

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Optimización topológica en Soporte reposapiés de motocicleta Pulsar NS 200 a partir de una ingeniería inversa

Jhon Asmed Suaza Arroyave

Juan David Zapata Marín

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniería Electromecánica

Asesores

Jorge Andrés Sierra Del Rio

Edwin Andrés Correa Quintana

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM
Facultad de Ingenierías
Departamento Antioquia
Medellín, Colombia
2023

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RESUMEN

En este informe se presentan los hallazgos adquiridos en el proceso del rediseño del soporte reposapiés de la motocicleta Pulsar NS 200 a partir una ingeniería inversa y la implementación de una optimización topológica. Este inicia a partir de la necesidad presentada tras el lanzamiento de esta motocicleta, la cual sigue el lineamiento de mejorar el rendimiento del vehículo partiendo de elementos de menor peso para disminuir trabajo mecánico del vehículo y optimizar la velocidad y potencia.

Normalmente todos los elementos cumplen con las pruebas de ensayos, pero algunas presentan averías con el uso frecuente del usuario, como es el caso del soporte reposapiés izquierdo (o calapié) de la motocicleta mencionada. Este componente marcó una alerta de recambio como pieza rota. Dando respuesta a esto, la compañía realizó un rediseño a dicho elemento aumentando su masa, lo cual afectó la aerodinámica del vehículo.

Con este contexto, y una vez se reciben las dos piezas (la original y la mejorada), se inicia el proceso de ingeniería inversa para llegar a los siguientes resultados de una propuesta de diseño optimizada, en la cual se mejora la relación peso-confiabilidad del elemento para el uso requerido.

Palabras clave: Optimización topológica, ingeniería inversa, espectrometría de chispa, análisis estructural, escáner 3D, método de elementos finitos, factor de seguridad, tensión Von Mises, malla 3D, modelo 3D, sólido 3D, resistencia a la tensión, límite de elasticidad.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

RECONOCIMIENTOS

En todo momento agradeciendo a Dios por todas las bendiciones recibidas. Agradecemos a nuestras familias y seres queridos que siempre nos han acompañado en todos los momentos. Agradecimientos al Instituto Tecnológico Metropolitano ITM, todos sus maestros y demás colaboradores, los cuales dan lo mejor de sí para instruir, capacitar y llevar cada vez más alto el nombre y acreditación de la institución, de esta manera reflejado en los estudiantes del plantel. De manera muy especial, agradecer al docente Jorge Andrés Sierra del Rio, el tutor encargado de dirigir este proyecto de grados, el cual nos acompañó y guio de gran manera para alcanzar el objetivo del proyecto optimización topológica en soporte reposapiés de motocicleta Pulsar NS 200 a partir de la implementación de la ingeniería inversa.

Aprovechamos para agradecer a los compañeros que nos acompañaron en la formación académica y profesional para adquirir y afianzar los conocimientos base para enfrentar con buenas capacidades la vida profesional.

Por último, nos gustaría agradecer a todas las personas que de una u otra manera influyeron de manera directa o indirectamente sobre nosotros para convertirnos en profesionales con buenos conocimientos y sobre todo alto valores morales.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ACRÓNIMOS

EDX. Espectrómetro de rayos X de dispersión de energía.

ICP. Espectrómetro de plasma de acoplamiento inductivo

LIBS. Espectrómetro de ruptura inducida por láser.

CAD. Diseño asistido por computador.

ASTM. American Society for Testing and Materials International.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.2. Objetivo general.....	7
1.3. Objetivos específicos.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1. Proceso de diseño, ingeniería inversa y optimización topológica	8
2.2. Escaneo 3D para ingeniería inversa	8
2.3. Escaneo 3D en motocicletas deportivas.....	9
2.4. Prueba de espectrometría.....	10
2.5. Ejemplo de la obtención de un modelo CAD de una turbina Francis a través de una ingeniería inversa.....	11
2.6. Ejemplo de ingeniería inversa de la biela de una motocicleta deportiva	12
2.7. Ejemplo de optimización topológica en una motocicleta	13
2.8. Ejemplo de optimización topológica en engranes.....	14
3. METODOLOGÍA	15
3.1. Escaneado 3D.....	16
3.2. Generación del modelo 3D sólido.....	18
3.3. Caracterización del material.....	19
3.4. Cálculo de fuerzas	19
3.5. Análisis de Tensión.....	20
3.6. Optimización topológica.....	20
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
4.1. Resultados del escaneo 3D.....	23
4.2. Resultados de la caracterización del material	24
4.3. Resultados del análisis estático	25
4.4. Resultados de simulaciones y optimización topológica	26
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS	33

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería inversa es el análisis o la obtención de propiedades geométricas y fisicoquímicas de un producto o un sistema ya terminado, con el fin de crear uno similar o mejorar su diseño y/o estructura. Para estas mejoras, se emplean técnicas de optimización topológica en la cual se realiza el análisis estructural del componente o sistema y su objetivo principal es el aligeramiento de material sin afectar su resistencia mecánica o estructural. Para poder reproducir componentes digitalmente o conocer con seguridad la intención de un diseño, los instrumentos utilizados deben ser de una precisión incuestionable. Por eso, los escáneres 3D son instrumentos indispensables para la ingeniería inversa, ya sea para mejorar el producto, reconstruirlo, mejorar el diseño o para otros usos.

En la actualidad los procesos de diseño se han visto permeados por herramientas computacionales tales como la optimización topológica en software de diseño. Esta técnica busca mejorar para este caso, la relación peso resistencia de los componentes mecánicos, con lo cual se logran vehículos más eficientes en términos de trabajo final vs consumo, por ello el afán por disminuir peso a los componentes, sin afectar la resistencia y el factor económico, se busca utilizar materiales con altas prestaciones físicas. Los fabricantes de motocicletas buscan disminuir en la medida de lo posible el peso de los componentes lo cual implica posibilidad de falla en algunos casos, tal como la falla presente en el reposapiés izquierdo de la motocicleta Pulsar NS 200. Esta pieza activó las alarmas de la compañía con el flujo de ventas en recambio a lo cual realizaron seguimiento y se evidenció frecuente la avería mecánica por fractura entre los dos puntos de anclaje al chasis de la motocicleta. En vista de esto el fabricante opta por reforzar la geometría de la pieza y adicionando mayor cantidad de material para mitigar la falla, lo cual incrementa considerablemente la resistencia mecánica para el trabajo al cual se ve enfrentada, esto implica el aumento en el peso de la pieza. El problema de resistencia mecánica de la pieza se resolvió satisfactoriamente, luego de esto surge el proyecto de analizar estas dos piezas (inicial y modificada) ya que presentan una diferencia notable en peso y consumo de material. Esto hace alusión a que no se realizó un rediseño riguroso que permita ofrecerle al cliente un componente seguro, aerodinámico y en el rango de precio comercial de la marca.

Teniendo en cuenta la problemática anterior se obtienen las dos piezas físicas, las cuales se denominan soporte reposapiés izquierdo (o calapié) de la motocicleta Pulsar NS 200. Ambas piezas cumplen la misma función, pero una es la mejora de la anterior. Este proyecto pretende brindar una mejora notable en el diseño, permitiendo así brindar una tercera pieza con la resistencia mecánica adecuada y mejorando el aerodinamismo, de esta manera generar mayor confianza del usuario y respuesta final de este complemento en el conjunto de componentes que conforman la motocicleta. Por tal motivo se rediseña este componente implementando ingeniería inversa para realizar la optimización topológica y lograr los resultados previstos.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

1.2. Objetivo general

Rediseñar el soporte reposapiés de una motocicleta Pulsar NS 200 a partir de una ingeniería inversa implementando una optimización topológica.

1.3. Objetivos específicos

- Obtener la geometría exacta del reposa pies a partir de un proceso de ingeniería inversa.
- Determinar las propiedades fisicoquímicas del material con el cual se fabrica el reposa pies a partir de la caracterización del material.
- Establecer las condiciones de carga a diferentes escenarios de funcionamiento del soporte reposapiés.
- Validar mediante simulación por elementos finitos la capacidad estructural del soporte reposapiés optimizado.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Proceso de diseño, ingeniería inversa y optimización topológica

El diseño es el proceso de idear elementos, sistemas o componentes de un proceso con el fin de satisfacer ciertas necesidades. Este proceso está ligado a la toma de decisiones, a menudo iterativas en el que se aplican los recursos de forma óptima a fin de obtener los objetivos planificados; en el caso de los componentes mecánicos los podemos definir como la combinación de sólidos resistentes dispuestos a realizar un trabajo para soportar las fuerzas de la naturaleza, ciertos movimientos o respuesta en función de movimientos de entrada ejecutados a este (Frax J., 2023).

Por otro lado, la ingeniería inversa es el análisis o la obtención de propiedades geométricas y fisicoquímicas de un producto o un sistema ya terminado, con el fin de crear uno similar o mejorar su diseño y/o estructura (CREAFORM, 2021). Para estas mejoras, se emplean técnicas de optimización topológica en la cual se realiza el análisis estructural del componente o sistema y su objetivo principal es el aligeramiento de material sin afectar su resistencia mecánica o estructural (Barreto Reyes N.S., 2021, p. 4).

Por lo tanto, se puede concluir que la ingeniería inversa y la optimización topológica son etapas del diseño de un elemento o la mejora de un diseño inicial. Todo esto se puede relacionar como la combinación de técnicas enfocadas en el mejoramiento y aprovechamiento de los recursos que tenemos a nuestro alcance para lograr mejores objetivos, maximizando de esta manera los componentes y sistemas para aprovechar la energía invertida en estos sistemas.

2.2. Escaneo 3D para ingeniería inversa

Para poder reproducir componentes digitalmente o conocer con seguridad la intención de un diseño, los instrumentos utilizados deben ser de una precisión incuestionable. Por eso, los escáneres 3D son instrumentos indispensables para la ingeniería inversa, ya sea para mejorar el producto, reconstruirlo, mejorar el diseño o para otros usos (ver *Imagen 1*).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



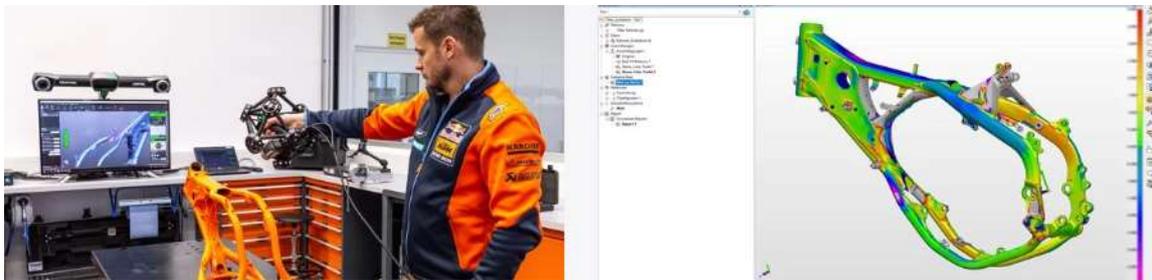
*Imagen 1. Escaneado 3D de automóvil.
(Matthew McMillion, 2022).*

Con el escáner 3D se logra capturas instantáneas 3D de piezas de automóviles o motocicletas de las que no se dispone planos técnicos ni documentación, o que están modificados respecto a sus diseños originales; para poder crear modelos CAD precisos para su posterior análisis y desarrollo.

2.3. Escaneo 3D en motocicletas deportivas

La construcción de motocicletas deportivas para carreras requiere del diseño y la manufactura de piezas con geometrías complejas de tolerancias estrictas y la selección y prueba de materiales de alta calidad. Con un escáner 3D, los ingenieros y diseñadores pueden optimizar el rendimiento de estas motocicletas (ver *Imagen 2*), realizando ingeniería inversa para verificar el correcto ensamble de las múltiples partes que la componen, medir y analizar las desviaciones que sufren las partes después de varias carreras.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



*Imagen 2. Escaneo 3D en motocicletas deportivas.
(CREAFORM, 2022).*

2.4. Prueba de espectrometría

La espectrometría es una técnica analítica que se utiliza en el ensayo cualitativo y cuantitativo de una sustancia química. En otras palabras, puede usarse en la evaluación espectroscópica de una sustancia de muestra para investigar el espectro de composición de esa muestra en particular de la cual indica los componentes reales presentes en una muestra de prueba y también sobre la concentración de cada uno de los componentes. La espectrometría de masas es prácticamente el procedimiento espectrométrico más importante utilizado en un laboratorio (danielrdz3, 2020).

Dependiendo de la técnica de ionización empleada, un espectrómetro puede clasificarse en varios tipos, algunos de los cuales incluyen el espectrómetro de emisión de chispas, el espectrómetro de rayos X de dispersión de energía (EDX), el espectrómetro de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) y el espectrómetro de ruptura inducida por láser (LIBS).

Espectrómetro de emisión óptica de chispas

Este tipo de espectrómetro utiliza una chispa o arco eléctrico para excitar los átomos contenidos en una muestra de sustancia. La muestra es generalmente de naturaleza metálica, ya que los metales son extremadamente buenos conductores de electricidad. Una vez que el haz eléctrico se aplica a un alto voltaje, los átomos de metal se excitan primero. Esto es seguido por la desexcitación de los átomos, durante la cual emiten fotones de longitudes de onda definidas (danielrdz3, 2020).

Las longitudes de onda así emitidas se segregan mediante un análisis óptico a través de una rejilla de difracción. Como cada longitud de onda corresponde a un elemento específico, esto ayuda a identificar varias formas elementales presentes en la misma muestra (*ver Imagen 3*).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

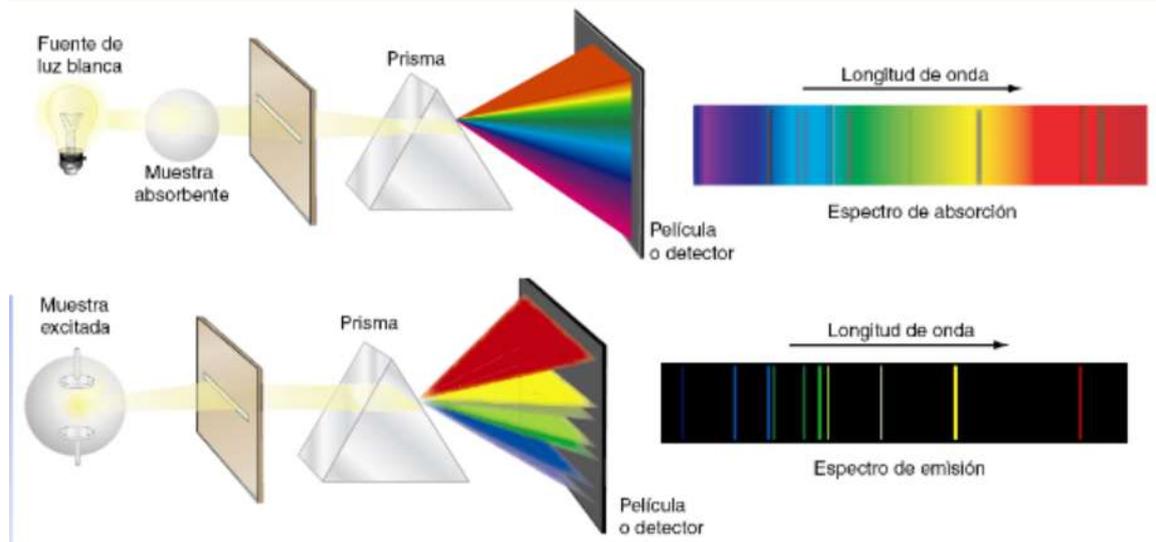


Imagen 3. Espectros atómicos de absorción y emisión.
(Danielrdz3, 2020).

Después de eso, un programa de computadora muestra el análisis cualitativo y cuantitativo de la muestra de prueba.

Este método analítico se utiliza para garantizar la calidad del producto de las industrias metalúrgicas como el aluminio y el cobre, así como el acero.

2.5. Ejemplo de la obtención de un modelo CAD de una turbina Francis a través de una ingeniería inversa

En un artículo publicado el 30 de enero del 2020, se puede ver el proceso de ingeniería inversa para obtener los modelos CAD que componen una turbina Francis, en el cual se usó un escáner 3D (Correa y Sierra, 2020). Este proceso fue vital para luego realizar un análisis computacional de la influencia de los componentes de la turbina en el comportamiento del fluido de la hidroeléctrica de Sancancio en Colombia, que pertenece a las empresas CHEC S.A. y el grupo EPM (ver *Imagen 4*).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

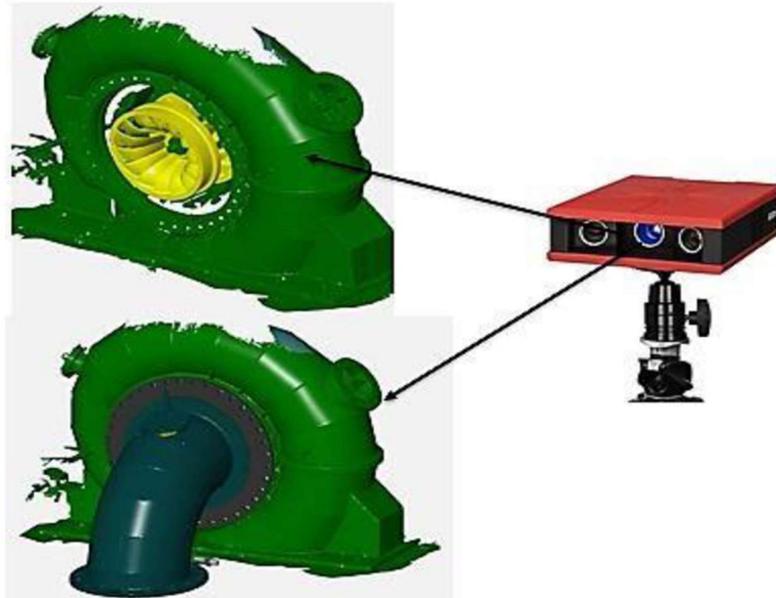


Imagen 4. Escaner 3D usado para ingeniería inversa de turbina Francis (Correa y Sierra, 2020).

2.6. Ejemplo de ingeniería inversa de la biela de una motocicleta deportiva

En este caso de estudio realizado en enero del 2023, se logró una reconstrucción altamente precisa del modelo 3D de la biela de una motocicleta deportiva utilizando un escáner 3D y refinando el modelo en el software CAD Geomagic Design X (Freddi et al., 2013). En la *Imagen 5*, se puede ver cómo se logra una precisión del 90% del modelo refinado con respecto a la malla escaneada. A partir del modelo obtenido, se pudo realizar una mejora en el diseño del producto, para incrementar eficiencia y alto rendimiento de la motocicleta.

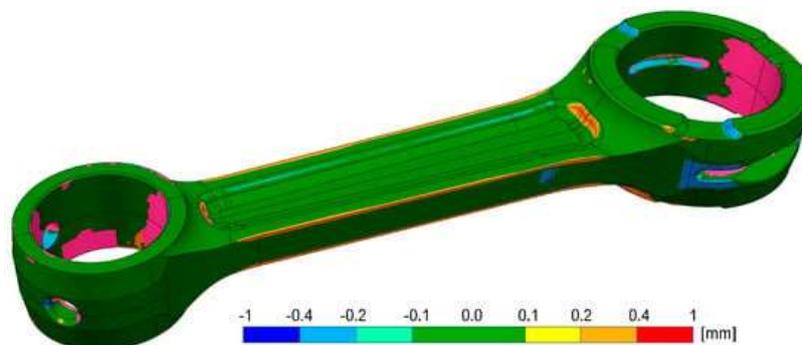


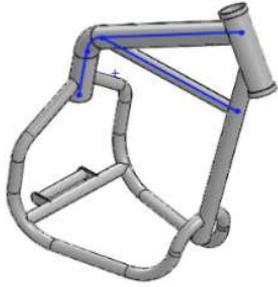
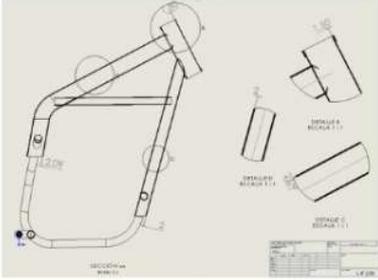
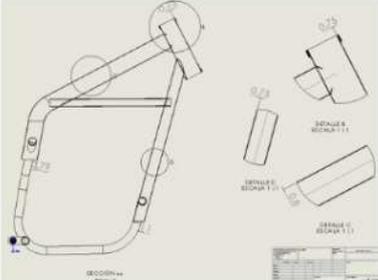
Imagen 5. Análisis de precisión de malla escaneada con respecto al pos modelado. (Freddi et al., 2013).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.7. Ejemplo de optimización topológica en una motocicleta

En un estudio realizado en el 2019 se implementó una técnica de optimización topológica en el chasis de una motocicleta de competencia Honda CRF 230, con el objetivo de reducir el peso del componente original manteniendo los límites de seguridad de las propiedades mecánicas del material, para obtener un mayor rendimiento del motor y mayor maniobrabilidad para el piloto en una competencia (Remache et al., 2019). Para ello, se efectuó la caracterización del material original del chasis de la motocicleta mediante un procedimiento llamado Espectrometría de Chispa, además se realizó el análisis estático del chasis para determinar las condiciones de frontera para la simulación. Para el desarrollar el CAD del chasis y la simulación se utilizó el SolidWorks Simulation. La aplicación de la optimización topológica se realizó utilizando un criterio de distribución de esfuerzos, por medio de la utilización del método de MEF (Método de elementos finitos). Finalmente, se analizó la estructura original frente a la modificada para obtener como resultado una reducción del 67.6 % de peso del chasis original, con un factor de seguridad de 1.41 (ver *Tabla 1*).

Tabla 1. Resumen de valores de optimización topológica.
(Remache et al., 2019).

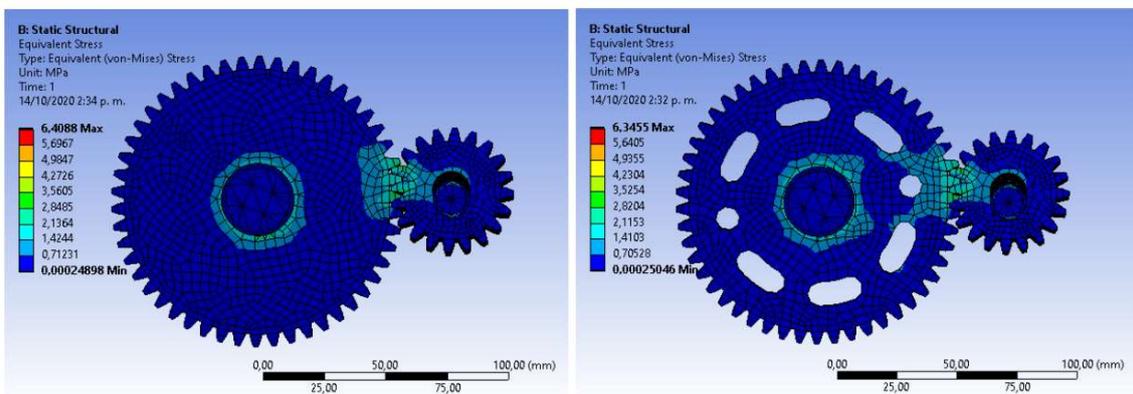
Componente	Chasis original	Chasis Optimizado
Modelo		
Planos(espesores)		
Von mises	137.346 MPa	243.25 MPa
Factor de seguridad	2.498	1.41
Desplazamiento	0.062 mm	0.235 mm
Peso	4074.02 g	2754.05 g

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2.8. Ejemplo de optimización topológica en engranes

En un proyecto de grado, Barreto (2020) realiza la optimización topológica para varios tipos de engranes, usando el software ANSYS, con el objetivo de reducir la masa de los engranes más grandes y disminuir las vibraciones, sin que aumente demasiado el esfuerzo en el material.

En la *Imagen 6* se puede ver el análisis estático estructural para un engrane recto sin optimizar (Recto), y un engrane recto optimizado (Recto Opt). El engrane recto tiene un máximo esfuerzo de 6,41 MPa y después de la reducción de material se obtiene un esfuerzo máximo de 6,346 MPa.



(a) Recto

(b) Recto Opt.

Imagen 6. Análisis estático estructural para la etapa de engranes rectos. (Barreto, 2020).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se plasma el desarrollo de la optimización topológica realizada al calapié izquierdo (ver *Imagen 7*) de la motocicleta Pulsar NS 200 (ver *Imagen 8*). El principal requerimiento de diseño para este elemento es mantener la resistencia mecánica prevista en el CALAPIÉ V2, el cual ha indicado soportar las cargas de esfuerzo promedio aplicadas en el uso general de los usuarios y disminuir el peso del componente para mejorar el aerodinamismo del vehículo.



Imagen 7. Soporte de reposa pie (o calapié) izquierdo del piloto. (Auteco Bajaj, 2018).



Imagen 8. Motocicleta Pulsar NS 200. (Auteco Bajaj, 2018).

Para la solución de la optimización planteada en este trabajo se llevaron a cabo los pasos de ingeniería inversa (ver *Imagen 9*). Siguiendo esta metodología, se dio inicio a la primera etapa de la ingeniería inversa, la cual consiste en los componentes originales o referentes para la optimización del calapié V1 y V2 (ver *Imagen 10*).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

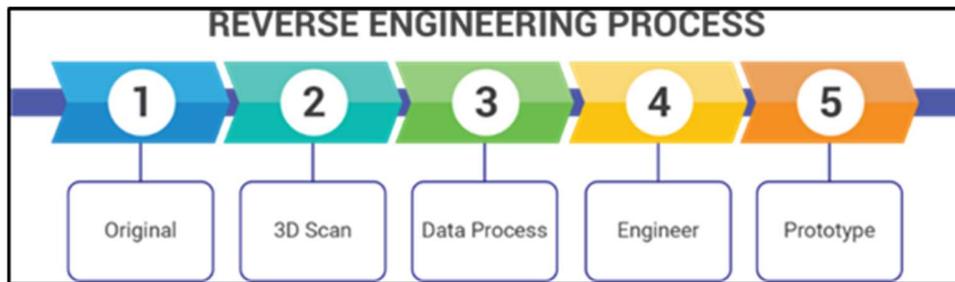


Imagen 9. Proceso de ingeniería inversa.
(ATW Engineering, 2023).



Imagen 10. Soporte reposapié V1 (izquierda) y Soporte reposapié V2 (derecha).
(Fuente Propia, 2023).

3.1. Escaneado 3D

El primer paso es obtener la geometría exacta de los calapiés a partir del proceso detallado de escaneado 3D usando el escáner Creaform ACADEMIA 50 (ver *Imagen 11*) y su paquete de software VXelements (VXmodel y VXinspect), los cuales están disponibles en el laboratorio de Producción del ITM.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ACADEMIA 50	
RANGO DE TAMAÑO DE PIEZAS (recomendado)	0,3- 3 m
EXACTITUD	hasta 0,1 mm
EXACTITUD VOLUMÉTRICA (en función del tamaño de la pieza)	0,3000 mm/m
RESOLUCIÓN DE MEDICIÓN	0,250 mm
RESOLUCIÓN DE MALLA	0,500 mm
ÁREA DE ESCANEADO	380 X 380 mm
DISTANCIA DE SEGURIDAD	400 mm
PROFUNDIDAD DE CAMPO	250 mm
FUENDE DE LUZ	Luz blanca (99 líneas)
TIPO DE LÁSER	24 bits
RESOLUCIÓN DE TEXTURA	50 a 150 DPI
MÉTODOS DE POSICIONAMIENTO	Geometría y/u objetos y/o textura
VELOCIDAD DE MEDICIÓN	550,000 mediciones/s
PESO	0,95 kg
DIMENSIONES	150 x 178 x 235 mm
RANGO DE TEMPERATURA DE OPERACIÓN	5-40°C
RANGO DE HUMEDAD DE OPERACIÓN (sin condensación)	10-90%
CERTIFICACIONES	EC Compliance (Electromagnetic Compatibility Directive, Low Voltage Directive), compatible with rechargeable batteries (when applicable), IP50, WEEE



Imagen 11. Escáner Creafom ACADEMIA 50. (Fuente propia, 2023).

Se realiza el procedimiento de escaneo, utilizando los stickers de referenciación, direccionando y rotando la luz blanca del escáner hacia la pieza y siempre referenciándose en el software, como se ve en la *Imagen 12*. Luego en el software VXmodel se prepara la malla escaneada para la ingeniería inversa. Para esto se realizan las operaciones de limpieza de malla, rellenar orificios, fusionar, diezmar y garantizar la hermeticidad de las mallas; y finalmente alinear la malla escaneada con respecto al sistema de coordenadas. En la *Imagen 13* se puede ver la malla escaneada obtenida.



Imagen 12. Procedimiento de escaneo. (Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

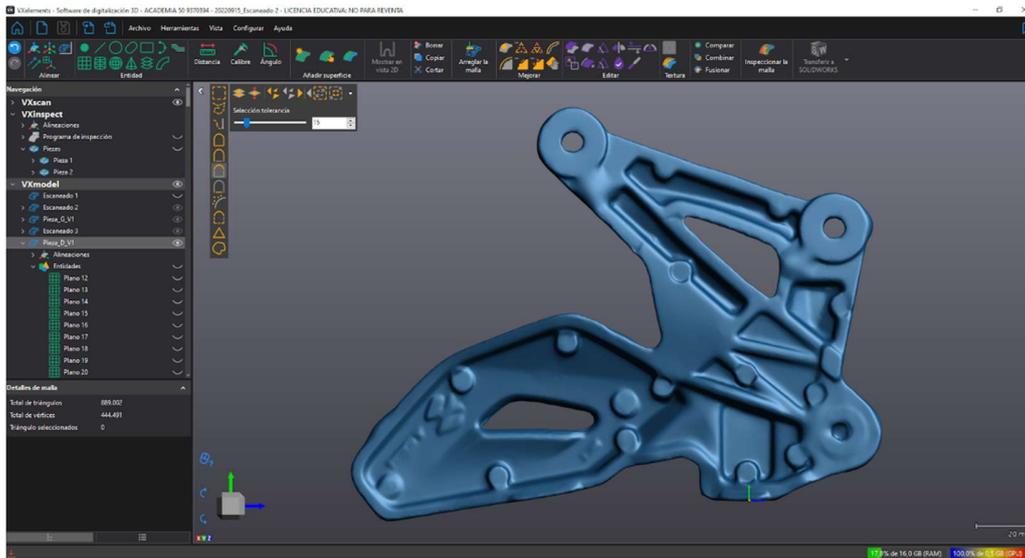


Imagen 13. Malla escaneada obtenida.
(Fuente propia, 2023).

3.2. Generación del modelo 3D sólido

Con la malla obtenida en formato STL (Stereolithography) del proceso de escaneo, se cuenta con una aproximación de la superficie de un modelo sólido con triángulos (como se ve en la *Imagen 14*), pero con este tipo de formato no es posible realizar el análisis estructural o las operaciones de modelado 3D que se requieren para la optimización del diseño. Por lo tanto, se hace uso del software Geomagic Design X 2020 para obtener el modelo 3D editable.

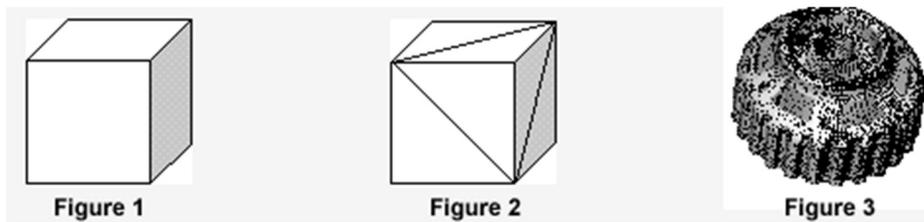


Imagen 14. Aproximación de superficie de un modelo sólido con triángulos.
(3D Systems, 2023).

En Geomagic Design X se realiza la segmentación de la malla escaneada para clasificar en regiones geométricas coloreadas, las diferentes curvaturas y tipos de superficies. Luego se obtiene una superficie del sólido a través del cálculo de una red de curvas en la malla. Se procede a mejorar el sólido haciendo uso de las operaciones de modelado asistidas y teniendo como referencia las regiones obtenidas previamente.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.3. Caracterización del material

Para realizar el análisis estructural y posterior optimización, se debe configurar el material base con los datos adquiridos a partir de la prueba de espectrometría. Para esta prueba se usó un equipo ARUN POLYSPEK JUNIOR SERIES, que es un espectrómetro de emisión óptica de chispas de alta precisión para el análisis cuantitativo de muestras de diferentes tipos de aleaciones de metal. En la *Imagen 15* se ve el equipo utilizado de la empresa Fundalco.



Imagen 15. Equipo espectrométrico.
(Fuente propia, 2023).

La prueba consiste en ubicar una pequeña muestra de la pieza a analizar, previamente preparada. Luego, el electrodo del equipo aplica una descarga eléctrica a la muestra, la cual está en una atmósfera de argón. Algunos de los elementos de la superficie de la muestra se vaporizan, liberando radiación en forma de luz en específicas longitudes de onda, dependiendo de los elementos presentes. La luz pasa a través del espectrómetro y el equipo mide estas longitudes de onda para analizarlos en el software del equipo y determinar los rangos de concentración de los elementos identificados (MetalScan Limited, 2012).

3.4. Cálculo de fuerzas

Se realiza el análisis de las fuerzas que actúan sobre el soporte reposapiés teniendo en cuenta que, según el manual de usuario, la motocicleta está diseñada para un peso promedio de 130 kg (piloto y pasajero).

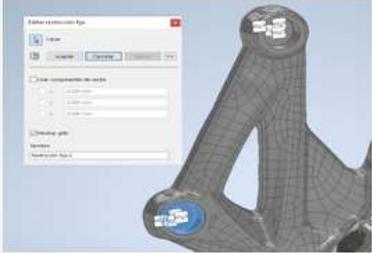
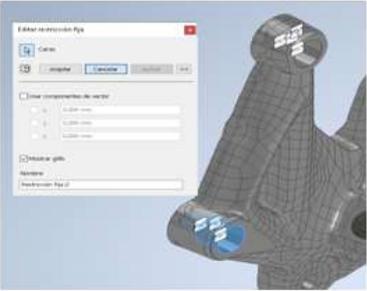
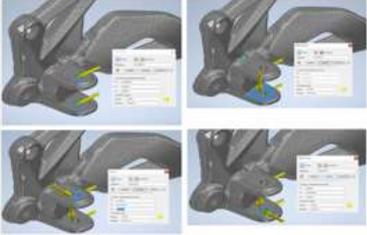
En las Memorias de Cálculo de Fuerzas (Anexo 1) se hace el análisis del ensamble (soporte reposapiés, reposapiés, y pasador), y aplicando las ecuaciones de equilibrio, se encuentran las magnitudes y direcciones de las fuerzas que actúan sobre el soporte reposapiés, para diferentes escenarios (diferentes pesos), las cuales servirán para encontrar el punto de la pieza donde se da el esfuerzo máximo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3.5. Análisis de tensión

El análisis de tensión o análisis estático calcula los desplazamientos, deformaciones unitarias, y tensiones en la pieza basándose en el material, las restricciones (apoyos o sujeciones) y las cargas. Se utiliza el software Autodesk Inventor 2023 para crear los casos de simulación para el Calapié V1 y Calapié V2, según la caracterización de material y las fuerzas calculadas (ver Anexo 2 y Anexo 3). En la *Tabla 2* se resumen las condiciones para ejecutar el análisis estático de las dos muestras.

Tabla 2. Condiciones de simulación del Soporte reposapié V1 y el Soporte reposapié V2. (Fuente propia, 2023).

Parámetro	Soporte reposapié V1	Soporte reposapié V2
Condiciones para la Simulación	Restricciones: Se fijan restricciones fijas en los agujeros y abocardados, de donde se fija el soporte reposapié al chasis de la moto. 	
	Cargas: En ambas piezas se configuran las fuerzas calculadas. R1 = 343,35 N R2 = 594,7N R3 = 964,8N R4 = 964,8N  	

3.6. Optimización topológica

En esta parte del proyecto, se busca encontrar la propuesta de diseño optimizado, es decir, intentar reducir la masa del Calapié V2 sin afectar su resistencia mecánica. Para esto se utiliza la herramienta de generador de forma de Autodesk Inventor 2023, con las mismas condiciones de restricciones y cargas utilizadas en el análisis de tensión.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

En la herramienta, se especifica el objetivo de porcentaje de reducción de masa del 10%, intentando llegar a un punto medio entre la masa de la pieza original (0.36 kg) y la masa de la pieza mejorada (0.437 kg). En la *Imagen 16* se ve la forma generada que calcula el software, en donde se identifica la zona a la que se le puede eliminar material. Según este cálculo, se lograría reducir la masa de la pieza a 0.387 kg, alcanzando una reducción de masa del 11%.

