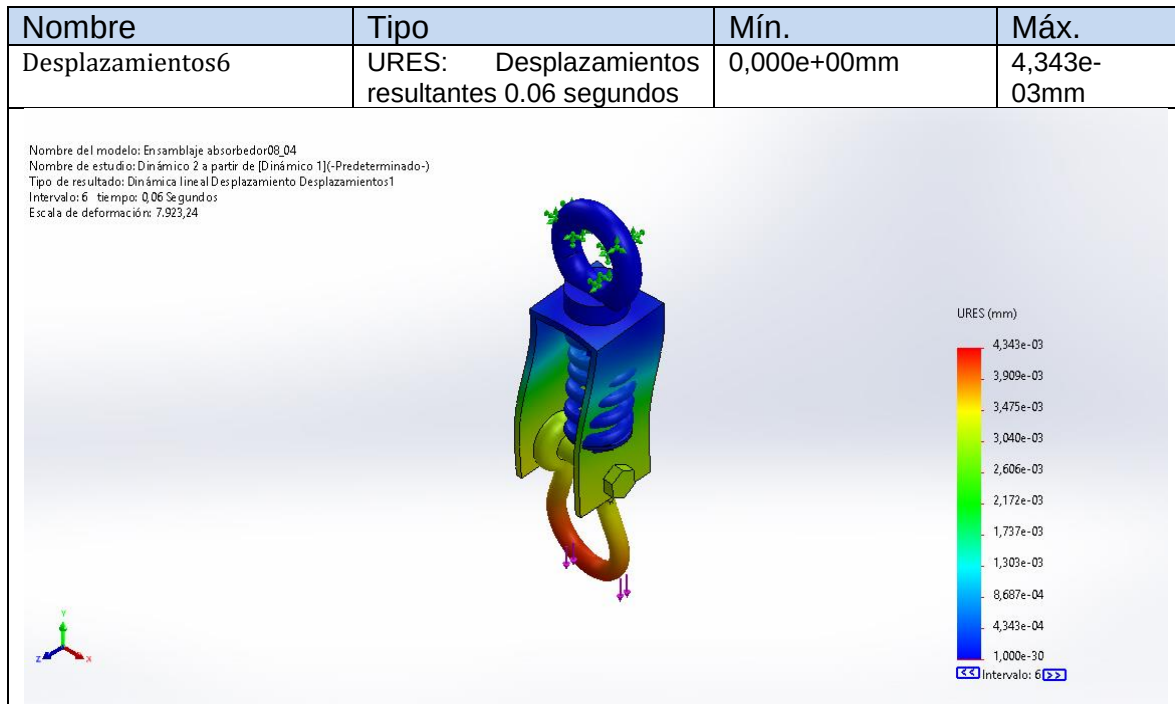
Figura 30 Tensiones y desplazamientos

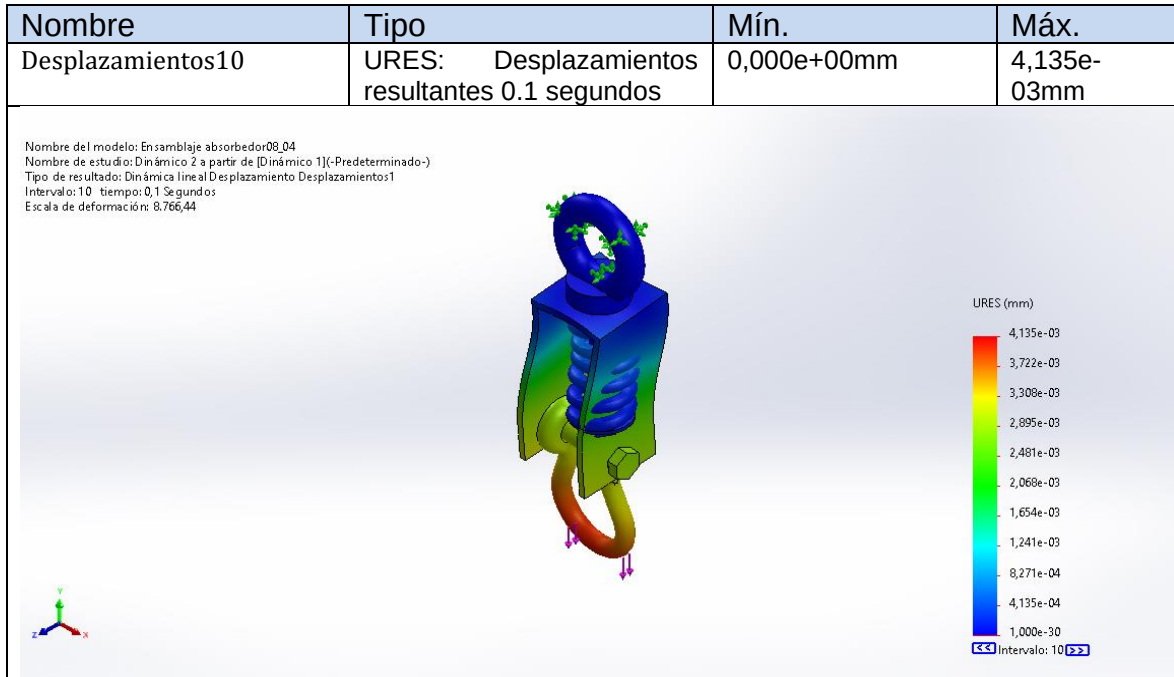












Fuente: Autor

Los resultados del estudio dinámico muestran la evolución de las tensiones superficiales y los desplazamientos máximos en función del tiempo. A continuación, se presentan los valores más relevantes obtenidos en distintos intervalos de tiempo:

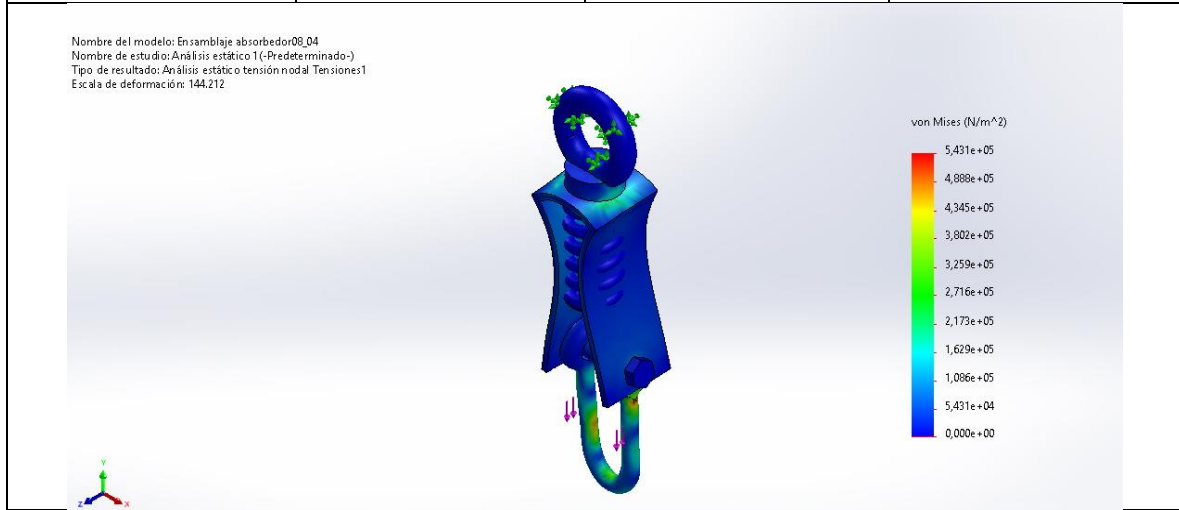
- En el instante de 0.01 segundos, se registró un esfuerzo máximo de 1.101 MPa y un desplazamiento máximo de 3.837×10^{-3} mm.
- A los 0.02 segundos, el esfuerzo máximo aumentó a 1.164 MPa, con un desplazamiento de 4.121×10^{-3} mm.
- En el tiempo de 0.04 segundos, el esfuerzo alcanzó 1.202 MPa y el desplazamiento 4.287×10^{-3} mm.
- El valor máximo de esfuerzo y desplazamiento se presentó a los 0.06 segundos, con un esfuerzo de 1.219 MPa y un desplazamiento de 4.343×10^{-3} mm.
- Finalmente, a los 0.10 segundos, se observó una disminución en el esfuerzo a 1.190 MPa y en el desplazamiento a 4.135×10^{-3} mm.

