



Optimización topológica y fabricación del soporte del alerón del automóvil ISC

Trabajo fin de grado. Memoria Final

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Autor: Ignacio Menéndez-Morán de Pereda

Director: Rodrigo Álvarez Hernández

Firma del autor: 

Firma del director: 

Madrid, agosto de 2025

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título Optimización topológica y fabricación del soporte del alerón del automóvil ISC en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el curso académico 2024/25 es de mi autoría, original e inédito y no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

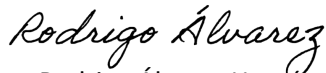


Fdo.: Ignacio Menéndez

Fecha: 27/08 / 2025

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Rodrigo Álvarez Hernández

Fecha: 27/08 / 2025

Optimización topológica y fabricación del soporte del alerón del automóvil ISC

Autor: Menéndez-Morán de Pereda, Ignacio.

Director: Álvarez Hernández, Rodrigo.

RESUMEN DEL PROYECTO

Este trabajo aborda el diseño, análisis y optimización topológica del soporte del alerón trasero del monoplaza del equipo ISC (ICAI *Speed Club*). Realizando estudios de optimización topológica, se desarrollaron versiones orientadas a chapa y a fabricación aditiva metálica. Los resultados muestran reducciones de masa del 9,4 % en la versión de chapa y del 21,8 % en la versión aditiva, manteniendo en ambos casos factores de seguridad superiores a los exigidos por el reglamento de Formula Student. El estudio concluye que la alternativa en chapa resulta ser la única viable económicamente, pese a que la versión en 3D ofrece un mayor potencial estructural.

Palabras clave: optimización topológica, soporte de alerón, Formula Student, fabricación en chapa, impresión 3D metálica, simulación estructural.

Introducción

La optimización topológica es una metodología de diseño estructural orientada a reducir la masa de los componentes manteniendo su resistencia y rigidez (Sigmund & Maute, 2013). En el sector de la automoción, y en este caso, en competiciones como *Formula Student*, su aplicación es clave para mejorar el rendimiento de los vehículos y optimizando el uso de materiales.

Las soluciones generadas se han adaptado a dos vías de fabricación distintas, procesos de conformado en chapa de aluminio y fabricación aditiva metálica mediante fusión selectiva por láser. Además de la parte estructural, el proyecto incluye una comparación económica y un enfoque en sostenibilidad alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (United Nations, 2025).

A lo largo del trabajo se abordan distintas fases de diseño, análisis y adaptación a fabricación, siguiendo en todo momento los requisitos estructurales que impone la competición.

Análisis inicial y condiciones de partida

El componente en cuestión está formado por dos parejas de soportes, superior e inferior, dispuestas simétricamente a cada lado del vehículo. Estas piezas permiten unir el alerón con el chasis y son responsables de transmitir las cargas aerodinámicas e inerciales generadas durante la circulación del monoplaza. Se dispone del modelo del resto de piezas necesarias para realizar un ensamblaje completo.

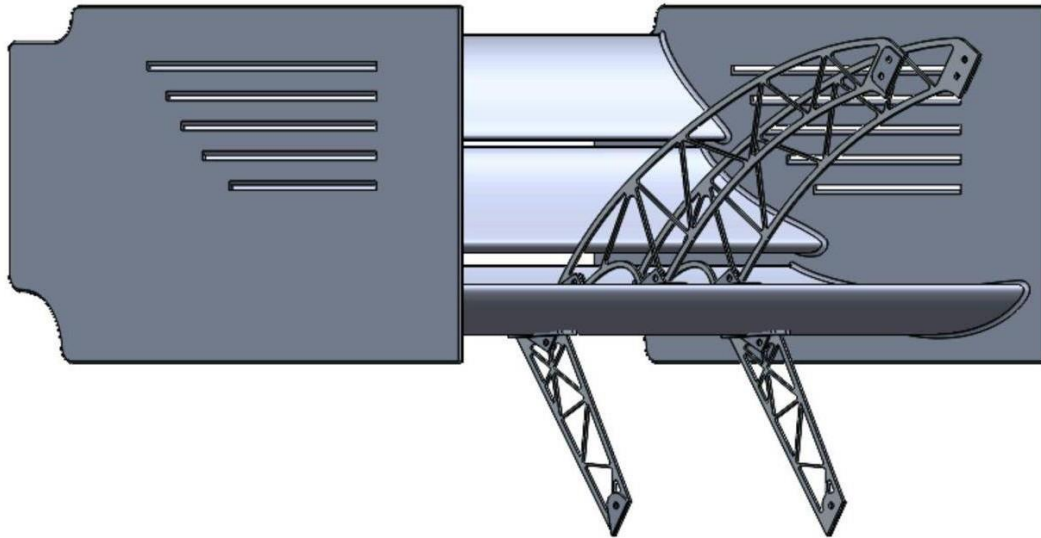


Figura 1. Ensamblaje del alerón trasero con los cuatro soportes (superiores e inferiores). Tomada de SolidWorks.

Los soportes deben resistir tanto las cargas de funcionamiento estimadas por simulación (CFD en ANSYS) entregadas por el equipo, como las condiciones extremas impuestas por el reglamento de Formula Student, que fija dos configuraciones de ensayo con límites estrictos de desplazamiento (restricciones 8.3.1 y 8.3.2). Estas cargas, calculadas en el ensamblaje, se rescatarán para ser trasladadas a estudios individuales.

A partir de ahí, se genera un volumen macizo para cada soporte, definido por las superficies de contacto y las zonas de anclaje, sin vaciados internos ni detalles constructivos. Este volumen servirá como punto de partida para la optimización topológica, con el objetivo de reducir masa manteniendo el comportamiento estructural necesario.

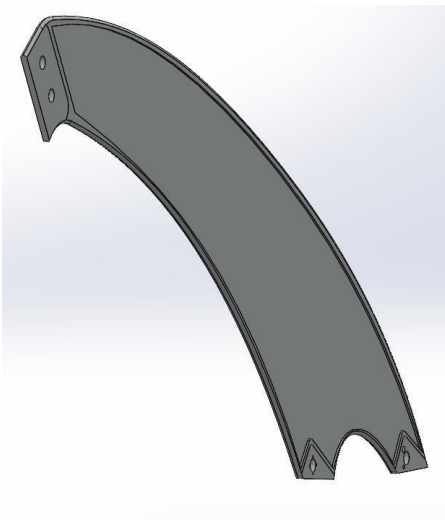


Figura 2. Ejemplo de figura maciza, con la cual el software tiene mayor alcance de acción.

Las condiciones de contorno, los casos de carga y las restricciones geométricas se aplican de forma independiente a cada componente, obteniendo así soluciones adaptadas a su función y compatibles con los métodos de fabricación seleccionados.

Versiones de rediseño propuestas

El estudio se divide en dos propuestas distintas de rediseño, cada una pensada para un método de fabricación específico. Esta bifurcación se plantea desde el inicio del proceso, de modo que cada alternativa evoluciona con sus propias restricciones.

En la versión pensada para corte en chapa se emplea aluminio 7075-T6, una aleación de alta resistencia utilizada habitualmente en aplicaciones estructurales donde se requiere una alta relación resistencia-peso (Du, et al., 2021). Dada la naturaleza del proceso, la geometría del diseño se ve limitada a un espesor constante.

La versión orientada a fabricación aditiva metálica utiliza la aleación AlSi10Mg, muy común en impresión 3D por fusión selectiva por láser (SLM) gracias a su buena resistencia mecánica (aunque inferior a la del aluminio 7075-T6), baja densidad y facilidad de procesamiento (Ghio, et al., 2022). Esta alternativa ofrece una mayor libertad geométrica, permitiendo integrar formas más complejas.

Resultados

Una vez realizados los análisis estáticos en los rediseños, estas son las respuestas frente a los diferentes estados de carga simulados:

Tabla 1. Comparación del rendimiento estructural de los soportes inicial y optimizados.

Estado de carga	Parámetro	Inicial	Rediseño en chapa	Rediseño 3D
Cargas de funcionamiento	Tensión máxima soporte superior (MPa)	87	89,2	97,7
	Tensión máxima soporte inferior (MPa)	162,3	179,7	140,7
	Factor de seguridad	3,11	2,8	1,95
Restricción 8.3.1	Factor de seguridad	9,6	5,8	6
	Desplazamiento máximo resultante (mm)	1,04	1,3	0,6
Restricción 8.3.2	Factor de seguridad	4,3	4,6	2,56
	Desplazamiento máx. en dir. de carga (mm)	8,1	8,8	7

A continuación, se muestran las masas finales obtenidas:

Tabla 2. Comparativa global de masas.

Versión	Soporte sup. (g)	Soporte inf. (g)	Total (g)	Reducción (g)	Reducción (%)
Inicial	179,00	65,00	488,00	-	-
Chapa	167,89	53,10	441,98	45,96	9,4
3D	142,50	48,39	381,78	106,16	21,8

Y finalmente, la estimación precios totales de fabricación en España de cada versión son de 199,6 € la versión para chapa y 3010 € la versión para fabricación aditiva.

Conclusiones

Ambas versiones desarrolladas cumplen con los requisitos de resistencia y desplazamiento impuestos en cada uno de los estados de carga simulados.

El rediseño de fabricación aditiva tiene las mejores propiedades de eficiencia mecánica, logrando mantener o incluso mejorar la respuesta a los diferentes estados de carga reduciendo la masa en un 21,8 %, sin embargo, su coste es desproporcionado y esta fuera del alcance del presupuesto del equipo.

Por otro lado, la versión optimizada en chapa, con un coste estimado muy similar al que tendría la versión inicial, logra disminuir su masa en un 9,4 %, manteniendo una respuesta muy similar a la del componente inicial.

Por tanto, la versión en chapa se establece como la solución óptima al equilibrar rendimiento, reducción de masa y coste.

Referencias

Du, Y., Sun, Y., Zhang, L., & Chen, X. (2021). Mechanical properties and microstructure of 7075-T6 aluminum alloy: A review. *Materials Science and Engineering A*, 799, 140137. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140137>

Ghio, S., Bassoli, E., Gatto, A., & Denti, L. (2022). Mechanical characterization and surface quality of AlSi10Mg parts produced by laser powder bed fusion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(5–6), 1427–1437. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07970-6>

Sigmund, O., & Maute, K. (2013). Topology optimization approaches: A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(6), 1031–1055. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6>

United Nations. (2025). Sustainable Development Goals. <https://sdgs.un.org/goals>

Topology Optimization and Manufacturing of the ISC Car's Rear Wing Support

Author: Menéndez-Morán de Pereda, Ignacio.

Supervisor: Álvarez Hernández, Rodrigo.

PROJECT SUMMARY

This project addresses the design, analysis and topology optimization of the rear wing support of the ISC (ICAI Speed Club) team's car. Through topology optimization studies, two versions were developed: one aimed at sheet metal manufacturing and the other at metal additive manufacturing. The results show mass reductions of 9.4% in the sheet metal version and 21.8% in the additive version, while maintaining safety factors above those required by the Formula Student regulations. The study concludes that the sheet metal alternative is the only economically viable one, although the 3D version offers greater structural potential.

Keywords: topology optimization, wing support, Formula Student, sheet metal manufacturing, metal 3D printing, structural simulation.

Introduction

Topology optimization is a structural design methodology aimed at reducing the mass of components while maintaining their strength and stiffness (Sigmund & Maute, 2013). In the automotive sector, and particularly in competitions such as Formula Student, its application is key to improving vehicle performance and optimizing the use of materials.

The generated solutions were adapted to two different manufacturing paths: aluminum sheet forming processes and metal additive manufacturing by selective laser melting. In addition to the structural side, the project includes an economic comparison and a sustainability approach aligned with the Sustainable Development Goals (United Nations, 2025).

Throughout the project, different phases of design, analysis and manufacturing adaptation are addressed, always following the structural requirements imposed by the competition.

Initial analysis and starting conditions

The component in question consists of two pairs of supports, upper and lower, symmetrically arranged on each side of the vehicle. These parts connect the wing to the chassis and are responsible for transmitting the aerodynamic and inertial loads generated during the car's motion. The model of the rest of the required parts is available in order to perform a complete assembly.

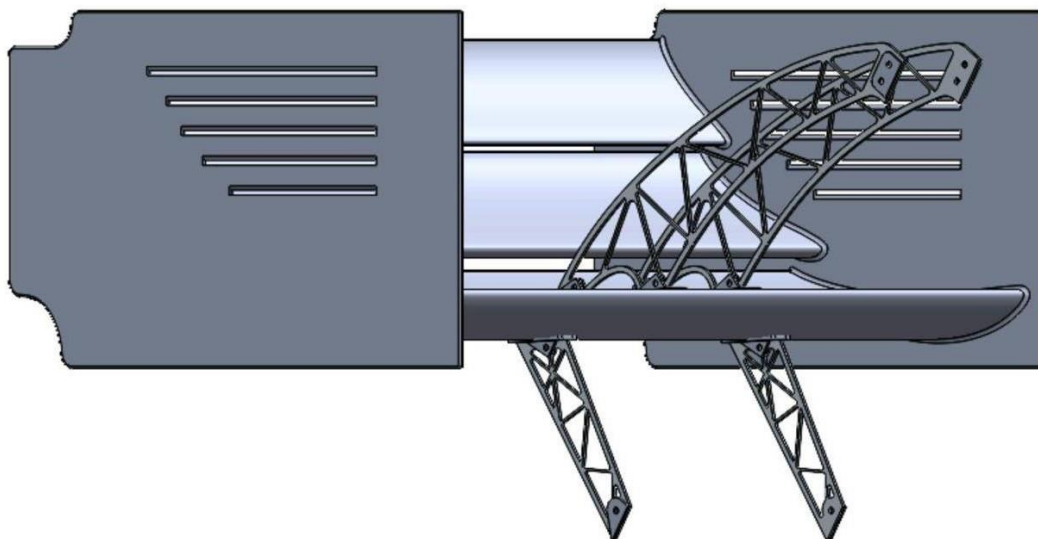


Figure 3. Assembly of the rear wing with the four supports (upper and lower). Taken from SOLIDWORKS.

The supports must withstand both the operating loads estimated through CFD simulation (ANSYS) provided by the team, and the extreme conditions imposed by the Formula Student regulations, which define two test setups with strict displacement limits (restrictions 8.3.1 and 8.3.2). These loads, calculated in the assembly, are retrieved and applied in individual studies.

From this, a solid volume is generated for each support, defined by the contact surfaces and anchoring zones, without internal cavities or constructive details. This volume serves as the starting point for the topology optimization, aiming to reduce mass while maintaining the required structural behavior.

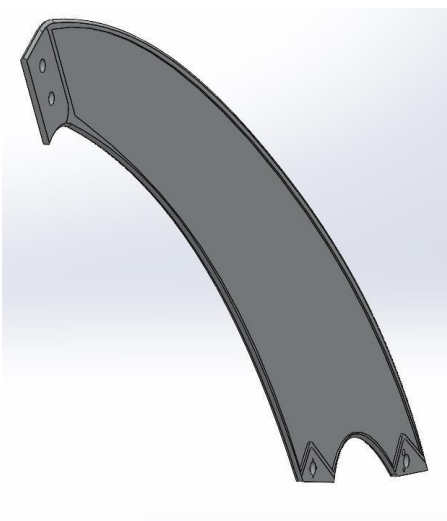


Figure 4. Example of solid figure, with which the software has more design freedom.

Boundary conditions, load cases and geometric constraints are applied independently to each component, obtaining solutions adapted to their function and compatible with the selected manufacturing methods.

Proposed redesign versions

The study is divided into two distinct redesign proposals, each intended for a specific manufacturing method. This split is defined from the beginning of the process, so that each alternative evolves with its own restrictions.

In the version intended for sheet cutting, aluminum 7075-T6 is used, a high-strength alloy commonly used in structural applications where a high strength-to-weight ratio is required (Du et al., 2021). Due to the nature of the process, the design geometry is limited to a constant thickness.

The version focused on metal additive manufacturing uses AlSi10Mg alloy, widely used in 3D printing by selective laser melting (SLM) for its good mechanical strength (though lower than 7075-T6 aluminum), low density and ease of processing (Ghio et al., 2022). This alternative allows greater geometric freedom, enabling the integration of more complex shapes.

Results

Once the static analyses were carried out on the redesigns, these are the responses under the different simulated load cases:

Tabla 3. Structural performance comparison of the initial and optimized supports

Load case	Parameter	Initial	Sheet redesign	3D redesign
Operating loads	Max stress upper support (MPa)	87	89,2	97,7
	Max stress lower support (MPa)	162,3	179,7	140,7
	Safety factor	3,11	2,8	1,95
Restriction 8.3.1	Safety factor	9,6	5,8	6
	Max total displacement (mm)	1,04	1,3	0,6
Restriction 8.3.2	Safety factor	4,3	4,6	2,56
	Max displacement in load dir. (mm)	8,1	8,8	7

The following are the final masses obtained:

Tabla 4. Global mass comparison.

Version	Upper support (g)	Lower support (g)	Total (g)	Reduction (g)	Reduction (%)
Initial	179,00	65,00	488,00	-	-
Sheet	167,89	53,10	441,98	45,96	9,4
3D	142,50	48,39	381,78	106,16	21,8

Finally, the estimated total manufacturing costs in Spain are €199.60 for the sheet version and €3010 for the additive manufacturing version.

Conclusions

Both developed versions meet the strength and displacement requirements imposed in each of the simulated load cases.

The additive manufacturing redesign shows the best mechanical efficiency properties, achieving a reduction of 21.8% in mass while maintaining or even improving the structural response under the different load states. However, its cost is disproportionate and exceeds the team's available budget.

On the other hand, the optimized sheet version, with a cost very similar to that of the initial version, achieves a 9.4% mass reduction while maintaining a structural response very similar to the original component.

Therefore, the sheet metal version is established as the optimal solution by balancing performance, weight reduction and cost.