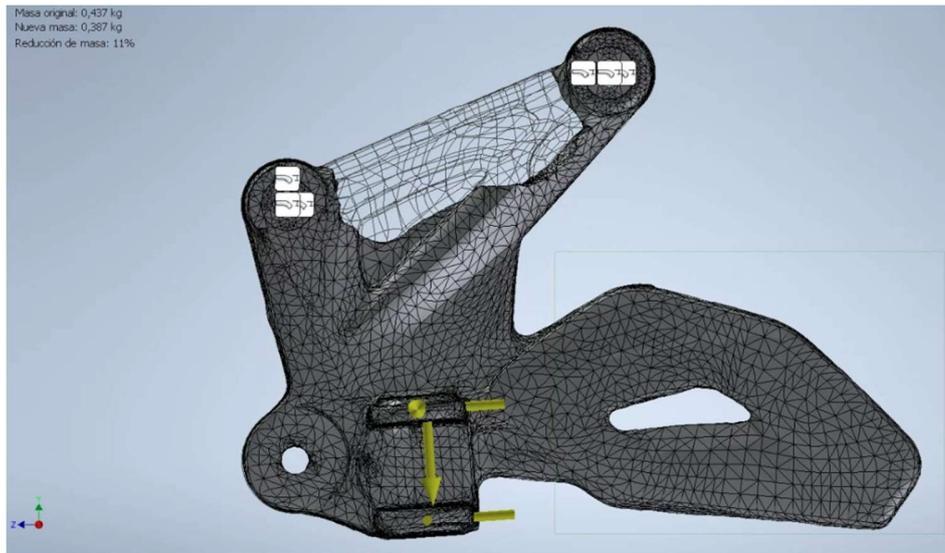


Imagen 16. Resultado de generador de forma.
(Fuente propia, 2023).

Luego de esto se realiza el rediseño a la pieza con la ayuda del generador de forma que ofrece el software de Autodesk Inventor y basado en la información obtenida de los anteriores análisis más la creatividad asociada se obtiene una tercera versión del Soporte reposapié V3 (Versión optimizada, *Imagen 17*).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020



*Imagen 17. Diseño optimizado del Soporte reposapié.
(Fuente propia, 2023).*

Con esta nueva sugerencia se ve afectado el diseño inicial del fabricante, pero este nuevo elemento con la optimización de relación masa/resistencia pretende lograr mayor confiabilidad y recuperar la aerodinámica que se había sacrificado. Al tener esta nueva versión se debe hacer nuevamente los mismos análisis de tensión para verificar la información y constatar que la propuesta presentada es viable.

Teniendo esta información, da paso para establecer las condiciones de carga a diferentes escenarios de funcionamiento del reposa pie y validar mediante simulación por elementos finitos la capacidad estructural del reposa pie rediseñado (Ver Anexo 4).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del escaneo 3D

El análisis de resultados se presenta con bases numéricas obtenidas de la metodología de ingeniería inversa. En esta fase se presentan algunas limitaciones como la captura de datos mediante el escáner ya que los modelos 3D presentaron irregularidades en el escaneo tales como “rechupes” y protuberancias o geometrías irregulares. No obstante, en la reconstrucción del modelo físico en Geomagic Design X se llegó a un modelo aproximado al real. Como resultado final de la metodología de ingeniería inversa se llegó al modelo que se aprecia en la *Imagen 18*.

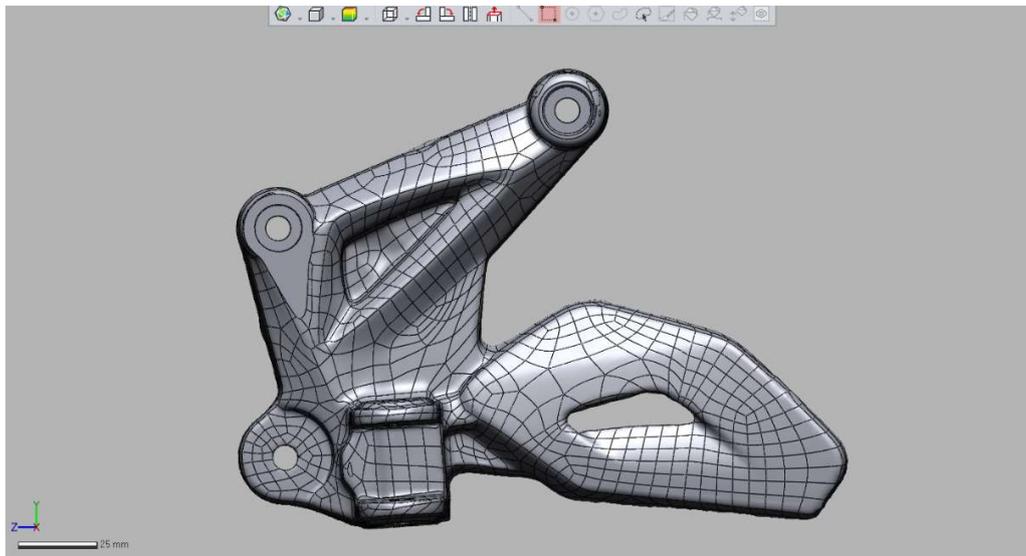


Imagen 18. Sólido 3D obtenido en Geomagic Design X.
(Fuente propia, 2023).

Una gran función de Geomagic Design X es la posibilidad de comparar el sólido obtenido con la malla escaneada, para determinar qué tan preciso es el modelo obtenido. Mediante una barra de colores se puede identificar en qué zonas falta o sobra material, teniendo como referencia la malla escaneada. En este punto cabe mencionar que se debe tener en cuenta la forma real de la pieza, ya que la comparación puede decir que en ciertas zonas falta o sobra material, pero esto puede ser por un defecto de la malla escaneada. En la *Imagen 19* se puede ver como después del refinamiento del modelo en Geomagic Design X se alcanzó una precisión del modelo en el rango de +/- 0,1 mm.

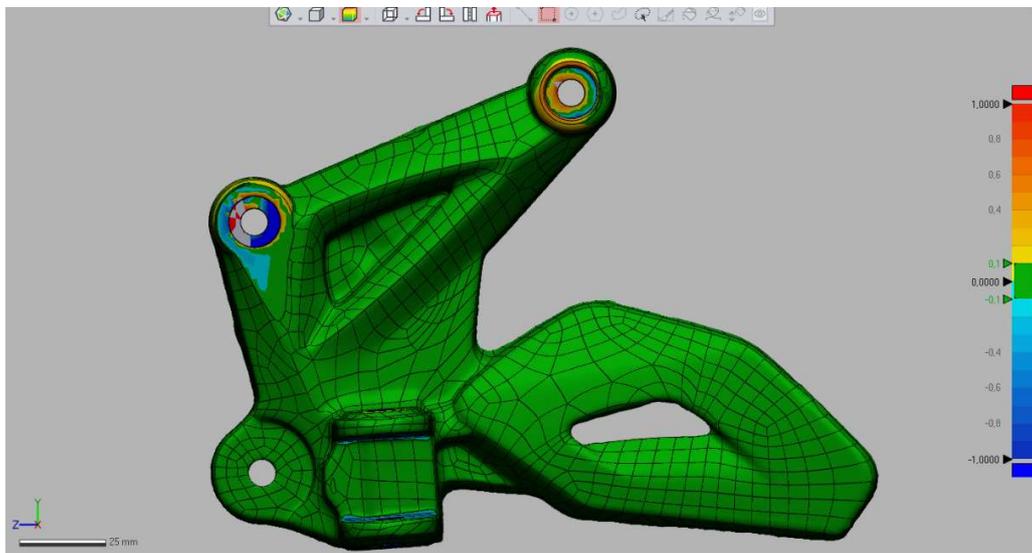


Imagen 19. Comparación del sólido obtenido con la malla escaneada.
(Fuente propia, 2023).

4.2. Resultados de la caracterización del material

A partir de los resultados obtenidos en la prueba de espectrometría, en la *Tabla 3* se consolidan los resultados y se logra identificar que estos valores están dentro de los rangos de una aleación de aluminio A380.

Tabla 3. Resultados del análisis realizado por el equipo espectrométrico.
(Fundalco, 2023).

Fundalco		ESPECTROMETRÍAS MATERIA PRIMA												CODIGO: CP-MP01				
														VERSION: 01				
														FECHA: 13/03/2022				
ALEACION 380	CERTIFICADO PROVEEDOR	LOTE RECEPCION MATERIA PRIMA				LOTE DE LINGOTE				PRODUCTO EN PROCESO				CERTIFICADO PROVEEDOR	RECEPCION MP	LINGOTE	PRODUCTO EN PROCESO	OBSERVACIONES
		1	2	3	PROMEDIO	1	2	3	PROMEDIO	1	2	3	PROMEDIO					
Al		88,700	88,640	88,620	88,653				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	
Si (8.5 - 9.5)		9,150	9,250	9,260	9,220				0				0	Sin Medicion	Rechazado	Sin Medicion	Sin Medicion	
Fe (.09 - 1.3)		0,655	0,662	0,688	0,668				0				0	Sin Medicion	Rechazado	Sin Medicion	Sin Medicion	
Cu (3.0 - 4.0)		0,352	0,335	0,344	0,344				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	
Mn (≤0.50)		0,296	0,301	0,303	0,300				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	
Mg (≤0.3)		0,189	0,185	0,192	0,189				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	
Ni (≤0.5)		0,060	0,058	0,060	0,059				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	
Zn (≤0.3)		0,172	0,172	0,171	0,172				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	
Sn (≤0.35)		0,005	0,005	0,005	0,005				0				0	Sin Medicion	Cumple	Sin Medicion	Sin Medicion	

En la *Imagen 20* se identifican las propiedades mecánicas y físicas de la aleación, para configurarlas en las simulaciones y optimización del modelo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

PROPIEDADES MECÁNICAS

Metric

Material	Aleación	Resistencia a la tensión	Límite de elasticidad (o 2%)	Resistencia al impacto	Resistencia a la Cizalladura	Dureza	Elongación	Aleación
		MPa	MPa	J	MPa	Brinell (HB)	% in 50mm	
Aluminio	A380	324	160	4	190	80	35	Cold Chamber Die Casting

PROPIEDADES FÍSICAS

Metric

Material	Aleación	Densidad	Punto de fusión (Normal /- 50)	Conductividad térmica	Coefficiente de expansión térmica	Conductividad eléctrica	Aleación
		g/cm ³	°C	W / m K	µm/m ² K	% IACS	
Aluminio	A380	2,71	566	96	21,8	23,0	Cold Chamber Die Casting

Imagen 20. Propiedades Mecánicas y Físicas del Aluminio A380. (DYNACAST, 2019).

4.3. Resultados del análisis estático

Luego de realizar el análisis estático de la muestra, a través de las ecuaciones de equilibrio, se llegan a los resultados de las fuerzas, momentos y reacciones que interactúan en la pieza, los cuales se consolidan en la *Tabla 4* y se ven de forma ilustrativa en la *Imagen 21*.

Tabla 4. Resumen de Fuerzas que actúan sobre el Soporte Reposapiés. (Fuente propia, 2023).

Condición	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Peso (kg)	70,00	100,00	130,00
Fuerzas encontradas			
F (N)	686,70	981,00	1275,30
R1 (N)	343,55	490,50	637,65
R2 (N)	594,70	849,57	1104,44
MA (Nm)	29,73	42,48	55,22
R3 (N)	964,80	1378,28	1791,76
R4 (N)	964,80	1378,28	1791,76

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

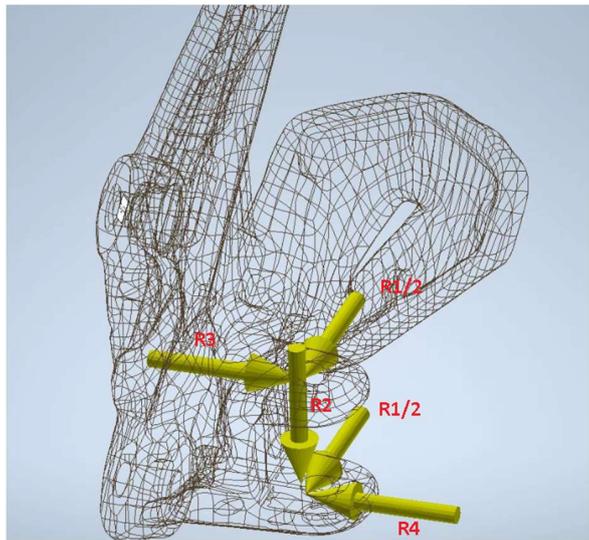


Imagen 21. Vectores de Fuerzas aplicadas.
(Fuente propia, 2023).

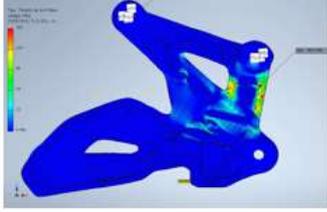
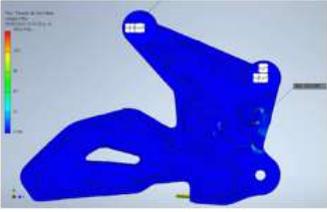
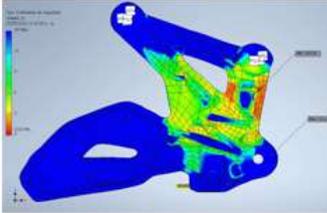
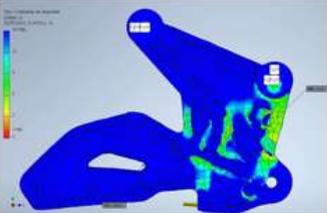
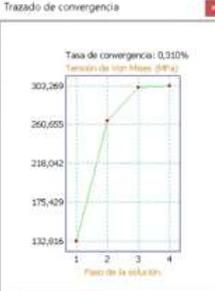
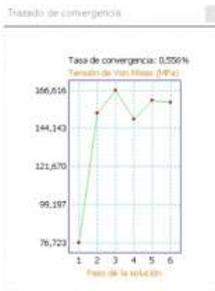
Se establecen las condiciones de carga del *Caso 1* de la *Tabla 4* para las simulaciones, sustentados en que la carga de 70 kg es la masa promedio de una persona y sería la carga que actuaría sobre el reposapiés izquierdo del piloto de la motocicleta. Es la condición con más probabilidad.

4.4. Resultados de simulaciones y optimización topológica

Una vez ejecutado la simulación bajo las condiciones del *Caso 1* de la *Tabla 4* (que se suponen como las condiciones normales o promedio, bajo las cuales se encuentra la pieza en la realidad), se encuentran los resultados de la simulación del análisis estático de las dos muestras recibidas y escaneadas, los cuales se consolidan en la *Tabla 5*.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 5. Resultados de simulación Calapié V1 y Calapié V2.
(Fuente propia, 2023).

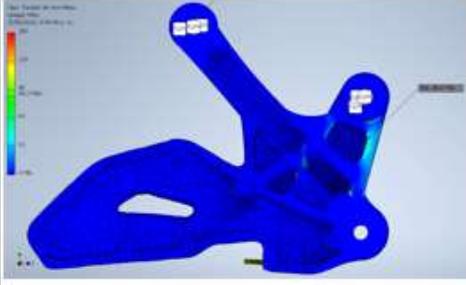
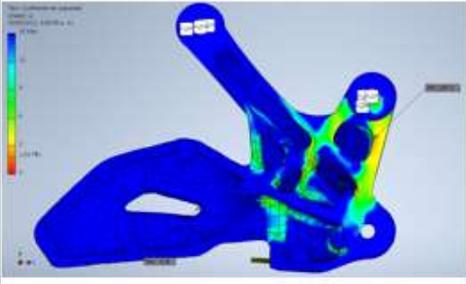
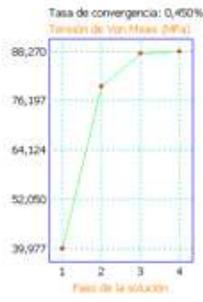
Parámetro	Soporte reposapié V1	Soporte reposapié V2
Tensión Von Mises (Máximo)	 303,3 MPa	 159,9 MPa
Coefficiente de seguridad	 0,53	 1
Tasa de Convergencia	 0,31%	 0,56%

De la *Tabla 5* se concluye que efectivamente el diseño inicial (Calapié V1) tiene una probabilidad alta de falla, ya que el valor máximo de Tensión Von Mises supera la resistencia a la tensión y el límite de elasticidad del material. Así mismo, se puede evidenciar que en el Calapié V2 se mejoran estas condiciones, reduciendo la probabilidad de falla, aunque el valor de Tensión Von Mises es casi el mismo que el límite de elasticidad del material.

Al presentar el nuevo diseño para el soporte reposapié, se le realizaron los análisis pertinentes como se evidenció anteriormente para constatar la viabilidad del proyecto (ver Anexo 4). En la *Tabla 6* se pueden ver los resultados del análisis de tensión con la misma configuración de fuerzas calculadas del *Caso 1* de la *Tabla 4*.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Tabla 6. Resultados de Análisis de tensión del soporte reposapié V3 optimizado. (Fuente propia, 2023).

	Parámetro	Soporte reposapié V3
Resultados	Tensión Von Mises (Máximo)	 <p style="text-align: center;">88,27 MPa</p>
	Coefficiente de seguridad	 <p style="text-align: center;">1,81</p>
	Tasa de Convergencia	<p style="text-align: center;">Trazado de convergencia</p>  <p style="text-align: center;">0,45%</p>

Según los resultados de la *Tabla 6*, se puede observar que, con la propuesta de diseño optimizado, no solo se logra el objetivo de reducción de masa, sino que además la Tensión Von Mises se reduce y el coeficiente de seguridad aumenta, disminuyendo de manera considerable la probabilidad de la pieza.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

A continuación, se prosigue con la revisión de la información numérica en comparativa de los tres casos o versiones del reposa pie analizadas en este documento. En la *Tabla 7* se evidencia la información más relevante para el análisis de cada una de estas piezas, en la cual se presentan para cada una 3 casos evaluados con diferentes cargas aplicadas para tener mayor trazabilidad y claridad en el estudio del comportamiento de estos elementos, los datos de esta tabla son obtenidos en el software de diseño Autodesk Inventor, también cabe indicar que la aleación de aluminio usada para la fabricación de estos elementos es A360 según lo identificó la prueba de espectrometría y de tal manera se ajusta esta información al software para dicho análisis.

Tabla 7. Comparación de los tres diseños del Soporte reposapié y sus resultados de simulación. (Fuente propia, 2023).

Soporte reposapié V1 (Original)				Soporte reposapié V2 (Modificada)				Soporte reposapié V3 (Optimizada)			
Masa 0.36 kg				Masa 0.437 kg				Masa 0.374 kg (Reducción de masa 14.4%, con respecto a la Pieza 2)			
											
Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Parámetro	Caso 1	Caso 2	Caso 3
Condiciones				Condiciones				Condiciones			
Peso (kg)	70.00	100.00	130.00	Peso (kg)	70.00	100.00	130.00	Peso (kg)	70.00	100.00	130.00
F (N) sobre el taco	686.70	981.00	1275.30	F (N) sobre el taco	686.70	981.00	1275.30	F (N) sobre el taco	686.70	981.00	1275.30
Resultados de análisis de pieza				Resultados de análisis de pieza				Resultados de análisis de pieza			
Tensión Von Mises (MPa)	305.30	433.90	564.00	Tensión Von Mises (MPa)	159.90	228.40	296.60	Tensión Von Mises (MPa)	88.27	126.10	163.90
Coefficiente de Seguridad	0.53	0.37	0.28	Coefficiente de Seguridad	1.00	0.70	0.54	Coefficiente de Seguridad	1.81	1.27	0.98
Tasa de Convergencia (%)	0.31	0.48	0.45	Tasa de Convergencia (%)	0.56	0.56	0.56	Tasa de Convergencia (%)	0.45	0.45	0.45

Como se evidencia en la información presentada, se obtiene un tercer modelo (Soporte reposapié V3) ya optimizado con las especificaciones obtenidas a lo largo del estudio que se ha realizado para estos dos elementos (Soporte reposapié V1 y Soporte reposapié V2) y se ha podido constatar que para este rediseño se mejora tanto la resistencia del elemento, como se aprecia en la disminución de tensión que se ejerce sobre ésta, también se presenta mejoría en la aerodinámica ya que la masa se ve disminuida casi a igualar la pieza original en masa; y por último se evidencia que el coeficiente de seguridad aumenta considerablemente en comparación a las dos versiones anteriores.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

Basados en el material de consulta, la información recopilada y la experiencia adquirida en el desarrollo de este proyecto se puede afirmar las grandes ventajas que tiene la metodología de la ingeniería inversa para el óptimo desarrollo de los proyectos de mejora y optimización topológica a los elementos existentes y de los cuales se desea tener un mejor resultado final, bien sea para garantizar el aspecto más importante que es la seguridad que dicho elemento presta al usuario, como también brindar mayores prestaciones como lo son la aerodinámica, la resistencia de los materiales y evitar excesos innecesarios en materiales y costos asociados. Dicho esto, se expone el objetivo principal de este proyecto, el cual está enfocado en el rediseño del Soporte reposapié izquierdo de la motocicleta Pulsar NS 200, con el uso de la metodología y las herramientas de la ingeniería inversa se logra optimizar en un 14.4% el peso del elemento (Soporte reposapié V3) respecto al modelo resistente evidenciado como (Soporte reposapié V2). De igual manera se optimiza el coeficiente de seguridad en un 55.55% y se obtiene una tasa de convergencia cercana al valor del Soporte reposapié V1, en un 81,5 %. Lo que nos indican estos valores es que con este rediseño se logra una nueva pieza con 96.25% de aerodinámica respecto al Reposapié V1, pero con mayor resistencia mecánica.

Es de notar la gran importancia de la metodología de optimización para el sector automovilístico, y más en el sector de la competición, la cual busca día tras día desarrollar vehículos más veloces y livianos para obtener mejores resultados en las competencias.

Recomendaciones y trabajo futuro

Basados en la experiencia adquirida durante este proyecto, es pertinente recomendar para un futuro proyecto o investigación ejecutar el proceso de optimización topológica en varios programas de diseño, siempre y cuando sea posible. La comparación de los datos obtenidos en diferentes herramientas, puede sugerir una mejor propuesta de diseño.

Así mismo, como trabajo futuro, luego de llegar a los resultados de este proyecto, es importante validar esta propuesta de diseño optimizado, fabricando un prototipo físico y realizándole las pruebas de fábrica y el seguimiento en campo adecuadamente.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

REFERENCIAS

- 3D SYSTEMS. (mayo de 2023). *¿Qué es un archivo.STL?*.
<https://es.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file>
- Artec3D. (octubre de 2022). *La tienda de coches mundialmente conocida West Coast Customs mete sexta marcha con Artec Eva*. <https://www.artec3d.com/es/cases/west-coast-customs>
- ATW ENGINEERING. (mayo de 2023). *Reverse Engineering*.
<https://www.atwengineer.com/reverseengineering>
- Autodesk. (octubre de 2022). *Inventor Nastran: Análisis de elementos finitos integrados en CAD*.
<https://www.autodesk.com/products/inventor-nastran/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Barreto Reyes, N. S. (2020). *Optimización topológica del sistema de transmisión de potencia de una lavadora centrífuga para reducción de vibraciones*. [Proyecto de Grado, Universidad Antonio Nariño].
<http://repositorio.uan.edu.co/bitstream/123456789/3094/1/2020Nelson%20Stiven%20%20Barreto%20Reyes.pdf>
- Correa E. y Sierra J. (30 de enero de 2020). Obtaining the CAD Flow Models in the Francis Turbine of the Sancancio Hydroelectric Power Plant by Means of Reverse Engineering. *International Journal of Integrated Engineering*, Vol. 12 No. 1 (2020) p. 172-187
- Creaform. (19 de septiembre de 2021). *Building and testing high-performance street and offroad sport motorcycles*. <https://www.creaform3d.com/en/applications/building-and-testing-high-performance-street-and-offroad-sport-motorcycles>
- Creaform. (19 de septiembre de 2021). *¿Qué es ingeniería inversa?*
<https://www.creaform3d.com/blog/es/que-es-ingenieria-inversa/#:~:text=La%20ingenier%C3%ADa%20inversa%20es%20el,su%20estructura%2C%20funciones%20y%20operaciones>.
- Creaform. (19 de septiembre de 2021). *Paquete de aplicaciones y plataforma de software de medición 3D*. <https://www.creaform3d.com/es/soluciones-de-metrologia/plataformas-de-software-de-aplicaciones-3d>
- ESPECTROMETRIA. (2022). *WDX espectroscopia de rayos X de dispersión de longitud de onda*.
[https://espectrometria.com.mx/author/danielrdz3gmail-com//oct 27, 2020/ WDX/](https://espectrometria.com.mx/author/danielrdz3gmail-com//oct%2027,%202020/WDX/)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ESPECTROMETRIA. (11 de junio de 2020). *Espectrometría; mecanismo, tipos y usos*.
<https://espectrometria.com.mx/espectrometria-mecanismo-tipos-y-usos/>

Frax, J. (28 de julio de 2023). *Proceso de diseño*.
<http://www.joelfrax.com/disenio/proceso%20de%20diseno.html>

Freddi, M., Ferretti, P., Alessandri, G., Liverani, A. (16 de enero de 2023). Reverse Engineering of a Racing Motorbike Connecting Rod. *Inventions 2023*, 8, 23.
<https://doi.org/10.3390/inventions8010023>

Gaviria, N. (30 de mayo de 2022). Colombia se perfila como el segundo mercado más grande de motos en América Latina. *La República*. <https://www.larepublica.co/empresas/colombia-se-perfila-como-el-segundo-mercado-mas-grande-de-motos-en-america-latina-3373518>

Remache, A., Leguisamo, J.y Tamayo E. (2019). Análisis topológico mediante el Método de Elementos Finitos del chasis de una motocicleta de competencia. *Enfoque UTE*, V.10 -N.3, Sep. 2019, pp. 81-97

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ANEXOS

Anexo 1. Memorias de cálculo de Fuerzas del Soporte Reposapiés

Anexo 2. Informe de análisis de tensión del Soporte Reposapiés 1

Anexo 3. Informe de análisis de tensión del Soporte Reposapiés 2

Anexo 4. Informe de análisis de tensión del Soporte Reposapiés 3

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 1. Memorias de cálculo de Fuerzas del Soporte Reposapiés

1. Fuerza aplicada.

Según el manual de usuario, la motocicleta está diseñada para soportar el peso de una masa de 130 kg (Piloto y Copiloto).

Para efectos de cálculos se asume que la fuerza aplicada al elemento visto en la (imagen 22.) es la siguiente:

$$F = m \cdot g$$

$$F = 130kg \cdot 9.81 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 1275.3N$$

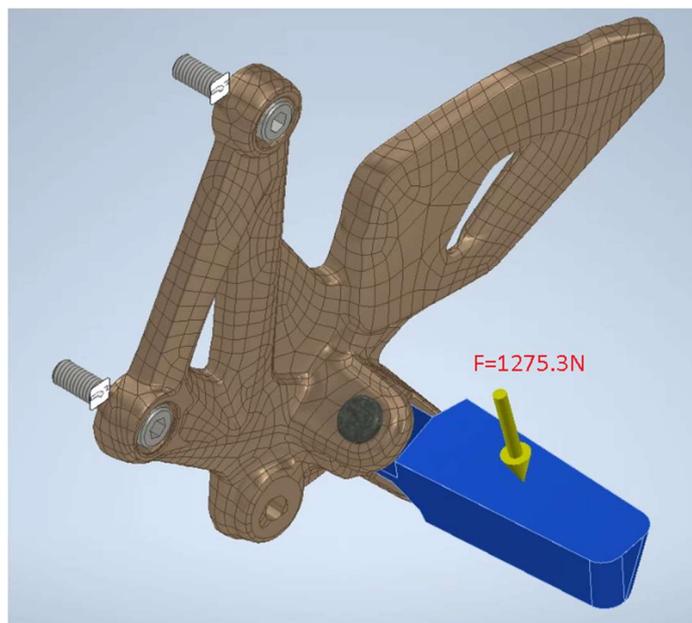


Imagen 22. Fuerza resultante aplicada sobre el reposapiés.
(Fuente Propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

2. Cálculo de reacciones en el reposapiés:

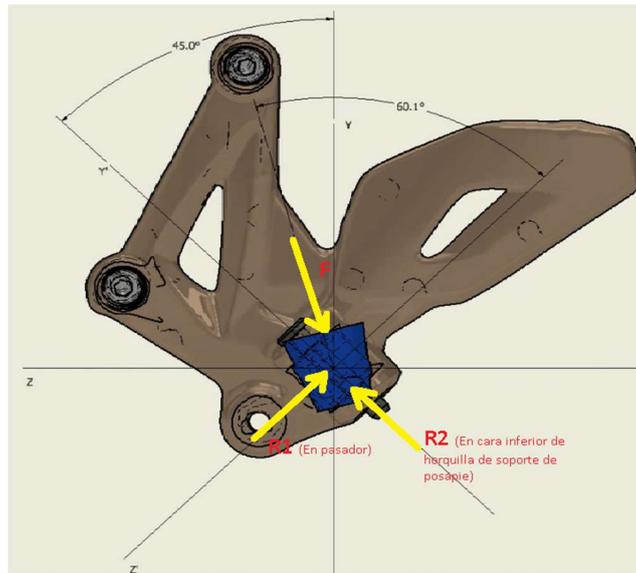


Imagen 23. Fuerzas aplicadas con ángulo de incidencia.
(Fuente propia, 2023).

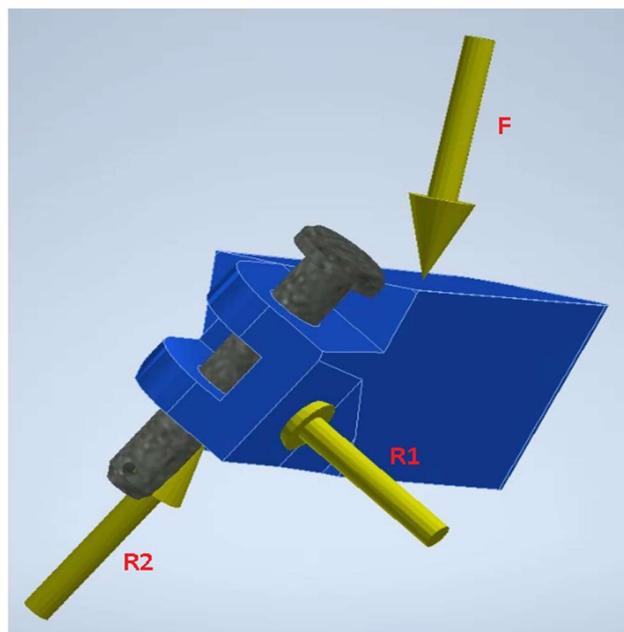


Imagen 24. Fuerzas resultantes en el pasador taco.
(Fuente Propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

$$\Sigma F_{z'} = 0; R1 - F \cos 60^\circ = 0;$$

$$R1 = 1275.3N \cos 60^\circ = 637.65N \text{ (cortante doble)}$$

$$\Sigma F_{y'} = 0; R2 - F \text{sen}60^\circ = 0;$$

$$R2 = 1275.3N \text{sen}60^\circ = 1104.44N$$

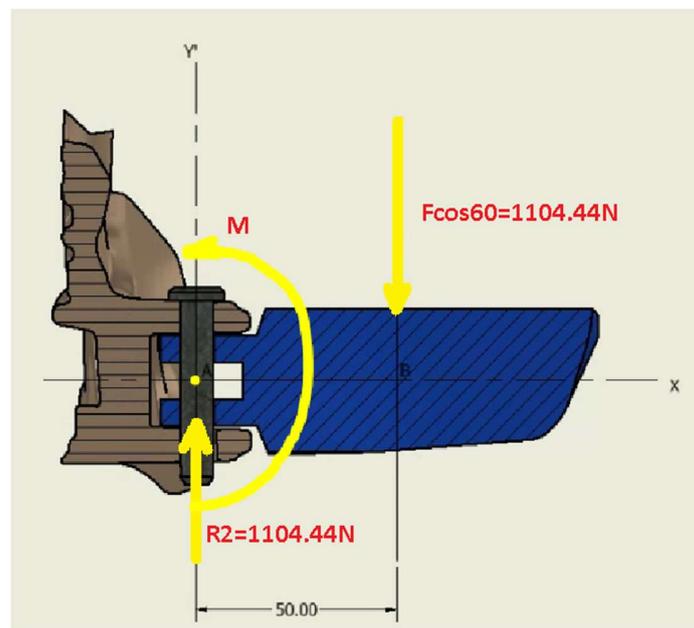


Imagen 25. Momento A calculado.
(Fuente propia, 2023).

$$\Sigma M_A = 0; M - 1104.44N(0.05m) = 0;$$

$$M = 55.22N \cdot m$$

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

3. Cálculo de reacciones en el pasador:

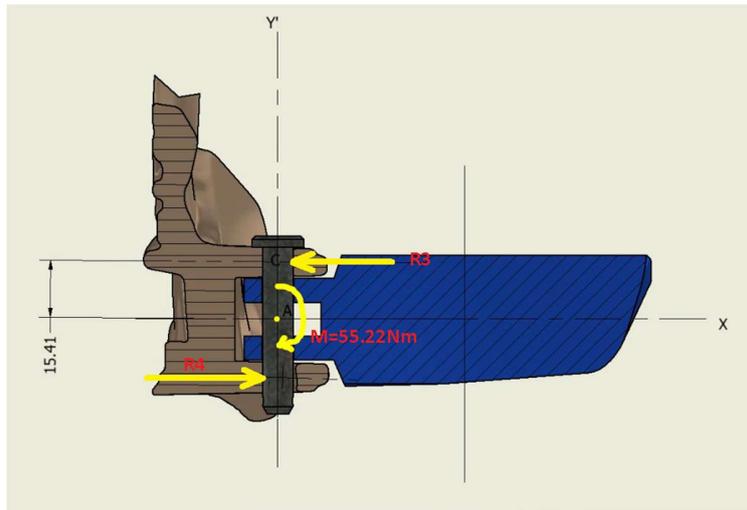


Imagen 26. Momento C calculado.
(Fuente propia, 2023).

$$\Sigma M_c = 0; 55.22N \cdot m - R4 \cdot 0.03082 = 0;$$

$$R4 = \frac{55.22N \cdot m}{0.03082m} = 3583,39 N$$

$$R3 = R4 = 1791.69N$$

4. Fuerzas que actúan sobre el soporte del reposapiés

Según lo anterior, se determinan las fuerzas que actúan sobre la horquilla del soporte del reposapiés:

Se ubican restricciones fijas en los agujeros para los tornillos de fijación de la pieza al plano del software Autodesk Inventor simulando anclaje al chasis de la moto.

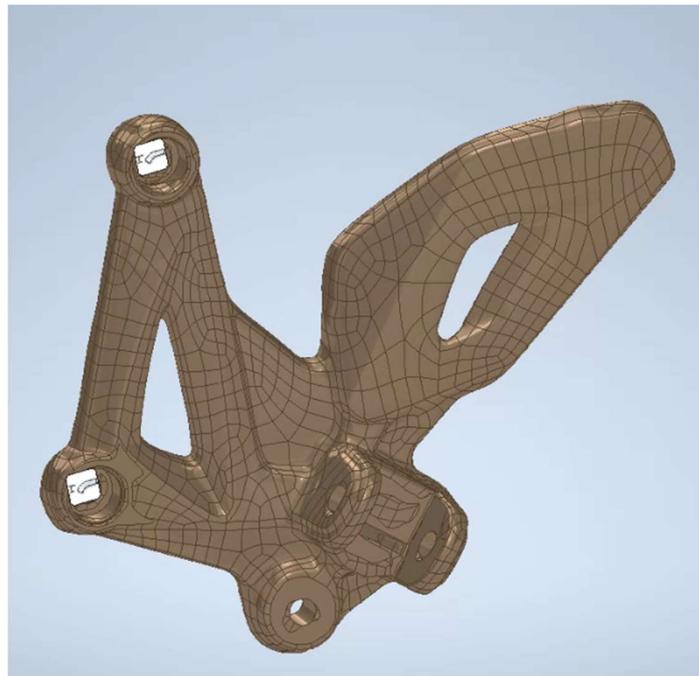


Imagen 27. Restricciones fijas en plano del software.
(Fuente propia, 2023).