Estos resultados indican que la condición más crítica del sistema se presenta en el instante de tiempo de 0.06 segundos, donde se alcanzan tanto la tensión como el desplazamiento máximo. Sin embargo, los valores obtenidos permanecen por

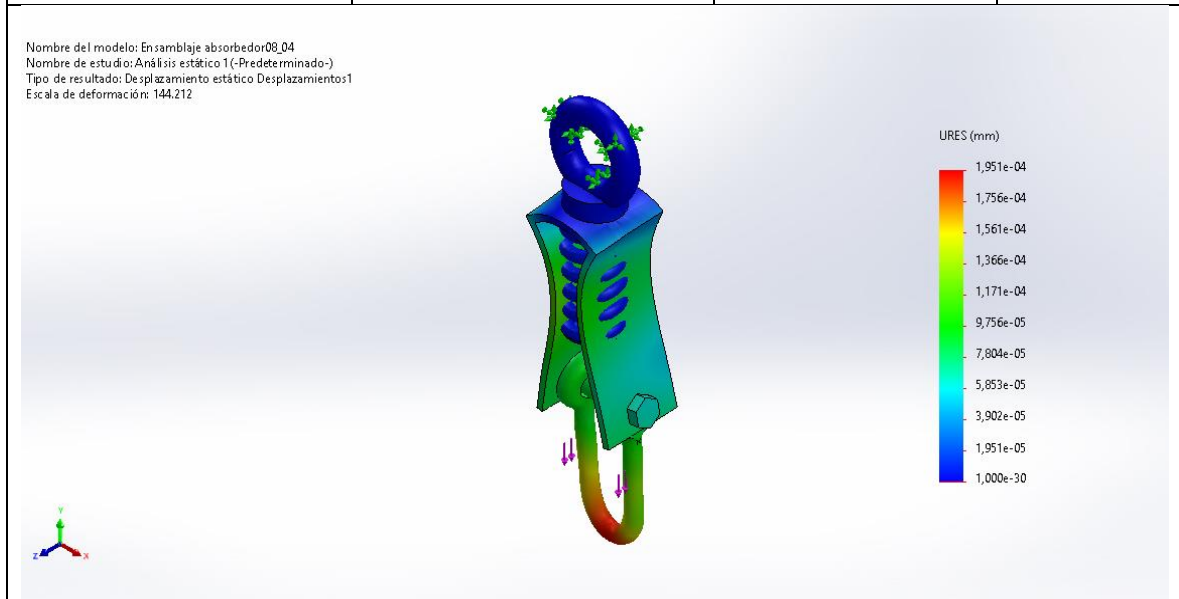
debajo del límite elástico del material, estimado en 200 MPa para aceros estructurales. Esto permite inferir que el dispositivo es capaz de soportar la carga de impacto sin experimentar deformaciones permanentes ni fallos estructurales, asegurando así su integridad funcional bajo condiciones dinámicas de carga.

Figura 31 Tensiones y desplazamientos

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,000e+00N/m ²	5,431e+05N/m ²



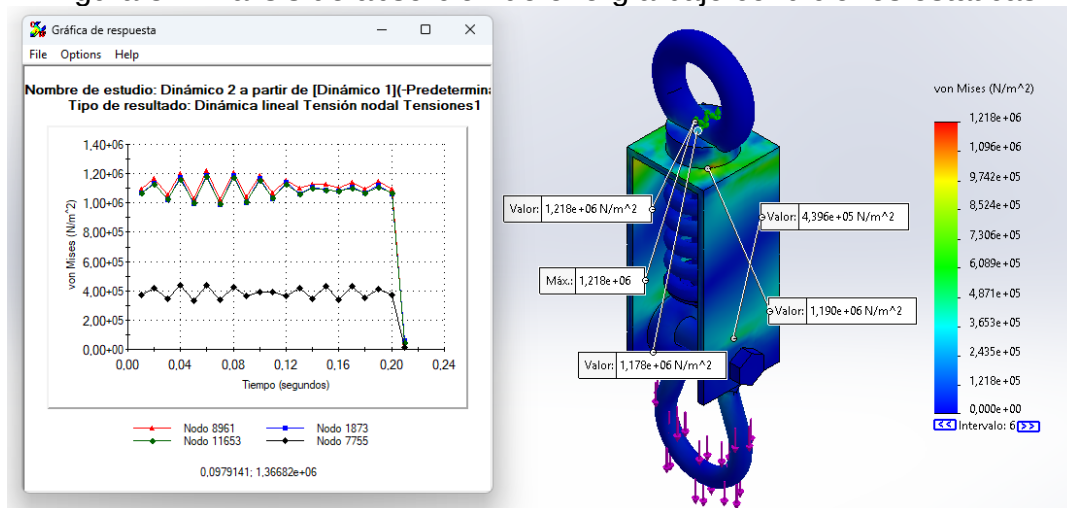
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000e+00mm	1,951e-04mm



Fuente: Autor

El anterior resultado, presenta un análisis correspondiente a la evaluación del absorbedor de energía bajo condiciones estáticas. En esta simulación, se aplicó la misma magnitud de fuerza utilizada en el estudio dinámico, con el fin de comparar el comportamiento del dispositivo en ambos escenarios. Bajo condiciones estáticas, las tensiones superficiales como los desplazamientos obtenidos se redujeron de forma considerable en comparación con los valores registrados durante la simulación dinámica. El esfuerzo máximo generado por la carga dinámica fue de 1.219 MPa, con un desplazamiento máximo de 4.343×10^{-3} mm, mientras que bajo carga estática se registró un esfuerzo máximo de 0.5431 MPa y un desplazamiento máximo de 1.951×10^{-4} mm. Esta diferencia significativa se debe a que los análisis estáticos no contemplan los efectos de las fuerzas de inercia, un factor fundamental para evaluar con precisión el comportamiento del dispositivo bajo condiciones reales de impacto.

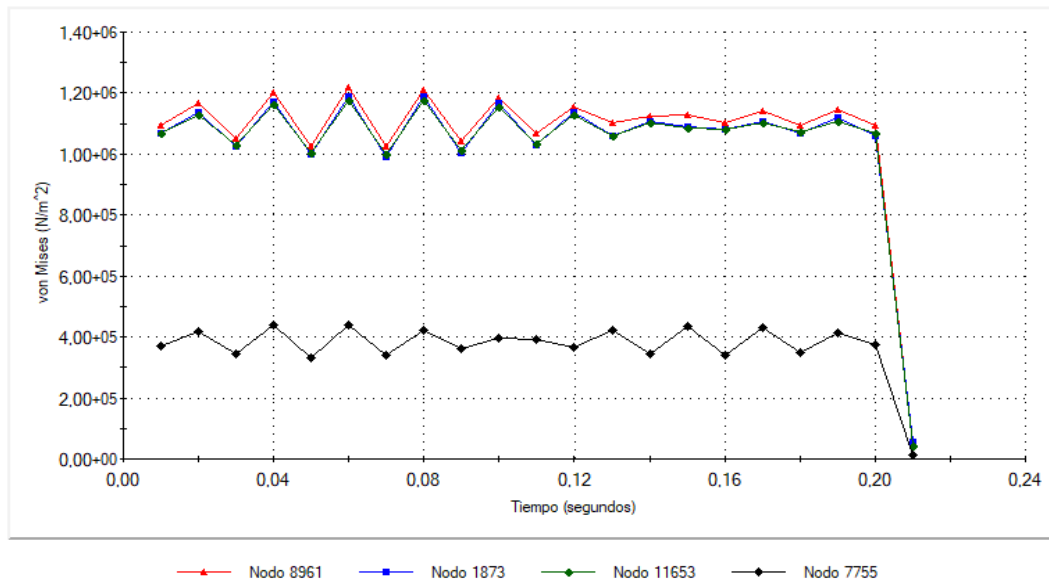
Figura 32 Análisis de absorción de energía bajo condiciones estáticas