References

Du, Y., Sun, Y., Zhang, L., & Chen, X. (2021). Mechanical properties and microstructure of 7075-T6 aluminum alloy: A review. *Materials Science and Engineering A*, 799, 140137. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2020.140137>

Ghio, S., Bassoli, E., Gatto, A., & Denti, L. (2022). Mechanical characterization and surface quality of AlSi10Mg parts produced by laser powder bed fusion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 118(5–6), 1427–1437. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-07970-6>

Sigmund, O., & Maute, K. (2013). Topology optimization approaches: A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 48(6), 1031–1055. <https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6>

United Nations. (2025). Sustainable Development Goals. <https://sdgs.un.org/goals>

Índice

1.	Introducción.....	19
1.1.	Contexto del proyecto y motivación inicial.....	19
1.2.	Breve descripción del soporte del alerón y su función en el monoplaça	20
2.	Fundamentos teóricos.....	21
2.1.	Aerodinámica aplicada a automoción	21
2.1.1.	Fuerzas aerodinámicas: <i>drag</i> , <i>downforce</i> y efectos asociados.....	22
2.1.2.	Función de los alerones y su impacto en el rendimiento.....	25
2.2.	Optimización topológica.....	26
2.2.1.	Definición, objetivos y evolución histórica.....	26
2.2.2.	Herramientas software más utilizadas	28
2.2.3.	Ejemplos y trabajos previos relevantes.....	29
3.	Motivación y objetivos del proyecto	30
3.1.	Motivación y ventajas esperadas	30
3.2.	Objetivo general.....	31
3.3.	Objetivos específicos.....	31
3.4.	Selección del método de fabricación	31
3.5.	Métodos alternativos de reducción de masa	32
3.5.1.	Uso de materiales ligeros.....	33
3.6.	Procesos de fabricación.....	34
3.6.1.	Procesos de fabricación de corte en chapa.....	34
3.6.2.	Procesos de fabricación aditiva metálica	36
4.	Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	38
4.1.	ODS 9 – Industria, Innovación e Infraestructura	38
4.2.	ODS 12 – Producción y Consumo Responsables.....	39
4.3.	ODS 13 – Acción por el Clima	39
5.	Metodología de trabajo.....	41
5.1.	Modelado CAD y ensamblajes iniciales en SolidWorks	41
5.1.1.	Modelado de las piezas individuales y cálculo de peso.....	41
5.1.2.	Ensamblaje del soporte, alerón y chasis	43
5.2.	Análisis estáticos iniciales: definición de cargas, condiciones de contorno y resultados	45
5.2.1.	Conexiones y sujeciones	45
5.2.2.	Definición de cargas.....	47

5.2.3.	Modelado de los casos de carga	49
5.2.4.	Cargas normativas.....	51
5.2.5.	Principales resultados del análisis estático	52
5.3.	Estudio de frecuencia inicial.....	56
5.3.1.	Frecuencias de vibración de funcionamiento previsible.....	57
5.3.2.	Modos de vibración	57
5.4.	Preparación para el estudio topológico.....	58
5.4.1.	Obtención de cargas individuales por análisis estático adicional.....	58
5.5.	Configuración del estudio topológico, problemas detectados y soluciones adoptadas	60
5.5.1.	Traslación de cargas	60
5.5.2.	Casos de carga múltiples.....	62
5.5.3.	Definición de regiones conservadas y ramificación de diseños	63
6.	Desarrollo del diseño optimizado	67
6.1.	Resultados de la optimización topológica	67
6.1.1.	Mallas optimizadas soportes superiores.....	67
6.1.2.	Mallas optimizadas soportes inferiores	68
6.2.	Rediseño orientado a fabricación	69
6.2.1.	Importancia de los redondeos en el rediseño.....	69
6.2.2.	Versión optimizada y limitaciones del diseño para chapa.....	69
6.2.3.	Versión optimizada para impresión 3D	71
7.	Resultados y comparaciones	73
7.1.	Análisis estático, comparación del rendimiento estructural.....	73
7.1.1.	Análisis estático del soporte diseñado para chapa	73
7.1.2.	Análisis estático del soporte diseñado para impresión 3D.....	77
7.1.3.	Tabla comparativa del soporte inicial y rediseños.....	80
7.2.	Estudio de frecuencia y evaluación de riesgos	81
7.2.1.	Resultados y comparaciones del análisis modal de los rediseños	81
7.2.2.	Valoración del riesgo de resonancia.....	81
7.3.	Reducción de material conseguida.....	82
7.3.1.	Masa de los rediseños.....	82
7.3.2.	Masa de la versión optimizada para impresión 3D	82
7.3.3.	Comparativa global de masas	83
8.	Viabilidad y métodos de fabricación.....	84
8.1.	Tolerancias escogidas	84

8.2.	Fabricación de la versión optimizada para chapa	84
8.3.	Fabricación de la versión optimizada para impresión 3D	85
8.4.	Comparativa de costes estimados	86
8.4.1.	Precio estimado de la versión optimizada para chapa	86
8.4.2.	Precio estimado de la versión optimizada para impresión 3D	86
9.	Discusión final.....	88
9.1.	Conclusiones.....	88
9.2.	Limitaciones observadas en el software	88
9.3.	Propuesta de mejora personal	88
9.4.	Alineación final con los Objetivos de Desarrollo Sostenible	89
10.	Bibliografía.....	90
	Anexo I: Planos técnicos de las piezas rediseñadas	94
	Anexo II: Informes de análisis estáticos de ensamblajes	100
	Anexo III: Informes de estudios de frecuencia.....	245
	Anexo IV: Hoja Excel para cálculo de traslado de cargas	324

Índice de Figuras

FIGURA 1. ENSAMBLAJE DEL ALERÓN TRASERO CON LOS CUATRO SOPORTES (SUPERIORES E INFERIORES). TOMADA DE SOLIDWORKS.	4
FIGURA 2. EJEMPLO DE FIGURA MACIZA, CON LA CUAL EL SOFTWARE TIENE MAYOR ALCANCE DE ACCIÓN.	4
FIGURE 3. ASSEMBLY OF THE REAR WING WITH THE FOUR SUPPORTS (UPPER AND LOWER). TAKEN FROM SOLIDWORKS.	8
FIGURE 4. EXAMPLE OF SOLID FIGURE, WITH WHICH THE SOFTWARE HAS MORE DESIGN FREEDOM.	8
FIGURA 5. VISTA GENERAL DEL CONJUNTO ALERÓN-SOPORTE-CHASIS, DONDE SE APRECIAN LAS PAREJAS DE SOPORTES. TOMADA DE SU DISEÑO EN SOLIDWORKS.	20
FIGURA 6. SIMULACIÓN DEL MOVIMIENTO DEL AIRE ALREDEDOR DE UN AUTOMÓVIL EN MOVIMIENTO (CAKIR, 2012).	21
FIGURA 7. ESQUEMA DE FUERZAS AERODINÁMICAS Y PUNTOS DE REFERENCIA SOBRE UN AVIÓN: SUSTENTACIÓN (L), RESISTENCIA (D), PESO (WEIGHT), ÁNGULO DE ATAQUE (A) Y VELOCIDAD DEL AIRE INCIDENTE (U_{∞}) (BERTIN C CUMMINGS, 2014, PÁG. 216).	23
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE PRESIONES AERODINÁMICAS EN LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO. TOMADA DE (KUREC, REMER, MAYER, TUDRUJ, C PIECHNA, 2019)	23
FIGURA 9. SE MUESTRA LA EVOLUCIÓN DEL COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN C_L (PROPORCIONAL A LA FUERZA DE SUSTENTACIÓN) EN FUNCIÓN DE LA ALTURA RELATIVA AL SUELO H/C, ENCONTRÁNDOSE SU MÁXIMO A ALTURAS BAJAS. TOMADA DE (ZHANG, TOET, C ZERIHAN, 2006).	24
FIGURA 10. SE MUESTRA LA EVOLUCIÓN DEL EFECTO DE LA FUERZA DESCENDENTE GENERADA POR LOS ALERONES EN LA ACELERACIÓN MÁXIMA EN CURVA EN LOS ÚLTIMOS 50 AÑOS. TOMADA DE (KATZ, AUTOMOTIVE AERODYNAMICS, 2016).	25
FIGURA 11. SIMULACIÓN CFD REALIZADA EN ANSYS, SIMULA EL MOVIMIENTO DEL AIRE ALREDEDOR DE UN AUTOMÓVIL EN MOVIMIENTO. TOMADA DE (QIU C ZHANG, 2023).	26
FIGURA 12. EJEMPLO INDUSTRIAL DE METODOLOGÍA DE OPTIMIZACIÓN Y FABRICACIÓN ADITIVA EN EL SOPORTE DEL ALERÓN DEL BUGATTI CHIRON SPORT. TOMADO DE (CHIRINDA C MATOPE, 2021)	29
FIGURA 13. FOTOGRAFÍA DEL PROCESO DE CORTE POR CHORRO DE AGUA. TOMADA DE (FINEMETALWORKING, 2021).	34
FIGURA 14. FOTOGRAFÍA DEL PROCESO DE CORTE POR LÁSER. TOMADA DE (WAYKEN RAPID MANUFACTURING, 2022).	35
FIGURA 15. FOTOGRAFÍA DEL PROCESO DE CORTE POR ELECTROEROSIÓN. TOMADA DE (SHENG FENG, 2024).	35
FIGURA 16. FOTOGRAFÍA DEL PROCESO DE IMPRESIÓN ADITIVA POR SLM. TOMADA DE (KDMFAB, 2024).	36
FIGURA 17. FOTOGRAFÍA DEL PROCESO DE IMPRESIÓN ADITIVA POR EBM. TOMADA DE (EUROFUSION CONSORTIUM, 2025).	36
FIGURA 18. FOTOGRAFÍA DEL PROCESO DE IMPRESIÓN ADITIVA POR INYECCIÓN DE AGLUTINANTE. TOMADA DE (PROTO3000, 2022).	37
FIGURA 19. DETALLE DEL PROCESO DE BEAD BLASTING (GRANALLADO CON MICROESFERAS). TOMADA DE (3DSPRO, 2025).	37
FIGURA 20. ICONO OFICIAL DEL OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 9 - INDUSTRIA, INNOVACIÓN E INFRAESTRUCTURA. TOMADA DE (UNITED NATIONS, 2025).	39
FIGURA 21. ICONO OFICIAL DEL OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 12 - PRODUCCIÓN Y CONSUMO RESPONSABLES. TOMADA DE (UNITED NATIONS, 2025).	39

FIGURA 22. ICONO OFICIAL DEL OBJETIVO DE DESARROLLO SOSTENIBLE 13 - ACCIÓN POR EL CLIMA. TOMADA DE (UNITED NATIONS, 2025).	40
FIGURA 23. VISTA GENERAL DEL SOPORTE SUPERIOR.	41
FIGURA 24. VISTA GENERAL DEL SOPORTE INFERIOR.	42
FIGURA 25. MASAS DE CADA COMPONENTE DEL SOPORTE CALCULADAS POR SOLIDWORKS.	43
FIGURA 26. VISTA LATERAL DEL CONJUNTO MOSTRANDO LA ALTURA FIJA DEL ALERÓN RESPECTO AL CHASIS.	43
FIGURA 27. VISTA GENERAL DEL CONJUNTO ALERÓN-SOPORTE, EN EL CUAL SE REALIZARÁN TODOS LOS ANÁLISIS ESTÁTICOS.	44
FIGURA 28. DETALLE DE LA ALINEACIÓN DE EJES CILÍNDRICOS ENTRE SOPORTE Y ELEMENTOS DE FIJACIÓN.	44
FIGURA 29. DETALLE DE LAS SUPERFICIES ALINEADAS EN LA UNIÓN SOPORTE-ALERÓN	45
FIGURA 30. UNIÓN MEDIANTE PASADORES ENTRE SOPORTES Y ELEMENTOS DE FIJACIÓN.	46
FIGURA 31. UNIÓN RÍGIDA DE LA BASE DE LOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN AL ALERÓN.	46
FIGURA 32. SUJECIÓN RÍGIDA DE LOS SOPORTES EN LOS PUNTOS DE UNIÓN AL CHASIS.	47
FIGURA 33. REPRESENTACIÓN DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD EN EL ENSAMBLAJE.	49
FIGURA 34. APLICACIÓN DE LA CARGA DE INERCIA LATERAL SOBRE EL ALERÓN.	50
FIGURA 35. APLICACIÓN DE LA CARGA DE DRAG SOBRE EL ALERÓN.	50
FIGURA 36. APLICACIÓN DE LA CARGA DE DOWNFORCE SOBRE EL ALERÓN.	51
FIGURA 37 . REPRESENTACIÓN DE LA RESTRICCIÓN 8.3.1	51
FIGURA 38. REPRESENTACIÓN DE LA RESTRICCIÓN 8.3.2	52
FIGURA 39. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES BAJO CARGA DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES SUPERIORES.	53
FIGURA 40. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES BAJO CARGA DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES INFERIORES.	53
FIGURA 41. MAPA DEL FACTOR DE SEGURIDAD DE TODOS LOS SOPORTES BAJO CARGA DE FUNCIONAMIENTO.	54
FIGURA 42. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES BAJO CARGA DE LA RESTRICCIÓN 8.3.1 EN TODOS LOS SOPORTES.	54
FIGURA 43. MAPA DE DESPLAZAMIENTOS BAJO CARGA DE LA RESTRICCIÓN 8.3.1 EN LA DIRECCIÓN DE DICHA FUERZA (COORDENADA X).	55
FIGURA 44. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES BAJO CARGA DE LA RESTRICCIÓN 8.3.2 EN TODOS LOS SOPORTES.	55
FIGURA 45. MAPA DE DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES BAJO CARGA DE LA RESTRICCIÓN 8.3.2.	56
FIGURA 46. REPRESENTACIÓN DE LAS SUJECIONES EN ESTUDIOS DE FRECUENCIA.	56
FIGURA 47. FRECUENCIAS NATURALES DEL SOPORTE SUPERIOR DE LOS PRIMEROS CINCO MODOS ENTREGADOS POR EL SOFTWARE.	57
FIGURA 48. FRECUENCIAS NATURALES DEL SOPORTE INFERIOR DE LOS PRIMEROS CINCO MODOS ENTREGADOS POR EL SOFTWARE.	58
FIGURA 49. MODELO AUXILIAR DEL SOPORTE SUPERIOR CON MUESCAS EN LAS ZONAS DE CONTACTO CON LOS ELEMENTOS DE FIJACIÓN.	59
FIGURA 50. PUNTO DE REFERENCIA UBICADO EN EL CENTRO GEOMÉTRICO DEL ALOJAMIENTO DEL PASADOR.	59
FIGURA 51. EXTRACCIÓN DE FUERZAS Y MOMENTOS RESULTANTES EN EL ELEMENTO DE FIJACIÓN DELANTERO DEL SOPORTE SUPERIOR DERECHO BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO.	60
FIGURA 52. DISPOSICIÓN DE MUESCAS CIRCULARES EQUIDISTANTES DEL PUNTO DE REFERENCIA.	61
FIGURA 53. EJEMPLO DE HOJA EXCEL USADA PARA EL TRASLADO DE CARGAS.	61

FIGURA 54. DISPOSICIÓN DE LAS CARGAS SUFRIDAS POR LOS SOPORTES SOBRE LAS CARAS EN CONTACTO CON ELEMENTOS DE FIJACIÓN.	62
FIGURA 55. EJEMPLO DE APLICACIÓN DE CASOS DE CARGA MÚLTIPLES, DONDE CADA CASO PERTENECE A UN ESTADO DE CARGA Y COMPONENTE ESPECÍFICOS.	62
FIGURA 56. DISEÑO PARA ESTUDIO TOPOLÓGICO PARA FABRICACIÓN POR CHAPA DEL SOPORTE SUPERIOR.	63
FIGURA 57. DISEÑO PARA ESTUDIO TOPOLÓGICO PARA FABRICACIÓN POR CHAPA DEL SOPORTE INFERIOR.	64
FIGURA 58. DISEÑO PARA ESTUDIO TOPOLÓGICO PARA FABRICACIÓN POR IMPRESIÓN 3D DEL SOPORTE SUPERIOR.	64
FIGURA 59. DISEÑO PARA ESTUDIO TOPOLÓGICO PARA FABRICACIÓN POR IMPRESIÓN 3D DEL SOPORTE INFERIOR.	65
FIGURA 60. REGIONES CONSERVADAS EN EL SOPORTE SUPERIOR.	65
FIGURA 61. REGIONES CONSERVADAS EN EL SOPORTE INFERIOR.	66
FIGURA 62. MALLA OPTIMIZADA PARA CHAPA DEL SOPORTE SUPERIOR.	67
FIGURA 63. MALLA OPTIMIZADA PARA IMPRESIÓN 3D DEL SOPORTE SUPERIOR.	68
FIGURA 64. MALLA OPTIMIZADA PARA CHAPA DEL SOPORTE INFERIOR.	68
FIGURA 65. MALLA OPTIMIZADA PARA IMPRESIÓN 3D DEL SOPORTE INFERIOR.	69
FIGURA 66. DISEÑO OPTIMIZADO PARA CHAPA DEL SOPORTE SUPERIOR.	70
FIGURA 67. DISEÑO OPTIMIZADO PARA CHAPA DEL SOPORTE INFERIOR.	70
FIGURA 68. DISEÑO OPTIMIZADO PARA IMPRESIÓN 3D DEL SOPORTE SUPERIOR.	71
FIGURA 69. DISEÑO OPTIMIZADO PARA IMPRESIÓN 3D DEL SOPORTE INFERIOR.	72
FIGURA 70. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES SUPERIORES DISEÑADOS PARA CHAPA.	73
FIGURA 71. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES INFERIORES DISEÑADOS PARA CHAPA.	74
FIGURA 72. FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA CHAPA.	74
FIGURA 73. FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.1 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA CHAPA.	75
FIGURA 74. DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.1 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA CHAPA.	75
FIGURA 75. FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.2 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA CHAPA.	76
FIGURA 76. DESPLAZAMIENTOS EN EJE X BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.2 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA CHAPA.	76
FIGURA 77. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES SUPERIORES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	77
FIGURA 78. DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES INFERIORES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	77
FIGURA 79. FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CARGAS DE FUNCIONAMIENTO EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	78
FIGURA 80. FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.1 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	78
FIGURA 81. DESPLAZAMIENTOS RESULTANTES BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.1 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	79
FIGURA 82. FACTOR DE SEGURIDAD BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.2 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	79
FIGURA 83. DESPLAZAMIENTOS EN EJE X BAJO CARGAS DE RESTRICCIÓN 8.3.1 EN LOS SOPORTES DISEÑADOS PARA IMPRESIÓN 3D.	80

FIGURA 84. MASAS DE CADA COMPONENTE DEL SOPORTE OPTIMIZADO PARA CHAPA, CALCULADAS POR SOLIDWORKS.	82
FIGURA 85. MASAS DE CADA COMPONENTE DEL SOPORTE OPTIMIZADO PARA IMPRESIÓN 3D, CALCULADAS POR SOLIDWORKS.	82
FIGURA 86. MUESTRA DE PIEZA CORTADA POR CHORRO DE AGUA EN MADRID. TOMADA DE LA PÁGINA WEB DE (CUTMESUR, 2025)	84
FIGURA 87. MUESTRA DE PIEZA IMPRESA POR SLM EN MADRID. TOMADA DE LA PÁGINA WEB DE (ZELTA3D, 2025).	85

Índice de Tablas

TABLA 1. COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS SOPORTES INICIAL Y OPTIMIZADOS.	5
TABLA 2. COMPARATIVA GLOBAL DE MASAS.	5
TABLA 3. STRUCTURAL PERFORMANCE COMPARISON OF THE INITIAL AND OPTIMIZED SUPPORTS	9
TABLA 4. GLOBAL MASS COMPARISON.	9
TABLA 5. COMPARACIÓN DEL RENDIMIENTO ESTRUCTURAL DE LOS SOPORTES INICIAL Y OPTIMIZADOS.	80
TABLA 6. FRECUENCIAS NATURALES DE LOS CINCO PRIMEROS MODOS DE VIBRACIÓN, OBTENIDAS POR EL SOFTWARE.	81
TABLA 7. COMPARATIVA GLOBAL DE MASAS.	83

1. Introducción

Este trabajo aborda el diseño y validación del soporte del alerón trasero del monoplaça del equipo ISC, el ICAI Speed Club de la Universidad Pontificia Comillas. El objetivo principal es desarrollar un componente estructural eficiente capaz de cumplir de transmitir las cargas previstas al chasis optimizando su masa y garantizando su integridad mecánica.