Luego de esto se ubican las fuerzas obtenidas en los cálculos anteriores para realizar la simulación.

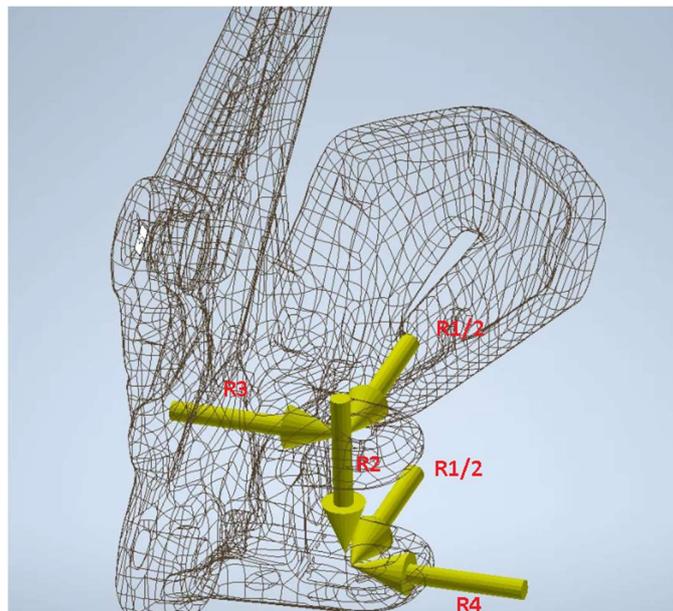


Imagen 28. Fuerzas aplicadas para el análisis sistemático.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

5. Cálculo de fuerzas en distintos casos

Se calculan las reacciones y las fuerzas que actúan sobre el soporte reposapiés, bajo tres condiciones de peso diferentes las cuales son base para el análisis efectuado a las posibles reacciones del elemento a diferentes escenarios.

Tabla 8. Información del análisis.
(Fuente propia, 2023).

Condición	Caso 1 ¹	Caso 2 ²	Caso 3 ³
Peso (kg)	70,00	100,00	130,00
Fuerzas aplicadas			
F (N)	686,70	981,00	1275,30
R1 (N)	343,35	490,50	637,65
R2 (N)	594,70	849,57	1104,44
MA (Nm)	29,73	42,48	55,22
R3 (N)	964,80	1378,28	1791,76
R4 (N)	964,80	1378,28	1791,76

¹Condiciones calculadas según el peso promedio de una persona. Ésta es la condición más probable que ocurra en el soporte reposapiés izquierdo del piloto.

²Son las condiciones calculadas, para un peso en el punto medio entre el caso 1 y caso 3.

³Condiciones calculadas según el peso para el cual está diseñada la motocicleta. Este es el peso del piloto y copiloto. Es poco probable que se concentre toda esta carga sólo en el reposapiés del piloto.

Para las simulaciones y optimización topológica se trabajará con los valores del caso 1, que son las condiciones promedio y más probables, pero no se desconoce que los valores obtenidos por dichas simulaciones también están en el rango de trabajo del caso 2 y 3. Los casos 2 y 3 sirven como datos comparativos para determinar la validez de las condiciones de simulación.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 2. Informe de análisis de tensión del Soporte Reposapiés 1



Archivo analizado:	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2023 (Build 270158000, 158)
Fecha de creación:	25/05/2023, 6:22 p. m.
Autor del estudio:	asmed
Resumen:	

Análisis estático 1: Caso 1

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/05/2023, 9:57 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Resumen

Autor	asmed
-------	-------

Proyecto

Nº de pieza	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1
Diseñador	asmed
Coste	\$ 0,00

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Estado

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,359641 kg
Área	43541,7 mm ²
Volumen	132709 mm ³
Centro de gravedad	x=-54,259 mm y=12,7398 mm z=49,7039 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	343,550 N
Vector X	343,550 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

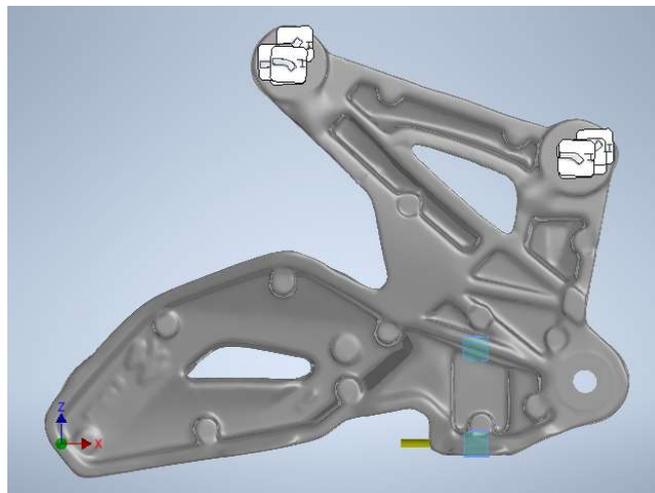


Imagen 29. Fuerza 1 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

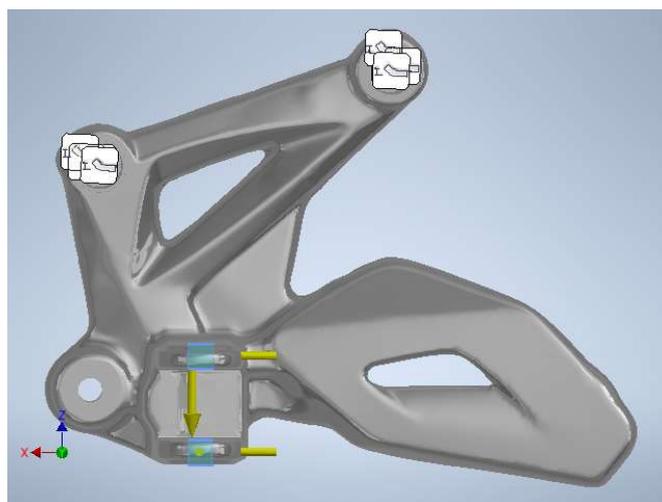


Imagen 30. Fuerza 1 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	594,700 N
Vector X	2,289 N
Vector Y	-29,982 N
Vector Z	-593,939 N

Cara(s) seleccionada(s)

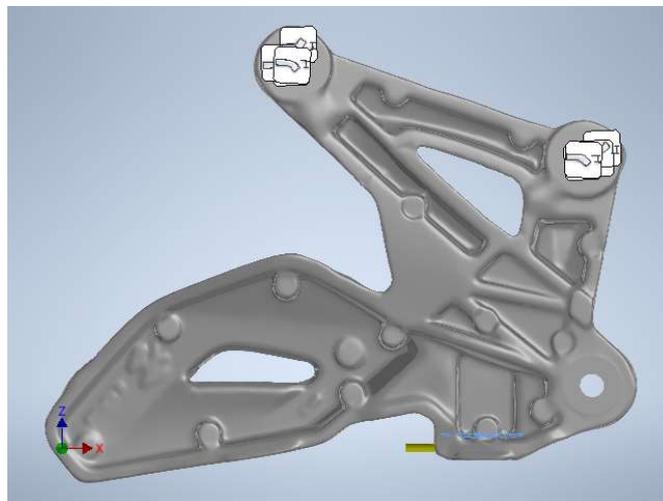


Imagen 31. Fuerza 2 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

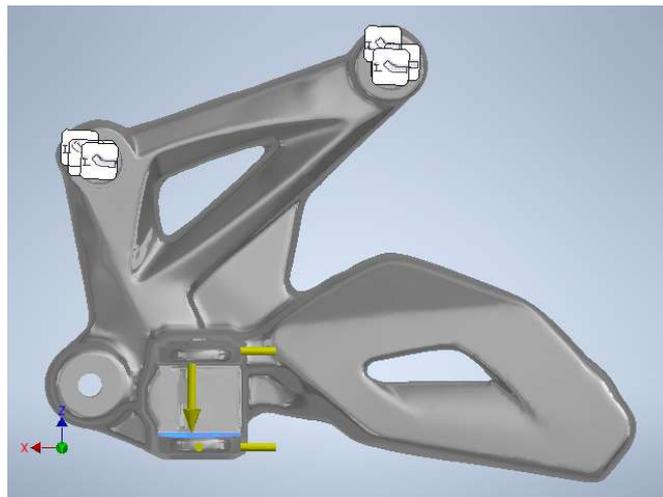


Imagen 32. Fuerza 2 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	964,800 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	964,800 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

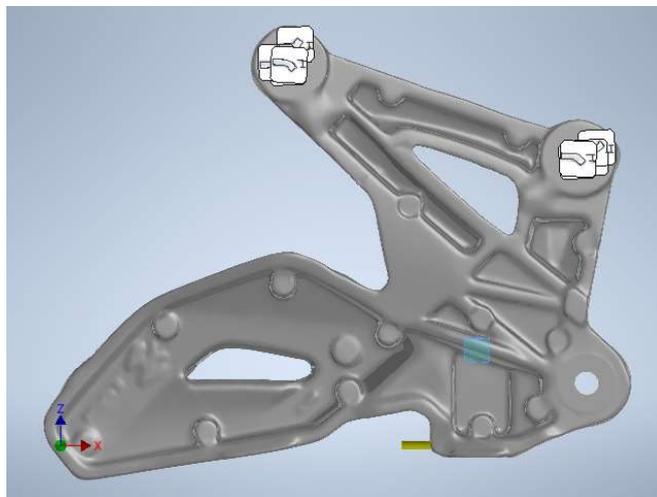


Imagen 33. Fuerza 3 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

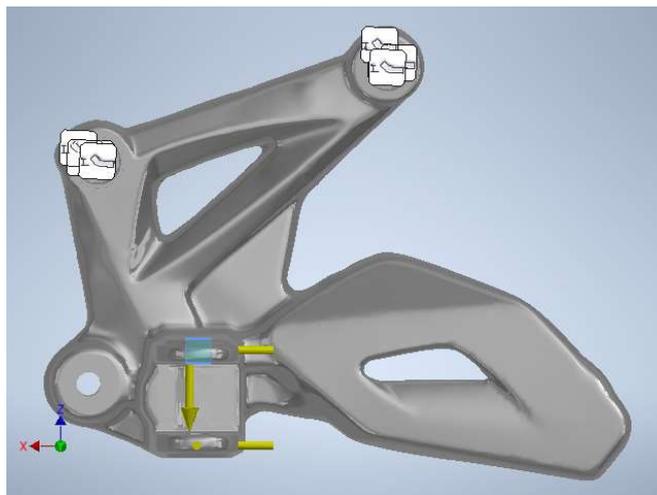


Imagen 34. Fuerza 3 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	964,800 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-964,800 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

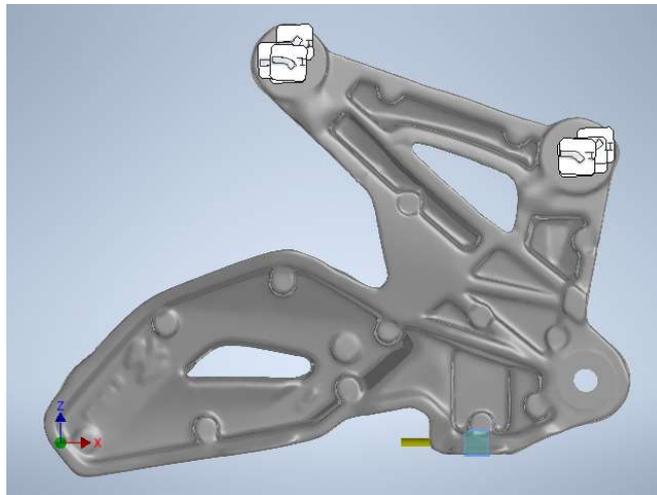


Imagen 35. Fuerza 4 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

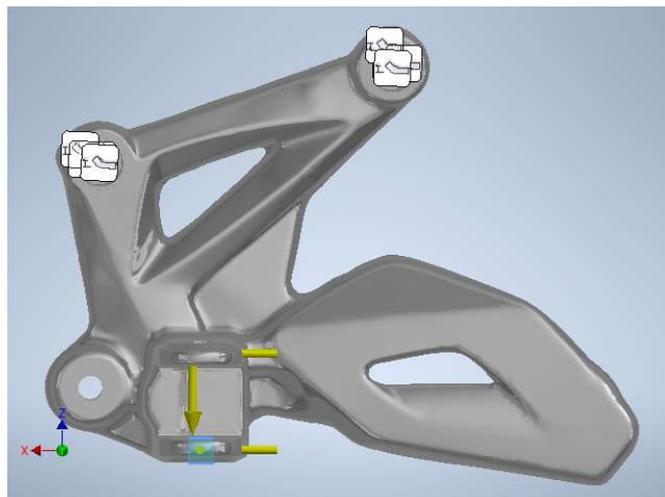


Imagen 36. Fuerza 4 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

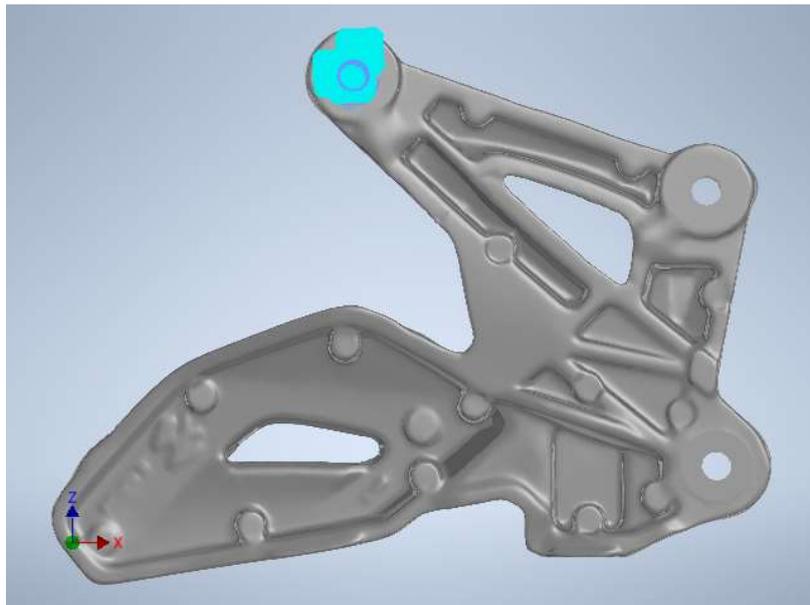


Imagen 37. Restricción fija 1 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

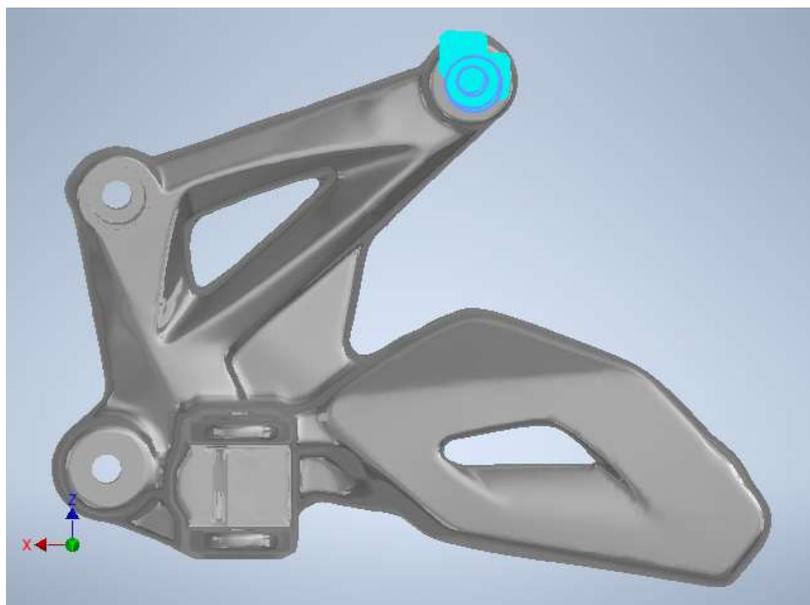


Imagen 38. Restricción fija 1 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:2

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

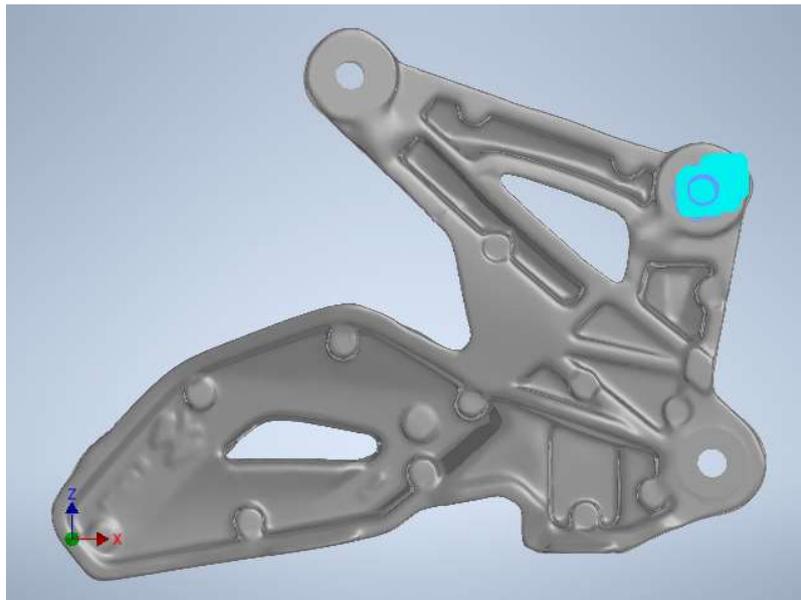


Imagen 39. Restricción fija 2 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

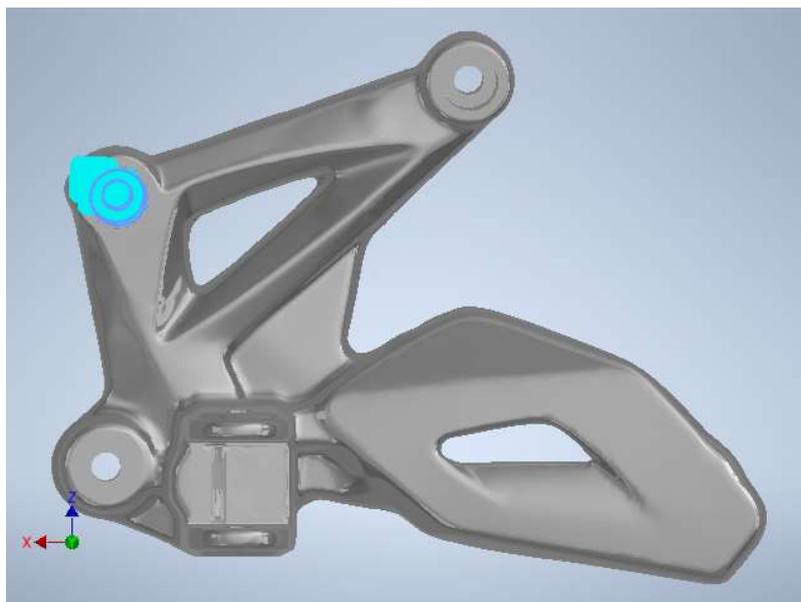


Imagen 40. Restricción fija 2 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	614,601 N	-212,784 N	8,69739 N m	-1,39099 N m
		-207,226 N		-6,99468 N m
		538,065 N		-4,97836 N m
Restricción fija:2	277,64 N	-133,026 N	43,0248 N m	41,4773 N m
		237,209 N		8,87797 N m
		55,8561 N		-7,20788 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	132709 mm ³	
Masa	0,359642 kg	
Tensión de Von Mises	0,0000308173 MPa	303,269 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,873144 mm
Coficiente de seguridad	0,527585 su	15 su
Deformación equivalente	0,000000000415027 su	0,00400472 su

Imágenes

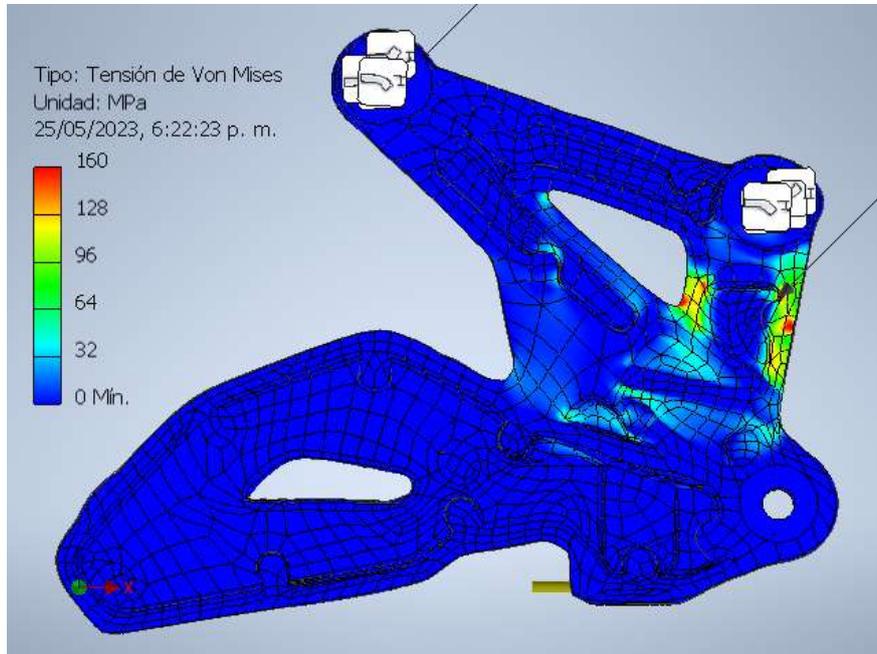


Imagen 41. Tensión de Von Mises en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

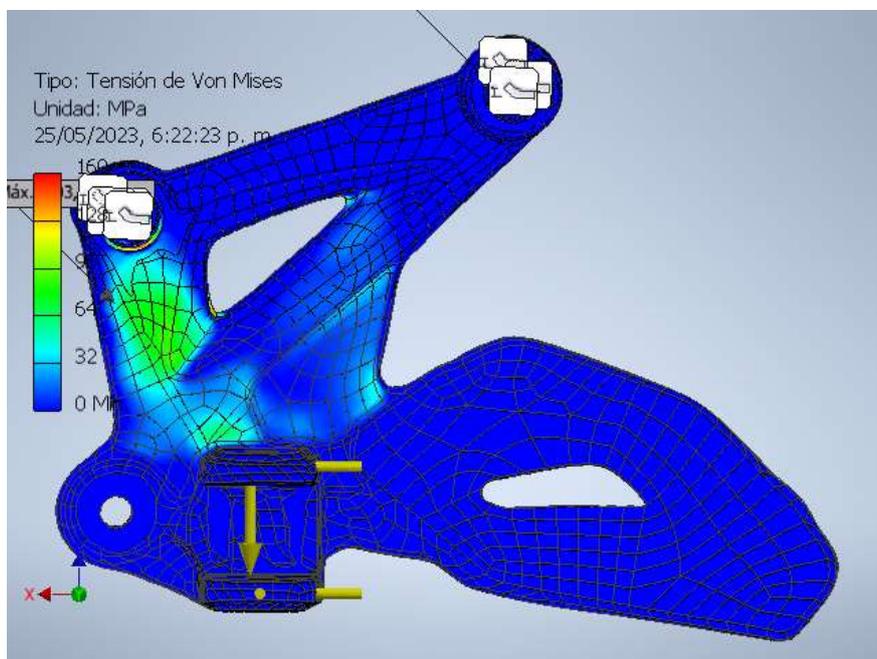


Imagen 42. Tensión de Von Mises en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

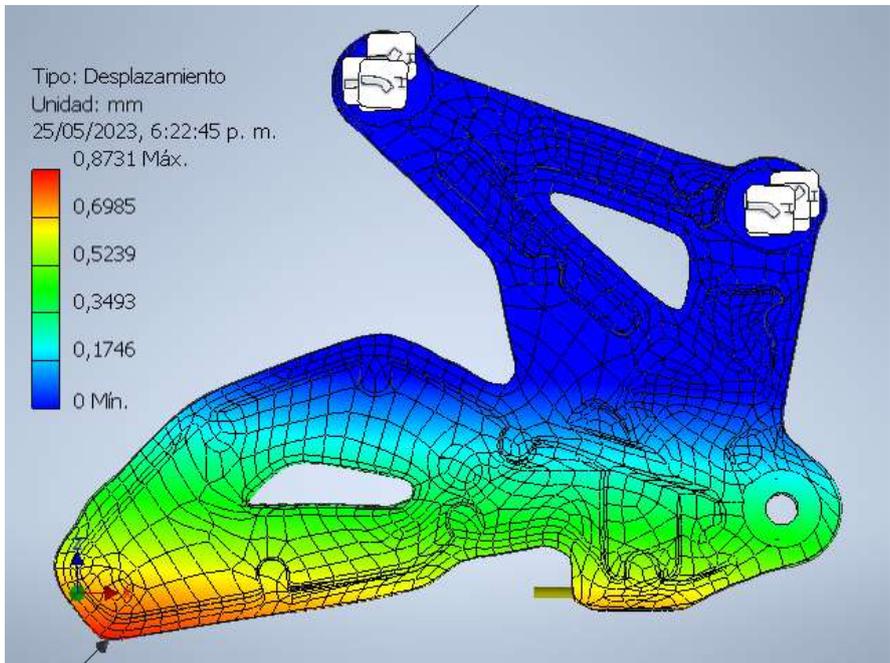


Imagen 43. Desplazamiento en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

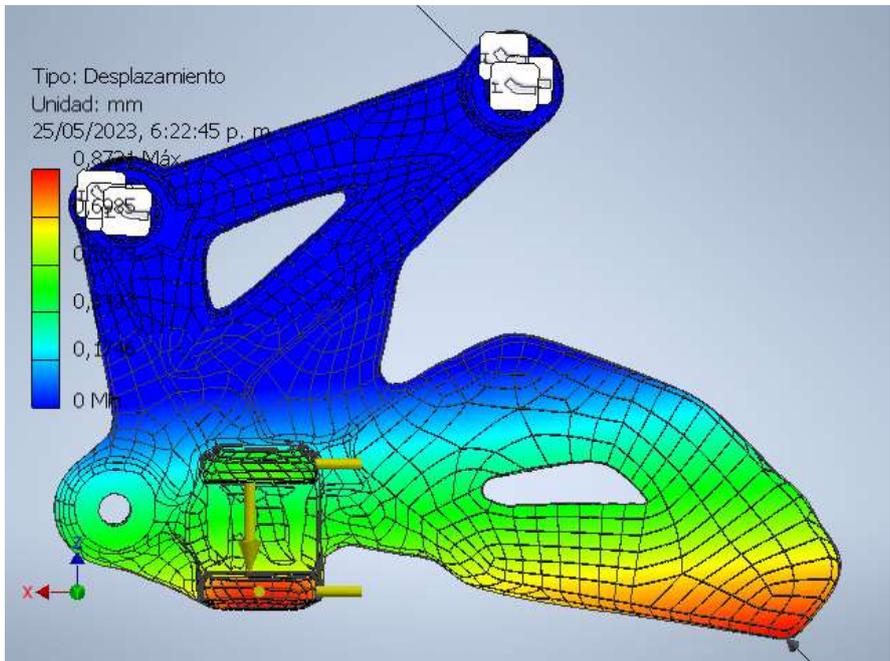
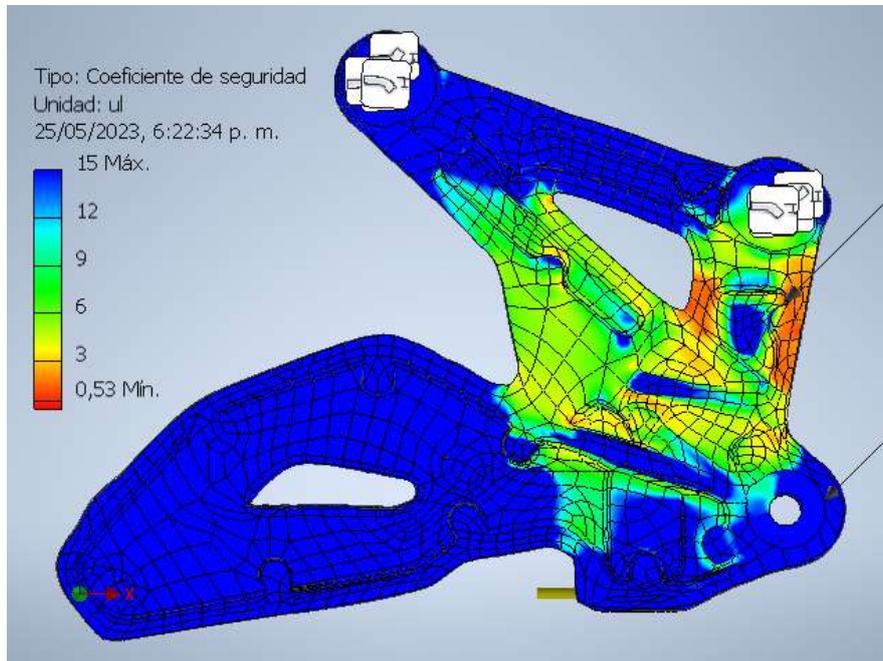
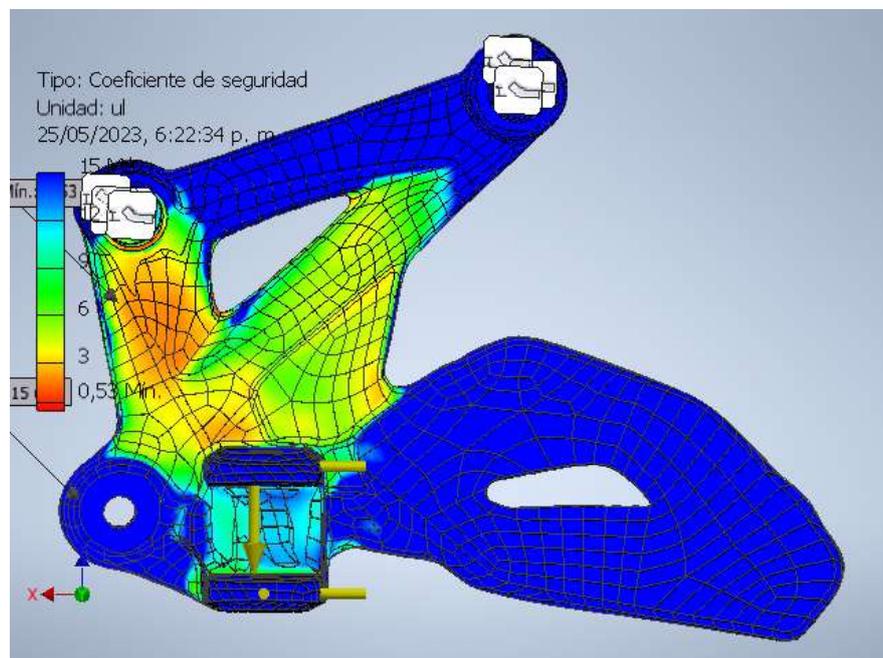


Imagen 44. Desplazamiento en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).