Fuente: Autor

Figura 33 Estudio dinámico

Nombre de estudio: Dinámico 2 a partir de [Dinámico 1](-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Dinámica lineal Tensión nodal Tensiones1



Fuente: Autor

El anterior resultado ilustra el comportamiento de los esfuerzos equivalentes de Von Mises en los componentes del sistema absorbedor de energía, bajo la aplicación de una carga de 1280 N. El análisis se centra en cuatro nodos específicos que registran los esfuerzos máximos en cada uno de los elementos estructurales del dispositivo a través del tiempo, el nodo 8961 corresponde a la carcasa, el nodo 1873 al conjunto tornillo-tuerca de ojo, el nodo 11653 corresponde resorte, y el nodo 7755 al grillete. Los resultados obtenidos evidencian un comportamiento mecánico estable del sistema, sin superar los límites admisibles de esfuerzo.

7.5. PROCESO DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE

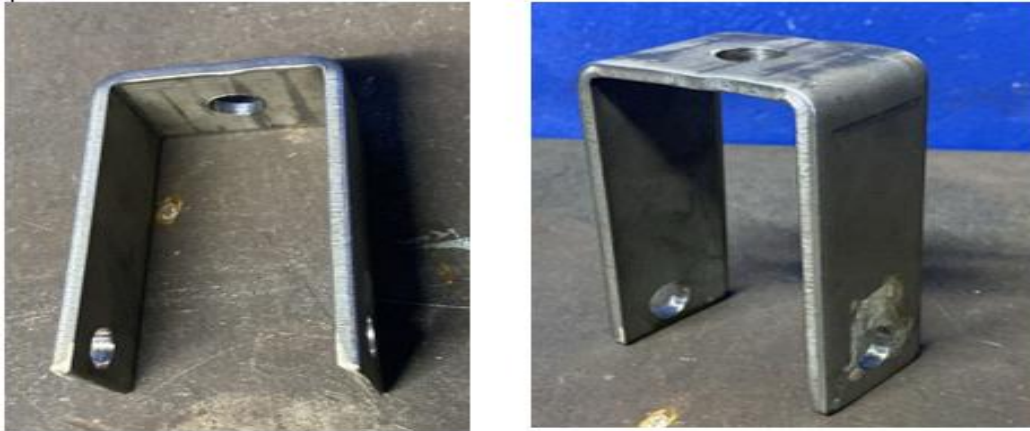
El absorbedor de choque funciona como disipador de energía y hace parte de un sistema contra caídas diseñado para disipar la energía cinética transformada por la caída o accionamiento del sistema. Su diseño debe permitir conectar un EPI contra caídas mediante el conector adecuado y compatible de tal manera que no se pueda desconectar.

El proceso de fabricación del sistema absorbedor de energía tipo resorte para sistemas de protección contra caídas es bastante complejo y requiere de alta precisión para garantizar su seguridad y eficacia. El absorbedor de energía reduce la fuerza generada durante la caída del trabajador para que este no sufra lesiones en sus órganos inferiores y también protege la integridad del punto de anclaje donde está instalado.

El diseño tiene en cuenta los componentes principales relacionados a continuación:

Carcasa protectora: La carcasa protege el resorte y los componentes internos de golpes, la corrosión y otros daños. Para la fabricación de la carcasa se usa lámina en acero ASTM A-36 de 4 mm de espesor, se realiza el proceso de corte y conformado donde se cortan y se conforman las piezas de la carcasa utilizando procesos, plegado y taladrado de los agujeros. La carcasa se somete a procesos de acabado superficial por galvanizado para protegerla contra la corrosión y mejorar su apariencia. Este componente fue fabricado por HIDRAQUIP SAS.

Figura 34. Carcasa protectora.



Fuente: Autor

Resorte: Elemento principal encargado de absorber la energía. Su diseño y material es de acero de alta resistencia con capacidad de absorción, para su fabricación se utilizó maquinaria especializada para enrollar el alambre de acero hasta obtener la forma y las características deseadas del resorte. Del mismo modo este elemento lleva un proceso de galvanizado. Este componente fue fabricado por HIDRAQUIP SAS.

Figura 35. Resorte.



Fuente: HIDRAQUIPSAS

Tuerca de ojo y tornillo M12: Estos elementos permiten conectar el absorbedor a los puntos de anclaje y al equipo de protección individual del trabajador (arnés). Estos anillos se fabrican mediante los procesos de forja o maquinado y se realizan las roscas necesarias para ensamblar las diferentes partes del absorbedor. Fabricado por HIDRAQUIP SAS.

Figura 36. Tuerca de ojo M12.



Fuente: HIDRAQUIPSAS

Figura 37. Tornillo M12



Fuente: HIDRAQUIPSAS

Como paso final del proceso de fabricación del sistema absorbedor de energía se lleva a cabo el proceso de ensamblaje, en donde como primera medida se hizo

preparación limpieza las superficies de los componentes para garantizar una unión adecuada. Se ensamblan los componentes del absorbedor, siguiendo las especificaciones del diseño.

Se realiza un proceso de inspección visual para verificar que el ensamblaje se haya realizado correctamente y que no haya defectos, luego se almacena en condiciones controladas para evitar daños y garantizar su vida útil.

Figura 38. Sistema absorbedor fabricado.



Fuente: Autor

Este sistema absorbedor de energía fue instalado y probado obteniendo resultados satisfactorios respecto del funcionamiento y resistencia de materiales.

Figura 39. Sistema absorbedor instalado 1.



Fuente: Autor

Figura 40. Sistema absorbedor instalado 2.



Fuente: Autor

Figura 41. Sistema absorbedor instalado 3.



Fuente: Autor

7.6. RECOMENDACIONES DE USO

- El sistema debe ser utilizado por máximo 1 usuario con un peso máximo de 128 Kg, incluyendo equipo, herramientas y accesorios.
- El usuario debe utilizar elementos de protección personal.
- El usuario debe utilizar equipos de protección contra caídas.
- Se debe emplear un absorbedor de energía personal de acuerdo a las condiciones de trabajo (factor de caída máximo de 1).
- Realizar inspección visual del sistema antes de cada uso.
- El sistema debe ser instalado e inspeccionado cada año por una persona calificada o avalada por el fabricante, los mantenimientos deben ser preventivos de forma periódica.
- En caso de observar anomalías en el sistema se debe informar de inmediato a la persona encargada y retirar el sistema de uso.
- En caso de que el sistema sufra un impacto, se debe informar al fabricante para realizar la validación de este y autorizar de nuevo su puesta en uso.

- El sistema no debe ser utilizado para subir cargas durante tareas industriales.
- Solo puede ser utilizado por personal con formación en trabajo en alturas.
- Dar estricto cumplimiento a lo establecido en la normatividad legal referente a trabajo seguro en alturas

En cuanto a sus revisiones, se debe prestar especial atención a lo siguiente:

- Comprobar que el pasador de sujeción esté colocado correctamente.
- Presencia de deformaciones.
- Presencia de oxidación.
- Presencia de que haya actuado por alguna caída.

7.7. ANÁLISIS DE COSTOS Y COMPETITIVIDAD ECONÓMICA

En esta fase se pretende realizar un análisis comparativo de los costos del sistema absorbedor de energía desarrollado versus los diferentes dispositivos que se encuentran en el mercado a fin de identificar su viabilidad y competitividad económica.

Al evaluar diferentes marcas y modelos de estos dispositivos, es crucial considerar no solo el costo inicial, sino también otros factores que influyen en su competitividad económica a largo plazo. Para este caso se analizaron los costos de absorbedores de impacto de las marcas más reconocidas del mercado.