La metodología combina herramientas de diseño asistido por ordenador y análisis numérico para definir una geometría optimizada y adaptada a distintas posibilidades de fabricación. El enfoque persigue obtener un diseño que cumpla los requisitos funcionales, que contribuya a mejorar el rendimiento global del vehículo y que establezca una base sólida para futuras aplicaciones en otros componentes.

El trabajo incorpora además una perspectiva de sostenibilidad, buscando optimizar el uso de material, reducir el impacto ambiental del proceso de fabricación y alinear el desarrollo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible 9, 12 y 13.

1.1. Contexto del proyecto y motivación inicial

La *Formula Student* es una de las competiciones universitarias de ingeniería más reconocidas a nivel internacional, organizada por el *Institution of Mechanical Engineers* (IMechE), donde los equipos diseñan y construyen monoplaças evaluados tanto en pruebas de rendimiento como en criterios de diseño, innovación y eficiencia (Institution of Mechanical Engineers, 2024). Para mantenerse competitivo frente a otras universidades, el equipo ISC trabaja de forma continua en la mejora de su vehículo.

La incorporación de un alerón trasero forma parte de la estrategia de optimización aerodinámica del monoplaça, y este elemento exige un soporte específico que garantice la transmisión segura de las cargas aerodinámicas e inerciales al chasis y que, al mismo tiempo, cumpla con las limitaciones dimensionales y constructivas propias de la competición. Este proyecto nace de la necesidad de disponer de un diseño ligero y resistente que aporte ventajas competitivas y se ajuste a los medios de fabricación disponibles.

Más allá de resolver un requisito puntual, el desarrollo de este soporte busca establecer una metodología de diseño replicable que ayude a optimizar otros componentes del vehículo en futuras temporadas, reforzando la capacidad de innovación, el uso eficiente de recursos y la mejora continua dentro del equipo.

1.2. Breve descripción del soporte del alerón y su función en el monoplaça

El soporte del alerón trasero está formado por dos elementos superiores y dos inferiores, dispuestos de forma simétrica respecto al plano longitudinal del monoplaça. Esta configuración permite distribuir las cargas aerodinámicas e inerciales entre los puntos de anclaje del alerón y el chasis, garantizando la estabilidad estructural del conjunto.

Cada componente superior conecta un punto de unión en la parte alta del chasis con dos puntos situados en el alerón, proporcionando la rigidez necesaria para mantener su ángulo e incidencia. Los soportes inferiores, de configuración más simple, unen la parte baja del alerón con el chasis, contribuyendo a estabilizar el sistema y reduciendo la carga sometida sobre los elementos superiores.

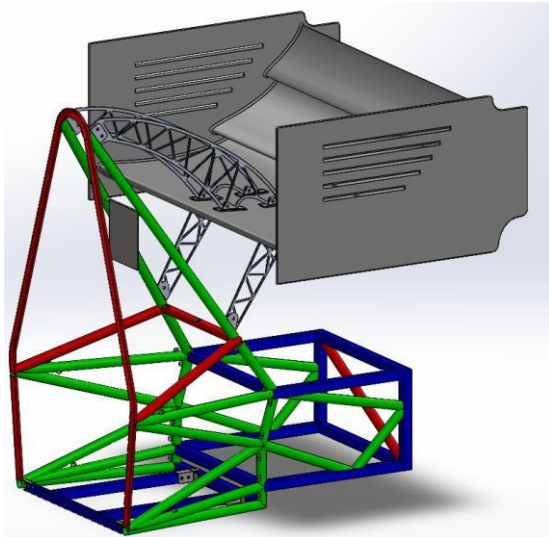


Figura 5. Vista general del conjunto alerón-soporte-chasis, donde se aprecian las parejas de soportes. Tomada de su diseño en SolidWorks.

Algunos aspectos clave del diseño son:

- Interfaces de unión: puntos de anclaje mecanizados en el alerón y el chasis, con uniones rígidas mediante pasadores.
- Transmisión de cargas: el soporte debe canalizar la carga vertical (fuerza descendente generada por la gravedad y las cargas aerodinámicas), la carga longitudinal (debida a la resistencia aerodinámica) y la carga lateral inercial.
- Criterios funcionales: rigidez suficiente para mantener la geometría del alerón en todo momento, así como el cumplimiento de límites de desplazamiento y seguridad establecidos por el reglamento y los criterios internos del equipo.
- Restricciones geométricas: altura del ala principal y compatibilidad con la estructura del monocoque, condicionando la disposición final de los anclajes.

2. Fundamentos teóricos

Se comentarán diversos puntos a tener en cuenta en la realización de este proyecto, desde conceptos como las fuerzas aerodinámicas y la función que cumplen los alerones hasta la explicación de que es la optimización topológica y la existencia de trabajos previos en la materia.

2.1. Aerodinámica aplicada a automoción

El concepto de la aerodinámica se puede definir como la rama de la física que estudia cómo se comporta el aire en su interacción con objetos en movimiento. Comprender el flujo del aire alrededor de un objeto nos permite determinar las fuerzas y momentos que actúan sobre él (Katz, Automotive aerodynamics, 2016).

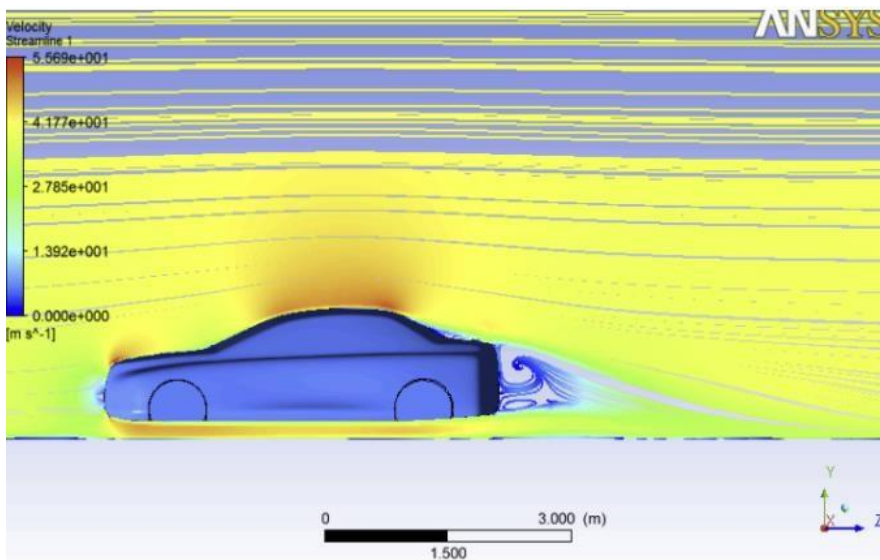


Figura 6. Simulación del movimiento del aire alrededor de un automóvil en movimiento (Cakir, 2012).

En automoción, y especialmente en competición, el estudio de la aerodinámica resulta fundamental, ya que las formas y elementos exteriores condicionan las cargas que se generan sobre la estructura del vehículo.

2.1.1. Fuerzas aerodinámicas: *drag*, *downforce* y efectos asociados

Las fuerzas aerodinámicas son la combinación de las presiones y las fuerzas de cizalladura que actúan sobre la superficie de un cuerpo al atravesar un fluido (teniendo, por tanto, un movimiento relativo entre fluido y superficie del cuerpo).

Para estudios relacionados con la trayectoria de vehículos, sobre todo en la industria aeroespacial, (de donde se saca esta nomenclatura) se divide el total de la fuerza aerodinámica que sufren dichos vehículos en dos componentes (Katz, Automotive aerodynamics, 2016):

- Fuerza de resistencia ("*Drag*"), paralela al movimiento del vehículo, con sentido contrario al mismo.
- Fuerza de sustentación ("*Lift*"), perpendicular al movimiento del vehículo. En el sector automovilístico, cuando esta fuerza es descendente en algunas zonas de la carrocería del vehículo, recibe el nombre de "*downforce*".

Los factores que influyen en la magnitud de estas fuerzas son (Bertin & Cummings, 2014):

- La geometría exterior del cuerpo y distancia al suelo, pues influye en la superficie que estará en contacto con el aire a diferentes presiones, este parámetro afectará de manera diferente a las fuerzas aerodinámicas de resistencia y de sustentación.
- El ángulo de ataque, la inclinación de la parte más adelantada del cuerpo (ver figura 3). Este parámetro afecta de manera general con mayor proporción a la fuerza de sustentación.
- La velocidad del aire incidente, la cual es la relativa entre la velocidad del aire (viento) y el cuerpo.
- La densidad del flujo libre, es decir, la densidad local del aire en condiciones no perturbadas por el propio vehículo.
- El número de Reynolds, número adimensional que relaciona la viscosidad del flujo entre el cuerpo y el fluido con las dimensiones del cuerpo.
- El número de Mach, número adimensional, proporción de la velocidad del aire incidente respecto a la velocidad del sonido en el medio (la cual depende de factores como la presión, temperatura y el gas local).

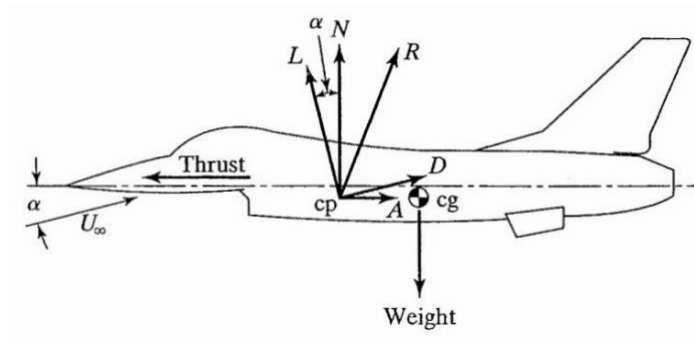


Figura 7. Esquema de fuerzas aerodinámicas y puntos de referencia sobre un avión: sustentación (L), resistencia (D), peso ($Weight$), ángulo de ataque (α) y velocidad del aire incidente (U_{∞}) (Bertin & Cummings, 2014, pág. 216).

En automóviles, la forma exterior se diseña con el objetivo de reducir al máximo la resistencia aerodinámica, pero también han de tenerse en cuenta otros efectos de la aerodinámica del vehículo, de entre los que destacan:

- La inestabilidad en el eje trasero del vehículo causada por fuerzas aerodinámicas de sustentación, las cuales varían en intensidad a lo largo y ancho de la carrocería. Estas fuerzas pueden provocar una reducción significativa en la tracción de las ruedas motrices (Kurec, Remer, Mayer, Tudruj, & Piechna, 2019).

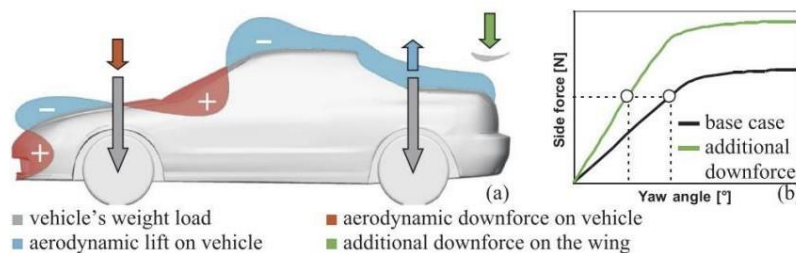


Figura 8. Distribución de presiones aerodinámicas en la carrocería del vehículo. Tomada de (Kurec, Remer, Mayer, Tudruj, & Piechna, 2019)

- **El efecto suelo** ("Ground effect"), fenómeno por el cual el vehículo genera una aerodinámica descendente adicional en las superficies de la carrocería cuando estas están cerca del suelo (Zhang, Toet, & Zerihan, 2006).

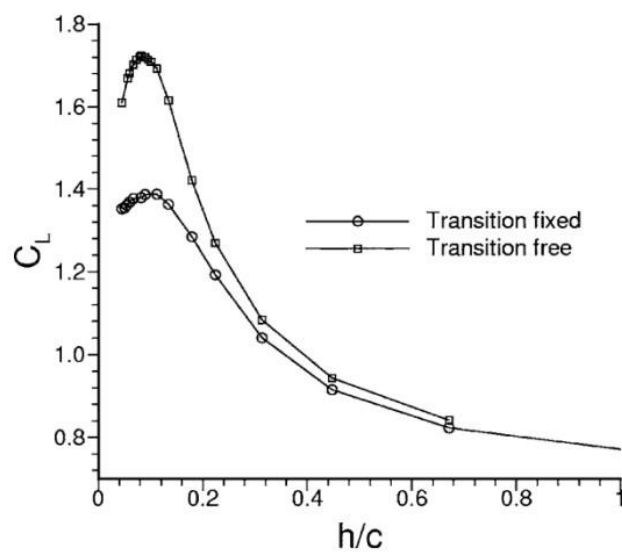


Figura 9. Se muestra la evolución del coeficiente de sustentación C_L (proporcional a la fuerza de sustentación) en función de la altura relativa al suelo h/c , encontrándose su máximo a alturas bajas. Tomada de (Zhang, Toet, & Zerihan, 2006).

2.1.2. Función de los alerones y su impacto en el rendimiento

La función del alerón es, añadiendo el menor peso posible, generar una fuerza aerodinámica descendente para compensar la fuerza de sustentación elevada existente a altas velocidades. Existen dos tipos de alerones según su ubicación en la carrocería (Katz & Garcia, Aerodynamic effects of Indy Car components, 2002):

- Alerón trasero, situado en la parte posterior del vehículo, tiene como función generar una fuerza aerodinámica descendente en el eje trasero del automóvil gracias a su geometría. En algunas ocasiones puede contribuir a la reducción de la fuerza aerodinámica de resistencia.
- Alerón delantero, ubicado en la parte frontal del vehículo, cumple una función similar que la del alerón trasero, pero en el eje delantero del automóvil. Su efecto descendente se potencia gracias a la contribución del efecto suelo, por lo que para su diseño se ha de tener en cuenta tanto su altura respecto al suelo como su ángulo de incidencia. Cabe destacar que a alturas pequeñas y ángulos inclinados no solo se incrementa la fuerza descendente, sino también la resistencia aerodinámica.

Esta fuerza sobre los ejes del automóvil aumenta la tracción de las ruedas, lo que conlleva ventajas muy significativas. El aumento en la tracción de un vehículo implica mayor capacidad de aceleración del vehículo (al aumentar la tracción en las ruedas motrices) y una mayor capacidad de entrada y estabilidad en curva como se ve en la siguiente gráfica:

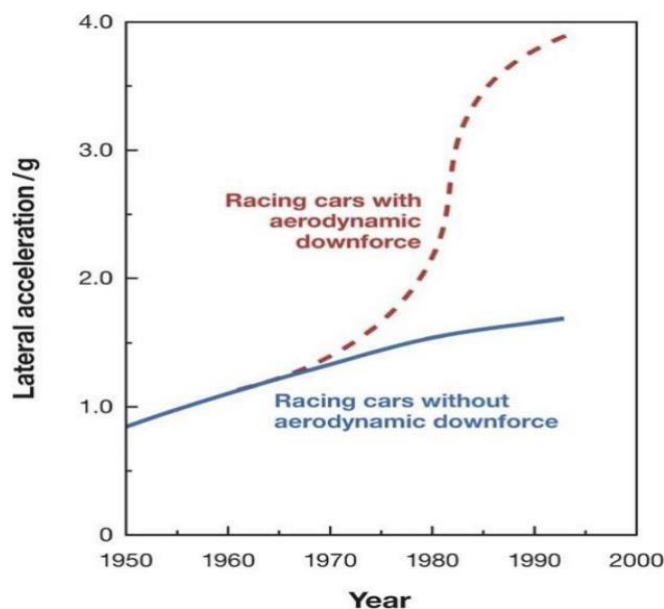


Figura 10. Se muestra la evolución del efecto de la fuerza descendente generada por los alerones en la aceleración máxima en curva en los últimos 50 años. Tomada de (Katz, Automotive aerodynamics, 2016).

Para diseñar alerones y otras piezas expuestas al flujo se emplean herramientas especializadas:

- Software de diseño CAD (Diseño Asistido por Ordenador), como son SolidWorks o SolidEdge, utilizados para crear y modificar los modelos 3D de las piezas.
- Software de simulación CFD (Dinámica de fluidos computacional), como ANSYS Fluent o SolidWorks Flow Simulation (este último recomendado para análisis más sencillos), que permiten simular el flujo del aire alrededor de las piezas para predecir así las cargas aerodinámicas que estas generan.

Estas herramientas son esenciales para desarrollar geometrías acordes con la función aerodinámica que deben cumplir los alerones (Qiu & Zhang, 2023).

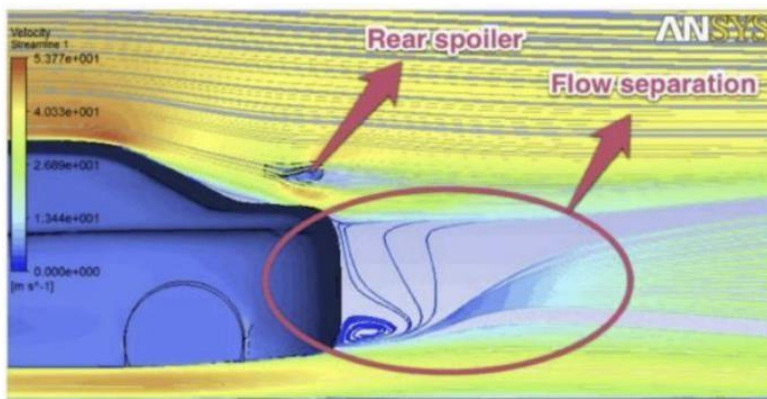


Figura 11. Simulación CFD realizada en ANSYS, simula el movimiento del aire alrededor de un automóvil en movimiento. Tomada de (Qiu & Zhang, 2023).

2.2. Optimización topológica

2.2.1. Definición, objetivos y evolución histórica

La optimización topológica es una metodología de diseño estructural orientada a determinar la distribución óptima del material en una pieza o estructura, con el objetivo de minimizar el peso y maximizar la eficiencia mecánica. En el sector automotriz, reducir la masa no disminuye el consumo de material, sino que también reduce las fuerzas inerciales que el motor debe vencer durante la aceleración.

El proceso de esta metodología es iterativo, basado en el cálculo de gradientes. En cada iteración se parte de un modelo inicial, se analiza la respuesta estructural del mismo frente a las cargas aplicadas y, en función de los resultados obtenidos, se redistribuye el material para la siguiente iteración. Este proceso se realiza habitualmente discretizando el dominio de diseño en un gran número de elementos finitos, lo que permite, mediante algoritmos numéricos, ajustar progresivamente la distribución de material hasta alcanzar la configuración óptima (Sigmund & Maute, 2013).

En cuanto a la evolución histórica de la optimización topológica, sus orígenes se remontan a 1870, cuando James Clerk Maxwell formuló un teorema para minimizar el volumen de las estructuras mediante el equilibrio de fuerzas. Décadas más tarde, en 1904, Anthony G. Michell publicó el primer trabajo formal en la materia, profundizando en las ideas de Maxwell y estableciendo las conocidas “condiciones de Michell”, que definen las geometrías óptimas para la distribución de material.

Durante la primera mitad del siglo XX, la aplicación de estos principios estuvo limitada principalmente a la ingeniería estructural, con un enfoque en estructuras reticuladas y criterios de optimización bajo cargas estáticas. En esta etapa, autores como Hemp y Shield propusieron métodos para extender las soluciones de Michell a casos más variados, como cargas combinadas o geometrías diferentes, lo que permitió ampliar el tipo de problemas que podían resolverse teóricamente y acercar la optimización topológica a aplicaciones más reales. Aun así, la ausencia de herramientas computacionales restringía la complejidad de los modelos que podían estudiarse.