*Imagen 45. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).*



*Imagen 46. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).*

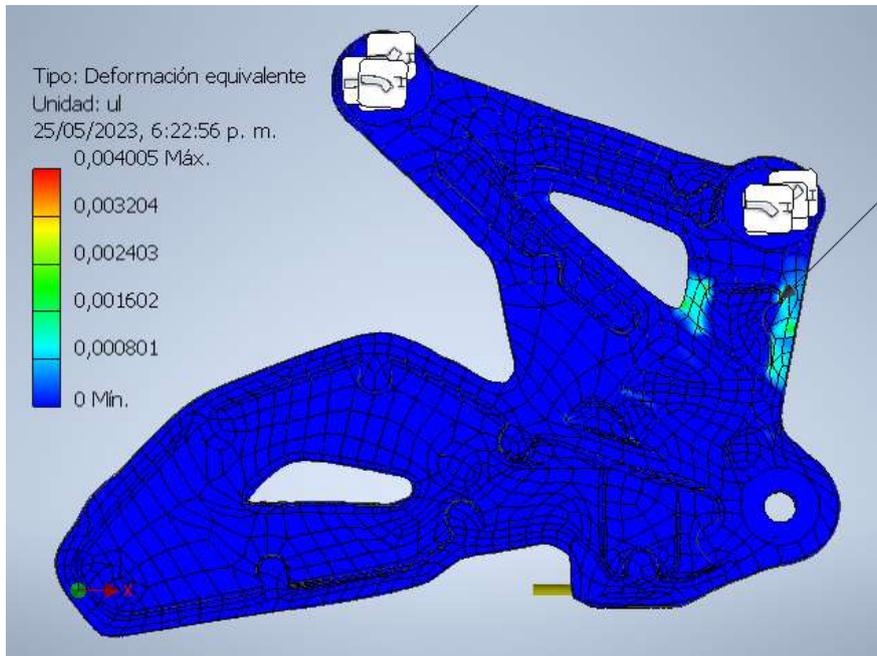


Imagen 47. Deformación equivalente en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023)

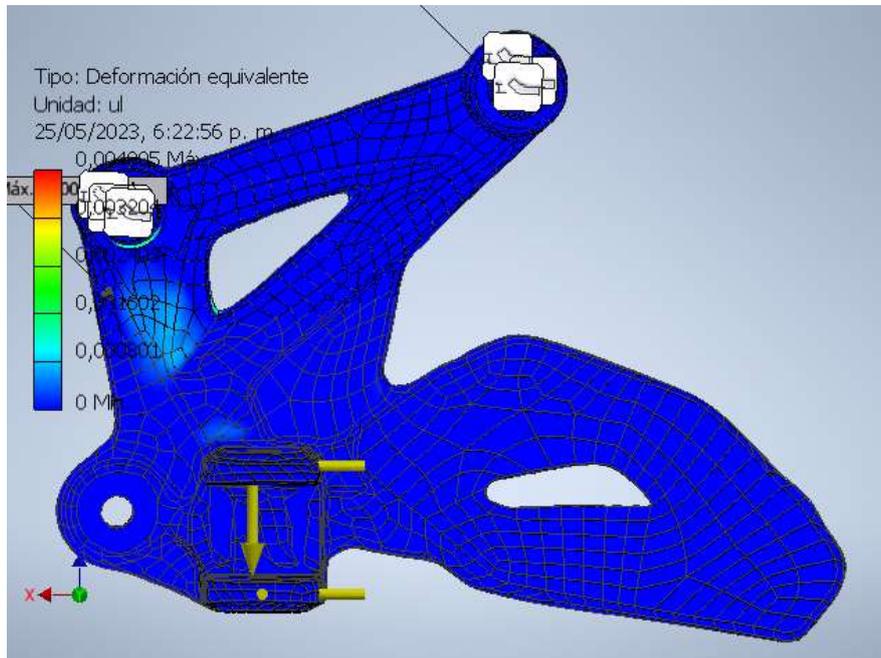


Imagen 48. Deformación equivalente en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Análisis estático 2: Caso 2

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/05/2023, 10:19 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Resumen

Autor	asmed
-------	-------

Proyecto

Nº de pieza	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1
Diseñador	asmed
Coste	\$ 0,00

Estado

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,359641 kg
Área	43541,7 mm ²
Volumen	132709 mm ³
Centro de gravedad	x=-54,259 mm y=12,7398 mm z=49,7039 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	490,500 N
Vector X	490,500 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

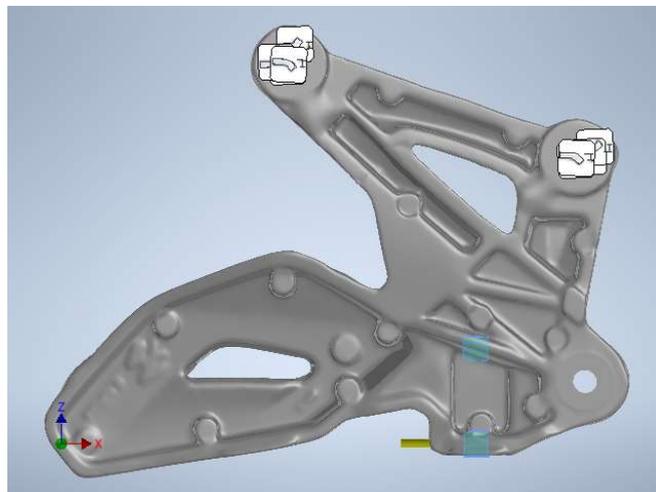


Imagen 49. Fuerza 1 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

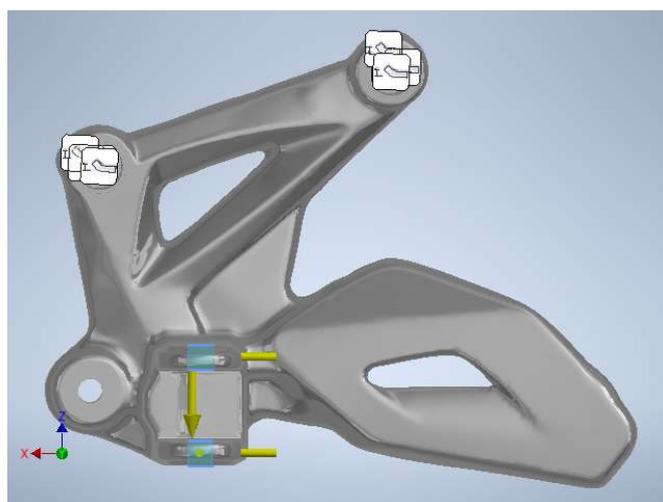


Imagen 50. Fuerza 1 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	849,570 N
Vector X	3,270 N
Vector Y	-42,831 N
Vector Z	-848,483 N

Cara(s) seleccionada(s)

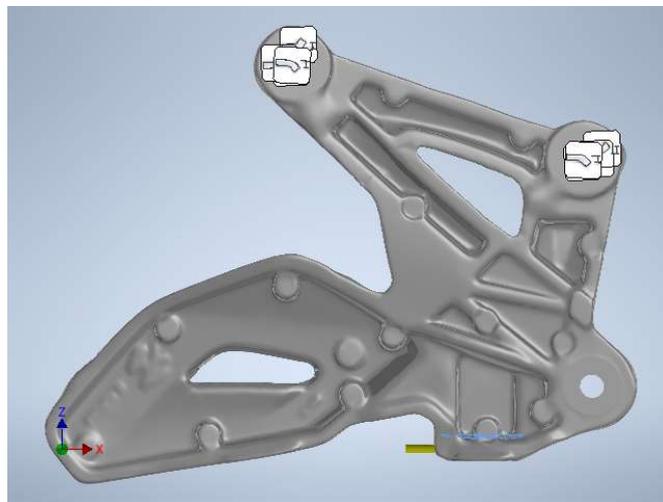


Imagen 51. Fuerza 2 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

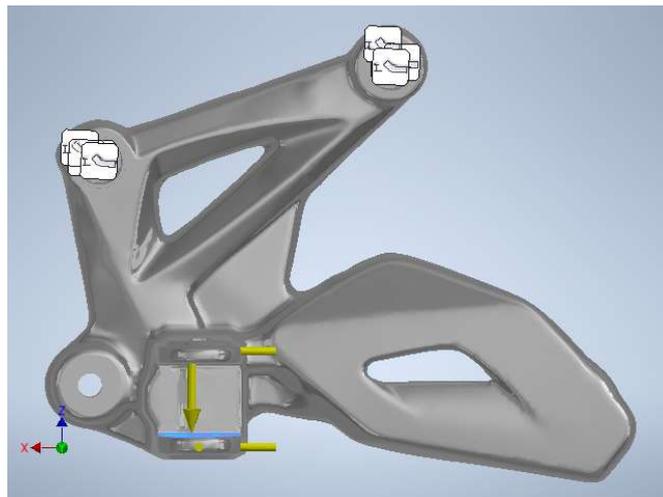


Imagen 52. Fuerza 2 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1378,280 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	1378,280 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

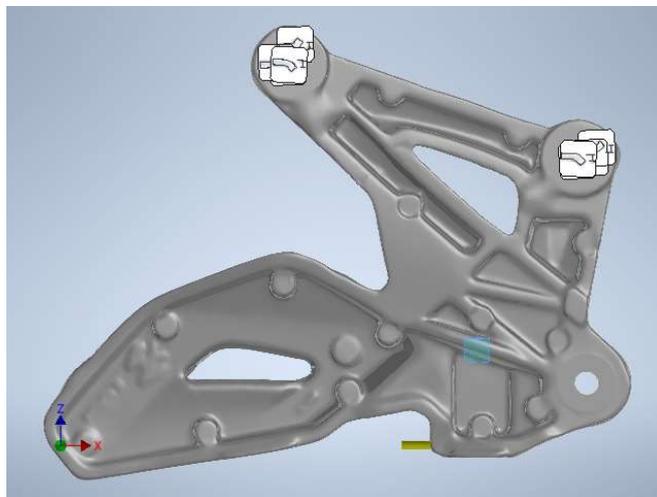


Imagen 53. Fuerza 3 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

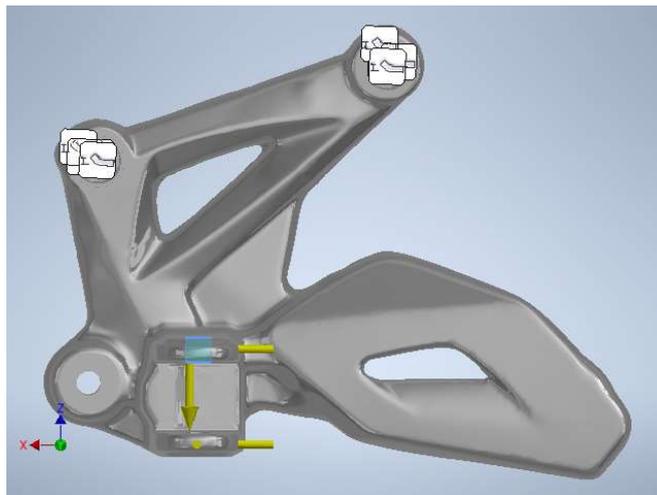
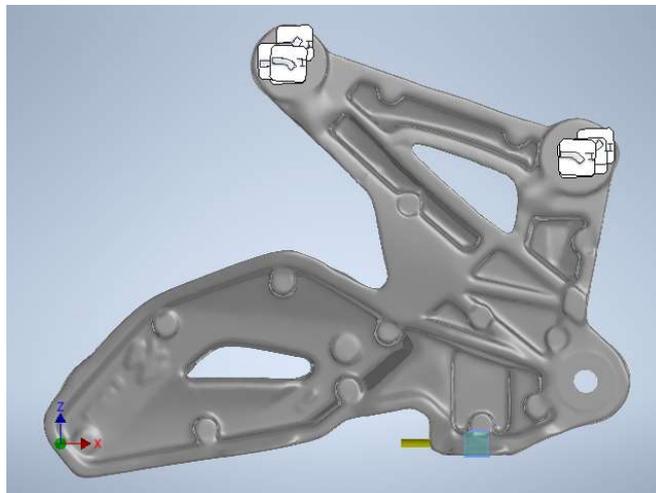


Imagen 54. Fuerza 3 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

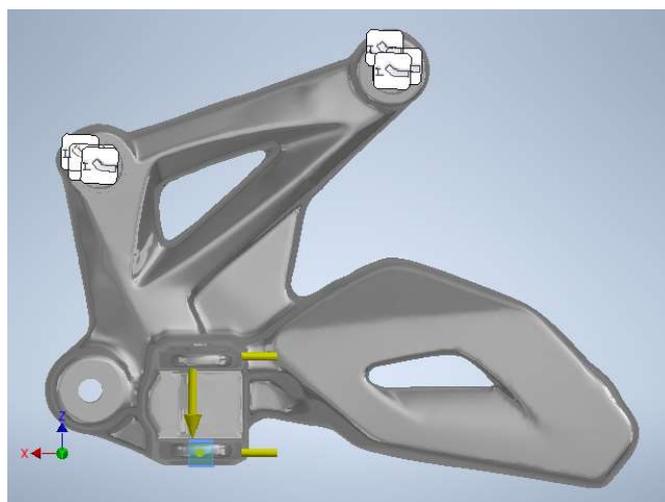
Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1378,280 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1378,280 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)



*Imagen 55. Fuerza 4 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).*



*Imagen 56. Fuerza 4 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

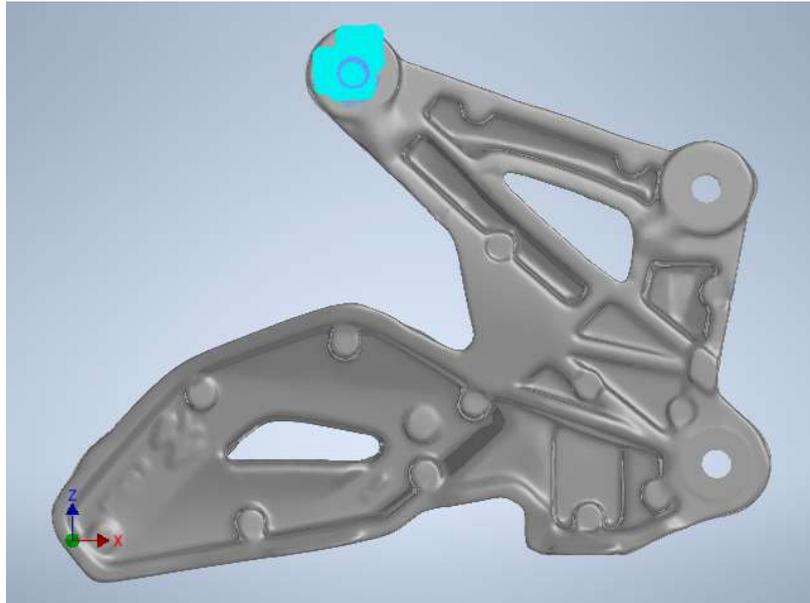


Imagen 57. Restricción fija 1 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

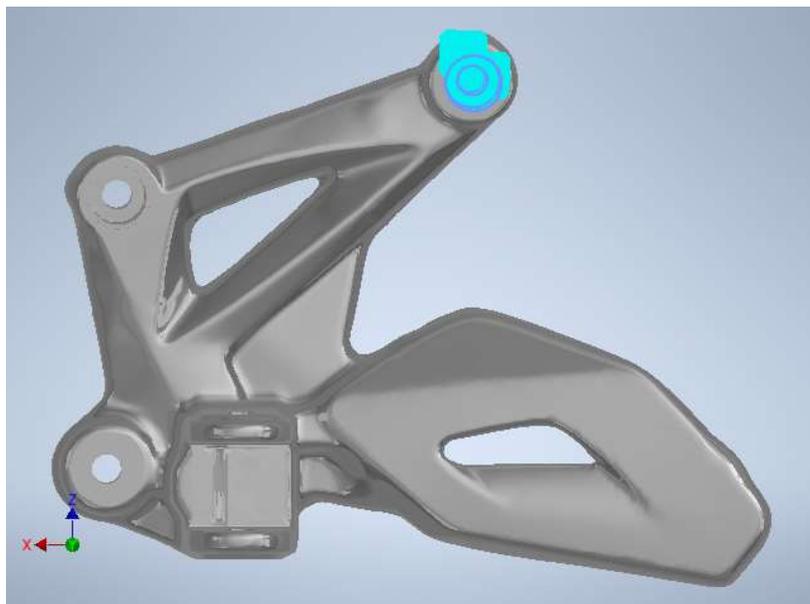


Imagen 58. Restricción fija 1 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:2

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

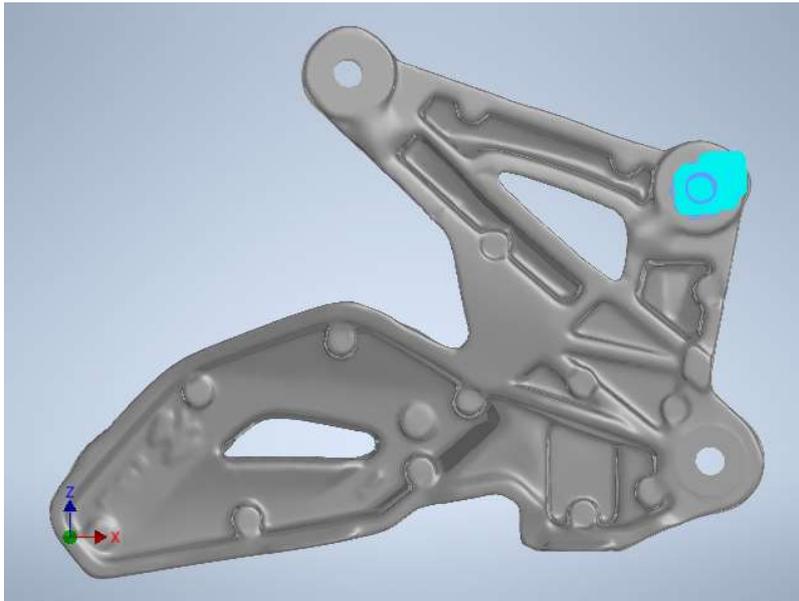


Imagen 59. Restricción fija 2 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

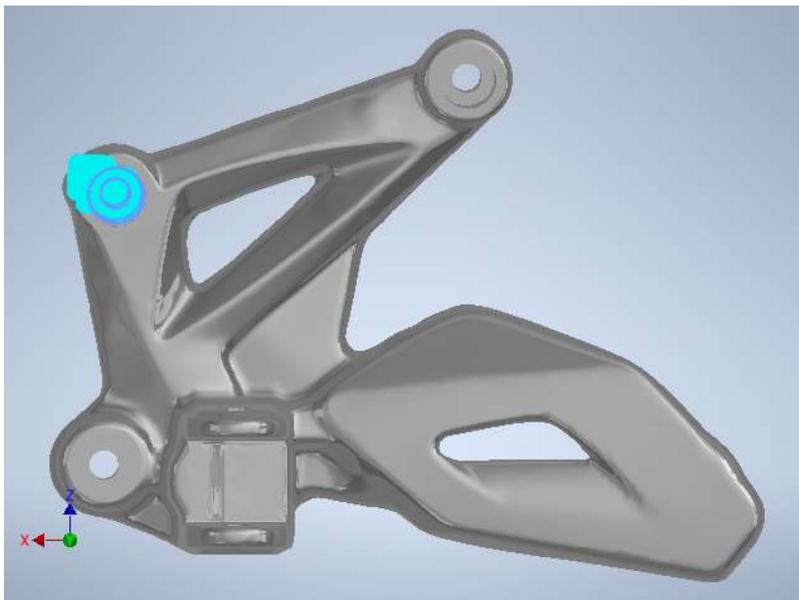


Imagen 60. Restricción fija 2 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	877,723 N	-303,852 N	12,4221 N m	-1,98389 N m
		-295,974 N		-9,99069 N m
		768,422 N		-7,11052 N m
Restricción fija:2	396,547 N	-189,878 N	61,4617 N m	59,2515 N m
		338,808 N		12,6779 N m
		80,0345 N		-10,2992 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	132709 mm ³	
Masa	0,359642 kg	
Tensión de Von Mises	0,0000440088 MPa	433,942 MPa
Desplazamiento	0 mm	1,24751 mm
Coefficiente de seguridad	0,368713 su	15 su
Deformación equivalente	0,00000000059269 su	0,00572797 su

Imágenes

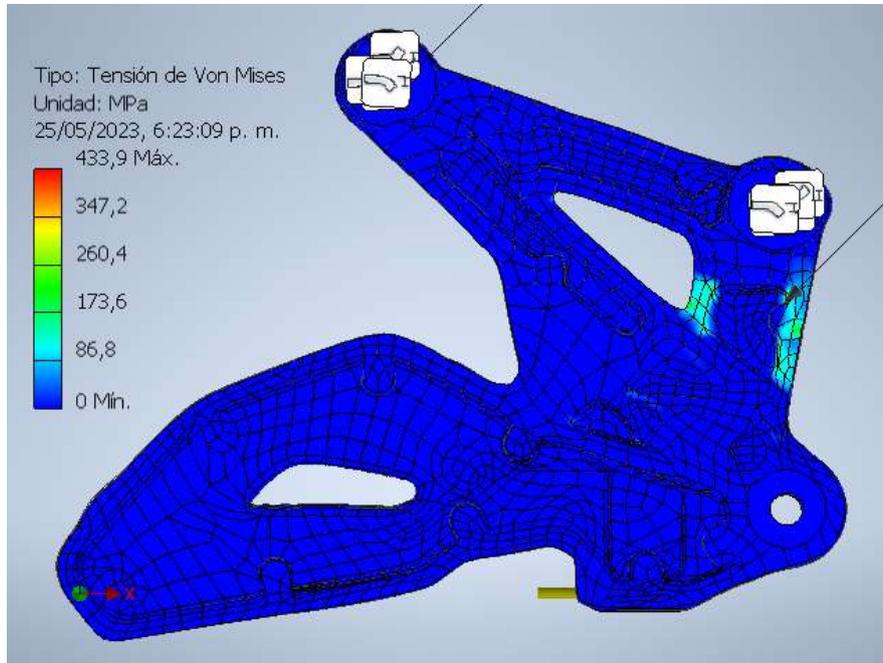


Imagen 61. Tensión de Von Mises en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

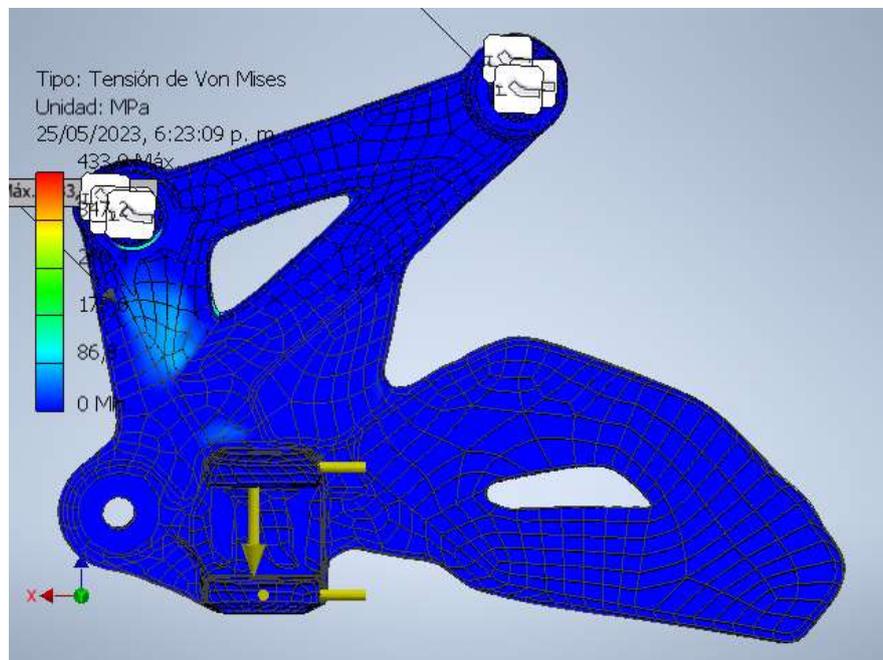


Imagen 62. Tensión de Von Mises en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

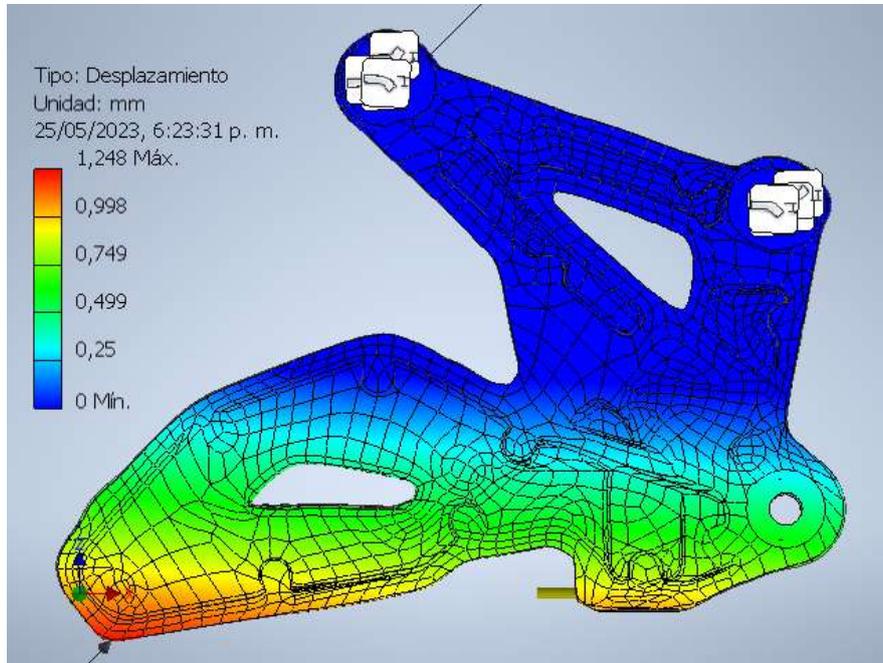


Imagen 63. Desplazamiento en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

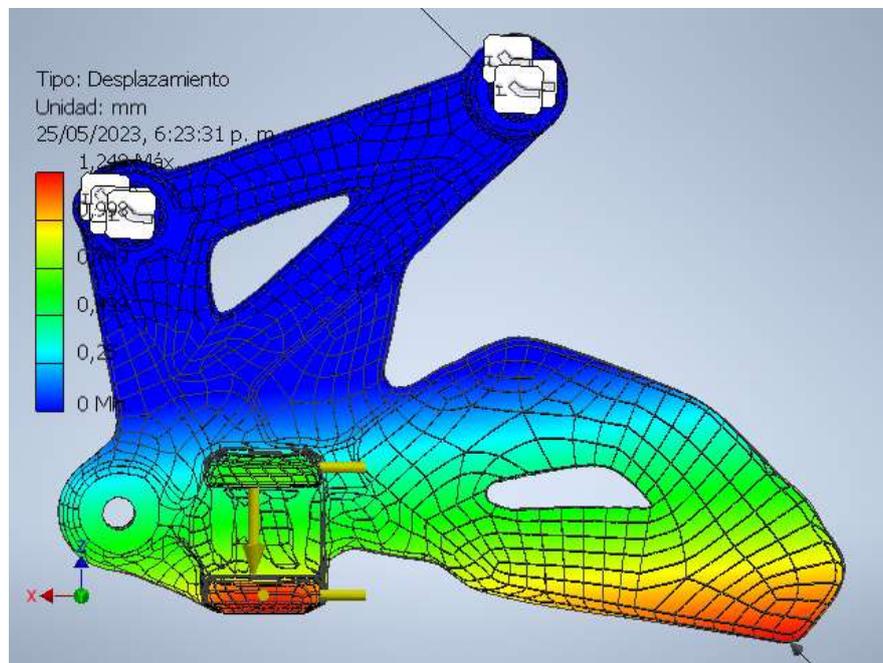


Imagen 64. Desplazamiento en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

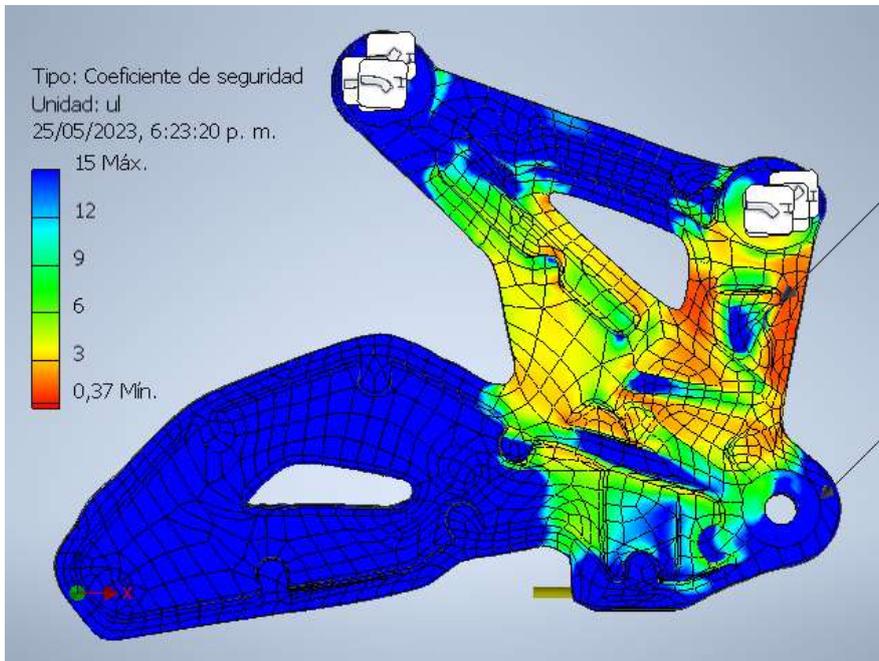


Imagen 65. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 2, vista frontal.
 (Fuente propia, 2023).

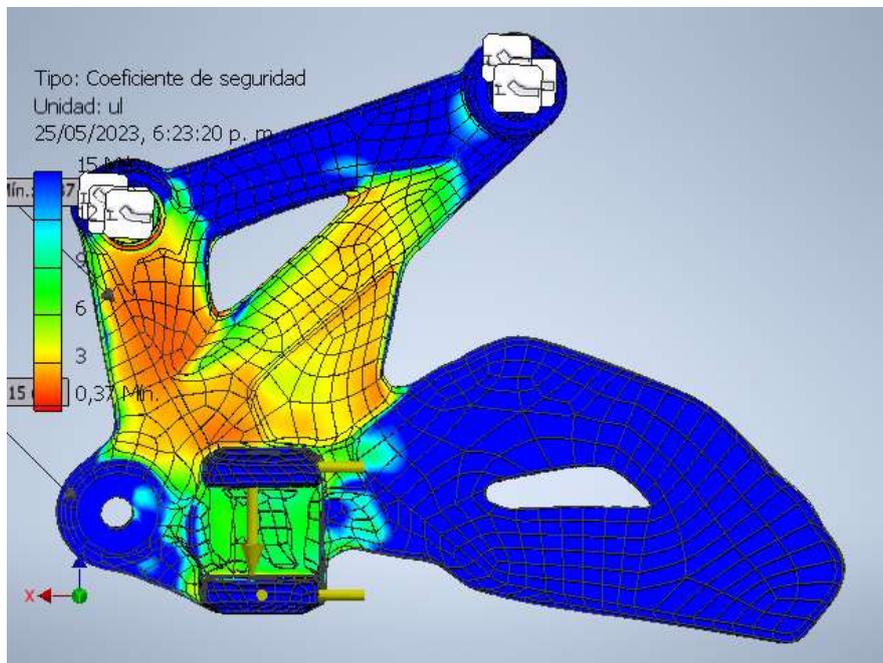


Imagen 66. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 2, vista frontal.
 (Fuente propia, 2023).

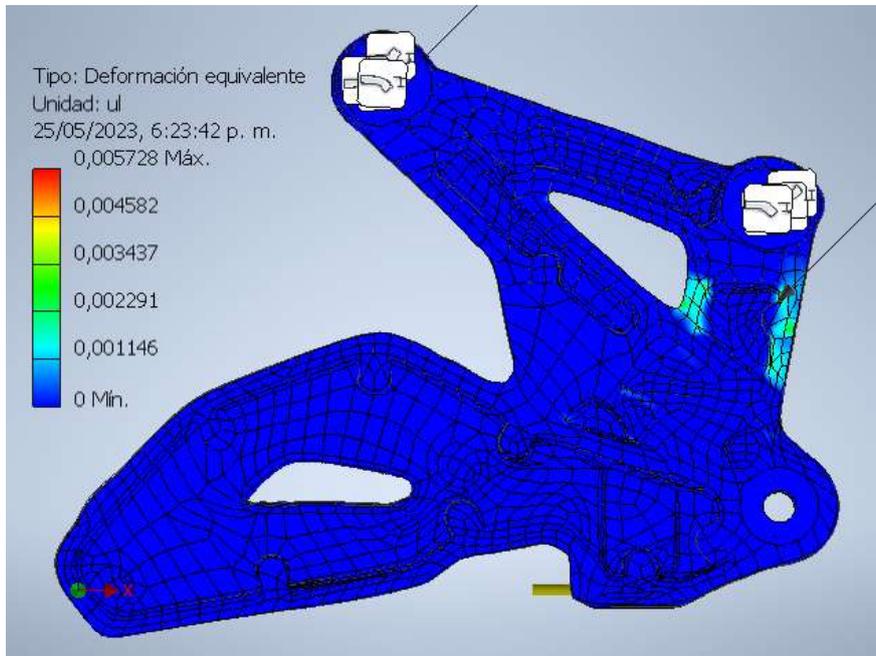


Imagen 67. Deformación equivalente en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

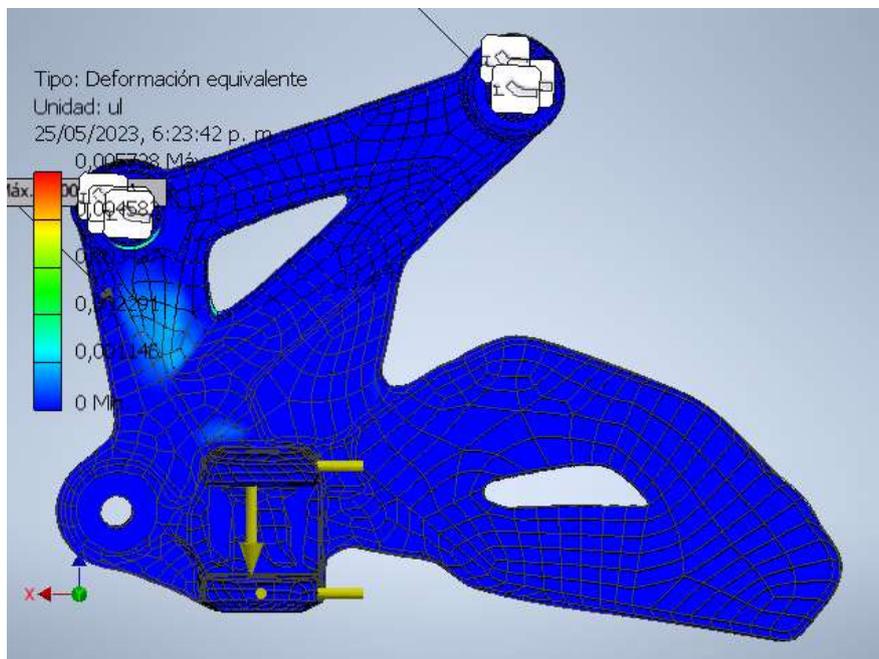


Imagen 68. Deformación equivalente en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Análisis estático 3: Caso 3

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/05/2023, 9:57 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Resumen

Autor	Asmed
-------	-------

Proyecto

Nº de pieza	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1
Diseñador	asmed
Coste	\$ 0,00

Estado

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,359641 kg
Área	43541,7 mm ²
Volumen	132709 mm ³
Centro de gravedad	x=-54,259 mm y=12,7398 mm z=49,7039 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230510_Soporte_Reposapie_1_V1.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	637,650 N
Vector X	637,650 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

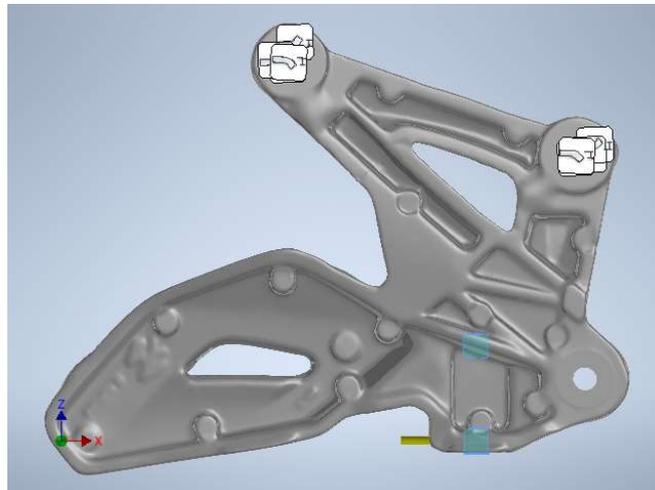


Imagen 69. Fuerza 1 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

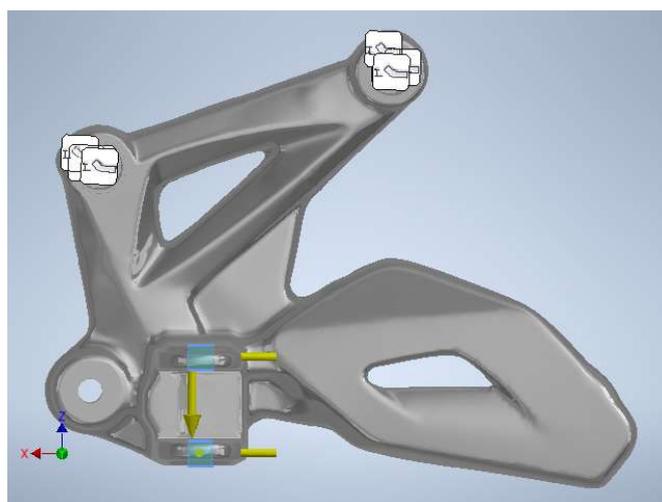


Imagen 70. Fuerza 1 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1104,440 N
Vector X	4,251 N
Vector Y	-55,680 N
Vector Z	-1103,027 N

Cara(s) seleccionada(s)

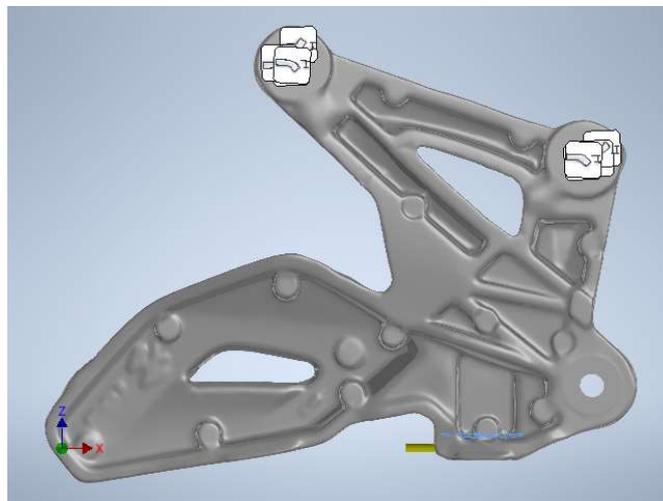


Imagen 71. Fuerza 2 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

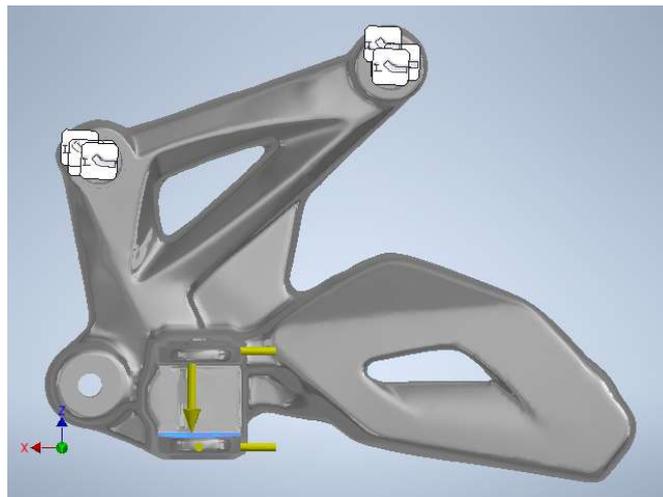


Imagen 72. Fuerza 2 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1791,760 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	1791,760 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