Tabla 21. Análisis comparativo

MARCA	IMAGEN DE REFERENCIA	PRECIO
3M: Ofrece una amplia gama de productos de seguridad, incluyendo absorbedores de impacto. Sus productos suelen estar bien valorados en términos de calidad y seguridad, aunque pueden tener un costo inicial más elevado.		\$3.895.000
Petzl: Especializada en equipos de escalada y trabajos en altura, Petzl ofrece absorbedores de impacto de alta calidad y diseño ergonómico.		\$1.785.000

DBI SALA: Es una marca reconocida mundialmente en el sector de la seguridad industrial, especializada en equipos de protección contra caídas y soluciones para trabajos en altura. Con una amplia trayectoria y una sólida reputación, DBI SALA se ha posicionado como uno de los líderes del mercado, ofreciendo productos innovadores y confiables que cumplen con los más altos estándares de seguridad.		\$2.900.000
MSA: Con una larga trayectoria en el sector de la seguridad industrial, MSA ofrece una variedad de soluciones para trabajos en altura, incluyendo absorbedores de impacto.		\$2.775.000
DMM: Reconocida por sus equipos de escalada de alta calidad, DMM también ofrece absorbedores de impacto para trabajos industriales.		\$975.000
Kong: Marca italiana especializada en equipos de escalada y trabajos en altura, con una amplia gama de productos de alta calidad.		\$2.125.000

Fuente: Autor.

Tabla 22. Análisis de costos sistema absorbedor de impacto tipo resorte.

Análisis de costos sistema absorbedor de impacto tipo resorte				
Concepto	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Valor total
Costos directos componentes y fabricación	Tuerca de ojo, certificada	1	\$ 38.000	\$ 38.000
	Tornillo M12 Certificado	1	\$ 40.000	\$ 40.000
	Resorte	1	\$ 225.000	\$ 225.000
	Grillete certificado	1	\$ 125.000	\$ 125.000
	Carcasa	1	\$ 95.000	\$ 95.000
	Tratamientos superficiales (Galvanizado)	1	\$ 75.000	\$ 75.000
Total de costos directos				\$ 598.000
Costos Indirectos	Ensamblaje		\$ 86.500	\$ 86.500
	Depreciación de maquinaria y equipo		\$ 55.000	\$ 55.000
	Documentación y certificación		\$ 95.000	\$ 95.000
	Marketing, redes, propaganda.		\$ 125.000	\$ 125.000
	Imprevistos o reprocesos		\$ 45.000	\$ 45.000
Total de costos indirectos				\$ 406.500
Utilidad (10%)				\$ 100.450
TOTAL				\$ 1.104.950
Absorbedor de energía tipo resorte desarrollado: Los costos de este absorbedor son calculados con base a los materiales utilizados, el costo de fabricación y ensamble, y el cálculo del trabajo de certificación y memorias de cálculo, el precio que tendría el sistema para el público es de 1'104,950.				

Fuente: Autor.

Del análisis económico realizado se puede inferir que el sistema absorbedor de energía tipo resorte desarrollado presenta una ventaja competitiva muy grande desde el punto de vista económico, ya que su precio de comercialización podría

ofrecerse cerca del 50% menor que los que se encuentran actualmente en el mercado.

7.8. DISCUSIÓN

La Resolución 4272 del 2021 establece los requisitos de seguridad para sistemas de protección contra caídas en Colombia, en esta resolución se define que un producto certificado debe contar como mínimo con un certificado de conformidad de la empresa fabricante, esta definición presenta algunas ambigüedades que pueden llevar a malinterpretaciones durante el proceso. Una de las principales fuentes de confusión es la falta de especificidad en cuanto a que pruebas deben realizarse. La norma no establece de manera clara si se deben llevar a cabo pruebas estáticas, dinámicas e incluso pruebas de corrosión para la certificación de un producto de trabajo en alturas, dejando esta decisión a criterio de una persona calificada. La falta de claridad en la resolución puede desencadenar un verdadero desconocimiento en su implementación, porque cada persona calificada podría entender los requisitos a su manera. Hay quienes podrían estar convencidos de que las pruebas estáticas y dinámicas son imprescindibles, mientras que otros las verían como algo opcional.

La Resolución deja la responsabilidad a un profesional calificado la tarea de decidir cómo certificar los productos, confiando en que este use su experiencia y conocimiento. Esto tiene su lado positivo, ya que permite que los métodos de prueba se ajusten a cada situación en particular, esto puede ser beneficioso si se aplica a un evento en particular de trabajo en alturas. Sin embargo, esto conlleva a ciertos problemas al no haber un proceso específico que todos deban seguir. Cuando varias personas calificadas intervienen, es posible que cada uno aplique su propio enfoque, lo cual puede generar variaciones que afecten la consistencia en los procesos de calidad.

Sin ensayos claros de prueba o la falta de un marco estandarizado, podría conducir a la utilización de métodos inadecuados para ciertos tipos de productos, lo que resultaría afectando la validez y consistencia de la certificación. Esto no solo compromete la fiabilidad de los dispositivos evaluados, sino que también representa un riesgo para la seguridad del usuario final, quien confía en que los productos han sido sometidos a procesos de calidad.

Por esta razón, es fundamental contar con directrices técnicas claras que aseguren la uniformidad y la confiabilidad en la certificación de productos de seguridad destinados al trabajo en alturas en Colombia. Resulta crucial que las autoridades competentes, junto con los profesionales del sector, definan criterios de prueba bien establecidos que permitan reducir interpretaciones erróneas y garanticen la coherencia en los procesos de evaluación y certificación.

8. CONCLUSIONES

1. Se llevó a cabalidad el proceso de diseño, simulación y fabricación de un sistema absorbedor de energía para líneas de vida de trabajo en alturas para la empresa HIDRAQUIP SAS teniendo en cuenta los criterios de carga de la resolución 4272 del 2021.
2. Se realizó un análisis de la resistencia de materiales del sistema absorbedor de energía desarrollado para la empresa HIDRAQUIP SAS mediante simulaciones de carga de diseño exigidas según la Resolución 4272 de 2021 de trabajo en alturas.
3. Se hizo un análisis comparativo de costos del sistema absorbedor de energía desarrollado versus los diferentes dispositivos que se encuentran en el mercado a fin de identificar su viabilidad y competitividad económica, de donde se pudo concluir la ventaja competitiva que presenta el sistema absorbedor desarrollado desde el punto de vistas del costo total respecto de las marcas más importantes del mercado.
4. Se fabricó el prototipo del sistema absorbedor de impacto para líneas de vida desarrollado para la empresa HIDRAQUIP SAS de acuerdo con la Resolución 4272 de 2021 de trabajo en alturas. El prototipo ha demostrado cumplir con los requisitos establecidos en la Resolución 4272 de 2021 en materia de seguridad para trabajos en altura, garantizando así la protección de los trabajadores.
5. Se identifica eficiencia en la absorción de energía, el sistema ha demostrado una capacidad eficiente para absorber la energía generada en una caída, reduciendo significativamente las fuerzas transmitidas al usuario y minimizando el riesgo de lesiones; además de ello el prototipo desarrollado demuestra durabilidad y resistencia ya que los materiales y componentes utilizados en el prototipo son certificados y han mostrado una alta resistencia a los esfuerzos mecánicos y a los agentes ambientales, garantizando una larga vida útil del equipo
6. El prototipo del sistema absorbedor de impacto para líneas de vida desarrollado, tiene diversas ventajas competitivas como facilidad de uso, toda vez que el diseño del prototipo facilita su instalación, inspección y uso por parte de los trabajadores; de igual modo el sistema absorbedor es compatible con una amplia variedad de líneas de vida y equipos de protección personal contra caídas y los requerimientos de mantenimiento del sistema son mínimos, lo que reduce los costos operativos.
7. Se hizo un análisis dinámico con el objetivo de evaluar el comportamiento del absorbedor de energía desarrollado para la empresa HIDRAQUIP SAS y garantizar su resistencia en condiciones reales.