A partir de la segunda mitad del siglo XX, con el avance de los métodos numéricos y el desarrollo de la programación matemática, comenzaron a aparecer enfoques más versátiles. Entre ellos destacan el uso de criterios de optimalidad y métodos duales, que permitieron formular problemas con múltiples restricciones y variables de diseño.

El verdadero impulso llegó a finales de la década de 1980, cuando Bendsøe y Kikuchi introdujeron el método de homogeneización para dominios continuos. Esta técnica permitía representar un sólido como un material con propiedades intermedias entre “material” y “vacío”, lo que facilitaba la búsqueda de configuraciones más eficientes y sin depender únicamente de barras o vigas. Posteriormente, en los años noventa, se popularizó el método **SIMP** (*Solid Isotropic Material with Penalization*), que simplificaba la implementación del modelo anterior penalizando las zonas con material intermedio para obtener soluciones más definidas y viables en fabricación (Lógó & Ismail, 2020).

2.2.2. Herramientas software más utilizadas

Actualmente existe un gran repertorio de herramientas informáticas que permiten aplicar la optimización topológica, cada una tiene sus ventajas y desventajas frente a la competencia, destacan los siguientes programas (Nágêra, Toniasso, Slaviero, de Souza, & Rodríguez, 2019):

- CREO. Desarrollado por PTC, integra modelo CAD, simulación estructural y optimización topológica. Su ventaja principal es la integración con herramientas de simulación en una interfaz unificada con CAD. Su mayor limitación es que algunas funciones solo disponibles en la versión “Plus”, cuyo coste es significativamente superior al de la competencia.
- ABAQUS. Desarrollado por Dassault Systèmes, funciona mediante dos algoritmos de optimización: uno general, más flexible, y otro basado en condiciones, más eficiente, pero con capacidades limitadas. Utiliza análisis por elementos finitos y permite automatización mediante scripts en Python, lo que brinda una gran flexibilidad para trabajar en geometrías complejas. Como desventajas, requiere conocimientos en scripting, y en la versión académica existe una limitación de 1000 nodos, por lo que no se puede realizar en ella optimizaciones topológicas realistas.
- ANSYS. Es un software de simulación que permite aplicar la optimización topológica en estudios estructurales, modales y térmicos, definiendo objetivos como la rigidez o la masa. Ofrece un mallado automático de alta calidad y sus resultados son directamente exportables para fabricación, como la impresión 3D. Aunque no requiere conocimientos en programación, el modelo necesita ser refinado y validado posteriormente, y el proceso puede requerir mucho tiempo de cálculo y múltiples condiciones de contorno en diseños complejos.
- NASTRAN. Desarrollado en colaboración con la NASA, está orientado a aplicaciones industriales exigentes, con gran capacidad para definir condiciones complejas. Aunque es muy potente y versátil, su entorno es menos accesible para usuarios no especializados y puede requerir una configuración técnica más detallada, dificultando su uso al ser menos intuitivo que la competencia.
- SolidWorks Simulation. Antes llamado COSMOS, es un software que permite la optimización topológica con su interfaz gráfica intuitiva, lo que lo hace especialmente accesible para usuarios con experiencia en diseño, pero no necesariamente en simulación avanzada. Requiere pocos datos de entrada, como cargas, restricciones y volumen de diseño. Pese a que ofrece menor capacidad de personalización que otros programas más especializados, su integración directa en el entorno de diseño y su facilidad de uso lo convierten en una solución práctica y efectiva.

Cabe señalar que también existen herramientas menos presentes en entornos educativos, pero ampliamente utilizadas en sectores industriales, como Altair HyperWorks, que ofrecen capacidades avanzadas en entornos de producción.

2.2.3. Ejemplos y trabajos previos relevantes

Se han desarrollado numerosos trabajos relacionados con la optimización topológica de componentes en monoplazas de competición universitaria. Uno de los más comparables a este proyecto es el realizado por Cristina Silvestre Gómez, donde se lleva a cabo una optimización topológica aplicada al diseño de *rockers* (balancines de suspensión) para un monoplaza de *Formula Student*. En este trabajo se emplean herramientas como CATIA para el modelado CAD y Altair HyperWorks para el proceso de optimización topológica, siguiendo una metodología clara y estructurada para obtener componentes más ligeros y funcionales (Silvestre Gómez, 2017).

En el ámbito industrial, en una conferencia desarrollada en colaboración entre Siemens y Bugatti se presenta la aplicación de optimización topológica al soporte del alerón trasero retráctil del Bugatti Chiron Sport. Este componente, capaz de variar su ángulo de inclinación para adaptarse a las condiciones aerodinámicas y maximizar su rendimiento, fue optimizado para reducir al mínimo la cantidad de material utilizada sin comprometer su resistencia frente a las cargas previstas. La conferencia también aborda el desarrollo futuro de metodologías de optimización topológica aplicadas a piezas monolíticas, destacando su potencial para mejorar la eficiencia estructural en el sector automotriz (Chirinda & Matope, 2021).

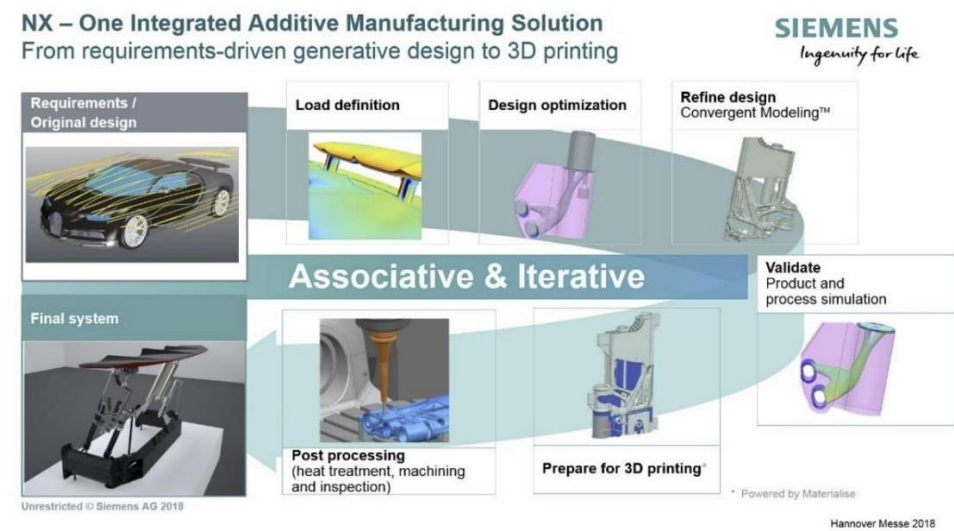


Figura 12. Ejemplo industrial de metodología de optimización y fabricación aditiva en el soporte del alerón del Bugatti Chiron Sport. Tomado de (Chirinda & Matope, 2021)

3. Motivación y objetivos del proyecto

3.1. Motivación y ventajas esperadas

La Universidad Pontificia de Comillas participa en la competición internacional de ingeniería automotriz *Formula Student*, una de las más prestigiosas a nivel universitario. En este certamen, equipos de estudiantes de toda Europa diseñan y construyen prototipos de monoplasas con los que compiten, valorándose no solo su rendimiento en pista, sino que también aspectos como el diseño, la innovación, la eficiencia y la sostenibilidad. En este contexto, la mejora de cualquier componente del vehículo puede significar una ventaja competitiva relevante.

Al realizar la optimización topológica al soporte del alerón trasero, se espera obtener una serie de mejoras significativas, tanto estructurales como funcionales. Estas incluyen aspectos como el aligeramiento, el comportamiento mecánico y la viabilidad de fabricación. Las principales ventajas previstas son las siguientes (Lin, Zhan, & Li, 2025):

- La reducción de peso es la ventaja principal que se persigue en la optimización topológica, pues al eliminar material de las zonas estructuralmente irrelevantes se obtiene una pieza más ligera, lo que disminuye la inercia del vehículo. Esto se traduce en un mejor comportamiento en aceleración, frenada y consumo energético. A su vez, un menor peso implica también un menor consumo de material, lo que conlleva beneficios tanto económicos como sostenibles.
- La mejora de la eficiencia estructural y la fiabilidad, pues al concentrar el material en las zonas sometidas a mayores esfuerzos se incrementa la rigidez global de la pieza y se reduce su deformación bajo carga. Esto ayuda a distribuir las tensiones y disminuye la energía interna de deformación, aumentando así la seguridad frente a fallo o fatiga.
- La mejora del comportamiento vibracional, al obtenerse una mayor rigidez global, se genera una mayor resistencia frente a las vibraciones generadas durante la conducción. Esto ayuda a evitar la resonancia, que se da cuando las vibraciones se amplifican peligrosamente al acercarse a ciertas frecuencias determinadas, comprometiendo la estabilidad y acelerando el desgaste del componente.
- La compatibilidad con la fabricación aditiva representa una ventaja clara, ya que, mientras que otros métodos de diseño pueden requerir adaptaciones para ser viables técnicamente, la optimización topológica produce formas directamente aptas para la impresión 3D metálica, la cual, al no requerir utillajes ni moldes, resulta un modelo de fabricación especialmente rentable en lotes de una sola unidad, como es el caso.

3.2. Objetivo general

Este proyecto tiene como finalidad rediseñar y validar el soporte del alerón trasero del monoplaza del equipo ISC, minimizando su masa y manteniendo la rigidez, la integridad estructural y el cumplimiento de las restricciones reglamentarias e internas, asegurando su viabilidad para el método de fabricación elegido.

3.3. Objetivos específicos

Para alcanzar el objetivo general planteado, se definen los siguientes objetivos específicos:

1. Analizar el conjunto actual del soporte del alerón trasero y determinar las condiciones de carga y restricciones aplicables según el reglamento de *Formula Student*.
2. Obtener las cargas y momentos que actúan directamente sobre cada soporte a partir de un modelo base unido al ensamblaje total, localizando las aerodinámicas e inerciales.
3. Configurar y ejecutar estudios de optimización topológica considerando múltiples casos de carga representativos del funcionamiento real y de las pruebas reglamentarias.
4. Desarrollar diseños optimizados derivados de la optimización adaptados a los métodos de fabricación elegidos.
5. Validar estructuralmente ambos diseños mediante análisis estáticos y modales, garantizando que se cumplen los criterios de deformación y que el factor de seguridad es igual o superior al mínimo establecido.
6. Comparar los resultados de masa, rigidez y comportamiento vibracional de ambas versiones frente al diseño inicial.
7. Documentar el procedimiento seguido para que pueda servir de referencia en el rediseño y optimización de otros componentes del monoplaza en futuras temporadas.

3.4. Selección del método de fabricación

La elección del proceso de fabricación es fundamental para garantizar que el diseño optimizado pueda producirse en condiciones reales. En este proyecto, al tratarse de un componente estructural fabricado en lotes unitarios, se han evaluado los principales métodos disponibles.

Tanto la fundición como la forja son procesos comunes en automoción, capaces de generar geometrías internas muy elaboradas, pero requieren moldes o matrices respectivamente cuyo coste inicial resulta desproporcionado para producciones de una sola unidad (Kalpakjian, 2014).

El mecanizado CNC es una de las opciones más utilizadas en fabricaciones de bajo volumen gracias a su versatilidad y precisión. Sin embargo, cuando la geometría presenta vaciados internos y formas derivadas de la optimización topológica, el mecanizado se vuelve poco práctico, ya que los tiempos de corte y los costes se incrementan notablemente (Groover, 2020).

Por otro lado, los procesos de corte en chapa cuando el diseño mantiene una configuración laminar de espesor constante son procesos rápidos y competitivos en costes en bajo volumen (Nadolny, 2023).

Finalmente, la fabricación aditiva surge como la alternativa más flexible, al permitir construir directamente la pieza capa a capa a partir del modelo CAD, sin necesidad de utillajes. Esta característica hace que sea especialmente apropiada para materializar geometrías complejas resultantes de la optimización topológica (Zhou, Li, Chen, & Wang, 2024).

Tras este análisis, únicamente los procesos de corte en chapa y la fabricación aditiva se consideran viables en el marco del proyecto, quedando descartadas el resto de las alternativas por sus limitaciones técnicas o económicas.

3.5. Métodos alternativos de reducción de masa

Para optimizar el soporte del alerón se valoraron las siguientes alternativas frente a la optimización topográfica:

- El diseño tradicional con sobredimensionamiento, que consiste en aumentar las dimensiones de la pieza aplicando coeficientes de seguridad elevados con el objetivo de garantizar su resistencia sin necesidad de realizar simulaciones complejas. Es la solución más sencilla y rápida de utilizar. No obstante, este enfoque da lugar a componentes innecesariamente pesados y poco eficientes, lo que penaliza el rendimiento dinámico del vehículo, incrementa los costes asociados al material y agrava el impacto medioambiental (Brahma, Ferguson, Eckert, & Isaksson, 2023).
- El diseño tradicional optimizado mediante simulación por elementos finitos (FEM) se basa en el análisis computacional de una geometría convencional definida por el diseñador, con el objetivo de estudiar su comportamiento estructural bajo distintas condiciones de carga. Con este análisis se identifican las zonas donde se concentran las tensiones, lo que permite mejorar la distribución del material realizando ajustes localizados. Esta alternativa permite mejorar considerablemente la eficiencia estructural manteniendo compatibilidad con los métodos de fabricación tradicionales. Sin embargo, al partir de una forma predeterminada y estar guiado por las decisiones del diseñador, presenta un menor grado de automatización que la optimización topológica. Eso sí, el análisis FEM convencional resulta útil en el rediseño de las formas obtenidas en la optimización topológica, garantizando que las modificaciones geométricas introducidas no comprometan las mejoras mecánicas programadas. (Zienkiewicz, Taylor, & Zhu, 2013).

Estas alternativas, aunque viables, no ofrecen el mismo nivel de eficiencia mecánica ni de reducción de peso que la optimización topológica, razón por la cual esta última fue seleccionada como la base de desarrollo para el presente proyecto.

3.5.1. Uso de materiales ligeros

Una estrategia complementaria a la optimización topológica en la reducción de masa es la selección de materiales ligeros que mantengan, o incluso mejoren, las propiedades mecánicas necesarias para el correcto funcionamiento del soporte.

En este proyecto se emplean dos materiales principales: la aleación de aluminio 7075-T6 para la versión optimizada en chapa y la aleación AlSi10Mg para la versión orientada a fabricación aditiva mediante impresión 3D. En el entorno de SolidWorks se representaron mediante sus equivalentes más próximos, 7075-T6 (SS) y 6061-T6 (SS).

A continuación, se describen los materiales empleados, así como otras alternativas que se valoraron y la razón por la que finalmente se escogieron estos materiales:

El aluminio 7075-T6, también conocido como Zicral, es una aleación de alta resistencia ampliamente utilizada en aplicaciones aeronáuticas y de automoción de alto rendimiento debido a su excelente relación resistencia-peso, buena resistencia a la fatiga y elevada dureza (con un límite elástico de 505 MPa), con una densidad pequeña en comparación con aceros estructurales. Su disponibilidad en formato de chapa y la facilidad de mecanizado la convierten en un material compatible con procesos de fabricación convencionales sin necesidad de utillajes específicos (Du, et al., 2021).

En cuanto a la aleación AlSi10Mg, esta destaca por su excelente procesabilidad en tecnologías de fabricación aditiva como la fusión selectiva por láser (SLM). Presenta un límite elástico en torno a 275 MPa, inferior al del Zicral, una reducción habitual en materiales destinados a impresión 3D. Este material ofrece una buena combinación de resistencia mecánica, baja densidad y alta resistencia a la corrosión, además de una estabilidad dimensional adecuada tras el postprocesado térmico. Esto lo convierte en una opción óptima para geometrías complejas generadas por optimización topológica, ya que permite materializar diseños sin necesidad de recurrir a sobre simplificaciones geométricas (Ghio, et al., 2022).

Frente a otras alternativas, como las aleaciones de magnesio o los materiales habituales en fabricación aditiva, como los compuestos poliméricos reforzados, ambas opciones presentan un equilibrio más favorable entre prestaciones mecánicas, disponibilidad comercial, experiencia acumulada en el sector y compatibilidad con los métodos de fabricación previstos.

Las aleaciones de magnesio, aunque más ligeras, tienen una menor resistencia y son más susceptibles a la corrosión, requiriendo tratamientos superficiales adicionales, lo que incrementaría los costes y la complejidad del proyecto (Zhang & Xu, 2022).

Los compuestos poliméricos reforzados, por su parte, aunque son muy ligeros y tienen una alta resistencia, requieren procesos de fabricación y uniones específicas que aumentan el precio desorbitadamente (Zhang & Xu, 2022).

En consecuencia, las elecciones del aluminio 7075-T6 para la versión en chapa y del AlSi10Mg para la versión en fabricación aditiva responde a los criterios de optimización mecánica, viabilidad constructiva y coste-eficiencia. Ambos materiales son a su vez respaldados por un historial de uso satisfactorio en aplicaciones estructurales de alto rendimiento en automoción y aeronáutica.

3.6. Procesos de fabricación

En esta sección se presentan los procesos de fabricación asociados a los métodos seleccionados. Aún no es posible determinar cuál se aplicará, puesto que la elección dependerá de cómo evolucionen las geometrías y los requisitos estructurales de los diseños finales. El objetivo aquí es ofrecer una visión general de las distintas alternativas, describiendo sus características, ventajas y limitaciones, mientras que la decisión final se abordará en fases posteriores del proyecto.

3.6.1. Procesos de fabricación de corte en chapa

En la industria, los procesos capaces de cortar piezas en chapa de aluminio más destacados son (Nadolny, 2023):

- Corte por chorro de agua: consiste en la erosión de un fluido mezclado con abrasivo a muy alta presión con el material. Permite cortar geometrías complejas en aluminio ofreciendo buena precisión a un coste competitivo (Nadolny, 2023).



Figura 13. Fotografía del proceso de corte por chorro de agua. Tomada de (FineMetalworking, 2021).

- Corte por láser: utiliza un haz concentrado de gran potencia. Destaca por su rapidez y precisión en chapas delgadas, aunque en aluminio presenta mayor dificultad debido a su alta reflectividad, lo que incrementa el coste del proceso. Genera una zona afectada térmicamente (ZAT) que puede dañar ligeramente la superficie cortada (Nadolny, 2023).



Figura 14. Fotografía del proceso de corte por láser. Tomada de (WayKen Rapid Manufacturing, 2022).

- Electroerosión: basada en la erosión controlada del material mediante descargas eléctricas entre electrodo y pieza, permite tolerancias muy ajustadas y un excelente acabado superficial, pero requiere largos tiempos de mecanizado y un gran coste (Quedeiri, 2020).



Figura 15. Fotografía del proceso de corte por electroerosión. Tomada de (Shengen Fab, 2024).

3.6.2. Procesos de fabricación aditiva metálica

En la fabricación aditiva metálica se construye la pieza capa a capa a partir de polvo metálico, lo que permite obtener geometrías complejas, pero presenta limitaciones como la rugosidad superior a la obtenida mediante mecanizado y la necesidad posprocesado así como soportes para elementos en voladizo. Los principales procesos de fabricación aditiva metálica son los siguientes (Zhou, Li, Chen, & Wang, 2024):

- Fusión selectiva por láser (SLM): funde el polvo metálico mediante un láser de alta precisión, permitiendo obtener una gran calidad geométrica capaz de generar paredes finas, aunque para ello requiere de un elevado consumo energético y tiempos de fabricación relativamente largos.