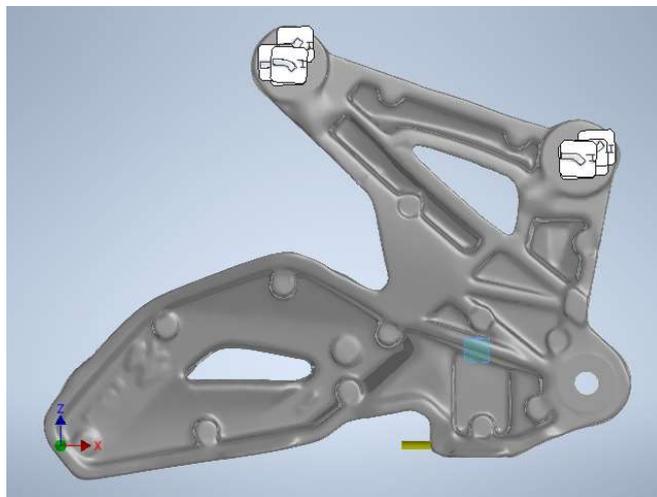


Imagen 73. Fuerza 3 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

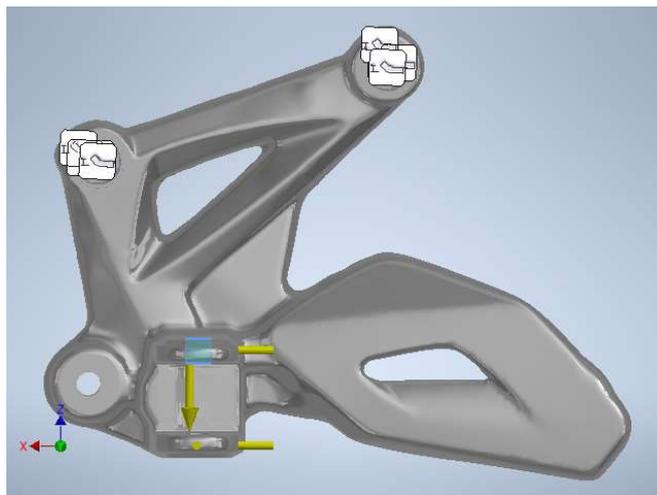


Imagen 74. Fuerza 3 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1791,760 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-1791,760 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

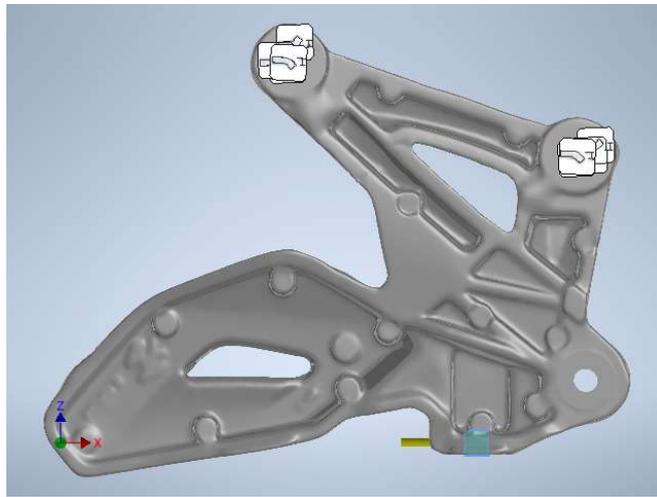


Imagen 75. Fuerza 4 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

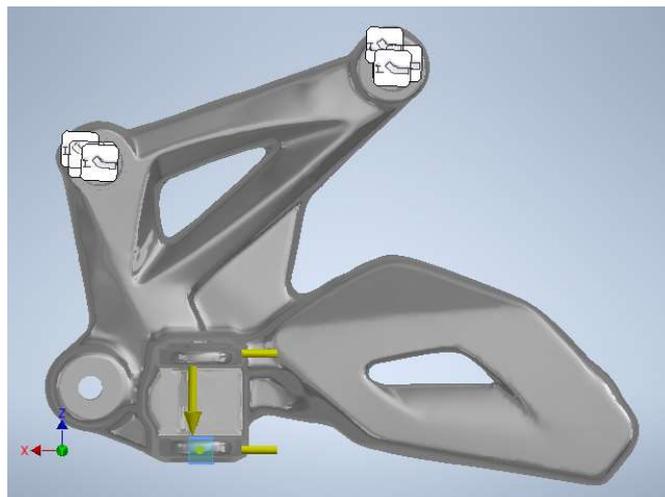


Imagen 76. Fuerza 4 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

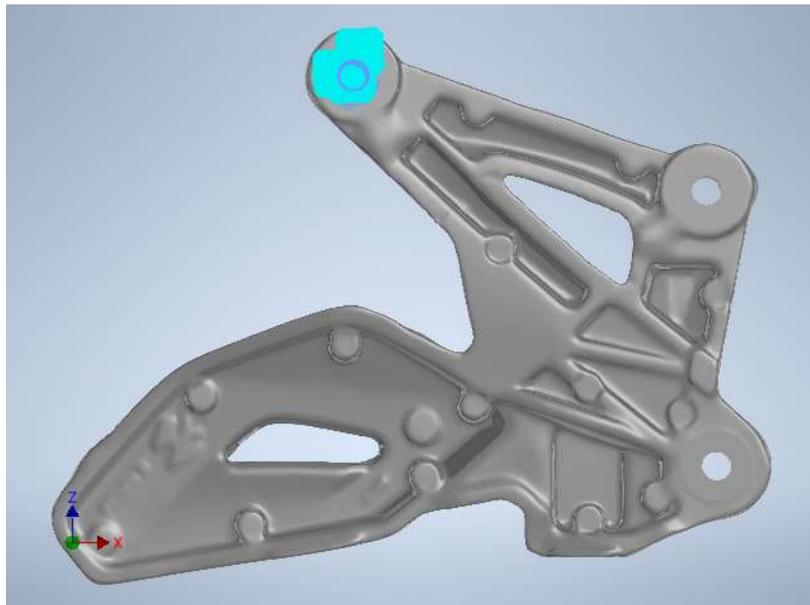


Imagen 77. Restricción fija 1 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

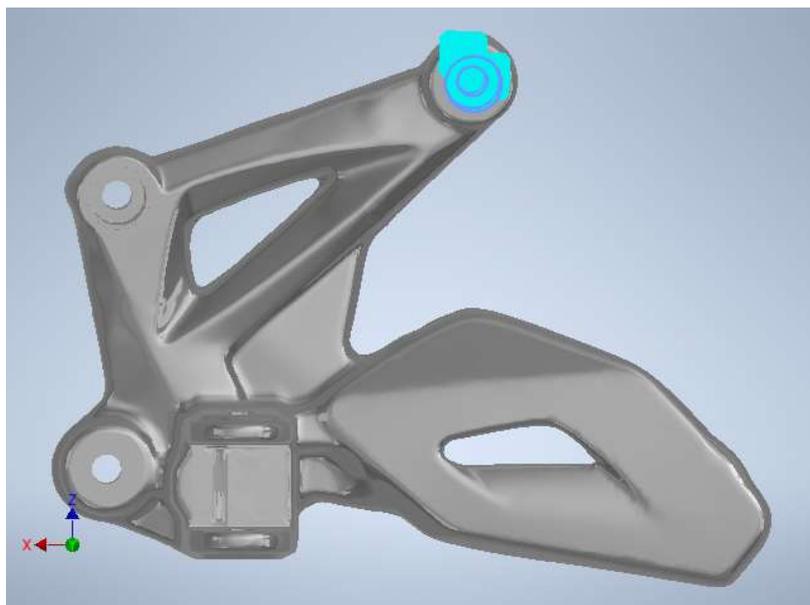


Imagen 78. Restricción fija 1 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:2

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

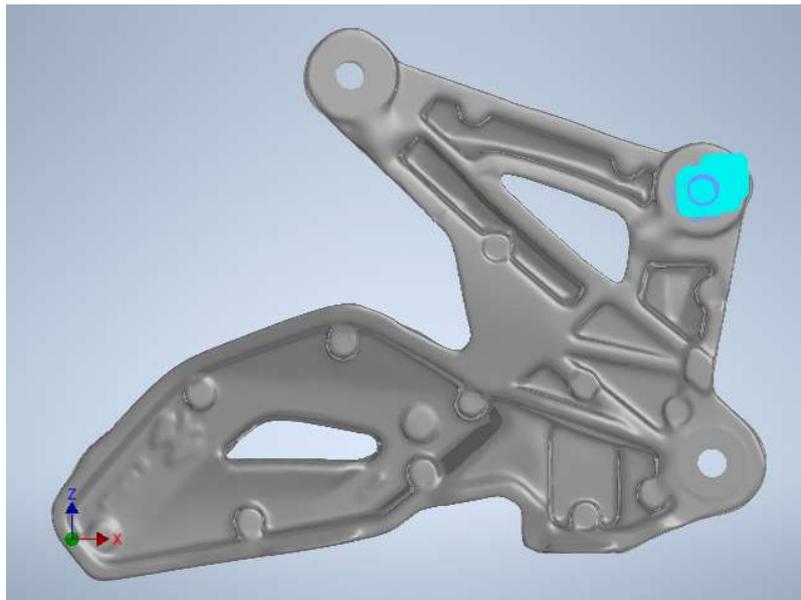


Imagen 79. Restricción fija 2 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

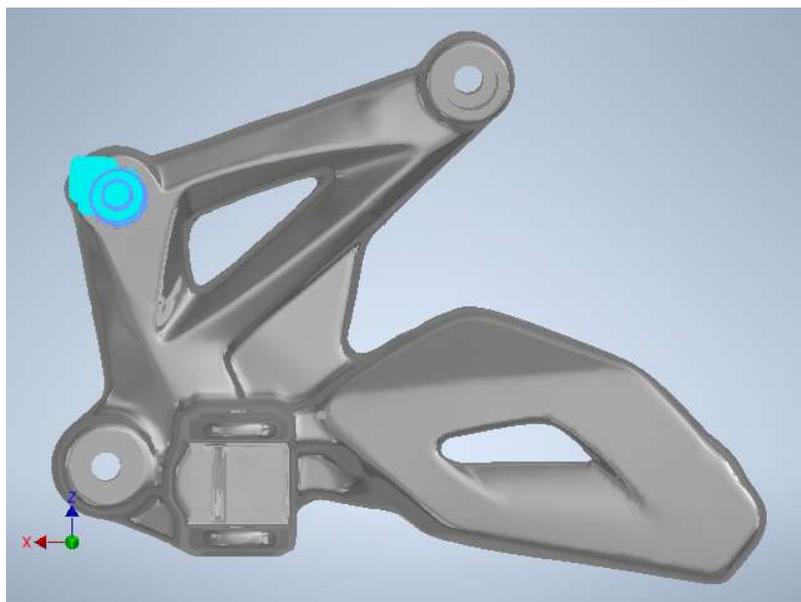


Imagen 80. Restricción fija 2 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	1141,04 N	-395,007 N	16,1488 N m	-2,57907 N m
		-384,766 N		-12,9879 N m
		998,947 N		-9,24366 N m
Restricción fija:2	515,512 N	-246,842 N	79,9001 N m	77,0269 N m
		440,45 N		16,4812 N m
		104,044 N		-13,3889 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	132709 mm ³	
Masa	0,359642 kg	
Tensión de Von Mises	0,0000572114 MPa	563,979 MPa
Desplazamiento	0 mm	1,62175 mm
Coefficiente de seguridad	0,283699 su	15 su
Deformación equivalente	0,000000000770496 su	0,00744494 su

Imágenes

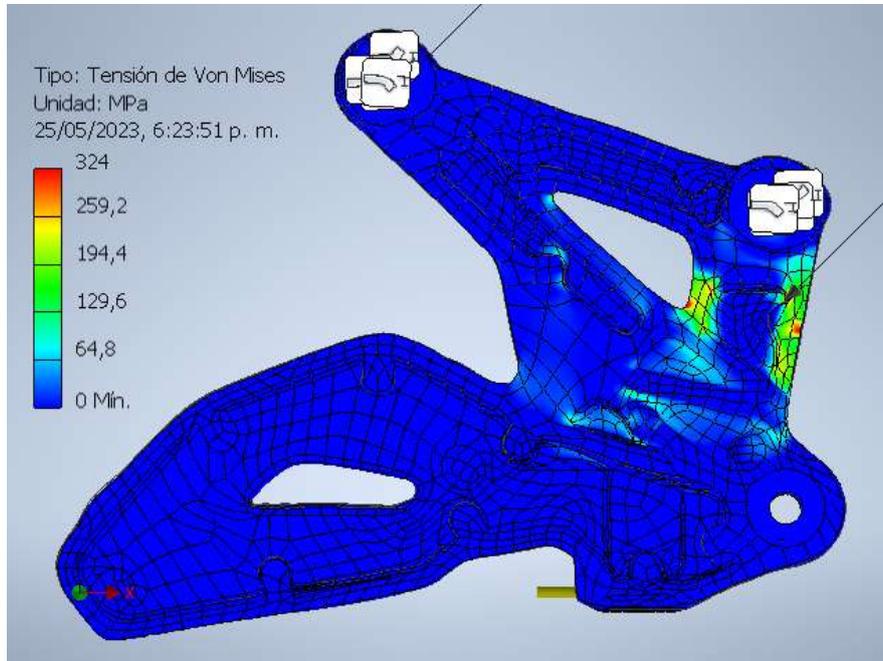


Imagen 81. Tensión de Von Mises en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

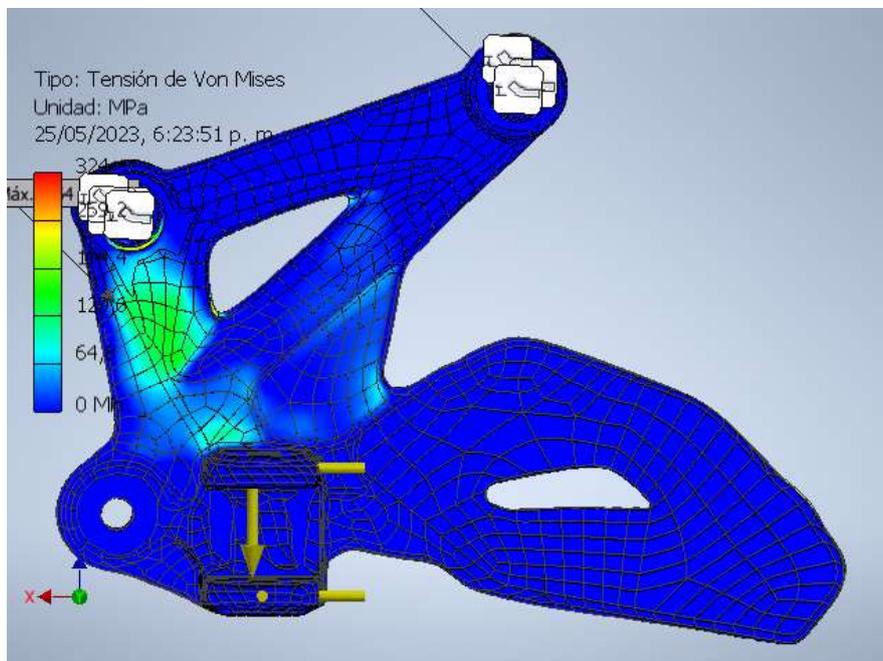


Imagen 82. Tensión de Von Mises en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

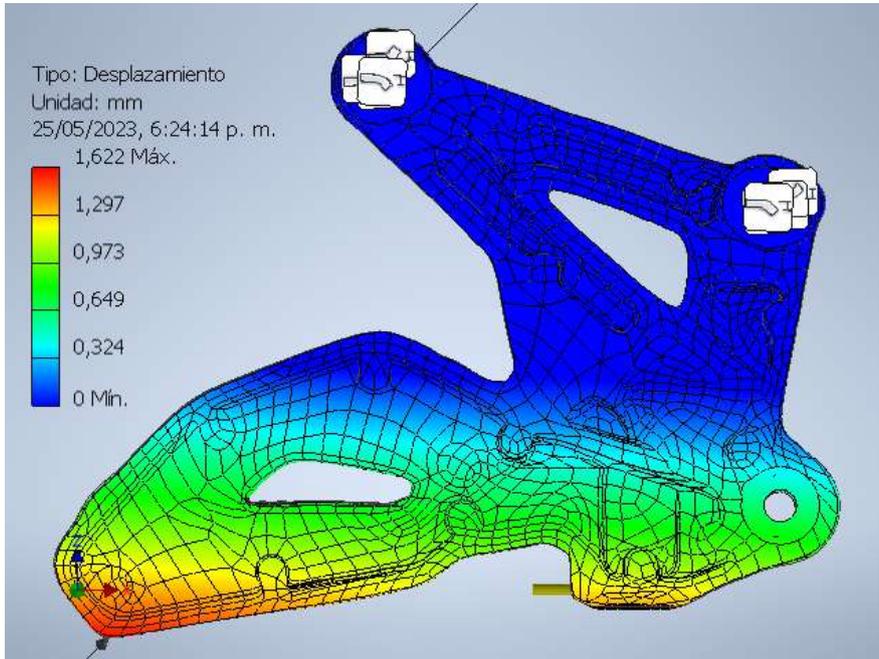


Imagen 83. Desplazamiento en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

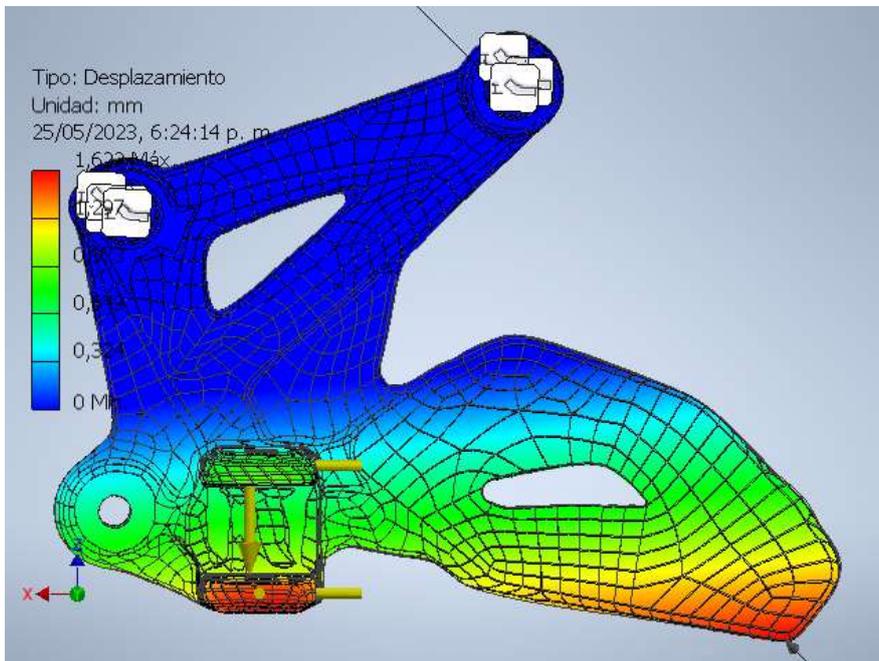


Imagen 84. Desplazamiento en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

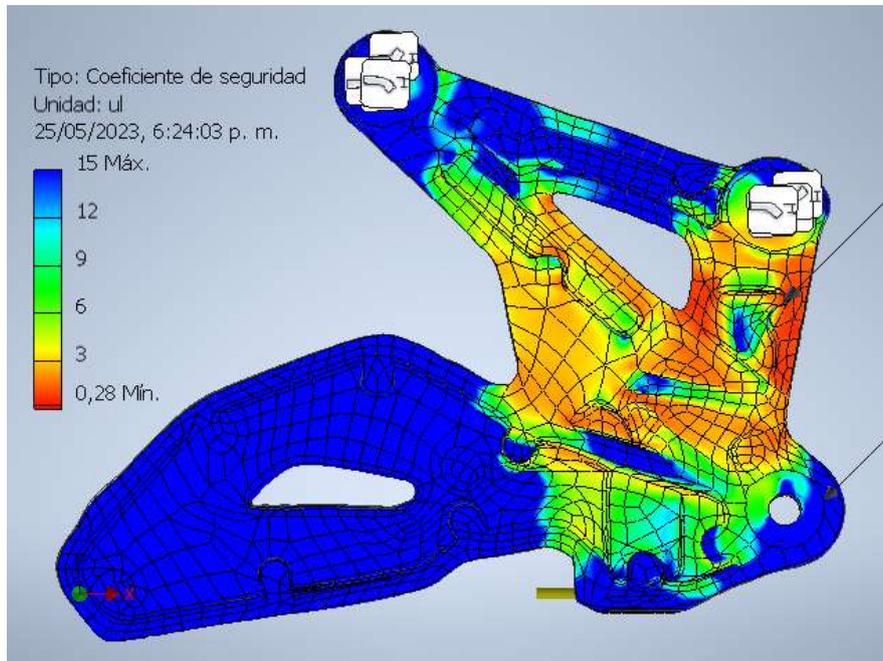


Imagen 85. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

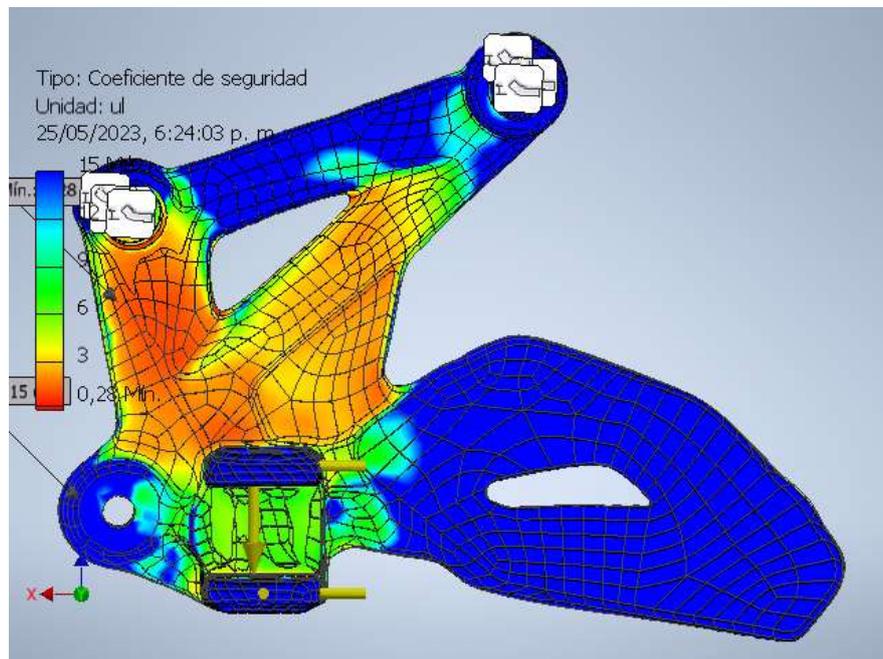


Imagen 86. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

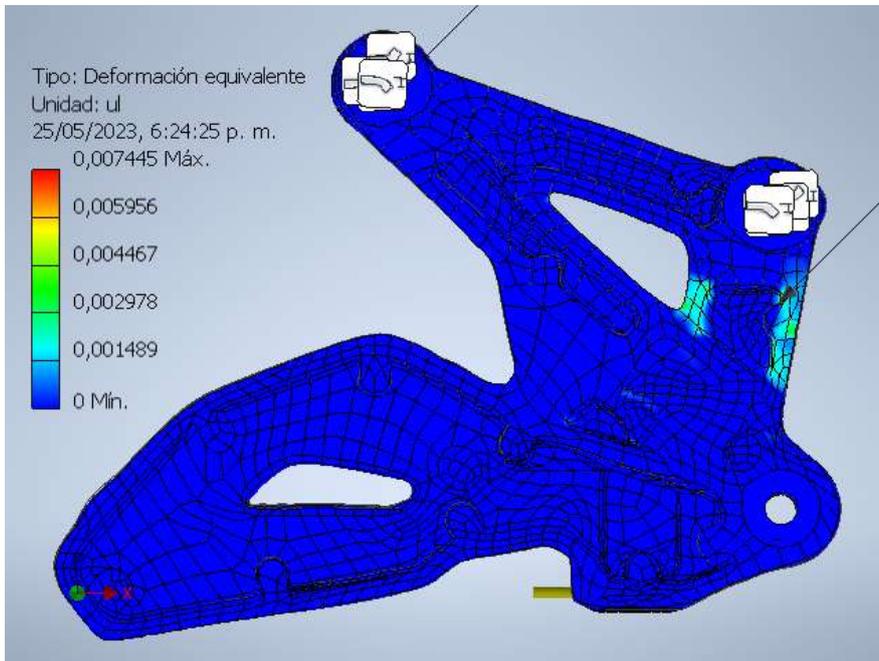


Imagen 87. Deformación equivalente en el análisis estático 3, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023)

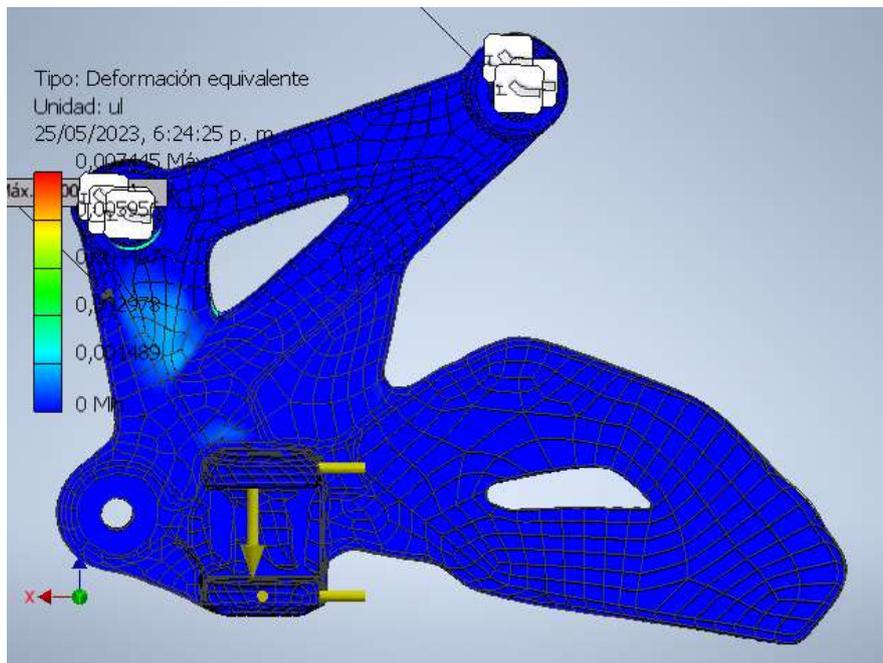


Imagen 88. Deformación equivalente en el análisis estático 1, vista frontal.
 (Fuente propia, 2023)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 3. Informe de análisis de tensión del Soporte Reposapiés 2



Archivo analizado:	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2023 (Build 270158000, 158)
Fecha de creación:	16/05/2023, 10:44 a. m.
Autor del estudio:	asmed
Resumen:	

Análisis estático 1: Caso 1

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/05/2023, 11:22 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Resumen

Autor	asmed
-------	-------

Proyecto

Nº de pieza	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1
Diseñador	asmed
Coste	\$ 0,00

Estado

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,436503 kg
Área	48734,7 mm ²
Volumen	161071 mm ³
Centro de gravedad	x=-8,30639 mm y=-12,2621 mm z=31,4767 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	594,700 N
Vector X	-18,184 N
Vector Y	-592,986 N
Vector Z	-41,297 N

Cara(s) seleccionada(s)

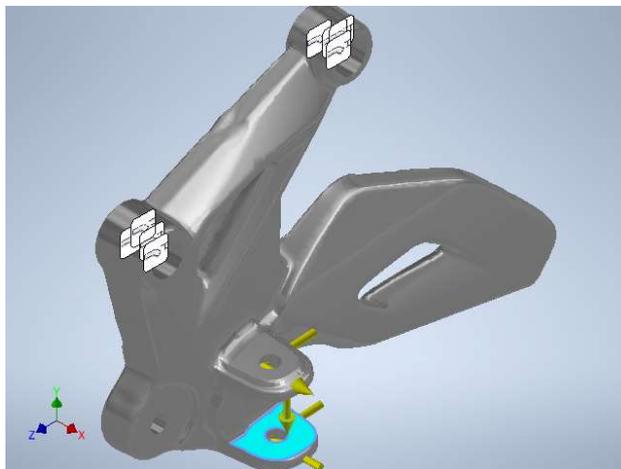


Imagen 89. Fuerza 1 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia).

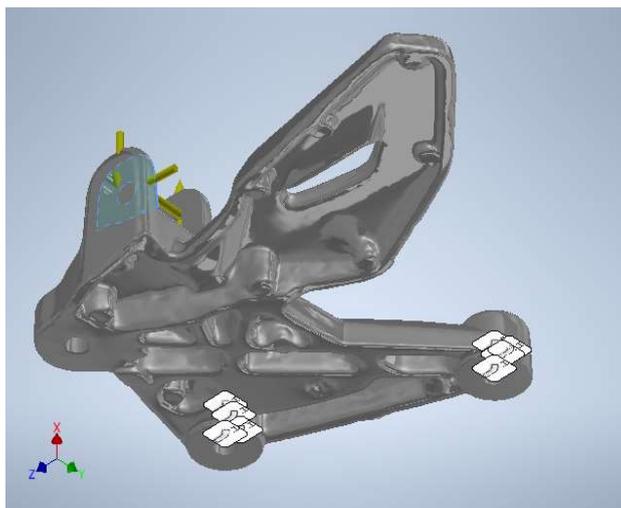


Imagen 90. Fuerza 1 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	343,342 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-23,300 N
Vector Z	342,550 N

Cara(s) seleccionada(s)

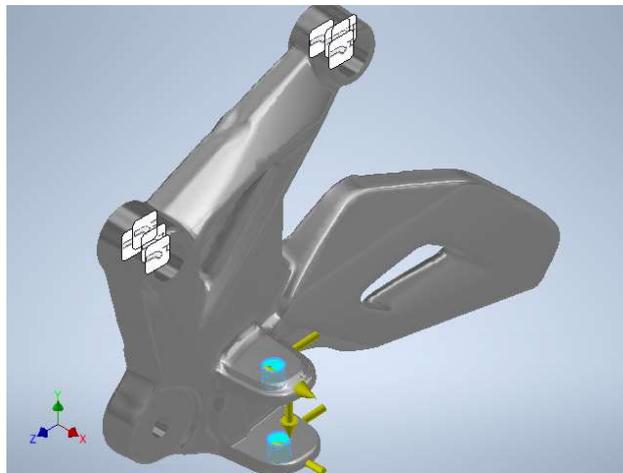


Imagen 91. Fuerza 2 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

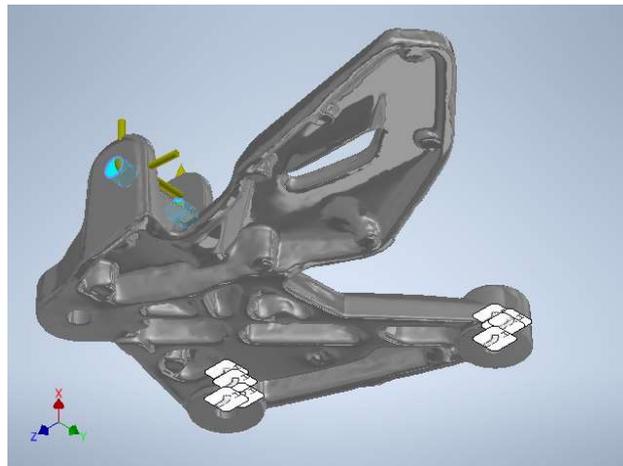


Imagen 92. Fuerza 2 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	964,800 N
Vector X	964,800 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

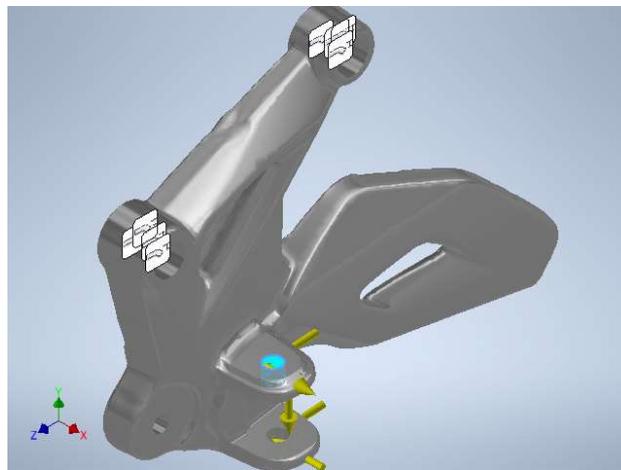


Imagen 93. Fuerza 3 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

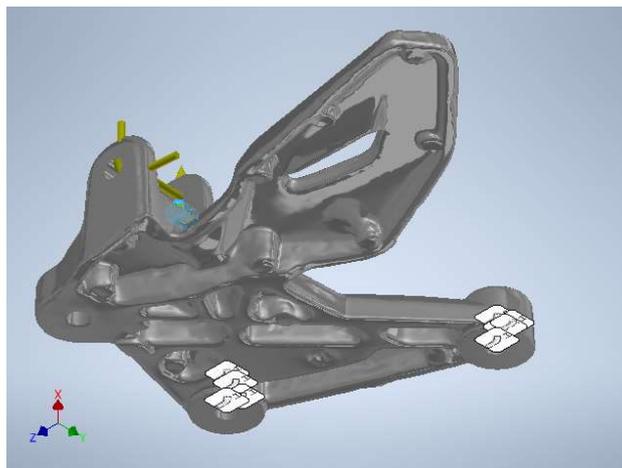
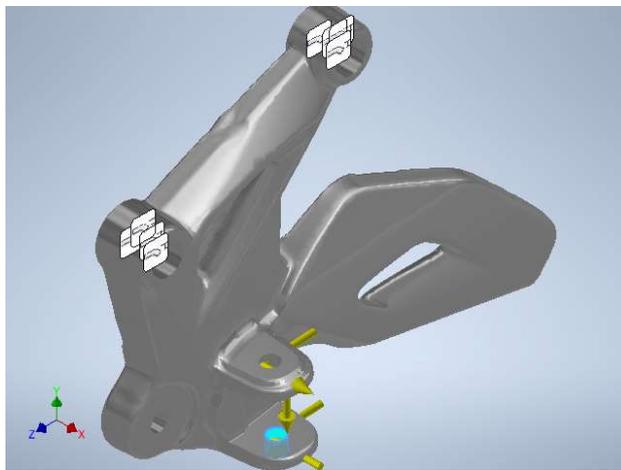


Imagen 94. Fuerza 3 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

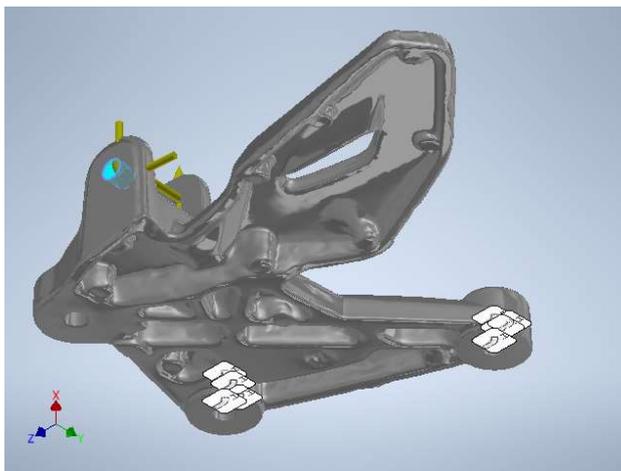
Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	964,800 N
Vector X	-964,800 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)



*Imagen 95. Fuerza 4 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).*



*Imagen 96. Fuerza 4 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

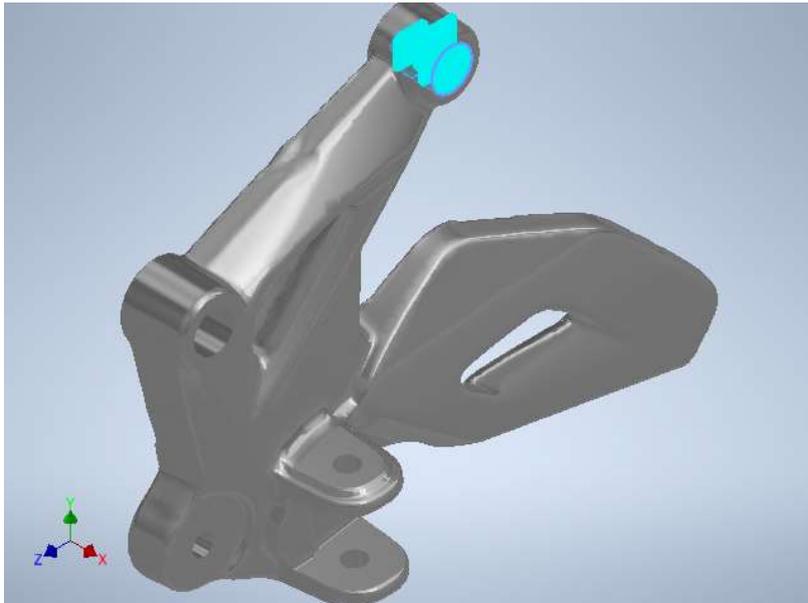


Imagen 97. Restricción fija 1 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