9. BIBLIOGRAFÍA

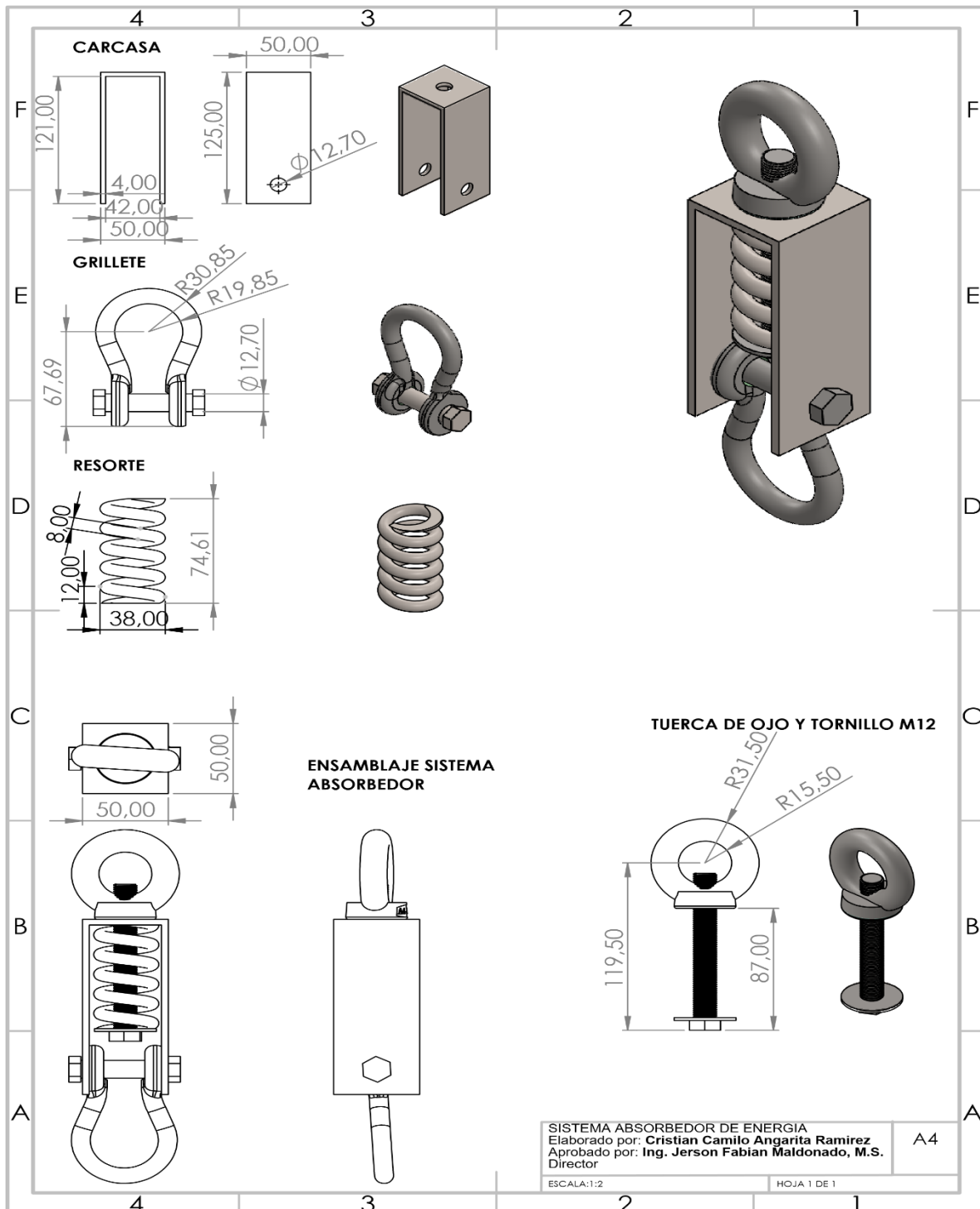
- [1] Resolución 4272 del 2021 para trabajo en alturas, Ministerio de Trabajo de Colombia, En Línea. 27 de diciembre de 2021. <https://safetia.co/normatividad/resolucion-4272-de-2021/>, fecha de consulta: 14-02-2024.
- [2] Organización Internacional del Trabajo (OIT), Organización Mundial de la Salud (OMS), Seguridad y salud en el trabajo. Muertes por accidentes laborales 2021. En línea: <https://www.ilo.org/es/resource/news/omsoit-casi-2-millones-de-personas-mueren-cada-a%C3%B1o-por-causas-relacionadas>, fecha de consulta: 14-02-2024.
- [3] Germak, J. R., Y Aycock, R. A. Personal fall arrest systems: A review of research and application. *Journal of Safety Research*, 38(4), 393-404. 2007
- [4] Muscati, A., Y Migliore, L. Fall from height prevention: A review of best practices. *Safety and Health at Work*, 7(2), 82-91. 2016
- [5] Szymczak, A., Karczewski, K., Y Sawicki, J. Energy absorption properties of personal fall arrest systems. *Safety and Health at Work*, 7(3), 171-178. 2016
- [6] Ministerio del Trabajo y la Seguridad Social, Informe sobre la situación de los accidentes de trabajo en Colombia. (2021), en línea: <https://www.mintrabajo.gov.co/inicio>.
- [7] Ministerio del Trabajo. Resolución 4272. Accidentes de trabajo en alturas en Colombia: Un análisis de las causas y consecuencias. 27 de diciembre de 2021. En línea. <https://www.apccolombia.gov.co/sites/default/files/2022-03/Resolucion%204272-2021%20Reglamenta%20Trabajo%20en%20Alturas%20%281%29.pdf>.
- [8] ARL Sura. Caídas de altura: cómo mitigar este riesgo. 2018. <https://www.arlsura.com/index.php/173noticias-riesgos-profesionales/noticias/3868-caidas-de-altura-como-mitigar-esteriesgo>
- [9] Braham, G., & Heinrich, H. W. Prevention of falls from heights: Practical guidelines for engineers and safety professionals. American Society of Safety Engineers. 2015
- [10] Hale, A. R., & Prüfer, K. M. Falls from height: A review of current knowledge and future directions. *Injury Prevention*, 25(4), 247-254. 2019
- [11] Torres Z, Pinzón R. Cumplimiento de los protocolos de trabajo seguro en alturas en la empresa MEXICHEN, Print version ISSN 1794-2470, Nova vol.17 no.31 2019, http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702019000100109.
- [12] Rodríguez Castellanos, A. Factores de riesgo asociados a los accidentes de trabajo por caídas de altura en Colombia. *Salud Pública*, 21(1), 109-119. 2019 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132004000600004.
- [13] Super Anchor Safety. Productos y soluciones de seguridad en alturas. En línea. 2025. <https://superanchor.com/>