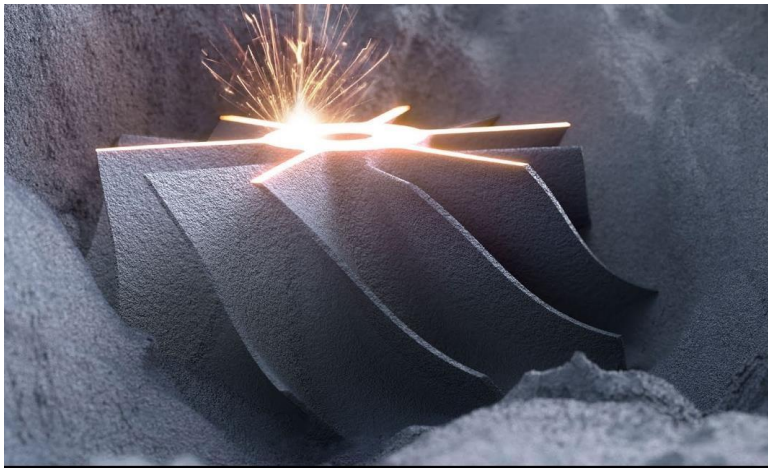


Figura 16. Fotografía del proceso de impresión aditiva por SLM. Tomada de (KDMFAB, 2024).

- Fusión por haz de electrones (EBM): utiliza un haz de electrones en vacío para fundir el polvo que, para evitar dispersión de este por las cargas electrostáticas, necesita precalentar cada capa a temperaturas muy altas. Sin embargo, la alta reflectividad, elevada conducción térmica y tendencia a la oxidación de las aleaciones de aluminio no permiten el uso de este proceso (Murr, 2015).

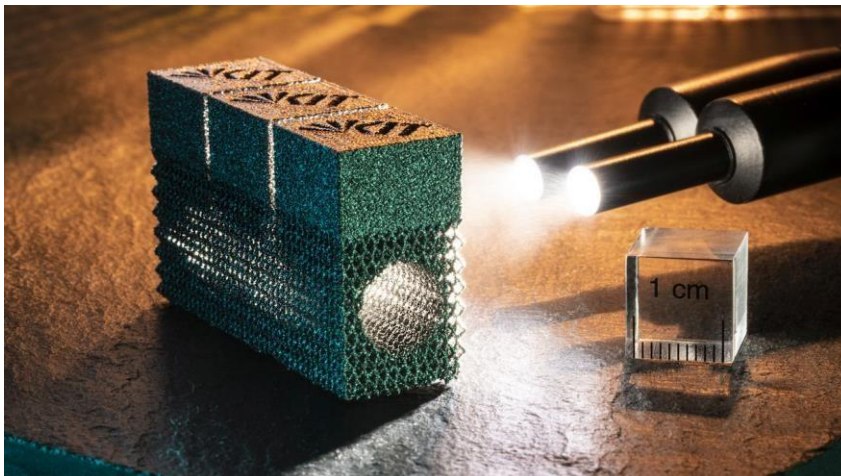


Figura 17. Fotografía del proceso de impresión aditiva por EBM. Tomada de (EUROfusion Consortium, 2025).

- Inyección de aglutinante (*Binder Jetting*): consolida el polvo metálico usando un aglutinante líquido que después se sintetiza a temperaturas elevadas. Este método destaca por su rapidez y bajo coste, no obstante, sus piezas presentan porosidad y propiedades mecánicas inferiores, lo que limita su aplicación a prototipos o componentes de baja exigencia estructural.



Figura 18. Fotografía del proceso de impresión aditiva por inyección de aglutinante. Tomada de (Proto3000, 2022).

En cuanto al posprocesado la alternativa más adecuada es el alivio de tensiones, tratamiento térmico que reduce las tensiones residuales internas de la pieza, con el granallado con microesferas (*bead blasting*), técnica que proyecta partículas abrasivas a presión sobre la superficie para suavizar las irregularidades y homogeneizar la textura, asegurando así una rugosidad suficiente para la función estructural de la pieza (3DSPRO, 2025).



Figura 19. Detalle del proceso de bead blasting (granallado con microesferas). Tomada de (3DSPRO, 2025).

4. Alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, adoptada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en 2015, reúne un conjunto de objetivos y metas que persiguen mejorar la calidad de vida de las personas, proteger el planeta y fomentar la prosperidad de manera equilibrada. Está compuesta por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y 169 metas que integran de forma transversal los ámbitos social, económico y ambiental.

Estos objetivos son importantes porque ofrecen una hoja de ruta clara para que gobiernos, instituciones, empresas y el ámbito académico orienten sus acciones hacia un impacto positivo en la sociedad y el medio ambiente. Su carácter universal implica que todos los países y sectores deben contribuir a su cumplimiento, fomentando la cooperación internacional y la integración de la sostenibilidad en todos los niveles de actuación.

Incorporar los ODS en este proyecto no solo dota de coherencia y relevancia global al trabajo, sino que también refuerza su alineación con las tendencias actuales de innovación responsable y desarrollo tecnológico sostenible. De esta manera, el diseño y optimización del soporte del alerón se presenta no solo como una solución técnica eficiente, sino también como una contribución a objetivos compartidos a nivel mundial (United Nations, 2015).

4.1. ODS 9 – Industria, Innovación e Infraestructura

La integración de herramientas avanzadas de diseño y de simulación estructural en el desarrollo del soporte del alerón constituye una apuesta firme por la innovación en el ámbito del diseño industrial, en línea con los objetivos del ODS 9. Este trabajo representa un ejemplo de digitalización avanzada aplicada a un componente estructural real, combinando modelado CAD, simulación por elementos finitos y optimización topológica en un único flujo de trabajo coherente y eficiente.

La optimización topológica aplicada supone una mejora técnica sustancial en eficiencia y adaptabilidad frente a diseños más tradicionales, permitiendo además adaptar el proceso a diferentes tecnologías de fabricación, como el corte en chapa o la impresión 3D metálica, ampliando así su versatilidad y potencial de aplicación.



Figura 20. Icono oficial del Objetivo de Desarrollo Sostenible 9 – Industria, Innovación e Infraestructura. Tomada de (United Nations, 2025).

4.2. ODS 12 – Producción y Consumo Responsables

Se consigue una significativa reducción del material utilizado sin comprometer la funcionalidad de la pieza, en coherencia con los principios del ODS 12. Esto implica una menor demanda de materias primas y una reducción de los residuos generados en el proceso de fabricación.

El diseño resultante aprovecha de forma eficiente las capacidades de las tecnologías de fabricación previstas, lo que contribuye a optimizar el consumo energético y favorece un modelo productivo más eficiente, responsable y adaptado a las necesidades reales del componente.



Figura 21. Icono oficial del Objetivo de Desarrollo Sostenible 12 – Producción y Consumo Responsables. Tomada de (United Nations, 2025).

4.3. ODS 13 – Acción por el Clima

La reducción de la masa total del vehículo repercute directamente en su eficiencia energética, alineándose con los objetivos del ODS 13. Un componente más ligero requiere menos energía para su aceleración, lo que, incluso en un entorno de competición, representa un ejemplo aplicable a otros contextos del transporte.

Esta disminución de la demanda energética contribuye a reducir las emisiones asociadas tanto a la fase de fabricación como a la de uso, reforzando el valor del diseño eficiente como herramienta para mitigar el impacto ambiental y favorecer la acción frente al cambio climático.



Figura 22. Icono oficial del Objetivo de Desarrollo Sostenible 13 – Acción por el Clima. Tomada de (United Nations, 2025).

5. Metodología de trabajo

5.1. Modelado CAD y ensamblajes iniciales en SolidWorks

Los modelos CAD de las piezas iniciales del soporte, del alerón, del chasis y de los elementos de fijación que unen estos tres fueron proporcionados por el equipo

5.1.1. Modelado de las piezas individuales y cálculo de peso

El conjunto del soporte está compuesto por dos parejas de componentes fabricados en chapa de 4 mm de espesor: una pareja de soportes superiores y una pareja de soportes inferiores. Cada tipo presenta una geometría adaptada a su posición y función dentro del sistema, trabajando de forma simétrica respecto al plano longitudinal del monoplaza.

Los soportes superiores enlazan la zona alta del chasis con el alerón mediante dos puntos de unión. Su diseño busca proporcionar la rigidez necesaria para mantener la posición e inclinación del perfil aerodinámico bajo carga, transmitiendo las fuerzas de forma estable y controlada. La disposición de estos elementos viene determinada por las limitaciones geométricas del monoplaza y del reglamento de *Formula Student* (Institution of Mechanical Engineers, 2024, págs. 51,52).

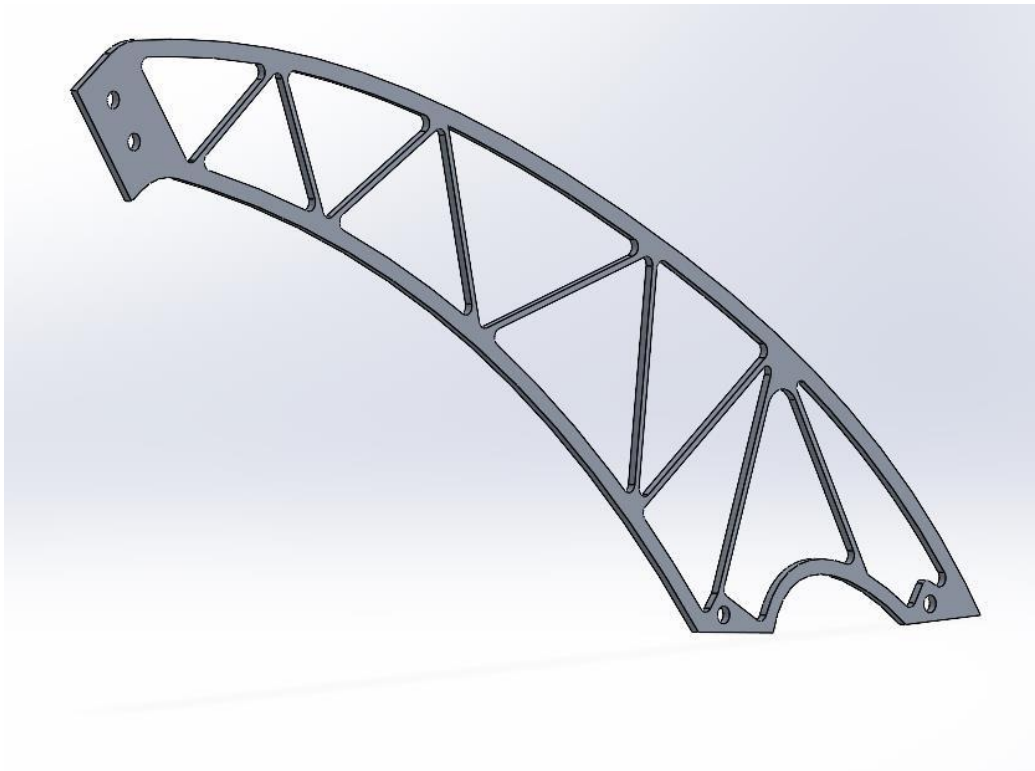


Figura 23. Vista general del soporte superior.

Los soportes inferiores, de diseño más sencillo, conectan un único punto en la parte inferior del alerón con otro en el chasis. Actúan como elemento de refuerzo, estabilizando el conjunto y descargando parcialmente el esfuerzo soportado por los elementos superiores.

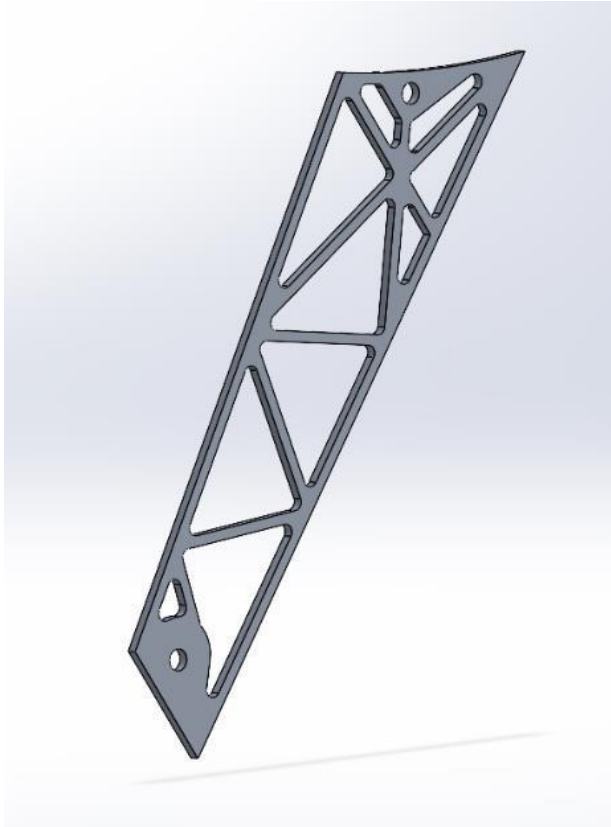


Figura 24. Vista general del soporte inferior.

Estos modelos servirán en fases posteriores como base para la realización de un análisis modal, con el que se determinarán sus frecuencias propias, y como referencia para el desarrollo de los diseños que se utilizarán en los estudios de optimización topológica, asegurando que dichos modelos partan de unas condiciones geométricas coherentes con la configuración real del sistema.

5.1.1.1. Cálculo de masa de cada componente

Adicionalmente, se ha empleado la herramienta Propiedades de masa de SolidWorks para cuantificar la masa de cada pieza del modelo inicial. El cálculo se realiza con el material asignado (Aleación de aluminio, 7075-T6, Chapa).

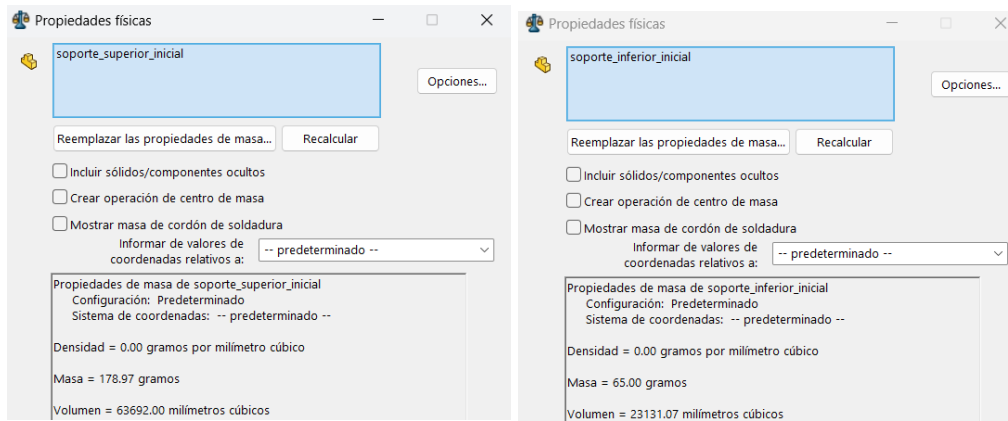


Figura 25. Masas de cada componente del soporte calculadas por SolidWorks.

Podemos observar que la masa individual de cada uno de los componentes, superior e inferior es de 179 y 65 g. Al tratarse dos parejas (dos superiores y dos inferiores), la masa total del conjunto es de 488 gramos.

5.1.2. Ensamblaje del soporte, alerón y chasis

En este ensamblaje, el alerón presenta una posición relativa respecto al chasis inalterable, ya que con esta se realizó el estudio aerodinámico con el que fue diseñado el alerón, en el cual se consideran factores como la altura respecto al suelo y la incidencia de las aletas. Esta cota no puede modificarse, pues alterar los parámetros validados en dicho estudio causaría errores que perjudicarían al rendimiento del alerón.

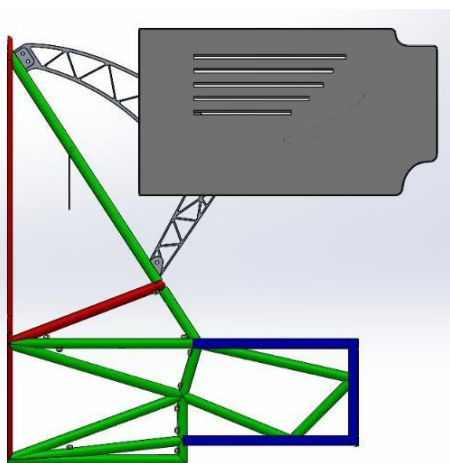


Figura 26. Vista lateral del conjunto mostrando la altura fija del alerón respecto al chasis.

De cara a los posteriores análisis, para los cuales se prescindirá del chasis al no aportar valor a los mismos, es necesario definir correctamente las relaciones de posición en el ensamblaje hasta que este esté completamente. En consecuencia, se añadieron las necesarias relaciones de posición.

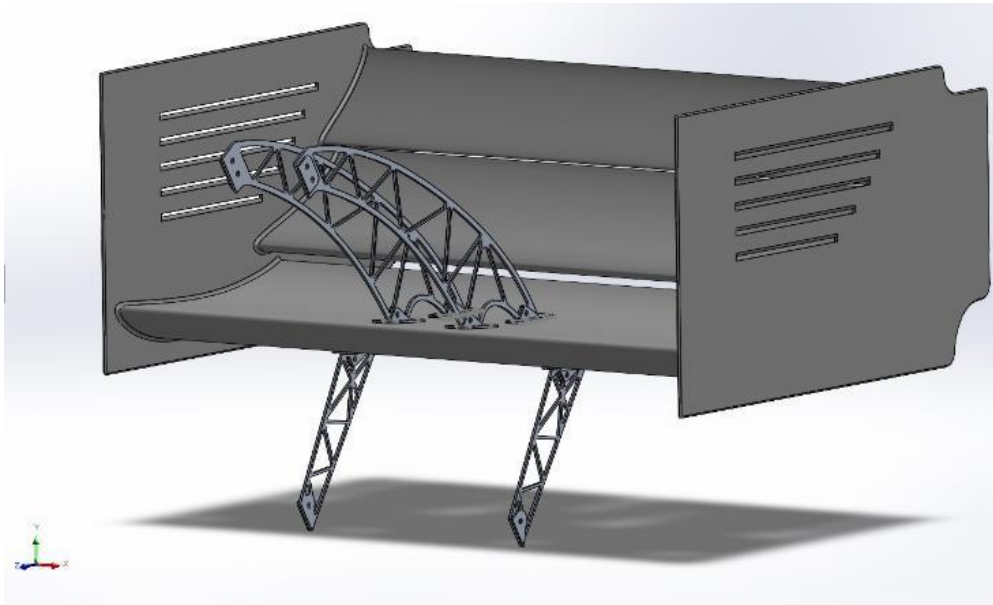


Figura 27. Vista general del conjunto alerón-soporte, en el cual se realizarán todos los análisis estáticos.

Entre las relaciones añadidas destacan por su importancia para un correcto ensamblaje las siguientes:

- Coincidencia de ejes cilíndricos entre las caras internas de los elementos de fijación y los alojamientos del soporte, vitales para permitir el paso de tornillos o pasadores.
- Alineación de las superficies de contacto entre soporte y alerón, conseguida mediante relaciones de posición basadas en planos y referencias, ya que la geometría de dichas caras impedía aplicar una coincidencia directa.