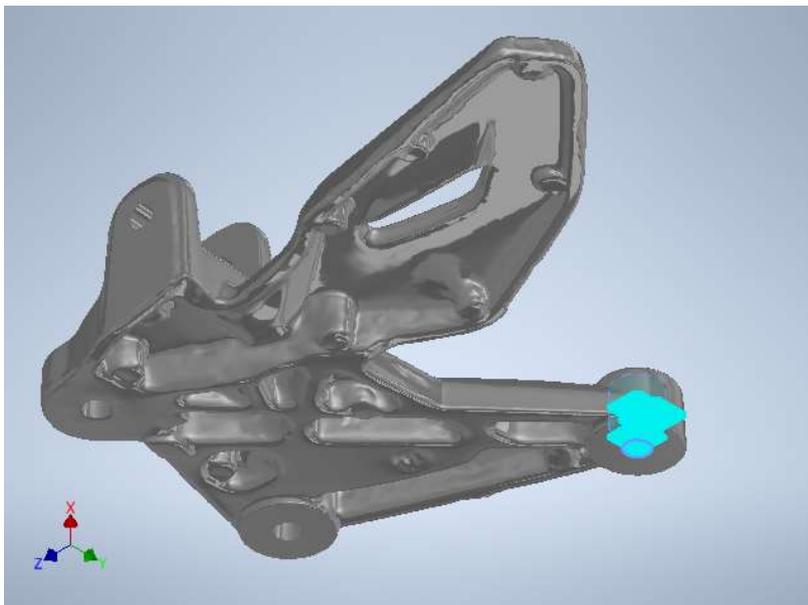


Imagen 98. Restricción fija 1 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:2

Tipo de restricción Restricción fija

Cara(s) seleccionada

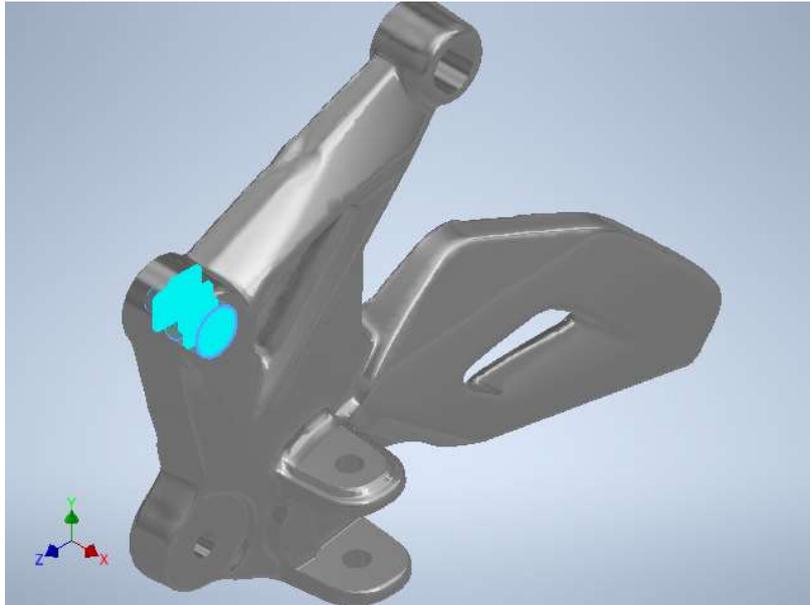


Imagen 99. Restricción fija 2 en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

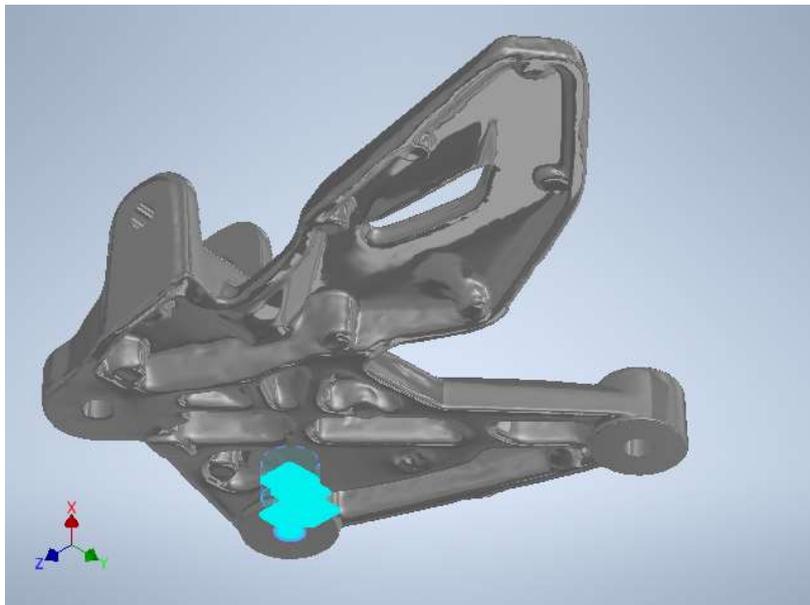


Imagen 100. Restricción fija 2 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	640,581 N	-194,715 N	5,23876 N m	-3,41869 N m
		538,636 N		-3,56512 N m
		-286,882 N		-1,74557 N m
Restricción fija:2	227,104 N	212,921 N	44,2813 N m	11,0179 N m
		77,6661 N		-9,61979 N m
		-14,4625 N		41,7959 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	161069 mm ³	
Masa	0,436496 kg	
Tensión de Von Mises	0,00508265 MPa	159,868 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,218325 mm
Coefficiente de seguridad	1,00082 su	15 su
Deformación equivalente	0,0000000741831 su	0,0021025 su

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Imágenes

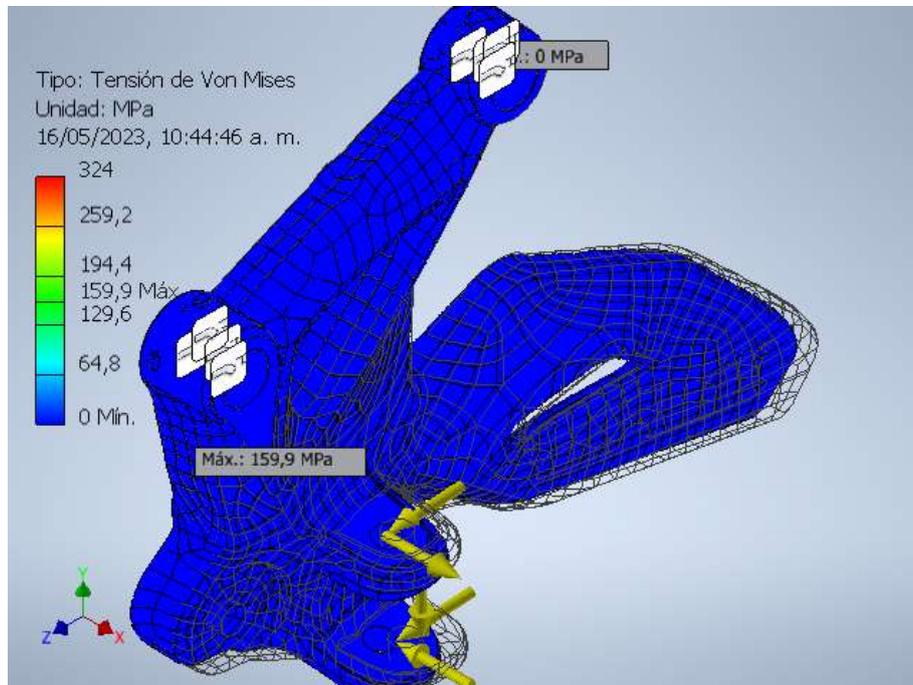


Imagen 101. Tensión de Von Mises en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

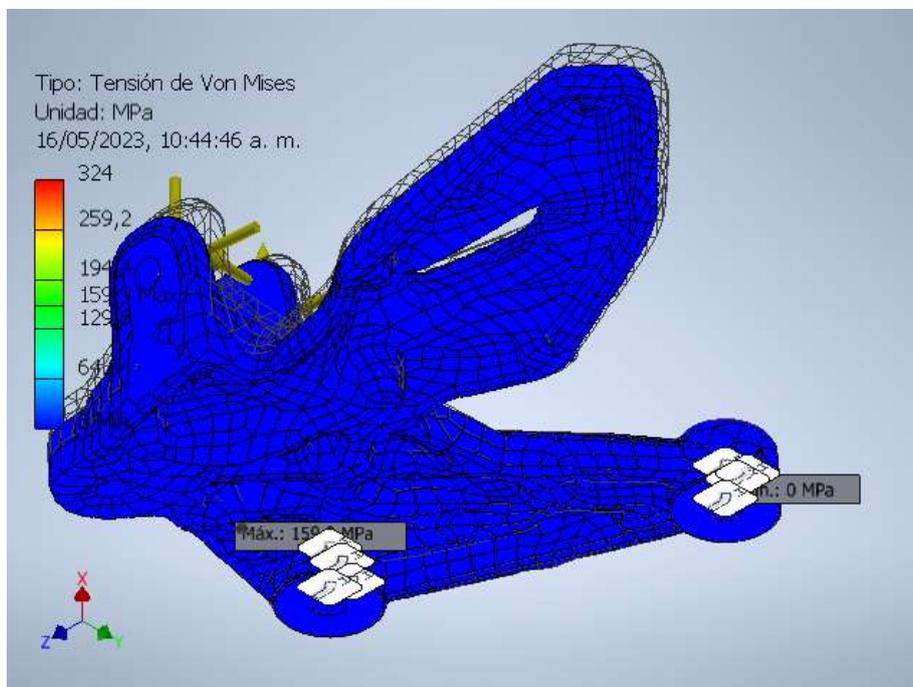


Imagen 102. Tensión de Von Mises en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

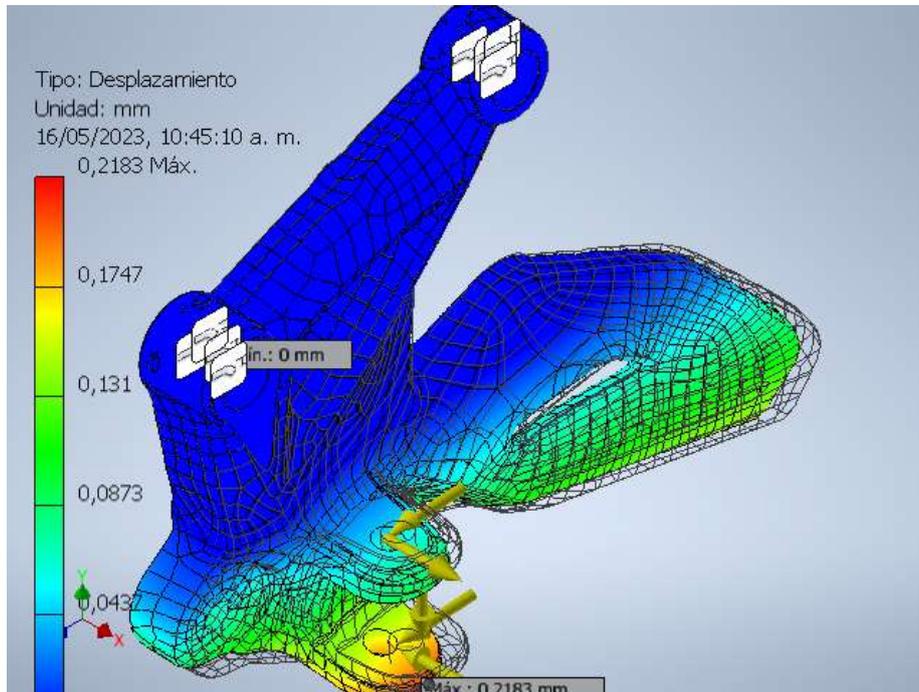


Imagen 103. Desplazamiento en el análisis estático 1, vista frontal.
 (Fuente propia, 2023).

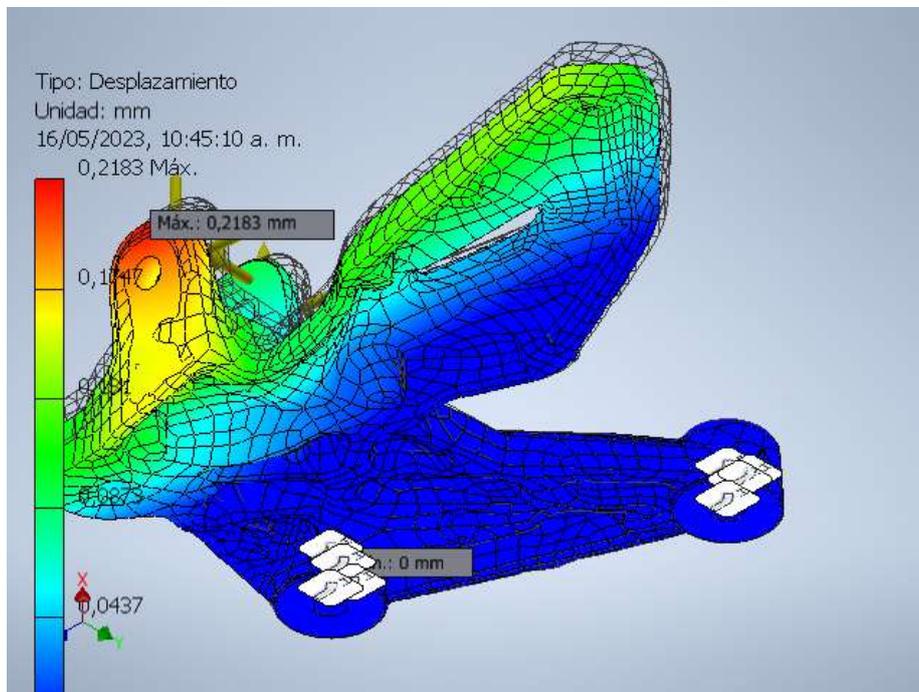


Imagen 104. Desplazamiento en el análisis estático 1, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023)

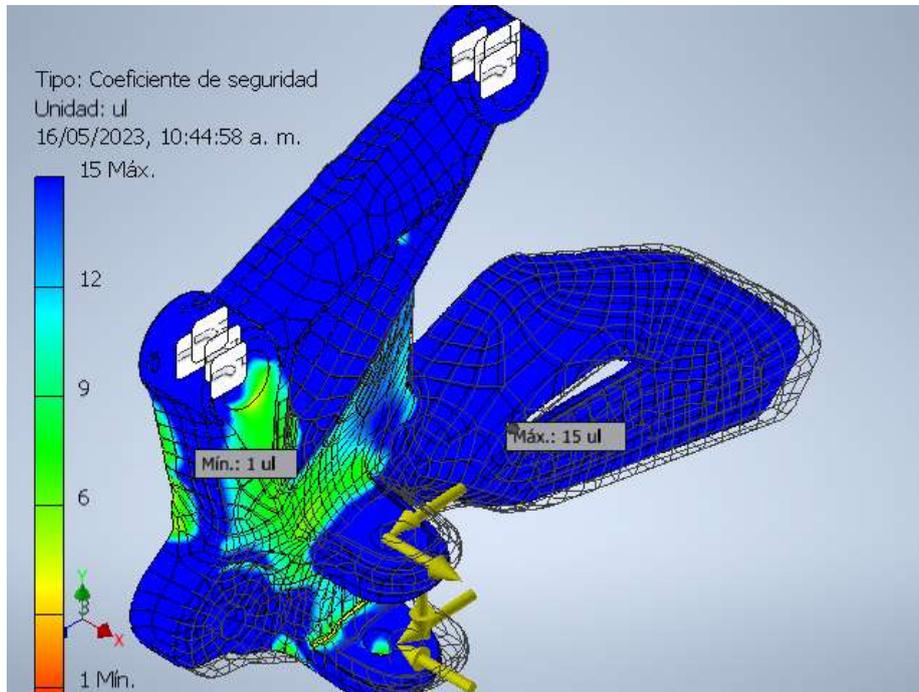


Imagen 105. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

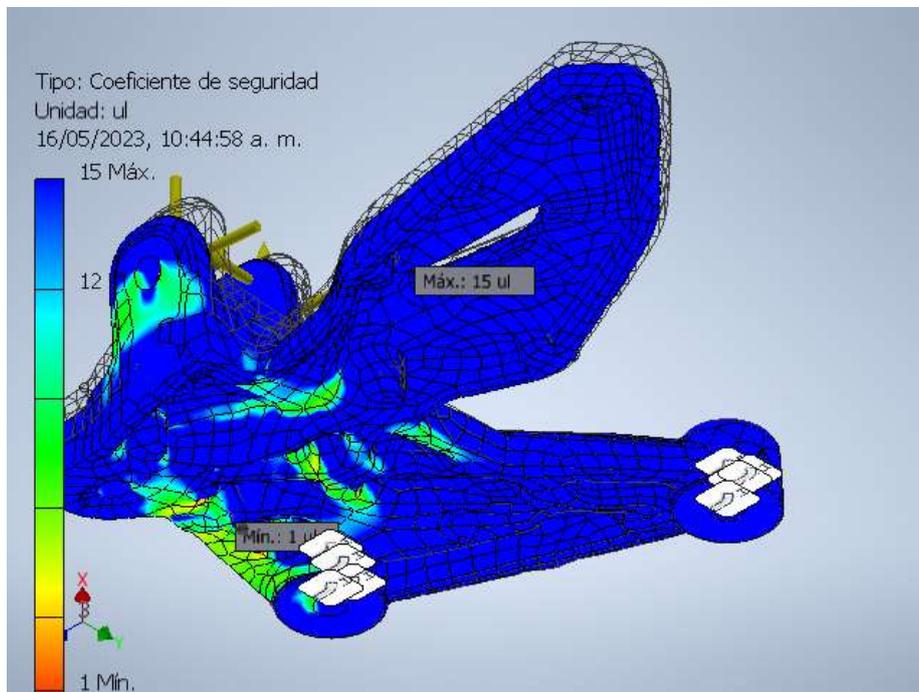


Imagen 106. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

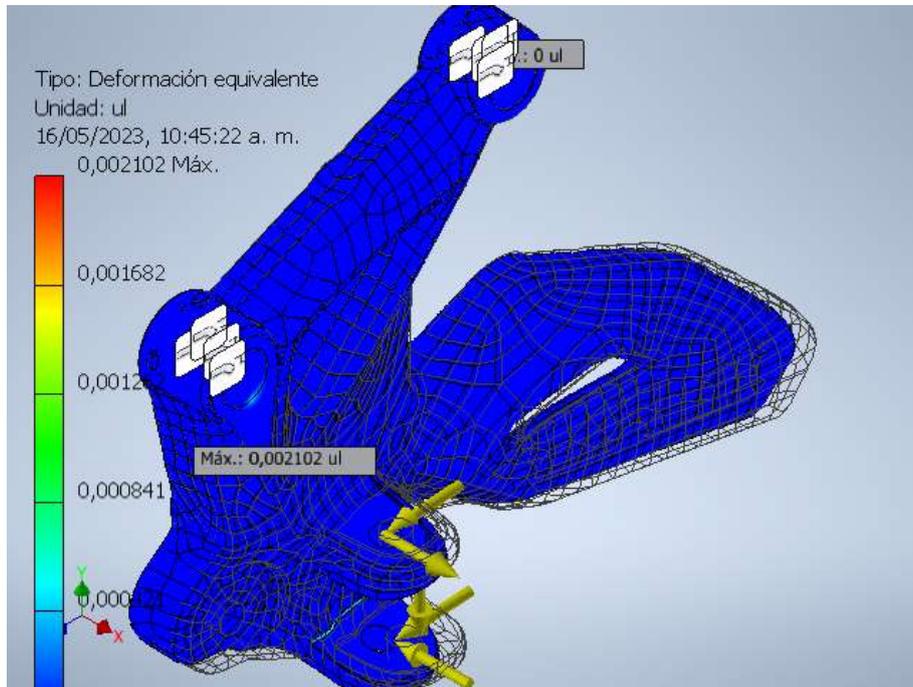


Imagen 107. Deformación equivalente en el análisis estático 1, vista frontal.
(Fuente propia, 2023)

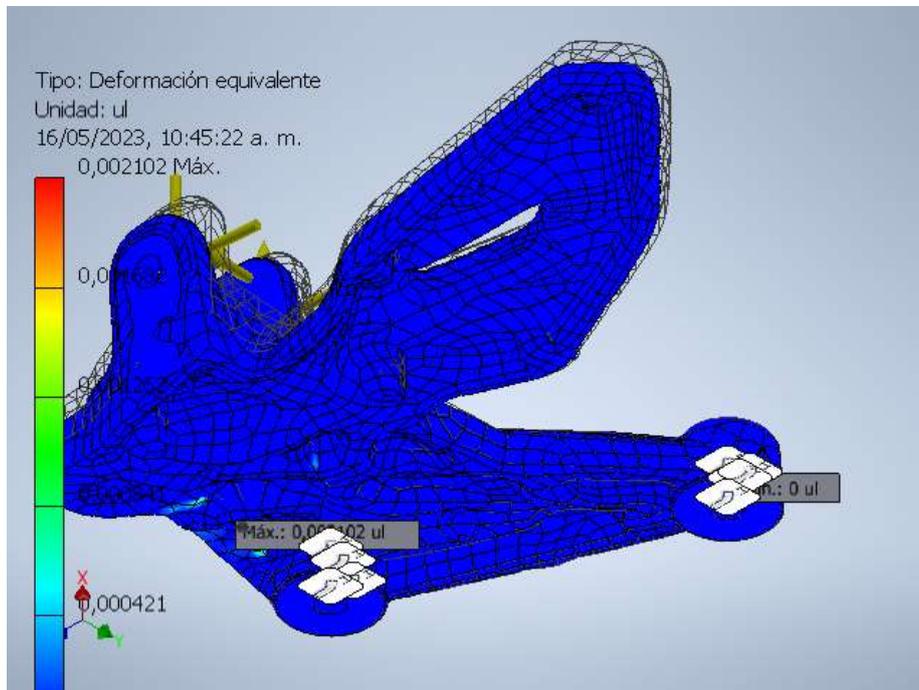


Imagen 108. Deformación equivalente en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Análisis estático 2: Caso 2

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/05/2023, 11:44 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Resumen

Autor	asmed
-------	-------

Proyecto

Nº de pieza	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1
Diseñador	asmed
Coste	\$ 0,00

Estado

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,436503 kg
Área	48734,7 mm ²
Volumen	161071 mm ³
Centro de gravedad	x=-8,30639 mm y=-12,2621 mm z=31,4767 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	849,570 N
Vector X	-25,977 N
Vector Y	-847,121 N
Vector Z	-58,996 N

Cara(s) seleccionada(s)

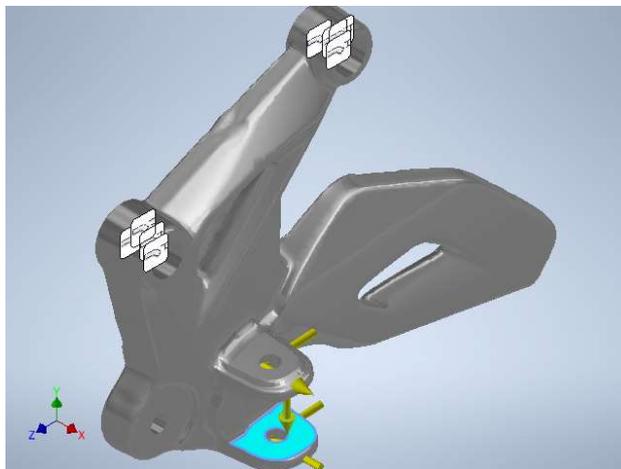


Imagen 109. Fuerza 1 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia).

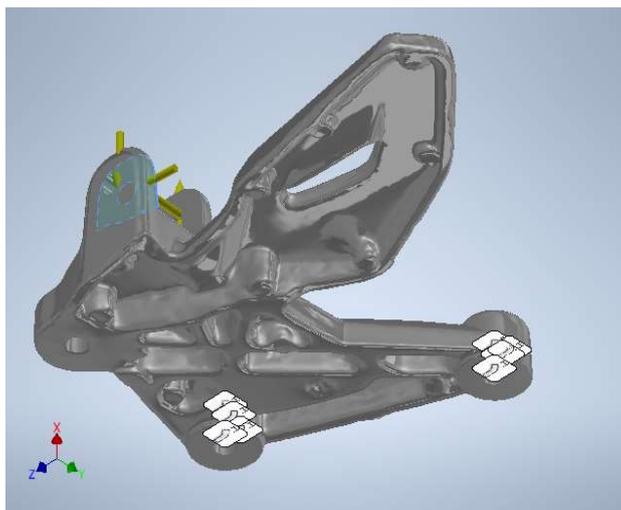


Imagen 110. Fuerza 1 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	489,997 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-33,360 N
Vector Z	488,860 N

Cara(s) seleccionada(s)

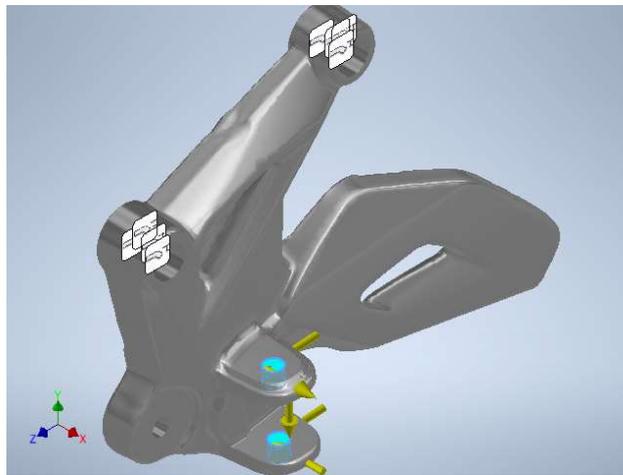


Imagen 111. Fuerza 2 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

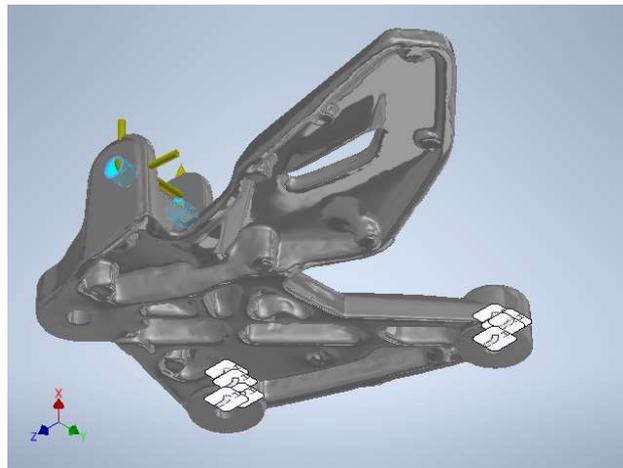


Imagen 112. Fuerza 2 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1378,280 N
Vector X	1378,280 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

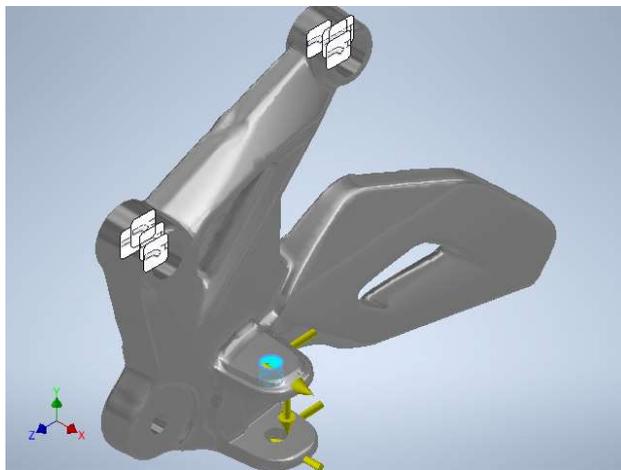


Imagen 113. Fuerza 3 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

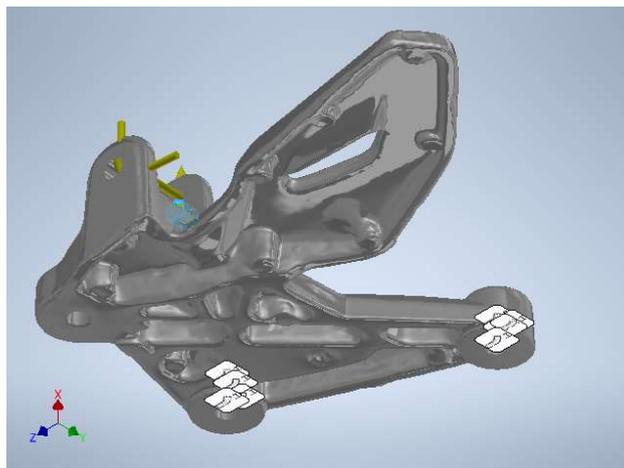


Imagen 114. Fuerza 3 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1378,280 N
Vector X	-1378,280 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

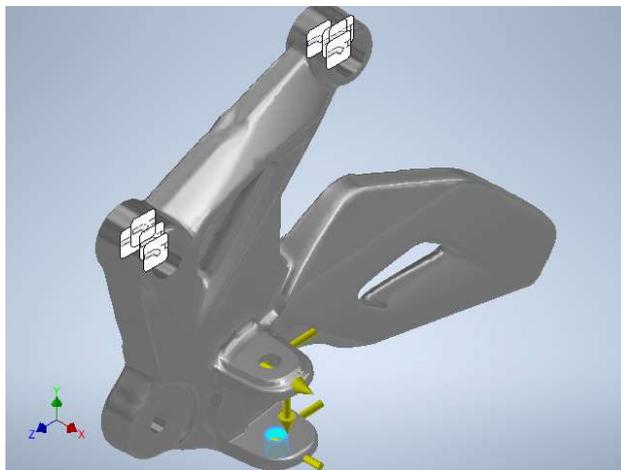


Imagen 115. Fuerza 4 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

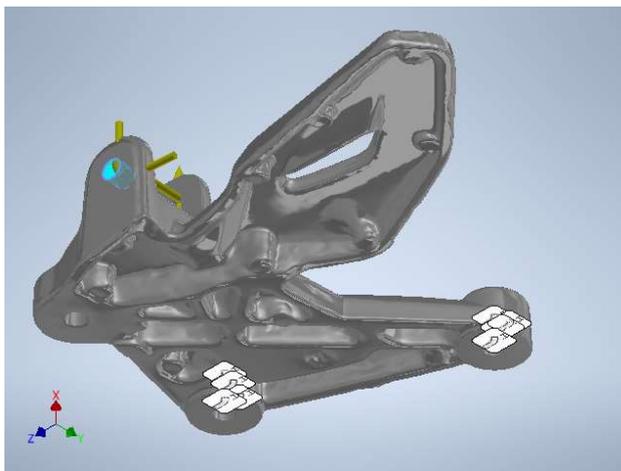


Imagen 116. Fuerza 4 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

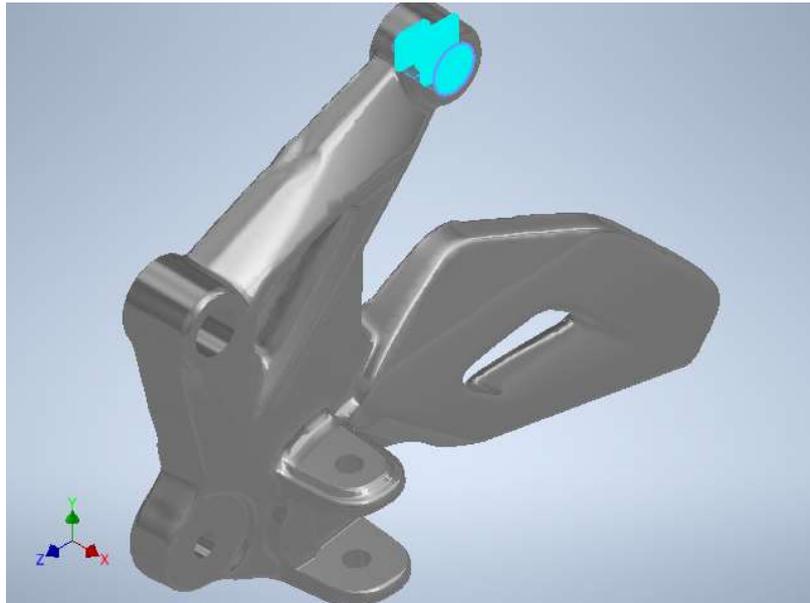


Imagen 117. Restricción fija 1 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

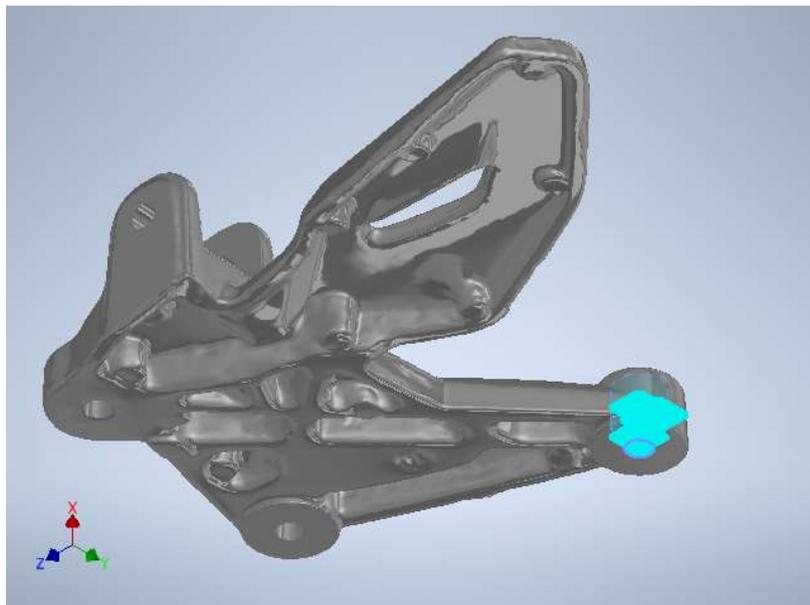


Imagen 118. Restricción fija 1 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:2

Tipo de restricción Restricción fija

Cara(s) seleccionada

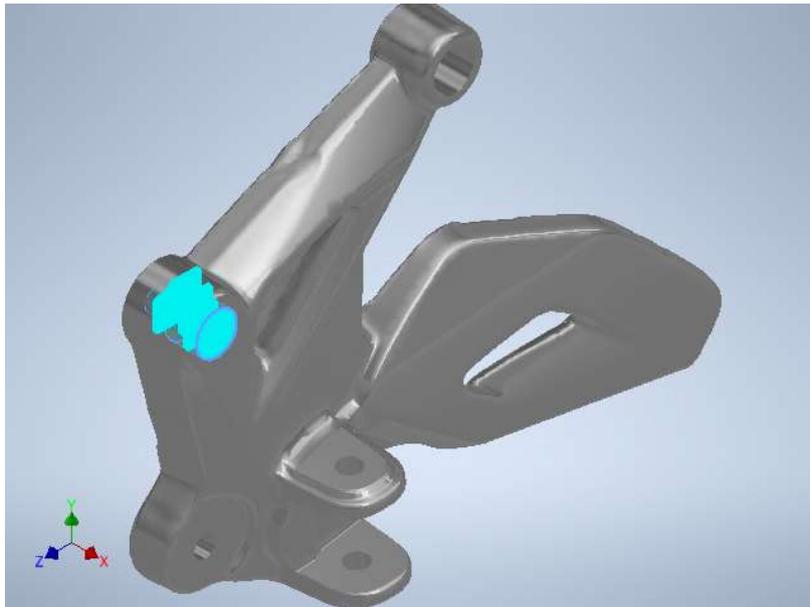


Imagen 119. Restricción fija 2 en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