- [14] Asociación Gremial Colombiana de Seguridad y Salud en el Trabajo. Página de Facebook de AGCSST. En línea. 2025. <https://www.facebook.com/AGCSST/>
- [15] Castaño, L. M., & Agudelo, J. A. (2022). Análisis de los accidentes de trabajo por caídas de altura en el sector de la construcción en Colombia. *Revista de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Tunja*, 21(1), 1-16. 2022. [https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/17876/1/Casta%C3%B1o Laura.](https://repository.uniminuto.edu/bitstream/10656/17876/1/Casta%C3%B1o%20Laura.pdf)
- [16] Gravitec Systems. Energy absorbers. En línea 2016. <https://gravitec.com/energy-absorbers/>
- [17] Asociación de Empresas de la Comunidad de Madrid (AECIM). Absorbedores de energía: qué son y cómo funcionan para los trabajos en altura. En línea. 13 de enero de 2020. <https://aecim.org/absorbedores-de-energia-que-son-y-como-funcionan-para-los-trabajos-en-altura/>
- [18] FallTech. (Fall protection & fall safety equipment. En línea. 9 de abril de 2025. <https://www.falltech.com/>
- [19] Honeywell. SkyGrip™ Temporary Horizontal Lifeline System – Installation Instructions (NZ-I265). En línea. https://www.greentechtools.com/assets/images/pdfs/miller/skygrip/NZ-I265_SkyGrip.pdf
- [20] Ministerio de Salud de Chile. Seguridad en trabajos en altura: Guía para la selección e instalación de sistemas de protección contra caídas. Asociación Española de Seguridad (AES), Instituto de Salud Pública de Chile. En línea. 2012. [https://www.ispch.cl/sites/default/files/03.](https://www.ispch.cl/sites/default/files/03.pdf)
- [21] Fall Protection Systems. Rev. D 15021 Absorbinator – Installation Instructions (Small Kit). En línea. <http://constructionandroofingequipment.atlanticasphalt.com/Asset/Rev--D-15021-Absorbinator-small.pdf>
- [22] 3M. User instruction manual: Zorbit™ energy absorber kits for horizontal lifeline systems. En línea. 2018. <https://multimedia.3m.com/mws/media/1301041O/zorbit-energy-absorber-instruction-manual-english.pdf>
- [23] Guardian Fall. Protection, Metal Energy Absorber Replacement, En línea <https://guardianfall.com/explore-products>
- [24] SafetyLink. Roof Anchors. 9 de abril de 2025. En Línea. <https://www.safetylink.com/roof-anchors/>
- [25] Super Anchor Safety. CRA Rigging Hardware – Spring Energy Absorber. En línea. 2025. <https://superanchor.com/products/anchors-commercial/cra-rigging-hardware/cra-rigging-hardware-spring-energy-absorber/>
- [26] Publication number: 0 496 028 A1, European Patent Application, Application number: 91111131.8, en línea. 1992. [https://patentimages.storage.googleapis.com/b6/cb/9f/39d9f6b9e5757e/EP0496028A1.pdf.](https://patentimages.storage.googleapis.com/b6/cb/9f/39d9f6b9e5757e/EP0496028A1.pdf)

- [27] J. Shane Patton y B.C Montgomery: Posts For Use In Fall Protection. Patente No. 20221076174. Justia Patents. 23 de febrero 2022. <https://patents.justia.com/inventor/justin-shane-patton>
- [28] O'Rourke, M. J. Horizontal lifeline energy absorber. Canadian Patent No. CA2153831C. Canadian Intellectual Property Office. 1999. [https://patents.google.com/patent/CA2153831C/en?q=\(webbing\)&q=\(absorber\)&q=\(tear\)&q=\(rings\)&q=\(horizontal+lifeline\)&before=priority:19941021&scholar](https://patents.google.com/patent/CA2153831C/en?q=(webbing)&q=(absorber)&q=(tear)&q=(rings)&q=(horizontal+lifeline)&before=priority:19941021&scholar)
- [29] Casebolt, S. C. Energy absorbing connector. U.S. Patent No. US6279680B1. U.S. Patent and Trademark Office. 2001 <https://patents.google.com/patent/US6279680B1>
- [30] Justia Patents. Charles W. Duncan Inventions, Patents and Patent Applications. En Línea. Recuperado el 9 de abril de 2025, <https://patents.justia.com/inventor/charles-w-duncan>
- [31] Kenneth S. Edwards, Robert B. McKee. Fundamental of Mechanical Component Design. McGraw-Hill College. 1991.
- [32] Askeland M, Donald R. Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 4a ed. México: Internacional Thomson Editores, 1998. 790 p
- [33] González, H. Á., & Mesa G., D. H. La importancia del método en la selección de materiales. Scientia et Technica Año X, No 24, 175-180. 2004. <https://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/7333/4333>
- [34] Faïres, V.M. Diseño de elementos de máquinas. 4ª ed. México: Editorial Limusa. 1995
- [35] Mott, R.L. Diseño de elementos de máquinas. 2ª ed. México: Prentice Hill Hispanoamericana. 1995
- [36] Norton R.L Diseño De Máquinas Un Enfoque Integrado. 4ª ed. México: Pearson Educación. 2011.
- [37] Dassault Systèmes. Efectos de amortiguamiento. Solidworks Ayuda. En línea. 2021. https://help.solidworks.com/2021/spanish/SolidWorks/cworks/c_Damping_Effects.htm
- [38] Dassault Systèmes. Amortiguación modal. SolidWorks. En línea. 2013. https://help.solidworks.com/2013/english/solidworks/cworks/c_modal_damping.htm
- [39] ASTM International. ASTM F2116-01: Standard specification for low stretch and static kernmantle life safety rope (Reapproved 2007). 2007.
- [40] American Society of Safety Engineers. ANSI/ASSE Z359.1-2016: The fall protection code. American National Standards Institute. 2016
- [41] American Society of Safety Engineers. ANSI/ASSE Z359.7-2011: Qualification and verification testing of fall protection products. American National Standards Institute. 2011
- [42] American Society of Safety Engineers. ANSI/ASSE Z359.13-2013: Personal energy absorbers and energy absorbing lanyards. American National Standards Institute. 2013

- [43] European Committee for Standardization. EN 355:2002 – Personal protective equipment against falls from a height – Energy absorbers. British Standards Institution. 2002
- [44] American Society of Safety Engineers. ANSI/ASSE Z359.16-2016: Safety requirements for climbing ladder fall arrest systems. American National Standards Institute. 2016

10. ANEXOS



	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	CÓDIGO	INF-FOR-01
	CERTIFICACIÓN DE MATERIALES	VERSIÓN	01
		FECHA	25/11/2022
		PÁGINA	1 de 14

1. OBJETIVO

El presente informe tiene como objetivo dar a conocer los materiales y condiciones de fabricación de elementos HIDRAQUIP S.A.S., los cuales son fabricados con materiales certificados y herramientas de excelente calidad.

Certificación de materiales.

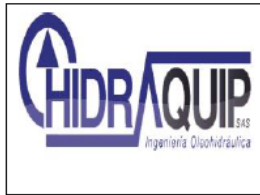
A continuación, se relacionan los materiales suministrados en el trabajo de grado modalidad proyecto de investigación: "diseño y construcción de un dispositivo absorbedor de energía para líneas de vida de trabajo en alturas" desarrollado por el Ing. Cristian Camilo Angarita Ramírez:

- Grillete ½" inoxidable.
- Carcasa en lámina acero estructural galvanizado de 4mm.
- Tuerca de ojo y tonillería M12.
- Resorte de compresión.

Elaborado por:

ELABORÓ	
ALAÍN ARTURO BARRERA	
Gerente operativo	
05/10/2024	

HIDRAQUIP S.A.S. Ingeniería oleohidráulica
Yopal (Casanare) Celular: 322826620 CALLE 18 N. 21 35 E-mail:
hidraquipsas@gmail.com



SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL

CERTIFICACIÓN DE MATERIALES

CÓDIGO INF-FOR-01

VERSIÓN 01

FECHA 25/11/2022

PÁGINA 2 de 14

ANEXOS

**QINGDAO H-QUALITY INDUSTRIES CO., LTD
QUALITY CERTIFICATE**

TO: GUAYALRES SAS

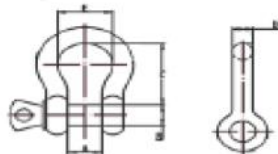
MANUFACTURE: QINGDAO H-QUALITY INDUSTRIES CO., LTD

CONTRACT NO.: HQC227025

Inspection Date: Jun. 10, 2022

	W.L.L.-- Ton	MIN.B.S.-- Ton	ACT.B.S.-- Ton
TESTING:			
U.S. TYPE DROP FORGED SCREW PIN ANCHOR SHACKLE, H.D.G.			
5/16"	0.75	4.50	4.80
3/8"	1.00	6.00	6.16
1/2"	2.00	12.00	12.26
5/8"		0.00	19.90
3/4"	4.75	28.50	29.12
7/8"	6.50	39.00	39.86
1"	8.50	51.00	52.00
1-1/4"	12.00	72.00	73.66
1-3/8"	13.50	81.00	82.80
1-1/2"	17.00	102.00	104.10