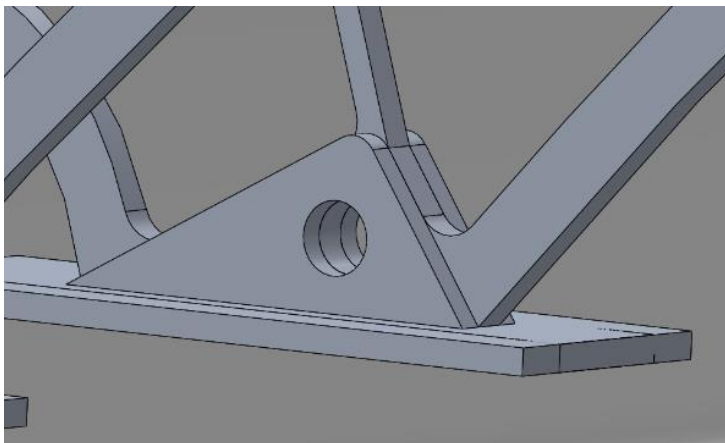


Figura 28. Detalle de la alineación de ejes cilíndricos entre soporte y elementos de fijación.

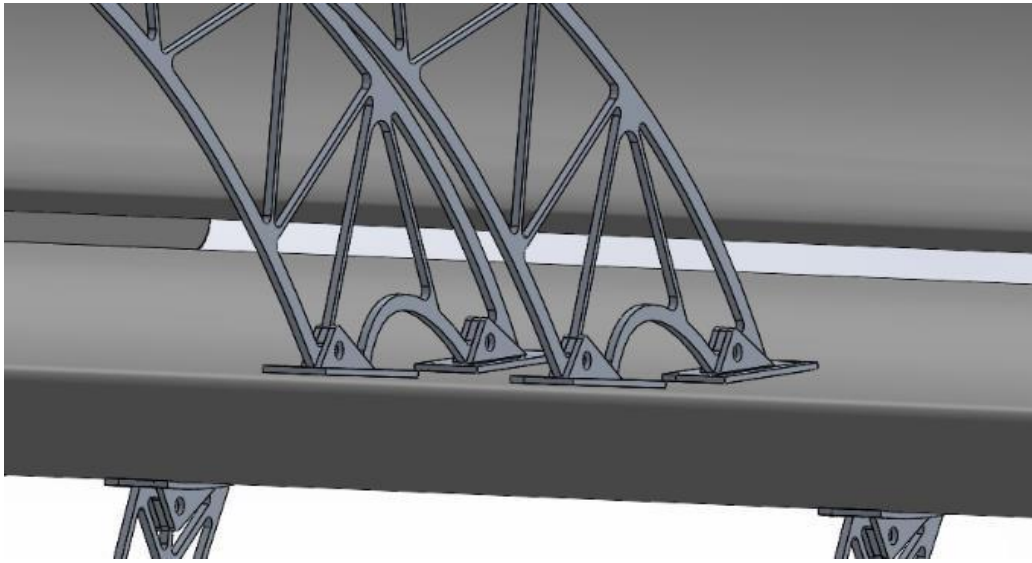


Figura 29. Detalle de las superficies alineadas en la unión soporte-alerón

Una vez completadas estas relaciones, el ensamblaje quedó totalmente definido y listo para ser utilizado en los análisis estáticos que se llevarán a cabo posteriormente.

5.2. Análisis estáticos iniciales: definición de cargas, condiciones de contorno y resultados

Antes de llevar a cabo la optimización topológica, se analiza el comportamiento estructural inicial del soporte, de esta forma, se justifica la necesidad de dicha optimización y se establece una referencia que permitirá comparar posteriormente el rendimiento de los modelos optimizados.

Para analizar correctamente las respuestas que ofrece inicialmente el soporte, es imprescindible definir correctamente las condiciones de sujeción en los puntos de unión al chasis, las conexiones entre el alerón y el soporte y las fuerzas aplicadas en cada estado de carga. Una vez configurados estos parámetros, el análisis estático permite obtener resultados sobre las tensiones y desplazamientos que se generan en el conjunto.

5.2.1. Conexiones y sujeciones

La correcta definición de las sujeciones y las uniones entre los distintos componentes resulta imprescindible para que el análisis estático proporcione resultados representativos. Se han considerado las siguientes condiciones de conexión y sujeción:

5.2.1.1. Unión por pasadores entre soportes y elementos de fijación

Los soportes se fijaron a los elementos de fijación del alerón mediante pasadores, que en la simulación se definieron como uniones rígidas, reproduciendo la función real de estos elementos, asegurando así la transmisión de esfuerzos sin permitir rotación relativa entre ambas piezas.

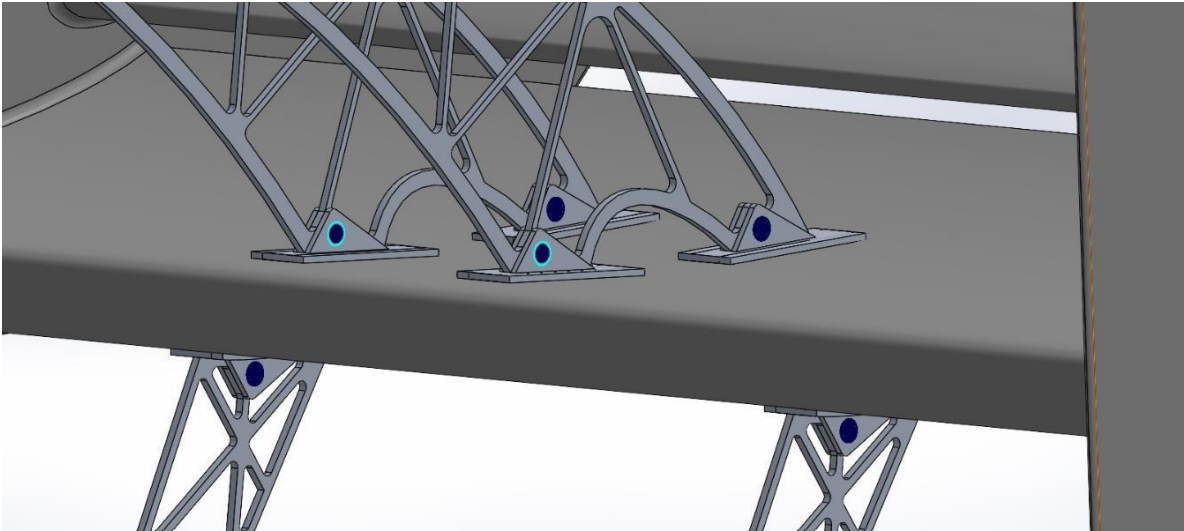


Figura 30. Unión mediante pasadores entre soportes y elementos de fijación.

5.2.1.2. Unión rígida de la base de los elementos de fijación al alerón

La base de los elementos de fijación que conectan con el alerón se consideró unida rígidamente, ya que en la configuración real no existe movimiento relativo entre ambas caras, unión que en la práctica se consigue mediante adhesivos estructurales epoxi.

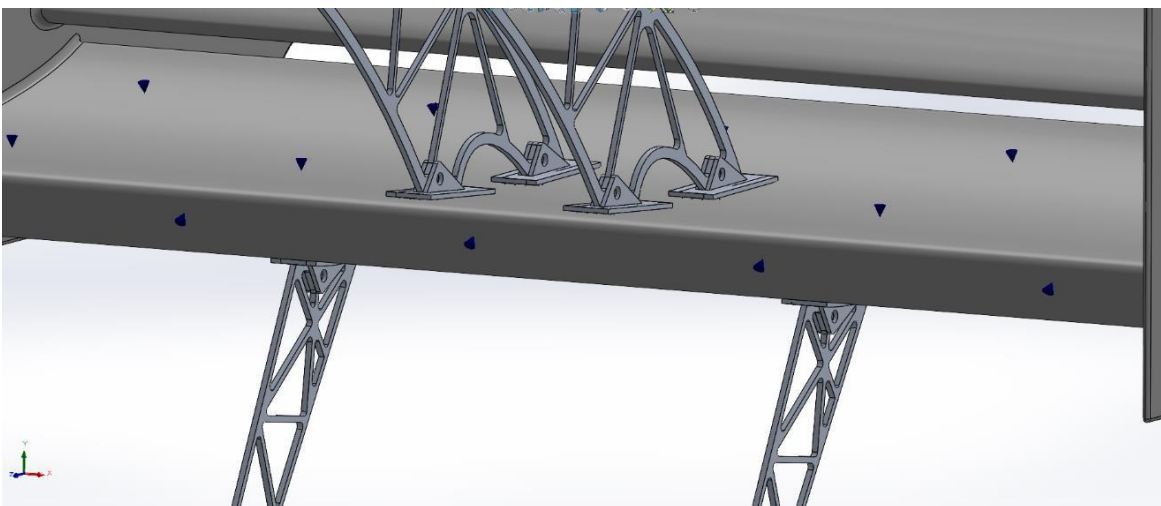


Figura 31. Unión rígida de la base de los elementos de fijación al alerón.

5.2.1.3. Sujeción en soportes en su unión al chasis

Los puntos de anclaje de los soportes al chasis se fijaron como apoyos completamente rígidos, bloqueando todos los grados de libertad. Esta condición es coherente con la elevada rigidez del chasis (fabricado en acero), cuya deformación es despreciable en comparación con la del resto del sistema.

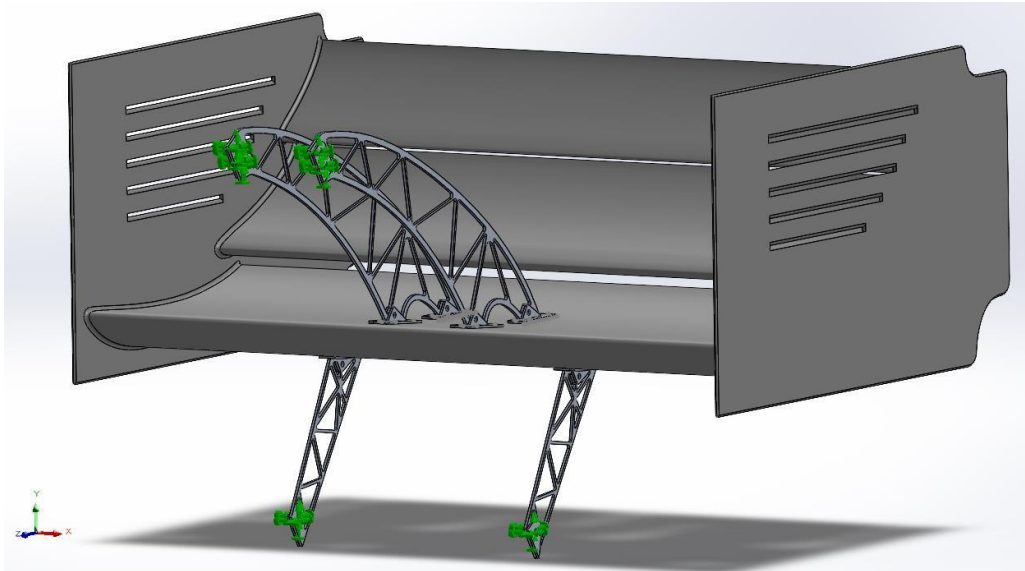


Figura 32. Sujeción rígida de los soportes en los puntos de unión al chasis.

5.2.2. Definición de cargas

Para poder analizar de forma realista el comportamiento del soporte del alerón, es necesario definir las cargas y restricciones que actuarán sobre él en cada una de las simulaciones. Estas condiciones representan tanto el uso estimado en pista como los dos ensayos normativos exigidos según el reglamento de *Formula Student*.

En este proyecto se han definido tres estados de carga diferentes:

- Dos provenientes de las cargas normativas, que reproducen las pruebas indicadas en el reglamento de *Formula Student* para verificar que el alerón y su soporte cumplen los límites de deformación y resistencia establecidos (Institution of Mechanical Engineers, 2024, pág. 52).
- Una para representar las cargas de funcionamiento, para simular las solicitaciones reales que experimentará el soporte durante la conducción, incluyendo efectos aerodinámicos y de inercia.

En todos los escenarios se incluyó, además de sus cargas propias, la acción de la aceleración de la gravedad.

5.2.2.1. Cargas de funcionamiento y su origen

El alerón transmite al soporte tres componentes de cargas principales: una vertical (*downforce*), una longitudinal (*drag*) y una lateral (de origen inercial).

Las dos primeras fueron proporcionadas por el departamento de aerodinámica del equipo, obtenidas a partir de un estudio mediante software de simulación CFD (ANSYS) para una velocidad de referencia de 20 m/s tenemos valores de 443 N de *downforce* y 172 N de *drag*.

En cuanto a la carga lateral generada por la inercia del alerón, esta no ha sido facilitada directamente, por lo que para calcularla se hace uso de los siguientes datos:

- Masa del alerón ($m_{\text{alerón}}$). El alerón está hecho de fibra de carbono, cuya densidad es de 1550 kg/m³, tiene una estructura hueca cuya superficie tiene un área de 2,22 m² y su espesor es de 1,5 mm, sabiendo que las fórmulas del volumen y de la densidad son:

$$\text{volumen} = \text{área} * \text{espesor} ; \text{densidad} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen}}$$

Podemos afirmar que el volumen de material del alerón es de 3,34 dm³, y por tanto sabemos que la masa del alerón es de 5,18 kg.

- Radio de curva (R_{curva}). El radio de curva que más fuerza de inercia genera, no necesariamente corresponde al radio más pequeño de las curvas más cerradas de los circuitos de *Formula Student* (cuyas radios de curva entre 4 y 30 metros (Dahlberg, 2014)), sino en un equilibrio entre la velocidad y el radio de curva, para el cual tomamos un radio conservador de 15 m.
- Velocidad máxima del vehículo. La velocidad máxima que alcanza en competición el monoplaza es aproximadamente de 20 m/s.
- Coeficiente de rozamiento estático entre neumático y suelo (μ_s). Para el coeficiente de rozamiento estático entre neumático y suelo se adopta un valor conservador de 1,3.
- Aceleración de la gravedad (g). La aceleración de la gravedad se redondeará en los cálculos a 9,81 m/s².

Usando estos datos, calculamos la velocidad máxima en curva posible sin deslizamiento (Neary, Rinaldo, Woodman, & Martin, 2024), la compararemos con la velocidad máxima del vehículo en recta, y usaremos la menor de ellas (caso límite) para obtener la fuerza de inercia máxima (Jazar R. N., 2014) con las siguientes fórmulas:

$$v_{\text{curva}} = \sqrt{\mu_s * g * R_{\text{curva}}} ; F_{\text{inercial}} = \frac{m_{\text{alerón}} * v_{\text{curva}}^2}{R_{\text{curva}}}$$

La velocidad máxima en curva es de 13,8 metros por segundo, mayor que la máxima del vehículo en recta, por lo que se utiliza la primera para calcular que la fuerza inercial máxima es de 66 N.

5.2.2.2. Cargas normativas, restricciones 8.3.1 y 8.3.2

El reglamento de *Formula Student* establece dos pruebas específicas para verificar que los elementos aerodinámicos cumplen con los requisitos mínimos de seguridad y rigidez estructural. En particular, las secciones 8.3.1 y 8.3.2 del reglamento (Institution of Mechanical Engineers, 2024, pág. 52) definen las siguientes condiciones de carga y límites de deformación que, según establece el reglamento, serán verificados en la competición mediante ensayo físico por los jueces técnicos:

- Restricción 8.3.1: “Cualquier elemento aerodinámico debe ser capaz de resistir una fuerza de 200 N distribuida sobre una superficie mínima de 225 cm² y no deformarse más de 10 mm en la dirección de aplicación de la carga.”
- Restricción 8.3.2: “Cualquier dispositivo aerodinámico debe ser capaz de resistir una fuerza de 50 N aplicada en cualquier dirección y en cualquier punto, y no deformarse más de 25 mm.”

El soporte por tanto deberá de asegurar que estas condiciones se cumplen ofreciendo la rigidez necesaria.

5.2.3. Modelado de los casos de carga

En todos los análisis realizados se incluye la acción de la gravedad. Esta se aplica en dirección vertical descendente sobre el conjunto, representando el peso propio de los componentes y garantizando que los resultados de tensiones y desplazamientos reflejen con mayor realismo las condiciones físicas a las que estará sometido el sistema.

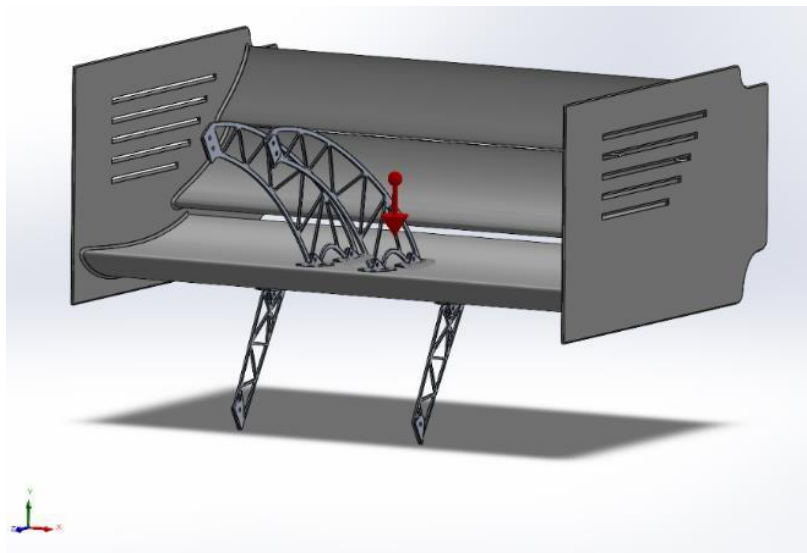


Figura 33. Representación de la aceleración de la gravedad en el ensamblaje.

5.2.3.1. Cargas de funcionamiento

Para estos análisis, cada una de estas cargas se ha aplicado de forma distribuida sobre las zonas del alerón que más fielmente representan su realidad (Katz, Automotive aerodynamics, 2016):

- Inercial lateral: fuerza aplicada sobre todas las caras del alerón, incluidas las superficies laterales, de manera que actúa correctamente en el centro de gravedad del mismo.

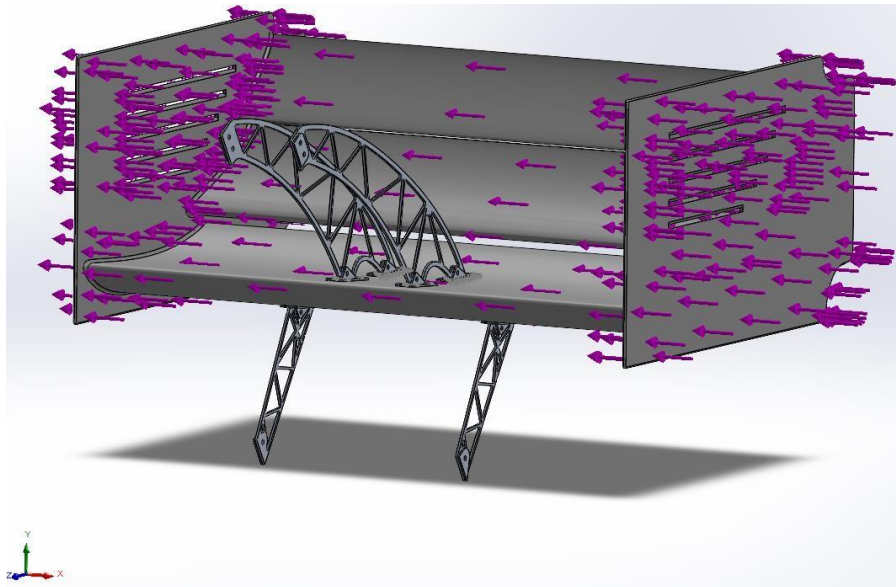


Figura 34. Aplicación de la carga de inercia lateral sobre el alerón.