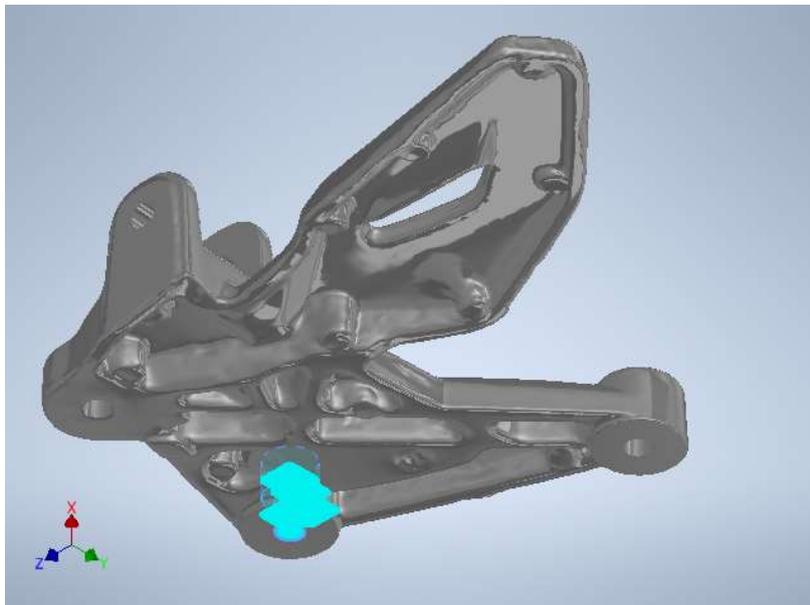


Imagen 120. Restricción fija 2 en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	914,654 N	-278,094 N	7,48165 N m	-4,88295 N m
		769,083 N		-5,09198 N m
		-409,594 N		-2,49072 N m
Restricción fija:2	324,513 N	304,102 N	63,2586 N m	15,7323 N m
		111,421 N		-13,7489 N m
		-20,4003 N		59,7086 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	161069 mm ³	
Masa	0,436496 kg	
Tensión de Von Mises	0,00726743 MPa	228,381 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,311913 mm
Coefficiente de seguridad	0,700583 su	15 su
Deformación equivalente	0,00000010609 su	0,00300354 su

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Imágenes

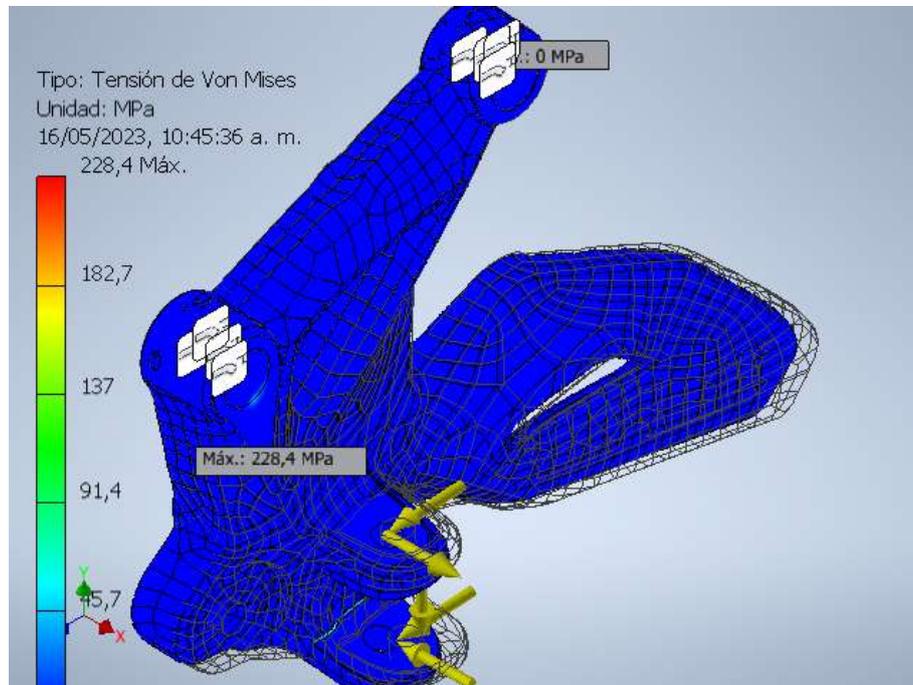


Imagen 121. Tensión de Von Mises en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

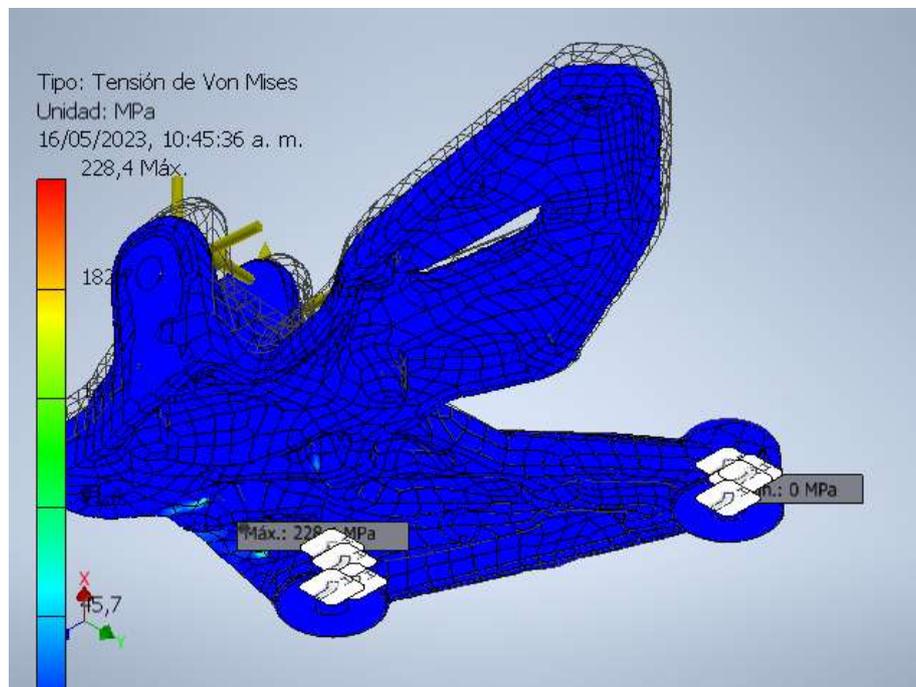


Imagen 122. Tensión de Von Mises en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

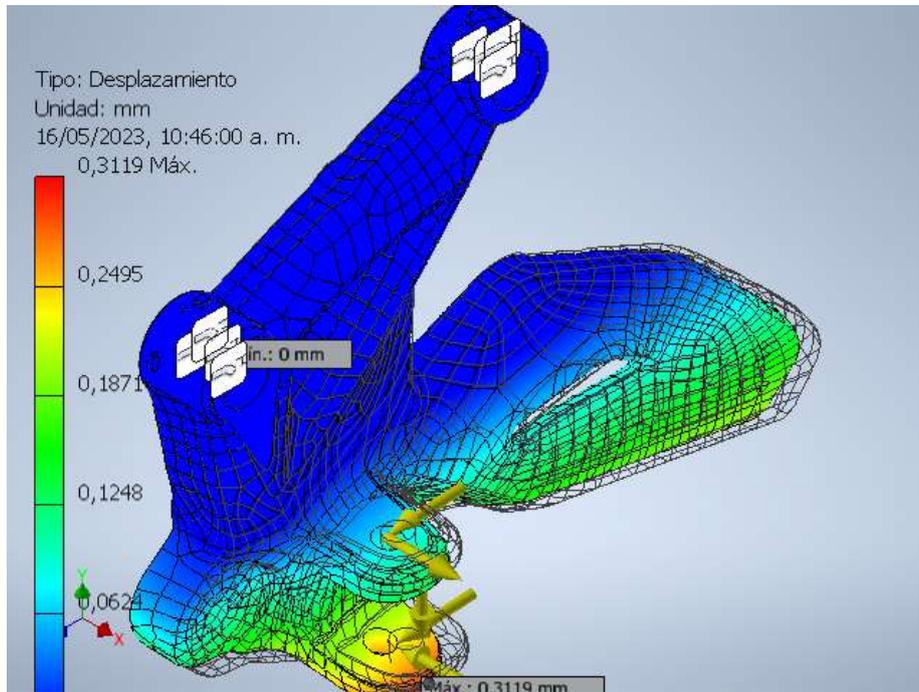


Imagen 123. Desplazamiento en el análisis estático 2, vista frontal.
 (Fuente propia, 2023).

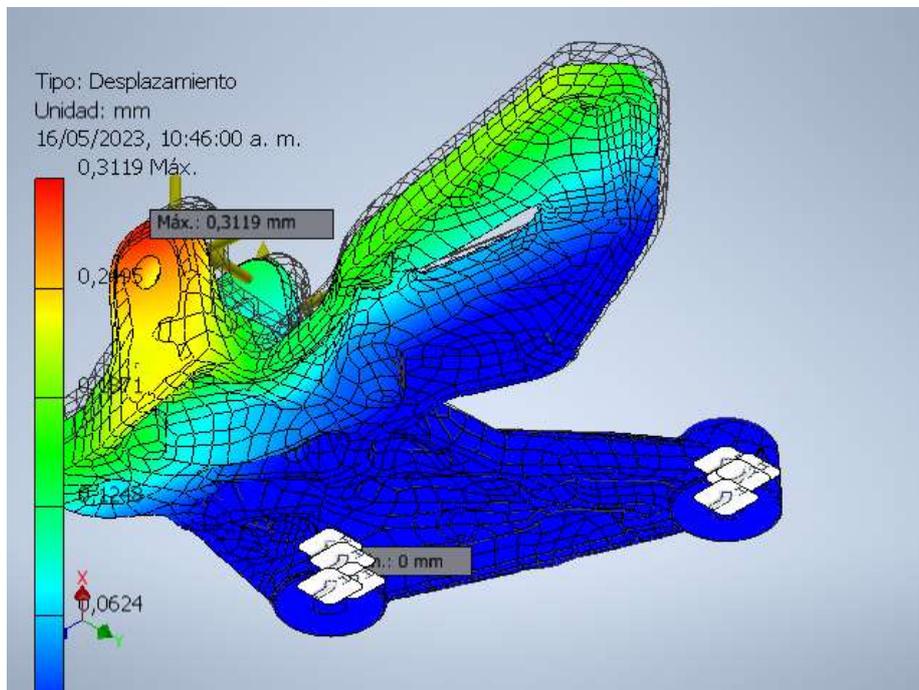


Imagen 124. Desplazamiento en el análisis estático 2, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023)

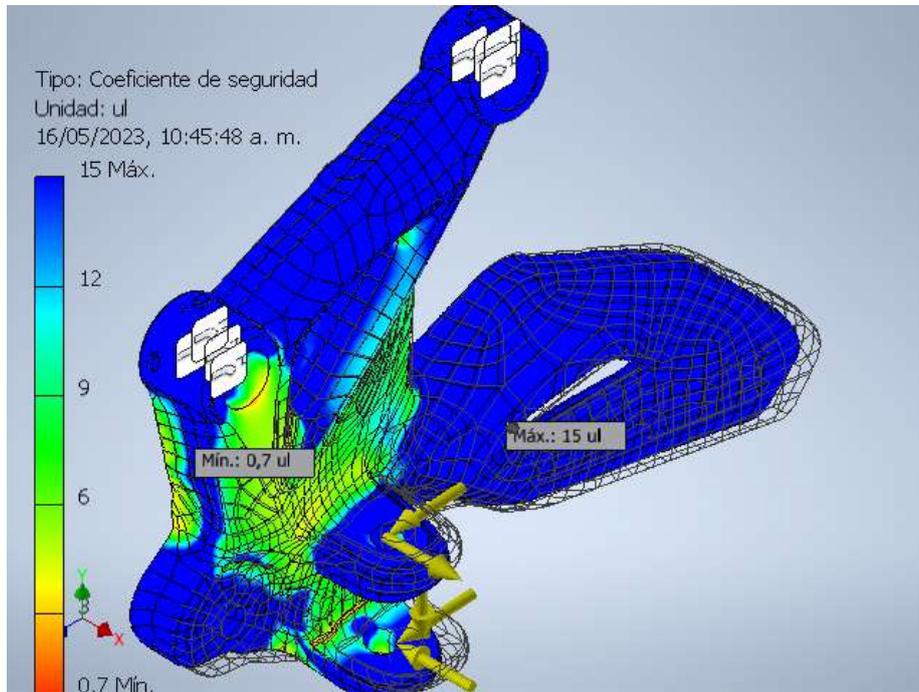


Imagen 125. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

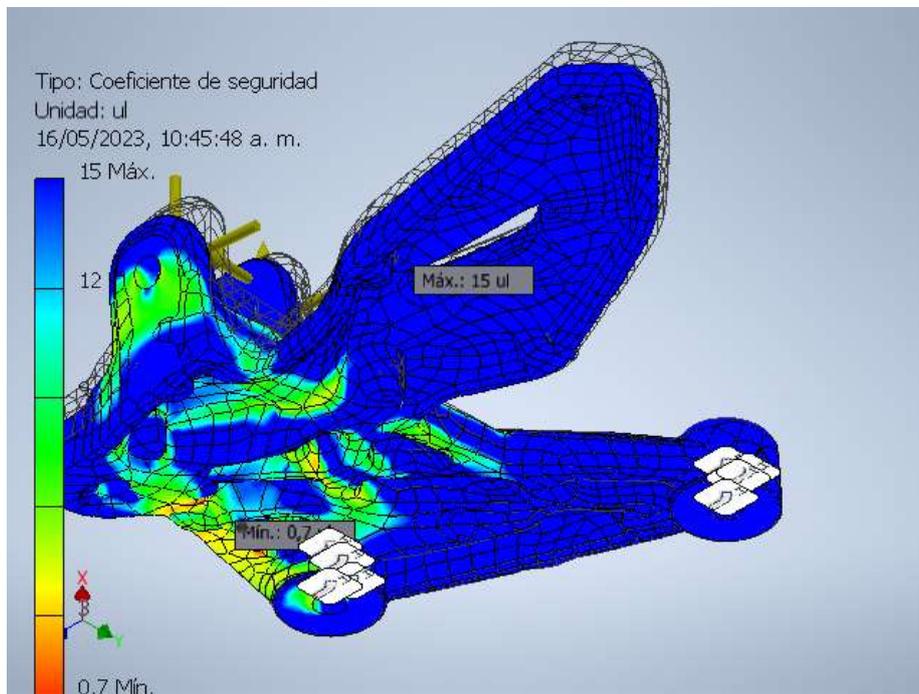


Imagen 126. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

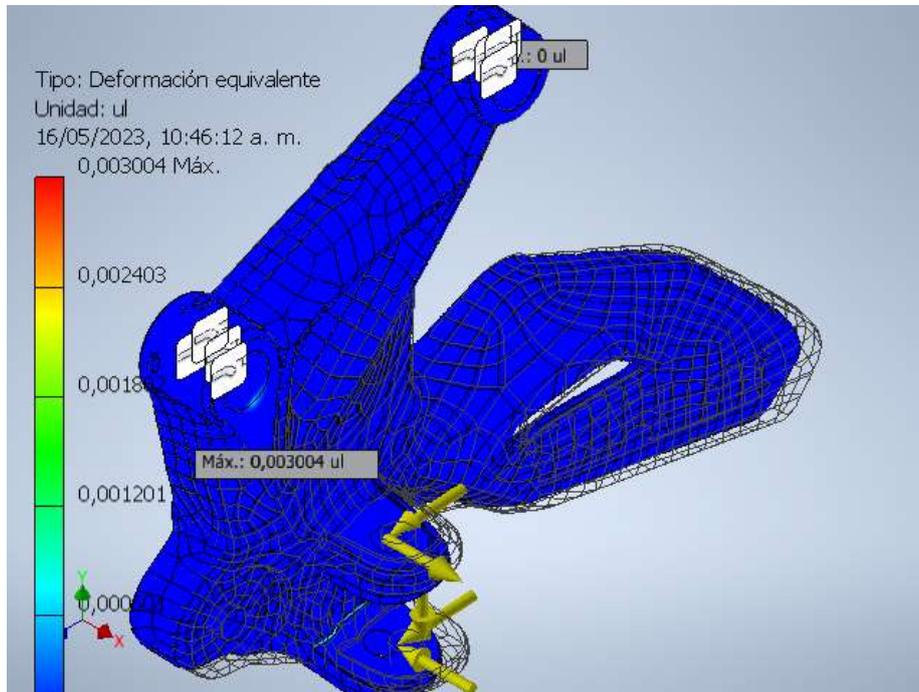


Imagen 127. Deformación equivalente en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023)

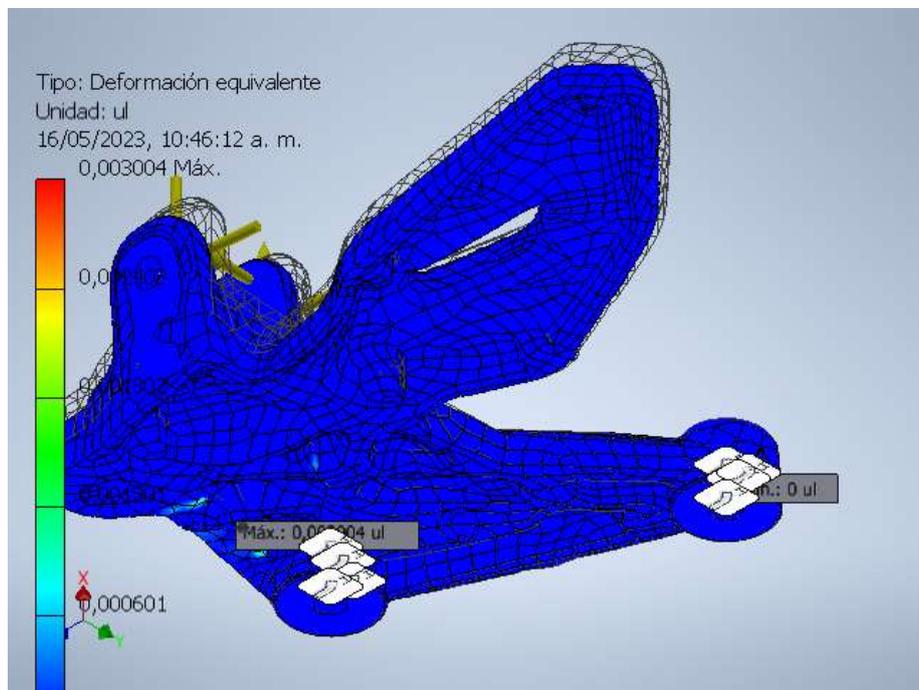


Imagen 128. Deformación equivalente en el análisis estático 2, vista posterior.
(Fuente propia, 2023)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Análisis estático 3: Caso 3

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	15/05/2023, 11:54 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Resumen

Autor	asmed
-------	-------

Proyecto

Nº de pieza	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1
Diseñador	asmed
Coste	\$ 0,00

Estado

Estado del diseño	Trabajo en curso
-------------------	------------------

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,436503 kg
Área	48734,7 mm ²
Volumen	161071 mm ³
Centro de gravedad	x=-8,30639 mm y=-12,2621 mm z=31,4767 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230513_Soporte_Reposapie_2_V1.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1104,440 N
Vector X	-33,770 N
Vector Y	-1101,256 N
Vector Z	-76,695 N

Cara(s) seleccionada(s)

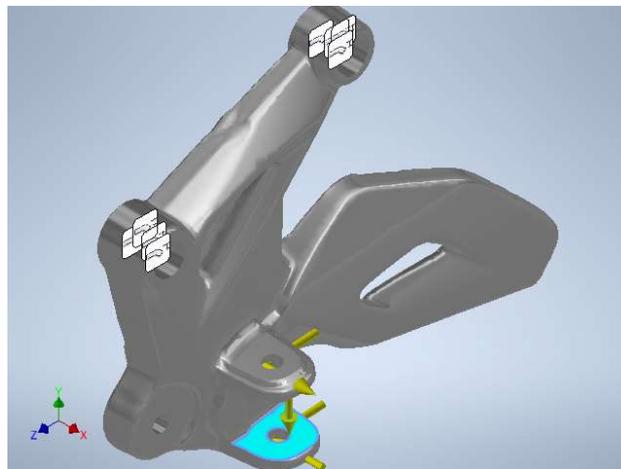


Imagen 129. Fuerza 1 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia).

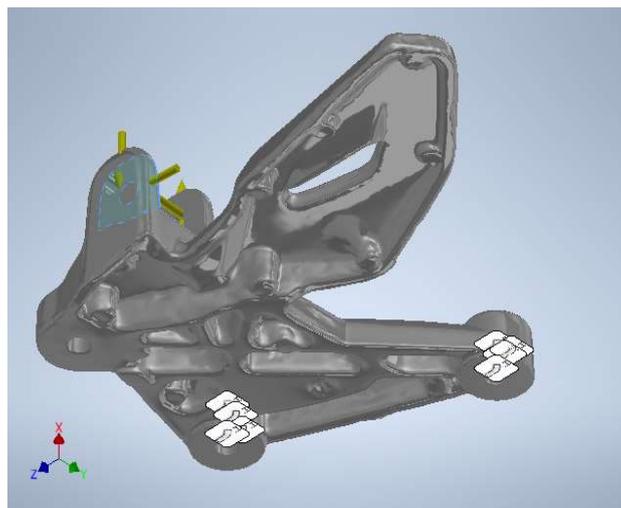


Imagen 130. Fuerza 1 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	637,646 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-43,360 N
Vector Z	636,170 N

Cara(s) seleccionada(s)

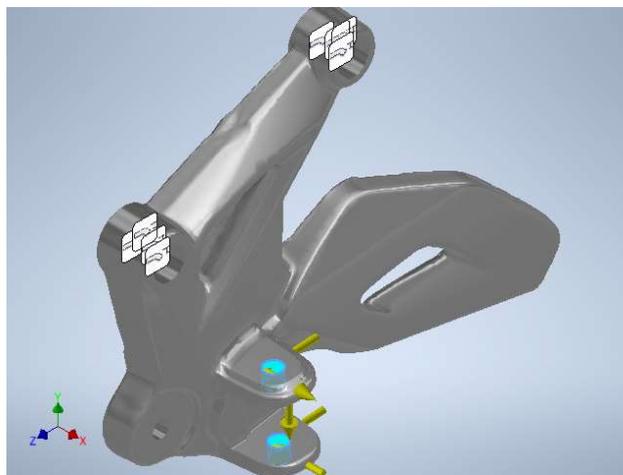


Imagen 131. Fuerza 2 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

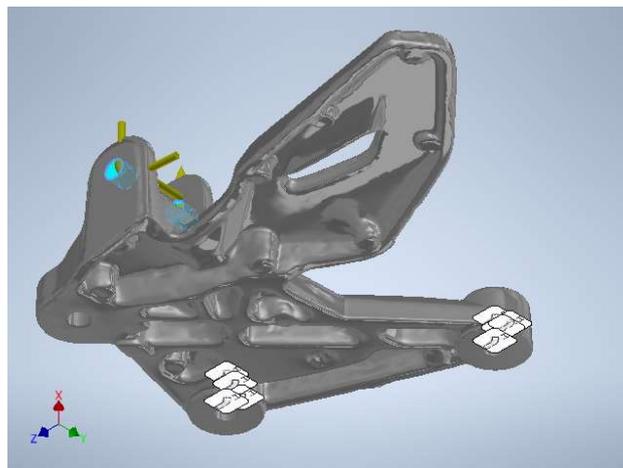


Imagen 132. Fuerza 2 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1791,760 N
Vector X	1791,760 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

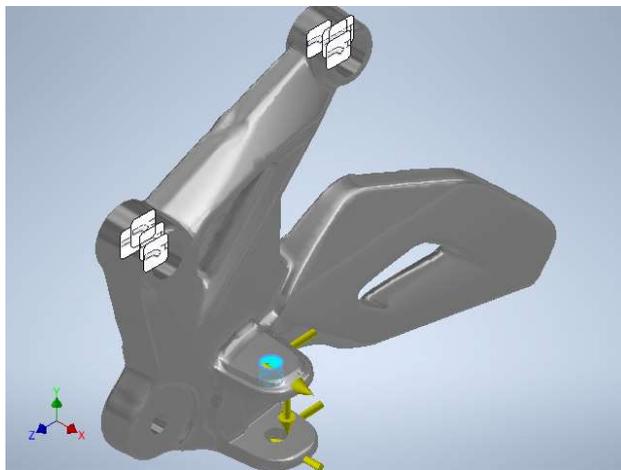


Imagen 133. Fuerza 3 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

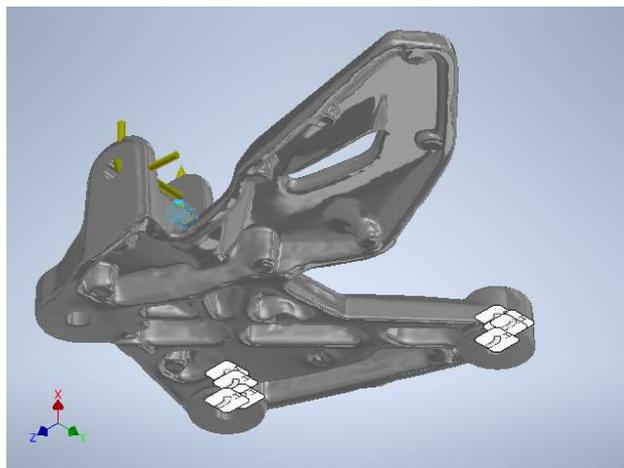


Imagen 134. Fuerza 3 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	1791,760 N
Vector X	-1791,760 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)

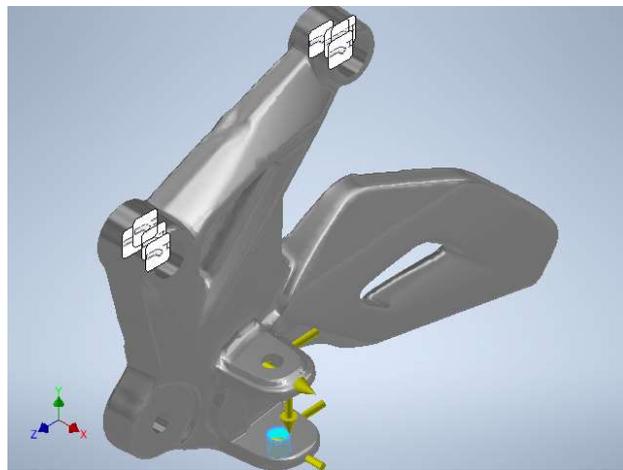


Imagen 135. Fuerza 4 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

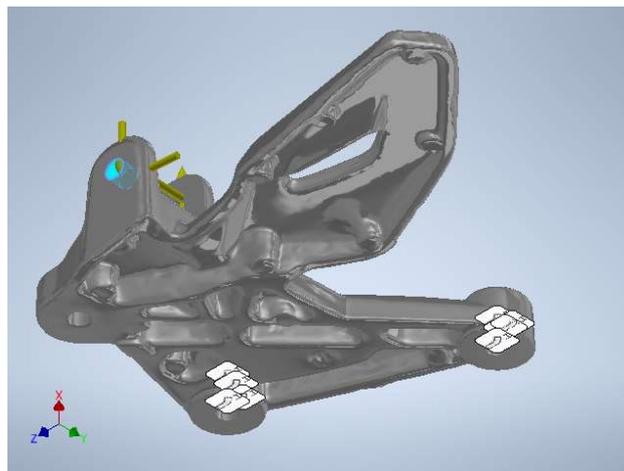


Imagen 136. Fuerza 4 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

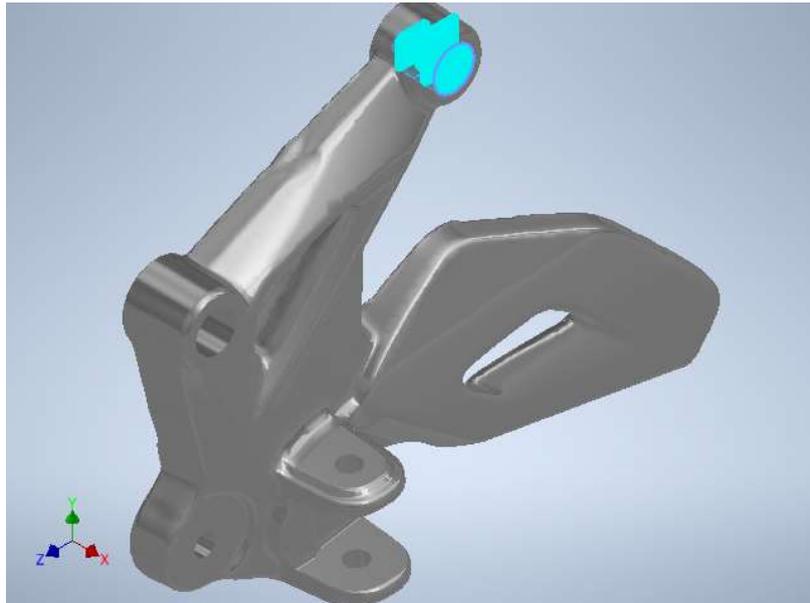


Imagen 137. Restricción fija 1 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

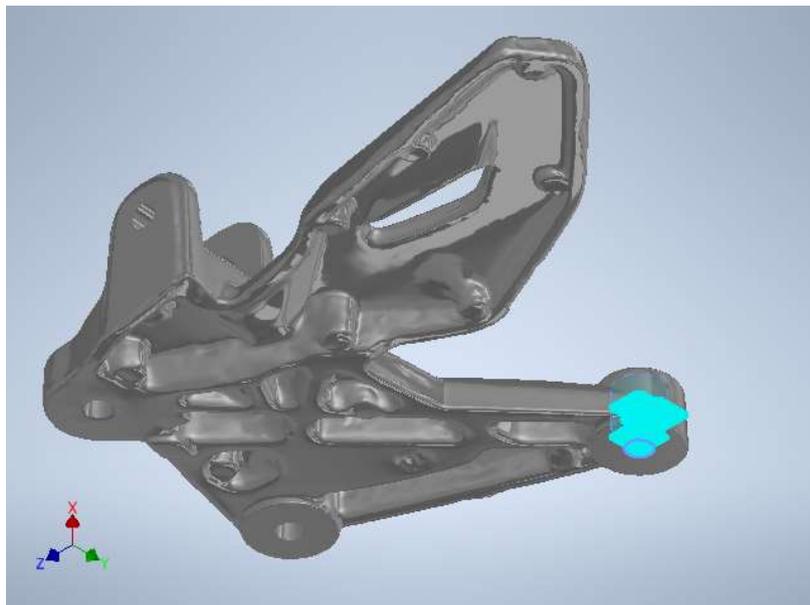


Imagen 138. Restricción fija 1 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:2

Tipo de restricción Restricción fija

Cara(s) seleccionada

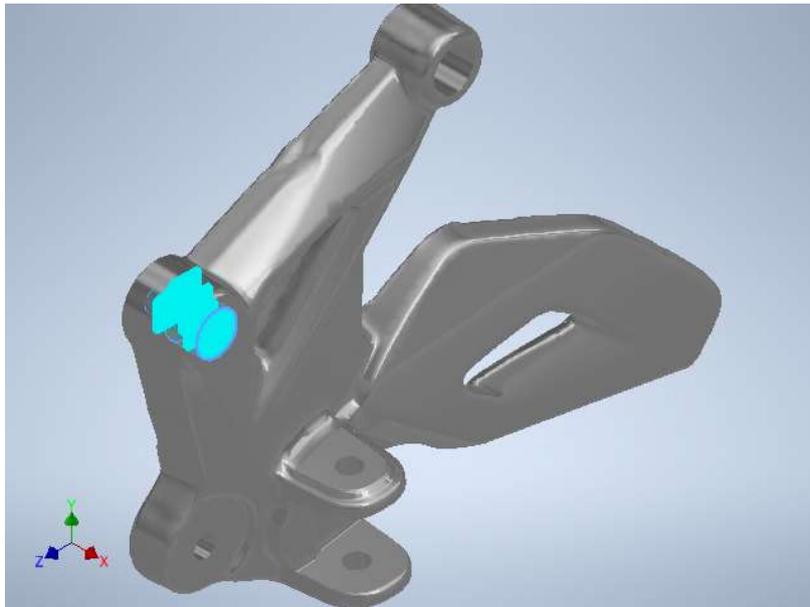


Imagen 139. Restricción fija 2 en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

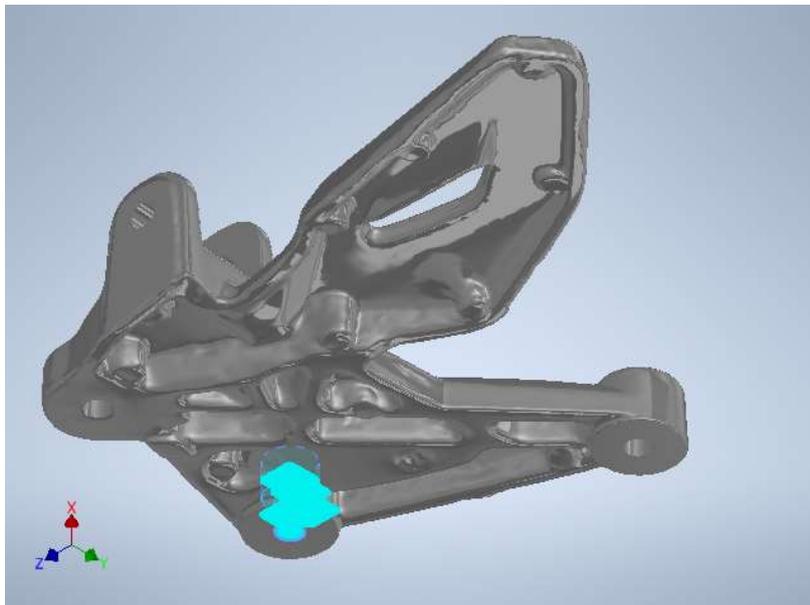


Imagen 140. Restricción fija 2 en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	1189,7 N	-361,621 N	9,72944 N m	-6,34929 N m
		1000,37 N		-6,6211 N m
		-532,802 N		-3,24184 N m
Restricción fija:2	421,785 N	395,431 N	82,2383 N m	20,4625 N m
		144,276 N		-17,8656 N m
		-26,8426 N		77,6224 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	161069 mm ³	
Masa	0,436496 kg	
Tensión de Von Mises	0,00943966 MPa	296,904 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,405469 mm
Coefficiente de seguridad	0,538895 su	15 su
Deformación equivalente	0,000000137775 su	0,00390471 su

Imágenes

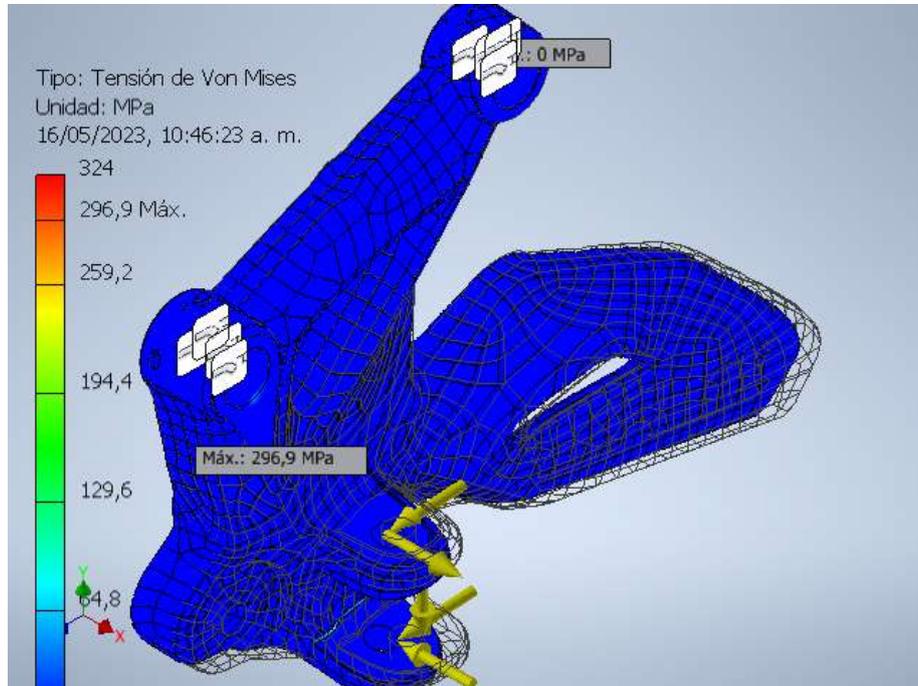


Imagen 141. Tensión de Von Mises en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

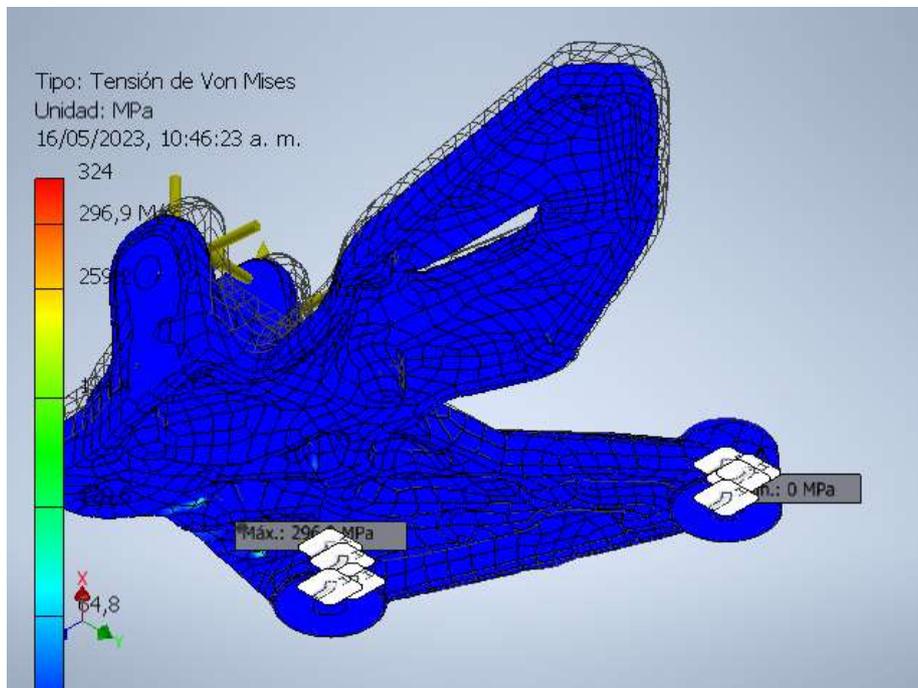


Imagen 142. Tensión de Von Mises en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

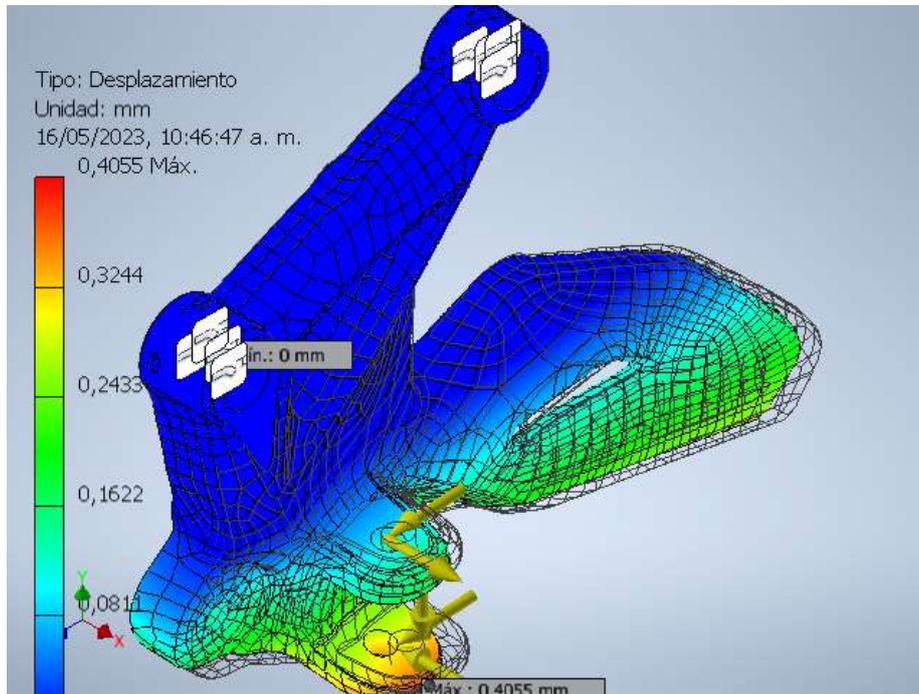


Imagen 143. Desplazamiento en el análisis estático 3, vista frontal.
 (Fuente propia, 2023).