SPECIFICATION:



SIZE	A(mm)	B(mm)	C(mm)	D(mm)	E(mm)
5/16"	12.5	9.4	29.4	6.6	20.4
3/8"	17	11	36	9.5	26
1/2"	19	15.8	46	13	33
5/8"	27	18.5	59	16	42
3/4"	32	22	70	20	50
7/8"	27	25	83	22	57
1"	44	29	95	26	67
1-1/4"	60	35	120	32	80
1-3/8"	62	37	130	35	90
1-1/2"	63	42	150	38	96

MATERIAL:

BODY: C1045

CHEMICAL COMPOSITION:

C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)
0.47	0.17	0.62	0.02	0.008

PIN: 40Cr

CHEMICAL COMPOSITION:

C(%)	Si(%)	Mn(%)	P(%)	S(%)
0.41	0.22	0.61	0.02	0.014

WE HEREBY CERTIFY THAT THE QUALITY OF THE ABOVE GOODS ARE GOOD, AND THE ABOVE RESULTS ARE TRUE AND CORRECT

H-QUALITY INDUSTRIES CO., LTD

青島海潤工業品有限公司
QINGDAO H-QUALITY INDUSTRIES CO., LTD

INSPECTOR: CHENZHONGYONG

HIDRAQUIP S.A.S. Ingenieria oleohidráulica
Yopal (Casanare) Celular: 3222826620 CALLE 18 N. 21 35 E-mail:
hidraquipsas@gmail.com

	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL	CÓDIGO	INF-FOR-01
	CERTIFICACIÓN DE MATERIALES	VERSIÓN	01
		FECHA	25/11/2022
		PÁGINA	3 de 14

Jiangsu Bright Industry Co.,Ltd

Room 401,Building 103,Yuejiang Village,Gangzha District,Nantong City,
Jiangsu Province,China.

ISO 9001

MILL TEST CERTIFICATE

1.ORDER NO. GUBR003 2. PAYMENT: T/T
 3.CUSTOMER: GUAYALRES LTDA
 4.TYPE & GRADE
 COMMODITY: STEEL WIRE ROPE
 FINISH: GALVANIZED SPECIFICATION: GB/T-20118-2006
 CONST: 7X19 TYPE OF CORE: STEEL CORE
 DIA: 8.0MM LAY DIRECTION: RHOL
 LENGTH: 1000M LUBRICATION: DRY
 QUANTITY: 20REELS NET WEIGHT: 4928.00KGS
 5.TEST RESULTS:

ITEM	DESCRIPTION OF TEST	SPECIFICATION	ACTUAL
WIRE	NOMINAL DIA	\	\
	TENSILE STRENGTH	1770	1770-1870
	BEND(TIMES)	14	13
	TORSION	24	22
	WRAP	\	\
	COATING	Zinc coating	Zinc coating
ROPE	DIA OF ROPE(MM)	8.0	8.1
	BREAKING STRENGTH	37.6KN	39.8KN
	LENGTH OF LAY	\	\
	ENDURANCE TEST	\	\
	PREFORMING	GOOD	GOOD

6.CHEMICAL ANALYSIS(%) OF RAW MATERIAL

CHEMICAL COMPOSITION	C%	SI%	MN%	P%	S%
CHARGE NO.	0.71	0.2	0.56	0.017	0.007

7.DATE OF TEST AND INSPECTION:

WE HEREBY CERTIFY THE COMMODITY HAS BEEN TESTED ACCORDING TO THE SPECIFICATION AND FOUND IN ALL RESPECTS AS STATED ABOVE.

DATE: Aug 28th,2020.



HIDRAQUIP S.A.S. Ingeniería oleohidráulica
 Yopal (Casanare) Celular: 3222826620 CALLE 18 N. 21 35 E-mail:
 hidraquipsas@gmail.com



SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL

CERTIFICACIÓN DE MATERIALES

CÓDIGO INF-FOR-01

VERSIÓN 01

FECHA 25/11/2022

PÁGINA 4 de 14



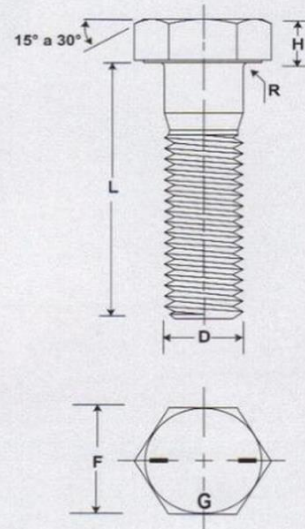
ASTM F 1554 GR 36

Tornillos - Espárragos - Varillas - Grapas - Pernos de anclajes

ACE AISI A 36



D Diámetro (Diameter)	Hilos por pulg. (Threads per inch)		F Distancia entre caras (Width across flats)	H Altura de la cabeza (Head height)
	R.O. (Coarse)	R.F. (Fine)		
1/4	.250	20	7/16	5/32
5/16	.312	18	1/2	13/64
3/8	.375	16	9/16	15/64
7/16	.437	14	5/8	9/32
1/2	.500	13	3/4	5/16
9/16	.562	12	13/16	23/64
5/8	.625	11	15/16	25/64
3/4	.750	10	1-1/8	15/32
7/8	.875	9	1-5/16	35/64
1	1.000	8	1-1/2	39/64
1-1/8	1.125	7	1-11/16	11/16
1-1/4	1.250	7	1-7/8	25/32
1-1/2	1.500	6	2-1/4	1-5/16



Longitudes: L = 1/2" hasta 10" según el diámetro.
(Lengths: L = 1/2" thru 10" according to diameter).

Clase de rosca: Ordinaria (UNC) y fina (UNF) 3A
(Thread series: Coarse (UNC) and fine (UNF) 3A)

Longitud de rosca mínima: Según especificaciones
(Minimum thread length:)

Tornicalidad

Grado de resistencia (Grade designation)	Especificaciones (Specifications)					
	Diámetro (Diameter)	Material (Material)	Dureza Rockwell (Rockwell hardness)		Carga de prueba (Proof load)	Resistencia mínima a la tracción (Tensile strength min.)
			Min.	Max.		
ASTM F 1554 GRADO 36	1/4" a 3/4" (thru)	Acero de bajo o medio carbono (Low or medium carbon steel)	B 80	B 100	55 000 lbs/pulg² (psi)	74 000 lbs/pulg² (psi)
	Mayor a 3/4" (over)		B 70	B 100	33 000 lbs/pulg² (psi)	60 000 lbs/pulg² (psi)



SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL

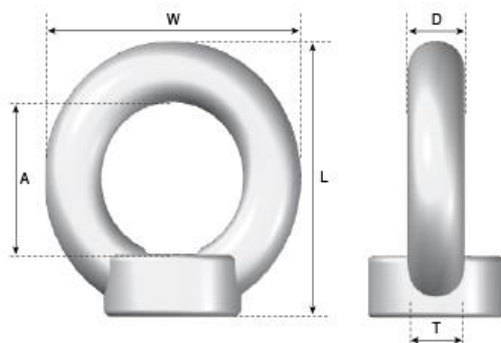
CERTIFICACIÓN DE MATERIALES

CÓDIGO INF-FOR-01

VERSIÓN 01

FECHA 25/11/2022

PÁGINA 4 de 14



S582

Eye Nut 582 Type : 316 Grade Stainless Steel

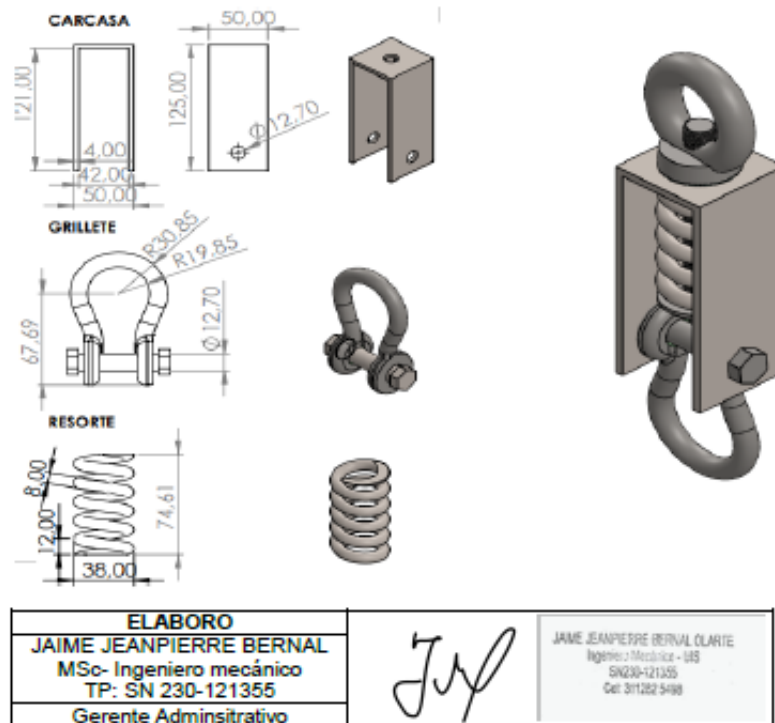
Stock Code	T	A	D	L	W	BL	Box Qty	Weight
S582-08	M8	20	8	37	35	1200	600	44g
S582-10	M10	25	10	44	45	2600	400	85g
S582-12	M12	30	12	53	54	4900	200	133g
S582-20	M20	40	16	71	71	10000	75	297g
S582-24	M24	50	20	88	89	18000	50	592g

Material: 316 Grade Stainless Steel **Assembly:** Nut - Cast **Surface Finish:** Electropolished

	SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL		CÓDIGO	INF-FOR-01
	CERTIFICACIÓN DE PRODUCTO		VERSIÓN	01
			FECHA	25/11/2022
			PÁGINA	1 de 14

HIDRAQUIP S.A.S. identificada con NIT: 901138431, certifica que el SISTEMA ABSORBEDOR DE ENERGÍA TIPO RESORTE PARA LÍNEAS DE VIDA cumple con normativa Colombiana de trabajo en alturas la resolución 4272 del 2021, del mismo modo todos sus componentes son fabricados con materiales certificados y herramientas de excelente calidad. El sistema contiene los siguientes elementos:

- Grillete ½" inoxidable.
- Carcasa en lámina acero estructural galvanizado de 4mm.
- Tuerca de ojo y tornillería M12.
- Resorte de compresión.



HIDRAQUIP S.A.S. Ingeniería oleohidráulica
 Yopal (Casanare) Celular: 3222826620 CALLE 18 N. 21 35 E-mail:
hidraquipsas@gmail.com

 Laboratorio de Ensayos de Armadura S.A.S		Código:	FE-22
COTIZACIÓN DEL SERVICIO		Versión:	01
		Fecha:	2024-10-04

INFORMACIÓN GENERAL:

Empresa:	CRISTIAN ANGARITA	No. Cotización:	LABARM25-002
Nit:		Fecha Cotización:	2025-02-12
Ciudad:	Bogotá		
Contacto:			
Cargo:		Atendido por:	Yairin Chiles
Email:	cristianangarita2000@gmail.com	Cargo:	Director Técnico
Dirección:		Teléfono:	324-431 0347
Teléfono:	321 3665294	Email:	laboratorio@armadura.com.co

Reciba un cordial saludo, atendiendo su solicitud nos permitimos adjuntar el precio de los ensayos a realizar por nuestro laboratorio.

SERVICIO DE ENSAYOS						
ÍTEM	PRODUCTO	TIPO DE ENSAYO	DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	CANTIDAD DE ENSAYOS	VALOR UNIDAD	VALOR TOTAL
1	ABSORBEDOR DE IMPACTO EN ACERO	RESISTENCIA ESTÁTICA	ANSI/ASSE Z359.13-2003 numeral 6.3	1	\$ 2,080,000	\$ 2,080,000
2	ABSORBEDOR DE IMPACTO EN ACERO	RENDIMIENTO DINÁMICO	ANSI/ASSE Z359.13-2003 numeral 6.4	1	\$ 2,080,000	\$ 2,080,000
3	ABSORBEDOR DE IMPACTO EN ACERO	RENDIMIENTO DINÁMICO	NORMA EUROPEA EN 355	1	\$ 2,480,000	\$ 2,480,000
					SUBTOTAL	\$ 6,640,000
					IVA	\$ 1,261,600
					TOTAL	\$ 7,901,600

NOTAS: (ENSAYOS DE FIERRO DEL ALCANCE CREDITADO)

Favor de enviar la cantidad de muestras solicitadas. El laboratorio solicita 1 muestra extra por partida probada para retención; en caso de que alguna llegue a fallar y el cliente lo solicite, se pueda repetir la prueba y comprobar su cumplimiento. En caso de enviar solo las muestras exactas, el cliente acepta los resultados emitidos.

Notas: Prestación de servicio. a). Si la oferta es aceptada debe enviarse la orden de compra por escrito (por correo electrónico), relacionando el número de muestras, tipo y clase de Artículo.

b). Enviar aprobación al correo electrónico laboratorio@armadura.com.co b). Forma de pago es ANTICIPADA.

c). Muestras: Las muestras deben ser proporcionadas por el cliente (solicitud) haciendo las preparaciones hasta muestras instaladas, cuando alguna muestra requiere un almacenamiento o acondicionamiento especial deben adjuntar las instrucciones de manipulación. Si se requiere un elemento adicional a la muestra este debe ser suministrado por el cliente. d). el plazo de entrega resultados la entrega del informe de resultados es de 8 días hábiles a partir de la recepción de las muestras (este tiempo depende de la cantidad de artículos para los cuales se solicita el ensayo o la cantidad de ensayos a realizar).

e). Responsabilidad de entrega de muestras: El laboratorio de Ensayos de Armadura S.A.S. no conserva las contra muestras ni los elementos de ensayo, por tanto, el Laboratorio no se responsabiliza por las muestras / elementos que no haya sido retirados de sus instalaciones en los 10 días hábiles siguientes a la entrega del informe de resultados. f).

Límite de responsabilidad los resultados emitidos por el laboratorio se referirán únicamente a las muestras indicadas y trabajadas en el laboratorio. No se incluye interpretación de resultados ni realización de asesorías. Los resultados serán entregados únicamente a la persona a quien se dirige la cotización o a quien esta nos designe. g). Informaciones: El

Laboratorio no facilita ni cedera ningún tipo de información al público a excepción de la requerida en auditorías bajo los principios de confidencialidad. Cuando sea requerida información por ley o por las disposiciones contractuales el Laboratorio la facilitara e informara al cliente. h). Forma de Pago El valor liquidado por el Laboratorio de Ensayos de Armadura S.A.S. Para el servicio solicitado, deberá ser cancelado por el cliente a favor de: **Armadura S.A.S., al Número 58579378883 cuenta corriente de Bancolombia**, y enviar copia del recibo de consignación y/o transferencia al correo laboratorio@armadura.com.co, si es la primera vez que solicita el servicio adjuntar RUT y cámara de comercio.

i). Se emitirá informe con la información básica requerida como son resultados de los ensayos, imagen del producto antes y después del ensayo, gráfico de desempeño (si aplica).

TERMINOS GENERALES Y CONDICIONES: Es necesario que los Artículos/Productos tengan rotulo como mínimo a nombre, tipo, clase, lote para la identificación del fabricante/ensayo. Condiciones de Recepción de Muestras: Para obtener un resultado confiable es importante que el cliente garantice que el ítem ensayar se encuentre en óptimas condiciones y cumpla con las características, longitud mínimas requeridas por el método de ensayo. Atención: Los Artículos serán recepcionados por Laboratorio de Ensayos de Armadura S.A.S., en la siguiente Dirección Cra. 37 No. 7-63 Gorgona en la ciudad de Bogotá D.C., teléfono (571) 324-431 0347 en el horario de 7:00am- 04:00pm de lunes a viernes.