- *Drag*: fuerza horizontal opuesta al avance, modelada para ser aplicada únicamente sobre las dos aletas traseras, dado que, en alerones multielemento (como es el caso, al estar compuesto por tres aletas), los elementos posteriores suelen operar a mayores ángulos de ataque y en un flujo perturbado, lo que incrementa significativamente su contribución al *drag* total.

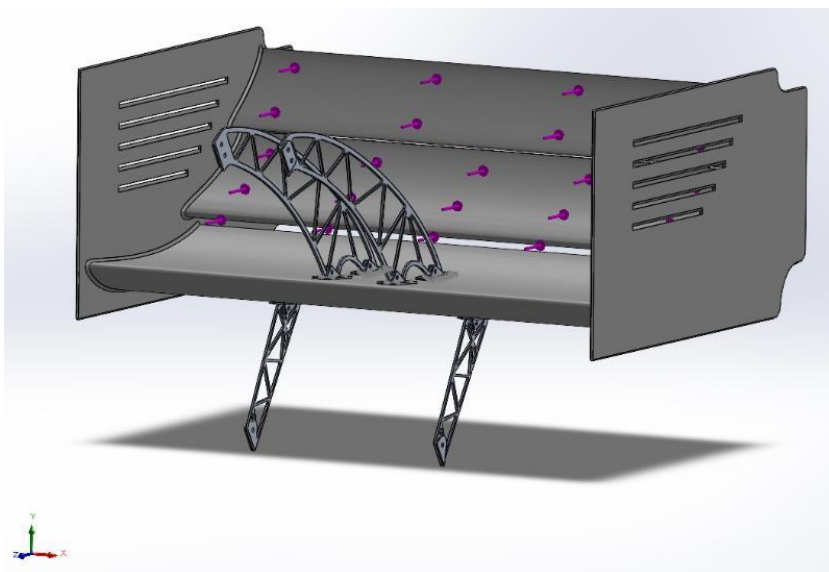


Figura 35. Aplicación de la carga de drag sobre el alerón.

- **Downforce:** fuerza vertical descendente aplicada sobre todas las aletas del alerón. Esta carga acostumbra a distribuirse de forma más homogénea entre los distintos elementos del alerón, por lo que se ha representado actuando sobre todas sus aletas.

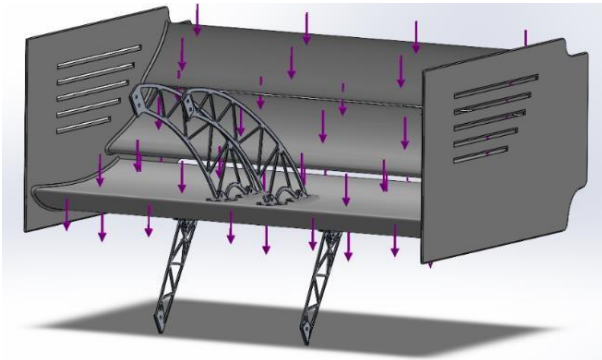


Figura 36. Aplicación de la carga de downforce sobre el alerón.

5.2.4. Cargas normativas

Las condiciones establecidas por el reglamento se trasladaron al modelo CAD como casos de simulación independientes. De este modo se evaluó la respuesta estructural del soporte del alerón frente a los escenarios exigidos en competición, comprobando que la deformación resultante se mantiene dentro de los límites establecidos.

5.2.4.1. Restricción 8.3.1

Para la restricción 8.3.1, la normativa establece que el alerón debe ser capaz de resistir una fuerza vertical descendente de 200 N aplicada sobre una superficie mínima de 225 cm². En este trabajo, con el fin de obtener un escenario más conservador, se ha modelado dicha fuerza como distribuida sobre todas las aletas del alerón, garantizando que el cumplimiento de la norma queda cubierto en cualquier caso de aplicación localizada. Con ello se reproduce esta condición en la dirección asociada al downforce, frente a la cual el soporte presenta su mayor capacidad resistente. Posteriormente se evaluará la deformación máxima producida

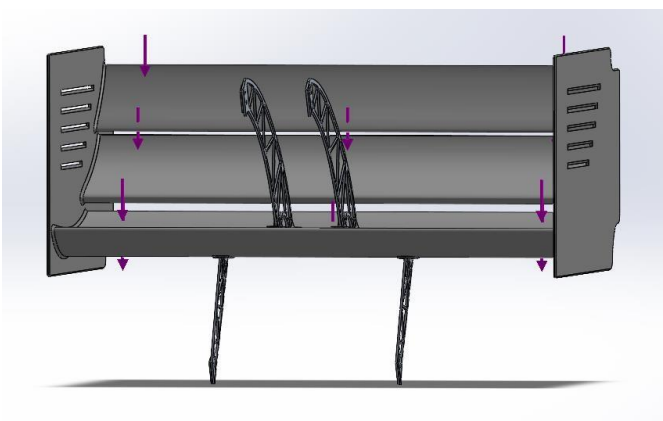


Figura 37. Representación de la restricción 8.3.1

5.2.4.2. Restricción 8.3.2

En el caso de la restricción 8.3.2, se aplicó una fuerza de 50 N en la cara y dirección más vulnerables para el soporte, que se dan en la superficie lateral del alerón, con dirección transversal al vehículo. Esto permitió analizar la respuesta del sistema en situación crítica y verificar que la deformación se mantiene dentro del límite normativo de 25 mm.

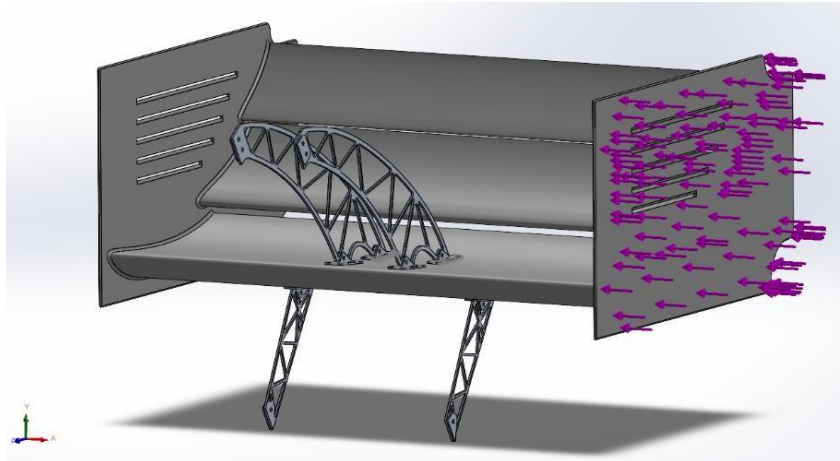


Figura 38. Representación de la restricción 8.3.2

5.2.5. Principales resultados del análisis estático

Antes de entrar a valorar los resultados obtenidos en cada uno de los casos de carga, resulta útil aclarar qué información aporta cada tipo de resultado de la simulación y por qué es relevante dentro del análisis estructural:

- El resultado de “Tensiones” muestra la distribución de esfuerzos internos en la pieza, normalmente expresados como tensiones de Von Mises. Este resultado es clave para identificar las zonas críticas donde existe mayor riesgo de plastificación o fallo.
- El resultado de “Desplazamientos”, cuantifica la deformación que experimenta el modelo bajo carga. El software permite obtener tanto el desplazamiento máximo total como la contribución en cada coordenada. Este resultado es fundamental para comprobar que la geometría del alerón no se ve comprometida en condiciones de uso real.
- El resultado de “Factor de seguridad” indica la relación entre la resistencia del material y las tensiones en cada punto. Cuanto mayor es este factor, mayor es el margen de seguridad frente al fallo. En este tipo de piezas, se consideran adecuados valores cercanos a 2, ya que proporcionan un equilibrio razonable entre ligereza y fiabilidad estructural.

5.2.5.1. Resultados relevantes con cargas de funcionamiento

Se observa que, para este estado de carga, la tensión máxima de ambos soportes se da en las zonas cercanas al chasis, donde el valor máximo de la tensión en el soporte inferior (162,3 MPa) prácticamente duplica al del soporte superior (87 MPa), lo que sugiere un desequilibrio en la distribución de cargas.

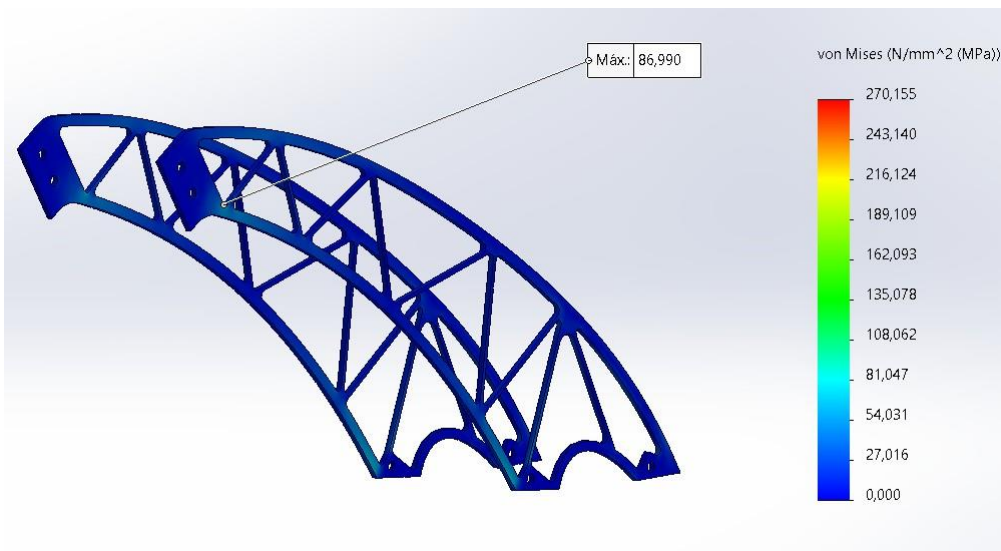


Figura 39. Distribución de tensiones de Von Mises bajo carga de funcionamiento en los soportes superiores.

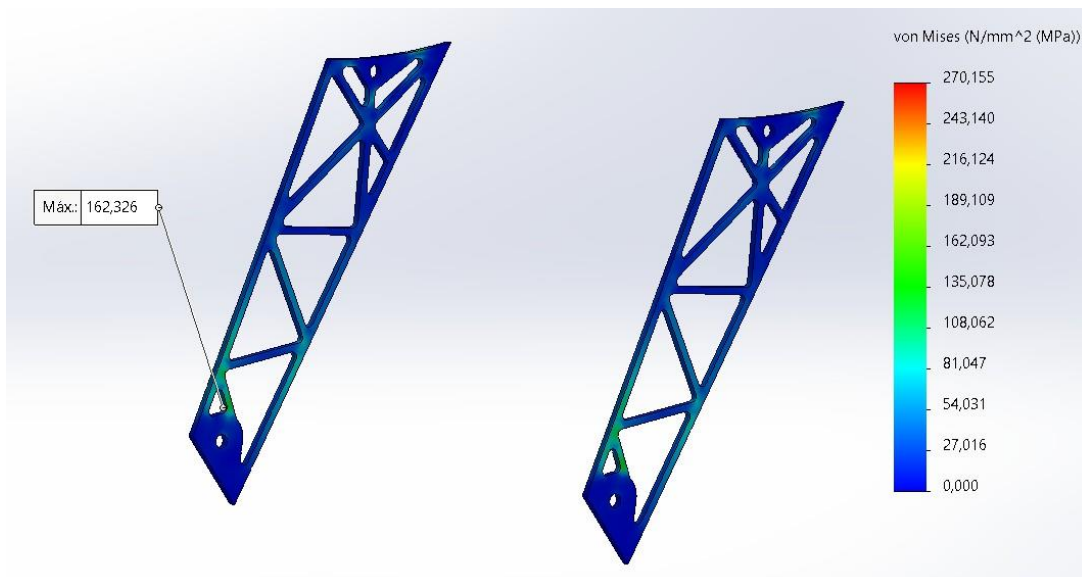


Figura 40. Distribución de tensiones de Von Mises bajo carga de funcionamiento en los soportes inferiores.

El factor de seguridad mínimo del conjunto resulta superior a 3, lo que indica un cierto margen respecto al criterio de diseño adoptado (valores adecuados cercanos a 2). En consecuencia, los soportes se encuentran sobredimensionados para este estado.

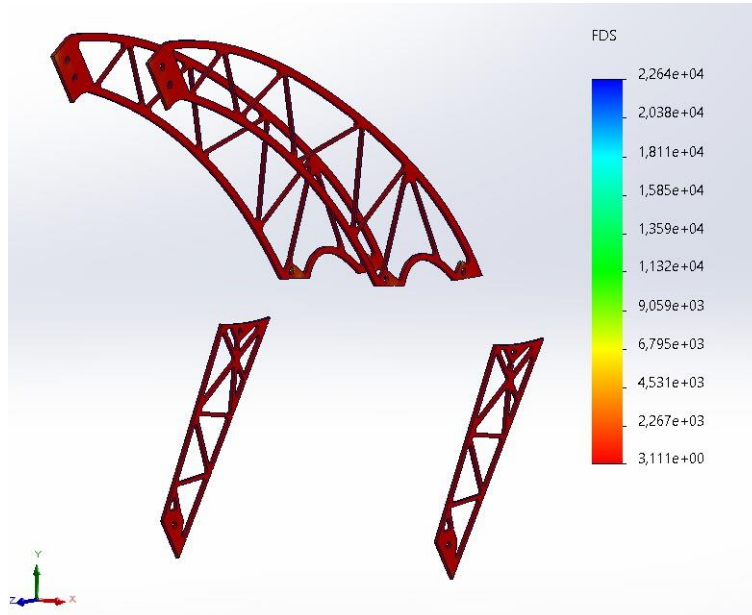


Figura 41. Mapa del factor de seguridad de todos los soportes bajo carga de funcionamiento.

5.2.5.2. Resultados relevantes para la restricción 8.3.1

La distribución de tensiones difiere de la observada en el caso anterior, los máximos se desplazan hacia los anclajes al alerón y presentan magnitudes considerablemente inferiores, se observa aquí una tensión máxima de 52,56 MPa, lo que implica un factor de seguridad de 9,6.

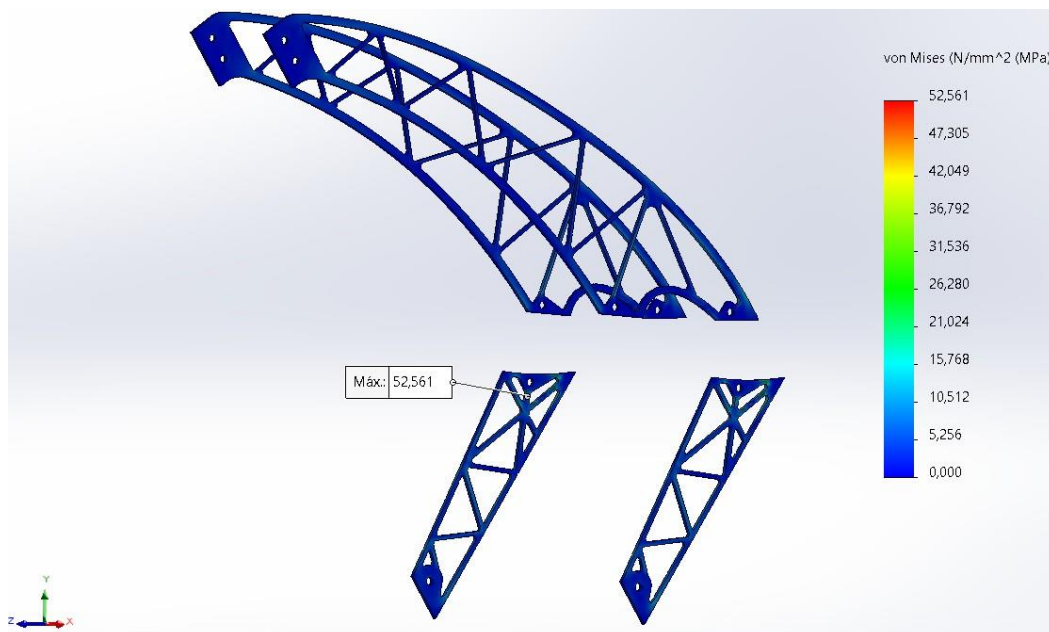


Figura 42. Distribución de tensiones de Von Mises bajo carga de la restricción 8.3.1 en todos los soportes.

En cuanto al desplazamiento en la dirección de aplicación de la carga (eje X), el valor máximo es ligeramente superior a 1 mm, muy por debajo del límite de 10 mm establecido para esta restricción, por lo que el requisito se cumple con holgura.

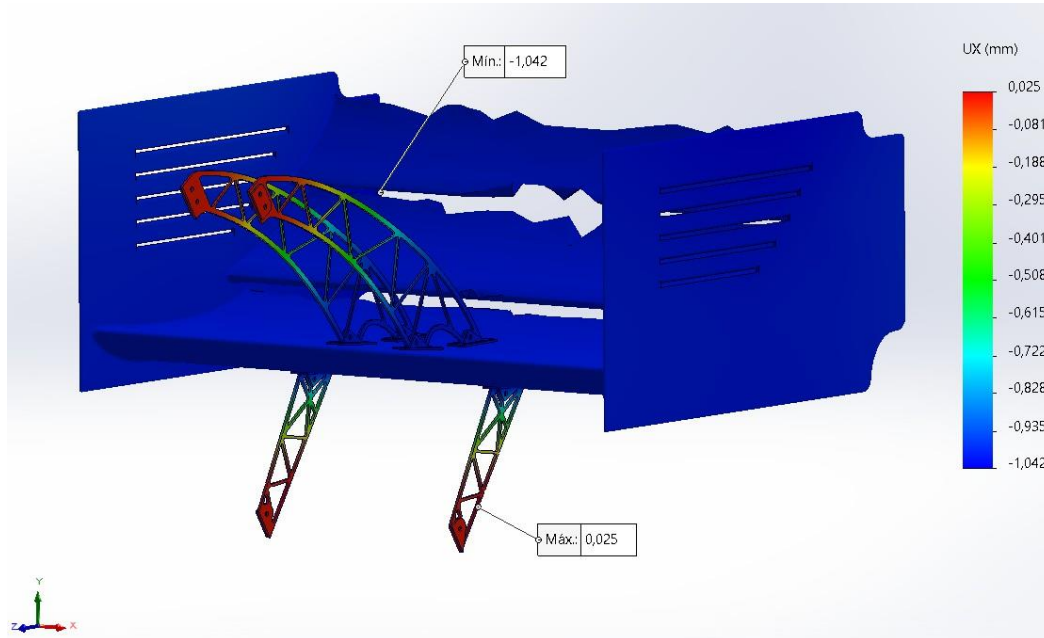


Figura 43 Mapa de desplazamientos bajo carga de la restricción 8.3.1 en la dirección de dicha fuerza (coordenada X).