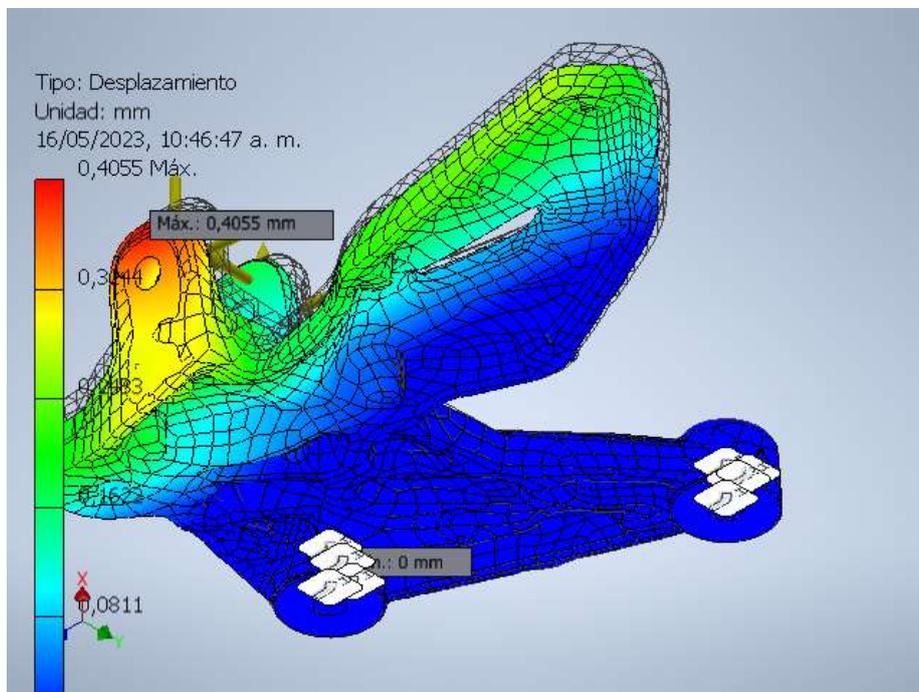


Imagen 144. Desplazamiento en el análisis estático 3, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023)

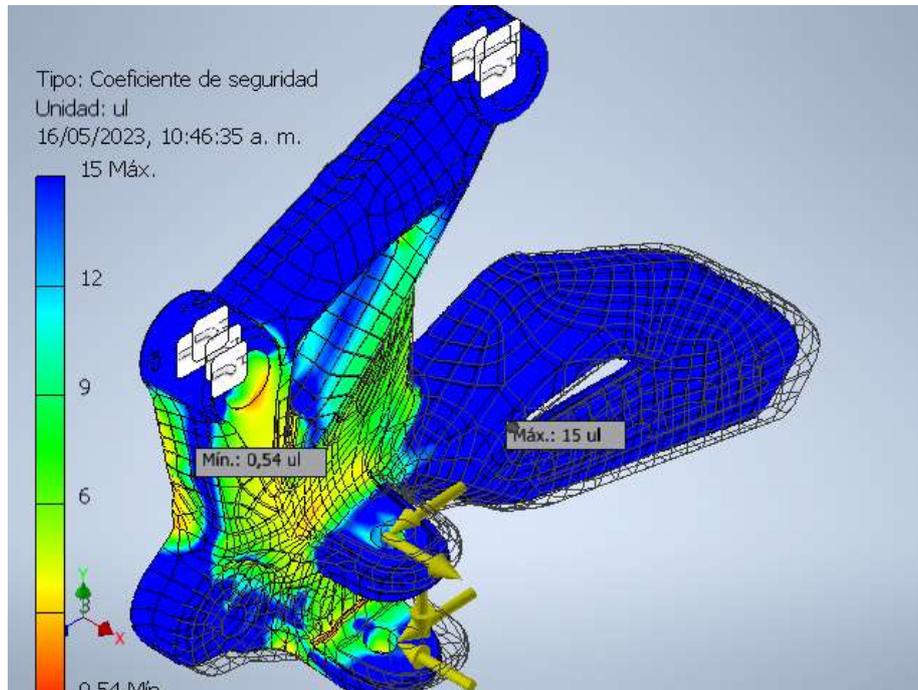


Imagen 145. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 2, vista frontal.
(Fuente propia, 2023).

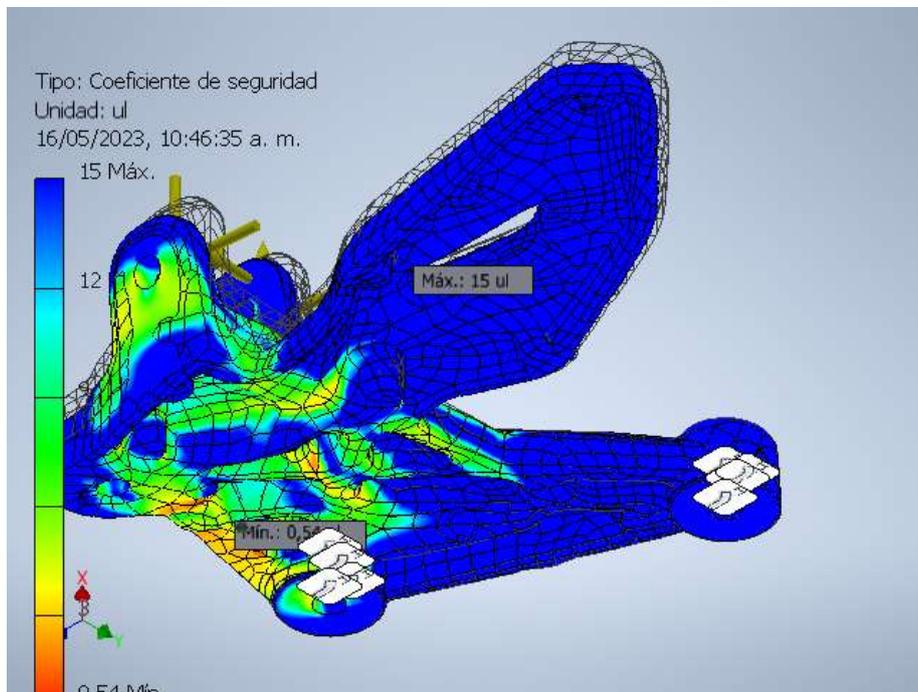


Imagen 146. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

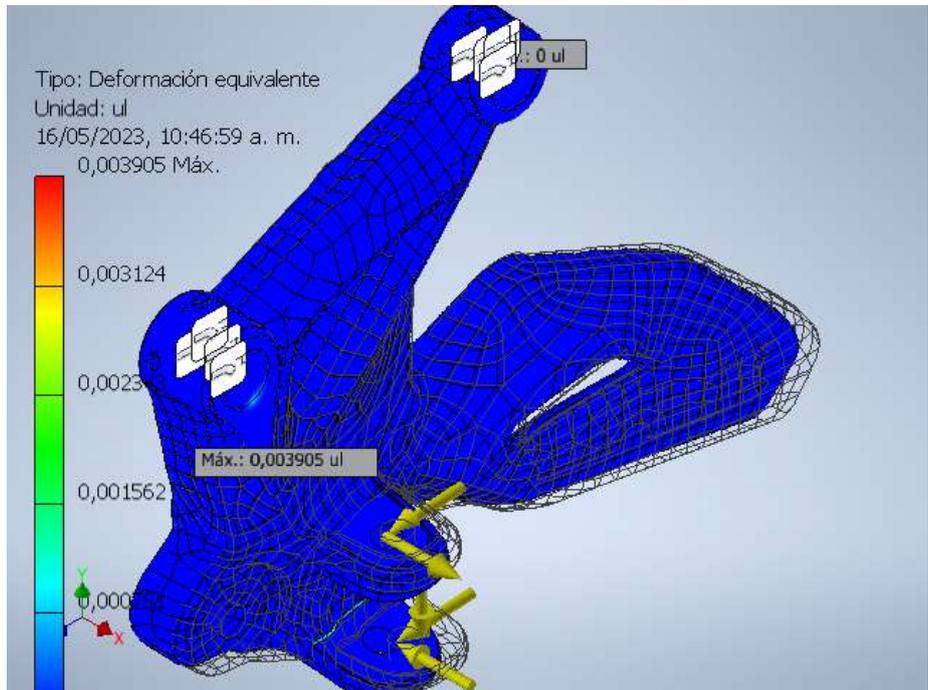


Imagen 147. Deformación equivalente en el análisis estático 3, vista frontal.
(Fuente propia, 2023)

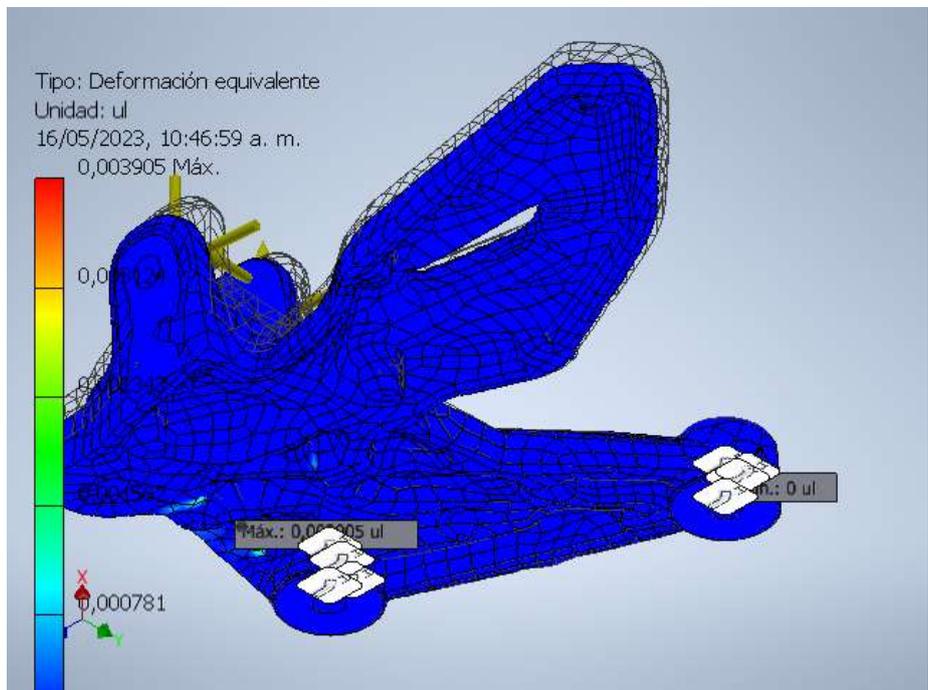


Imagen 148. Deformación equivalente en el análisis estático 3, vista posterior.
(Fuente propia, 2023)

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Anexo 4. Informe de análisis de tensión del Soporte Reposapiés 3



Archivo analizado:	20230523_Soporte_Reposapie_3_V0.ipt
Versión de Autodesk Inventor:	2023 (Build 270158000, 158)
Fecha de creación:	25/05/2023, 9:46 p. m.
Autor del estudio:	asmed
Resumen:	20230523_Soporte_Reposapie_3_V0.ipt

Análisis estático 1: Caso 1

Objetivo general y configuración:

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	25/05/2023, 8:54 p. m.
Estado de modelo	[Principal]
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	Sí

iProperties

Propiedades físicas

Material	Aluminio A380
Densidad	2,71 g/cm ³
Masa	0,373408 kg
Área	44943,8 mm ²
Volumen	137789 mm ³
Centro de gravedad	x=-7,3932 mm y=-19,2726 mm z=29,6163 mm

Nota: los valores físicos pueden ser diferentes de los valores físicos utilizados por CEF indicados a continuación.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Configuración de malla:

Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0,1
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0,2
Factor de modificación	1,5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	Sí

Material(es)

Nombre	Aluminio A380	
General	Densidad de masa	2,71 g/cm ³
	Límite de elasticidad	160 MPa
	Resistencia máxima a tracción	324 MPa
Tensión	Módulo de Young	68,9 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33 su
	Módulo cortante	25,9023 GPa
Nombre(s) de pieza	20230523_Soporte_Reposapie_3_V0.ipt	

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	594,700 N
Vector X	-18,184 N
Vector Y	-592,986 N
Vector Z	-41,297 N

Cara(s) seleccionada(s)

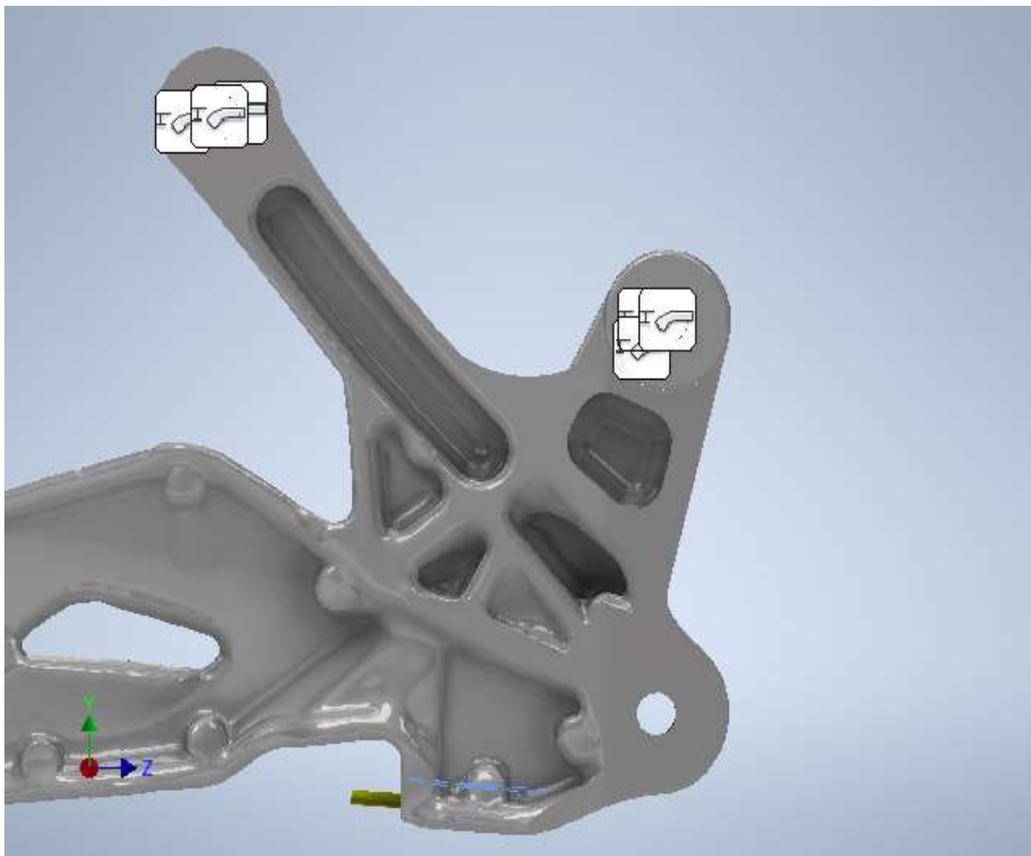


Imagen 149. Fuerza 1 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia).

Fuerza:2

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	343,342 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-23,300 N
Vector Z	342,550 N

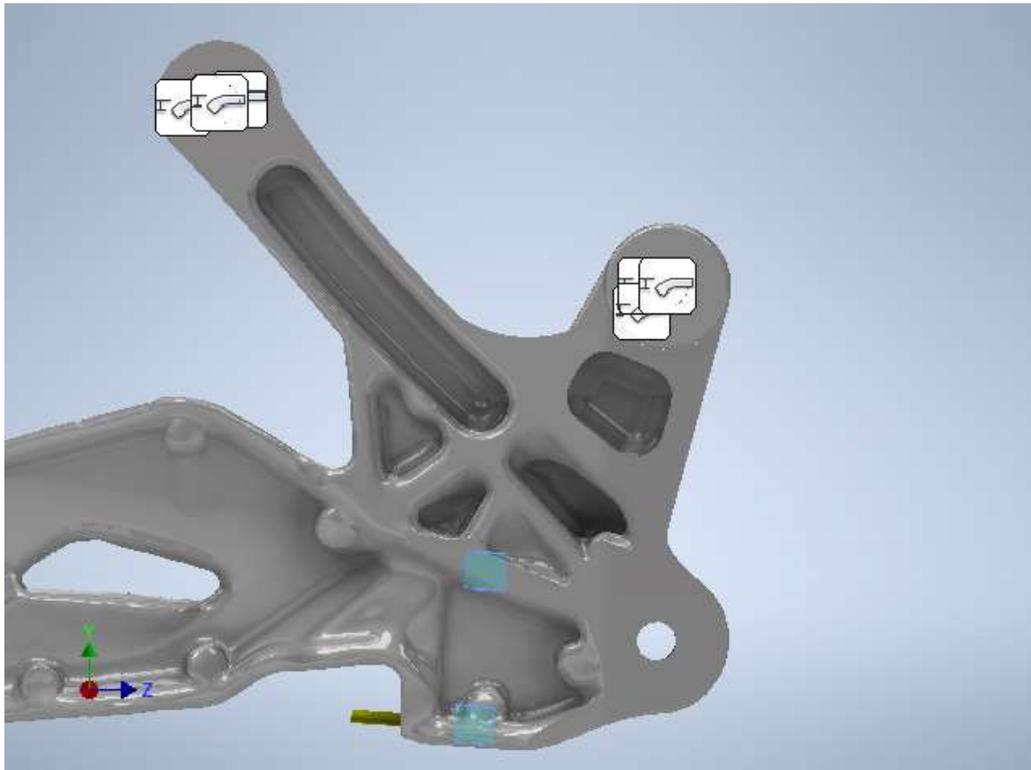


Imagen 150. Fuerza 2 en el análisis estático 1, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023).

Fuerza:3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	964,800 N
Vector X	964,800 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N

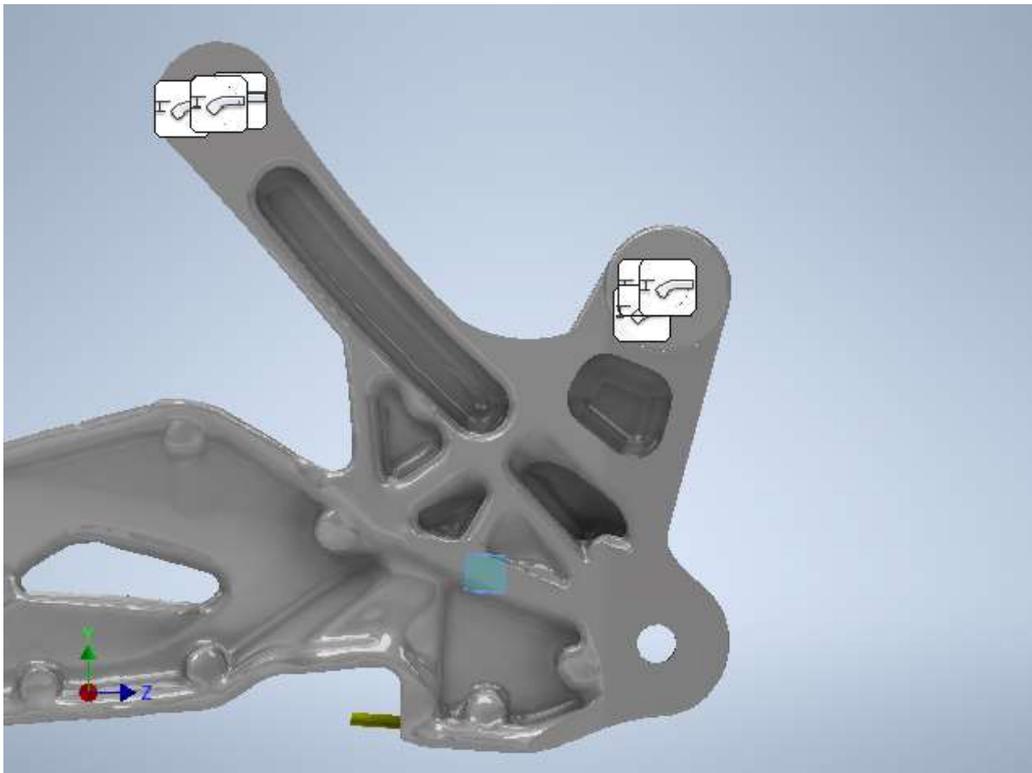
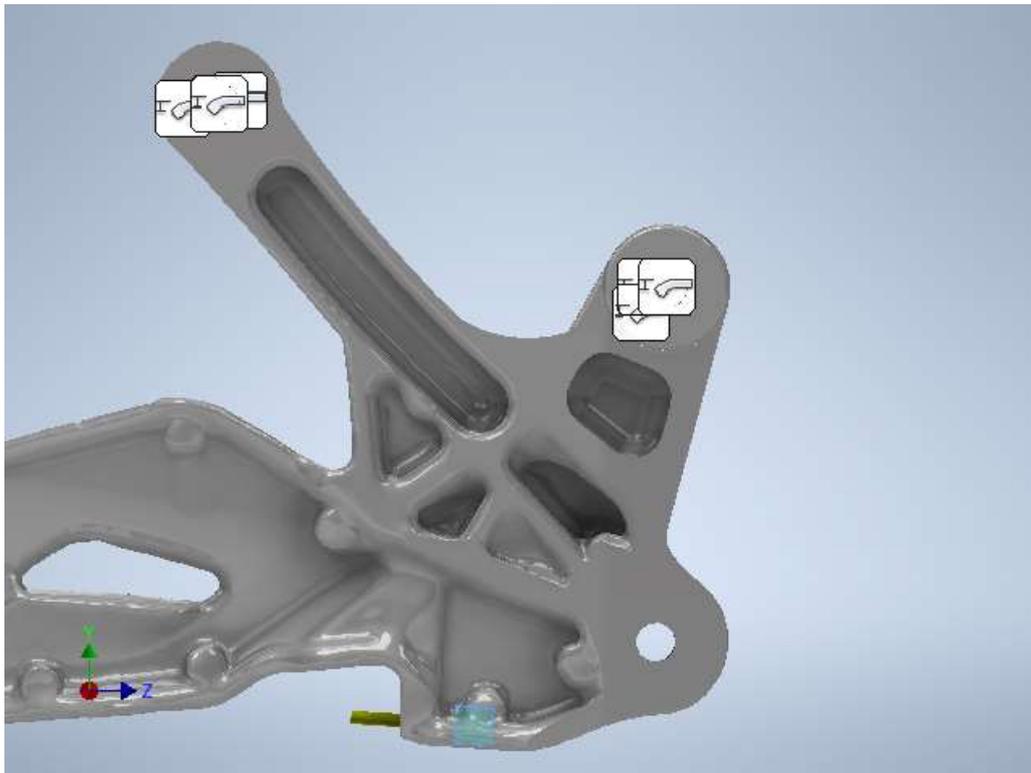


Imagen 151. Fuerza 3 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Fuerza:4

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	964,800 N
Vector X	-964,800 N
Vector Y	0,000 N
Vector Z	0,000 N



*Imagen 152. Fuerza 4 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).*

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Restricción fija:1

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

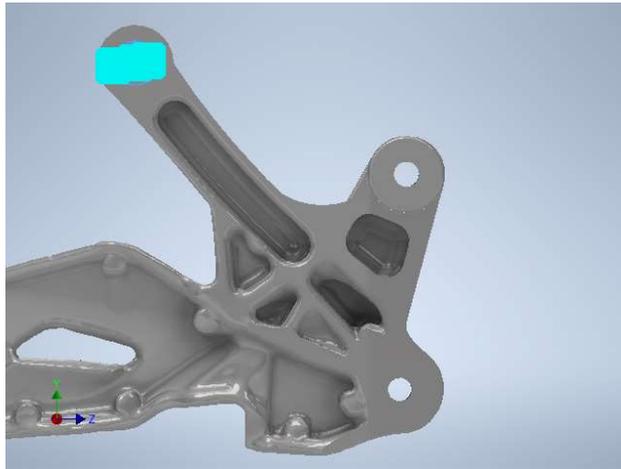


Imagen 153. Restricción fija 1 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

Restricción fija:2

Tipo de restricción	Restricción fija
---------------------	------------------

Cara(s) seleccionada(s)

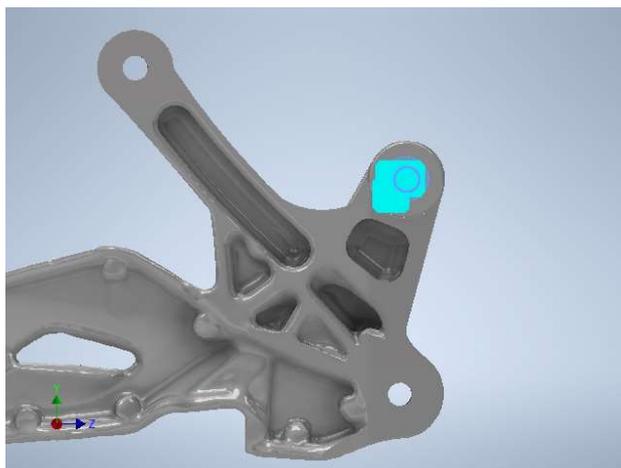


Imagen 154. Restricción fija 2 en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO		Código	FDE 089
			Versión	04
			Fecha	24-02-2020

Resultados

Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	643,194 N	-206,374 N	6,52061 N m	-4,25223 N m
		530,388 N		-3,90327 N m
		-299,66 N		-3,03338 N m
Restricción fija:2	240,433 N	224,567 N	45,4836 N m	13,0634 N m
		85,8935 N		-10,474 N m
		0 N		42,2895 N m

Resumen de resultados

Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	137787 mm ³	
Masa	0,373404 kg	
Tensión de Von Mises	0,000218336 MPa	88,2702 MPa
Primera tensión principal	-8,05173 MPa	97,0118 MPa
Tercera tensión principal	-96,3496 MPa	25,8475 MPa
Desplazamiento	0 mm	0,278257 mm
Coefficiente de seguridad	1,81262 su	15 su

Imágenes

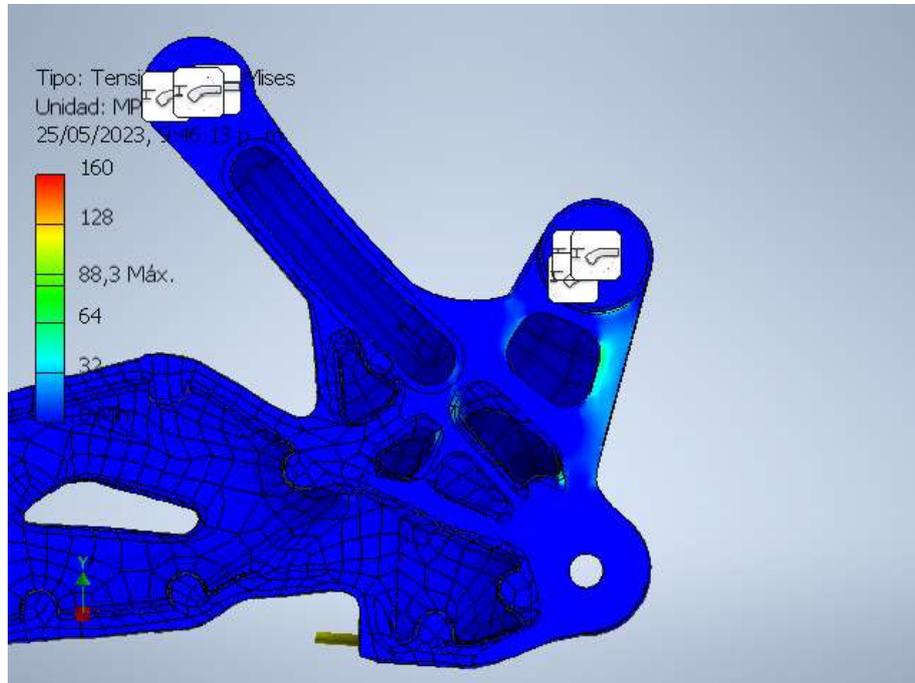


Imagen 155. Tensión de Von Mises en el análisis estático 3, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023).

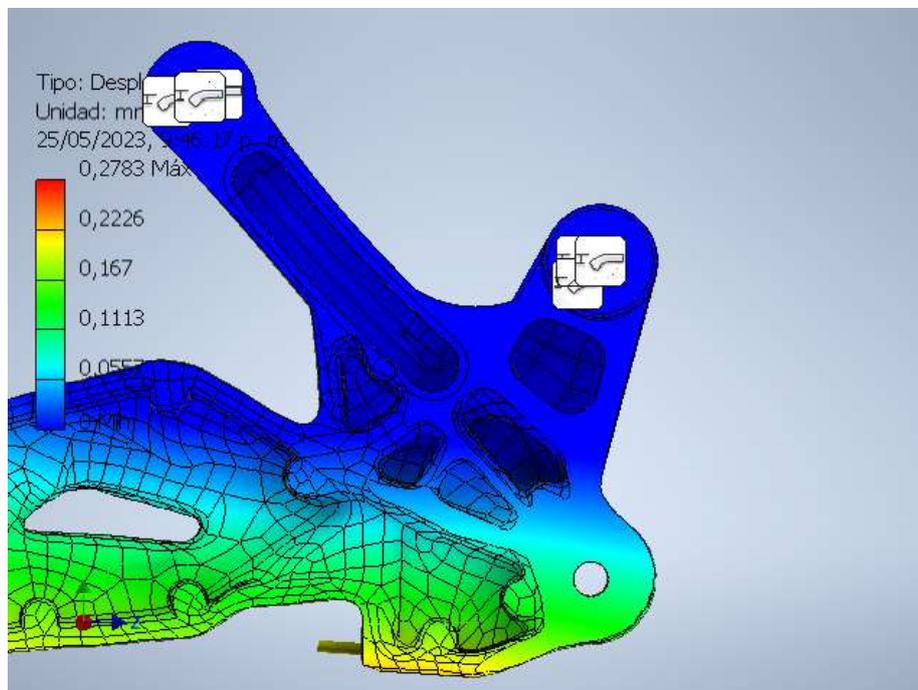


Imagen 156. Desplazamiento en el análisis estático 1, vista posterior.
 (Fuente propia, 2023)

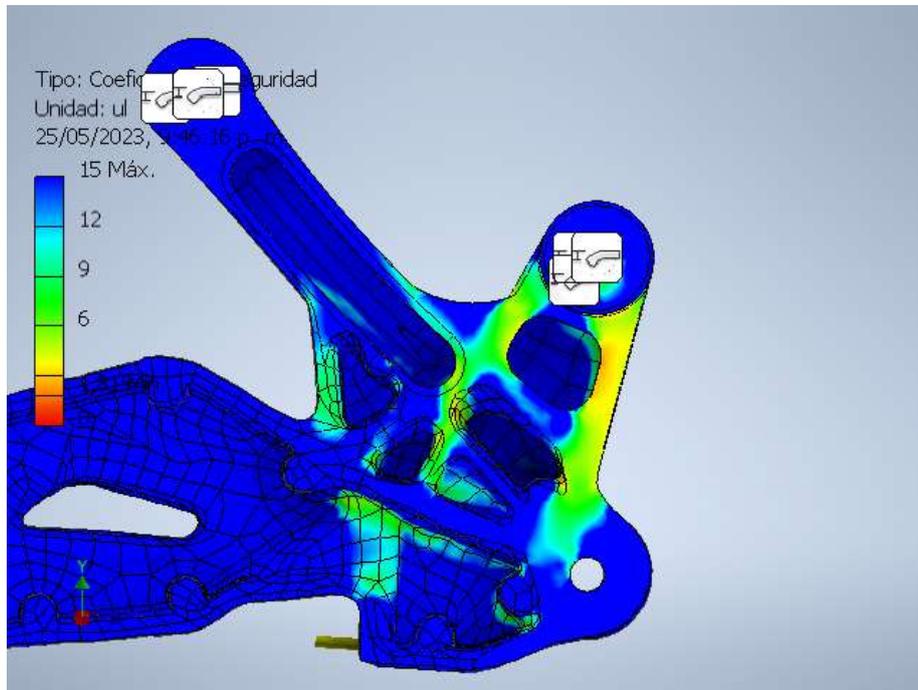


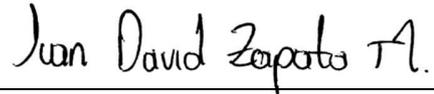
Imagen 157. Coeficiente de seguridad en el análisis estático 1, vista posterior.
(Fuente propia, 2023).

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

FIRMA ESTUDIANTES

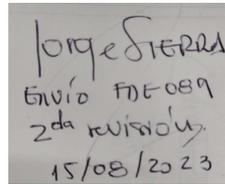


Jhon Asmed Suaza Arroyave



Juan David Zapata Marín

FIRMA ASESORES




Jorge Andrés Sierra Del Río / Edwin Andrés Correa Quintana

FECHA ENTREGA: 15-08-2023