5.2.5.3. Resultados relevantes para la restricción 8.3.2

La distribución de tensiones es similar a la del estado de cargas de funcionamiento, aunque con valores sensiblemente menores, donde la tensión máxima es de 116,69 MPa y, por tanto, el factor de seguridad es de 4,3.

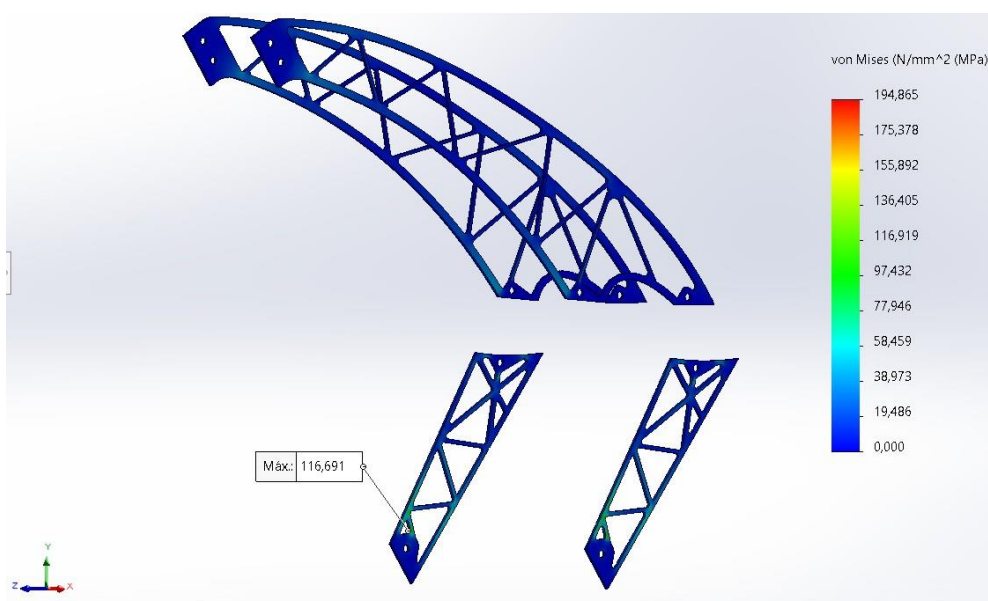


Figura 44. Distribución de tensiones de Von Mises bajo carga de la restricción 8.3.2 en todos los soportes.

Dado que en el reglamento no se especifica la dirección del desplazamiento, se tomará como valor relevante el desplazamiento resultante máximo, el cual, siendo poco superior a 8 mm, se encuentra lejos del límite de 25 mm.

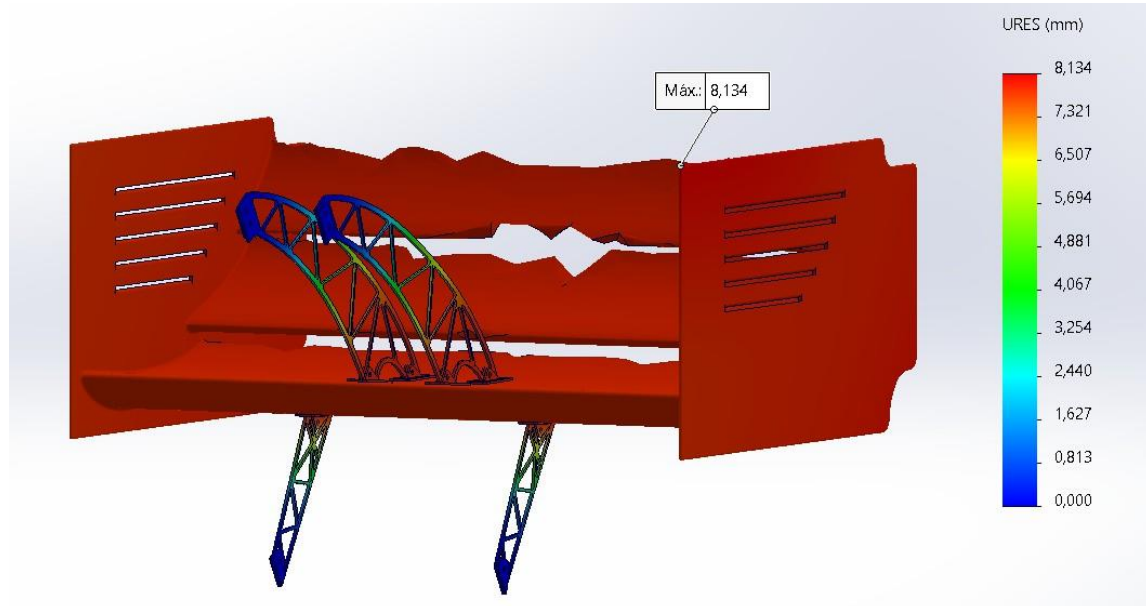


Figura 45. Mapa de desplazamientos resultantes bajo carga de la restricción 8.3.2.

5.3. Estudio de frecuencia inicial

En este apartado se determinan, para cada componente del soporte (superior e inferior), las frecuencias naturales. Para representar de forma precisa el estado en el que se encontrará la pieza en funcionamiento, se impone una sujeción en el anclaje al chasis, dado que en comparación con lo que se moverá el alerón, el chasis es relativamente rígido.



Figura 46. Representación de las sujeciones en estudios de frecuencia.

5.3.1. Frecuencias de vibración de funcionamiento previsible

Se tomarán como prioritarias las excitaciones del alerón y las excitaciones mecánicas transmitidas desde el chasis. Las primeras dominan la carga del alerón en funcionamiento, y para estimar con la mayor precisión posible la frecuencia esperable se toma como referencia un caso medido en pista sobre un ala de competición (Dallara T12), cuyo espectro de vibración se concentra entre 0 y 20 Hz (Sorokin, Khryakov, & Gommers, 2018). Las segundas, asociadas a irregularidades del pavimento, baches o pianos, inducen vibraciones adicionales que abarcan un rango de entre 0 y 50 Hz (Jazar, 2013). En consecuencia, el análisis modal deberá considerar ambos rangos de excitación para identificar posibles riesgos de resonancia.

5.3.2. Modos de vibración

Los modos de vibración son patrones independientes de deformación asociados a las frecuencias naturales de una estructura, determinadas por su masa y rigidez. Cuando una excitación externa actúa a una frecuencia próxima a alguna de esas naturales, la respuesta puede amplificarse (resonancia), aumentando de forma notable los desplazamientos y las tensiones. Por ello, en diseño se procura separar las frecuencias propias de las de excitación relevantes (Jazar, 2013).

Ejecutando el análisis, el software devuelve los primeros modos y las frecuencias a las que se asocian y entregarlos en formato Excel.

5.3.2.1. Modos de vibración del soporte superior

La frecuencia del primer modo de este soporte, de 8,12 Hz, queda dentro de los rangos de excitación previstos, tanto el aerodinámico (0–20 Hz) como el mecánico (0–50 Hz). La frecuencia del segundo modo en cambio, de 49,03 Hz, aunque fuera del rango aerodinámico, todavía se encuentra dentro del rango mecánico. Este riesgo de resonancia hace recomendable elevar esta frecuencia aumentando la rigidez.

Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	51,029	8,1215	0,12313
2	308,11	49,037	0,020393
3	365,61	58,189	0,017185
4	853,79	135,89	0,0073592
5	977,06	155,5	0,0064307

Figura 47. Frecuencias naturales del soporte superior de los primeros cinco modos entregados por el software.

5.3.2.2. Modos de vibración del soporte inferior

Por el contrario, en el soporte inferior, solo la frecuencia del primer modo (de valor 34,55 Hz) entra dentro únicamente del rango mecánico. Por lo que, aunque existe cierto riesgo, no se prevé tanto riesgo de resonancia como en el componente superior.

Nº de modo	Frecuencia(Rad/seg)	Frecuencia(Hertz)	Período(Segundos)
1	217,06	34,547	0,028946
2	1323,2	210,59	0,0047487
3	1643,5	261,57	0,0038231
4	2407,8	383,21	0,0026095
5	4577,9	728,59	0,0013725

Figura 48. Frecuencias naturales del soporte inferior de los primeros cinco modos entregados por el software.

5.4. Preparación para el estudio topológico

El objetivo del estudio topológico es obtener un mapa orientativo de distribución de material (malla) que sirva como base para un posterior rediseño compatible con cada método de fabricación. Este estudio, similar al de frecuencia, con las mismas sujeciones (fijación rígida en el anclaje al chasis), se realiza con cada pieza por separado, por lo que, para reproducir el efecto sobre cada componente producido en el ensamblaje, se aplicarán en cada pieza cargas equivalentes a las experimentadas en él. En lugar de utilizar directamente el diseño inicial del soporte, el análisis se lleva a cabo sobre una geometría de partida maciza y plana, sin huecos, que actúa como volumen base para que el software determine la distribución óptima de material.

5.4.1. Obtención de cargas individuales por análisis estático adicional

Con el fin de obtener las cargas que sufren ambos soportes directamente, se realizará un análisis estático adicional en unos modelos auxiliares diseñados con una modificación leve que permita obtener las cargas que sufren en sus contactos. Esta modificación consiste en introducir muescas de profundidad despreciable (aproximadamente de 0,01 mm) en las caras del soporte en contacto con los elementos de fijación del alerón (que son seis en total, dos por cada soporte superior y uno por cada soporte inferior) de modo que cada zona de contacto quede identificada de forma independiente.

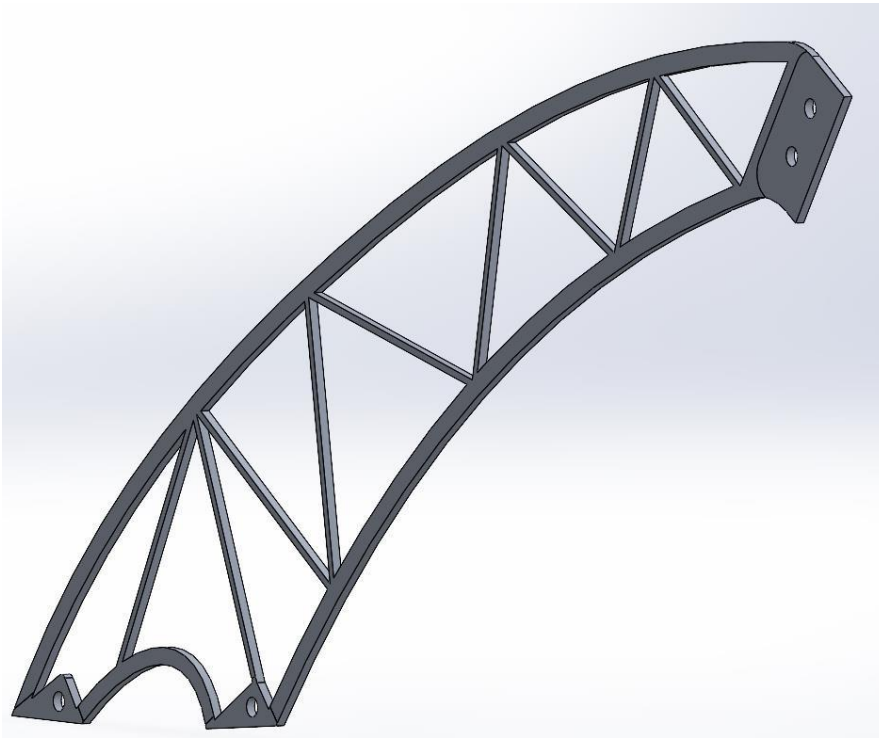


Figura 49. Modelo auxiliar del soporte superior con muescas en las zonas de contacto con los elementos de fijación.

Para recuperar fuerzas y momentos, se genera una geometría de referencia tipo punto situada en el centro geométrico de cada una de las caras cilíndricas donde se alojan los pasadores.

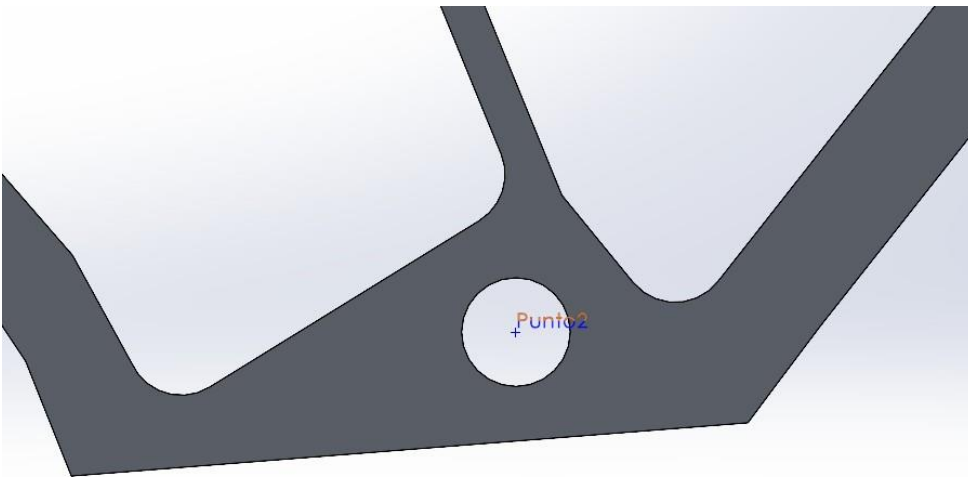


Figura 50. Punto de referencia ubicado en el centro geométrico del alojamiento del pasador.

A partir del resultado del análisis, se extraen las cargas enumerando las fuerzas resultantes de todas las caras en contacto con cada elemento de fijación, referidas a dicho punto de referencia y se guardan en formato de hoja Excel.

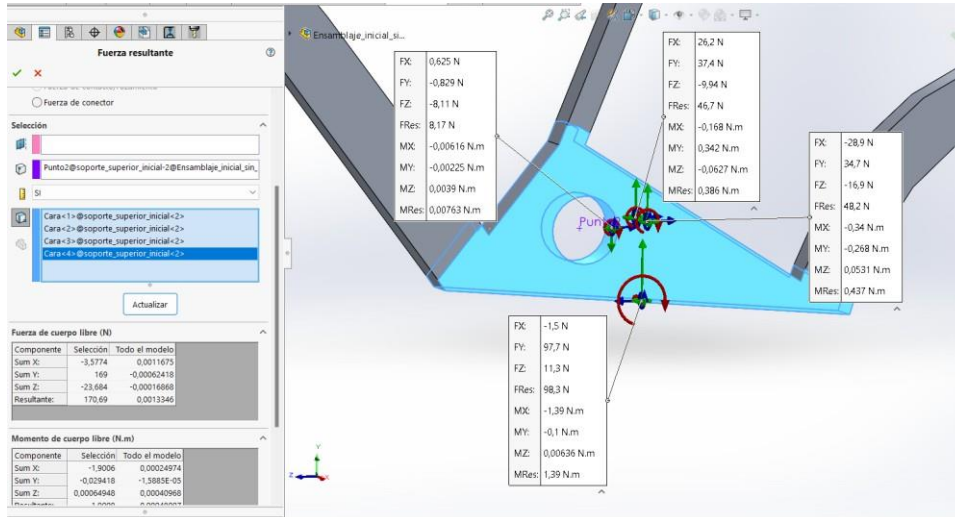


Figura 51. Extracción de fuerzas y momentos resultantes en el elemento de fijación delantero del soporte superior derecho bajo cargas de funcionamiento.

5.5. Configuración del estudio topológico, problemas detectados y soluciones adoptadas

El estudio topológico se configura pieza a pieza, trasladando las cargas del ensamblaje a un modelo individual diseñado para obtener las mejores distribuciones de masa.

5.5.1. Traslación de cargas

5.5.1.1. Conversión de sistemas de coordenadas

Las orientaciones de las piezas en el ensamblaje difieren de las de sus modelos nativos (donde se ejecutará la optimización). Antes de aplicar cada carga se realiza el mapeo de ejes y signos para cada componente, garantizando que dirección y sentido coinciden con el estado real.

5.5.1.2. Cargas equivalentes para momentos

Es posible introducir las fuerzas con facilidad, sin embargo, el procedimiento es más complicado con los momentos. El momento en el eje Z se puede introducir como momento torsor en la cara cilíndrica por la que pasa el perno, pero no es posible introducir momentos alrededor de X e Y de forma directa, por lo que se reproducen mediante pares de fuerzas opuestas aplicadas a 5 mm del punto de referencia, de forma que no se introduzca ninguna fuerza adicional. Dichas fuerzas se calculan dividiendo el momento entre la distancia y entre dos, de modo que no se duplique dicho momento. Para poder aplicarlas en el modelo, se definen muescas circulares locales sobre los puntos de aplicación.

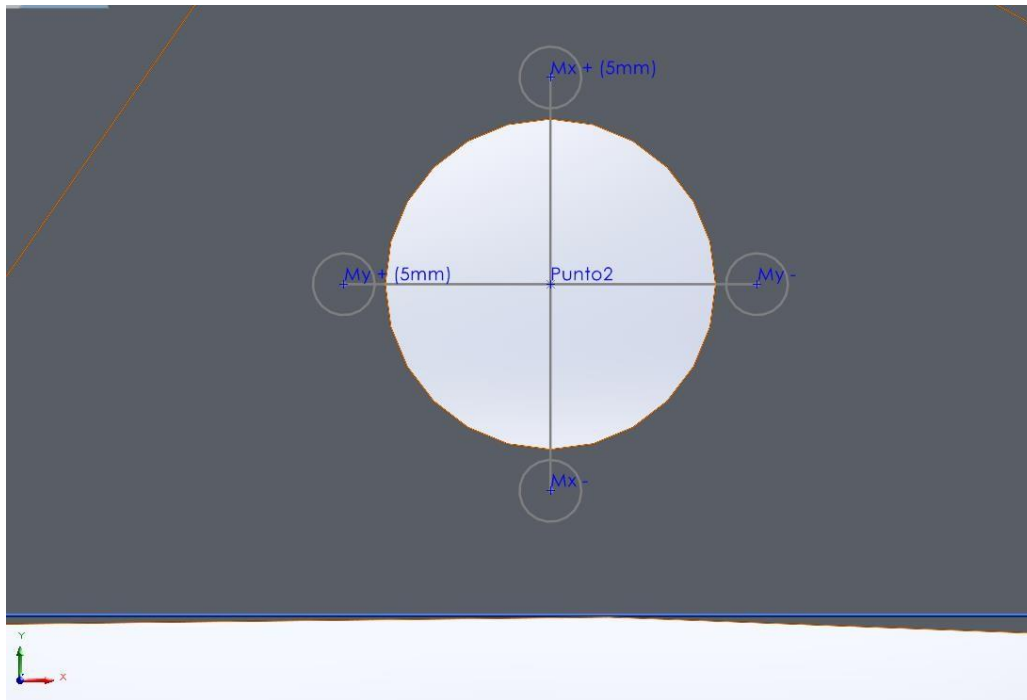


Figura 52. Disposición de muescas circulares equidistantes del punto de referencia.

5.5.1.3. Excel como herramienta de cálculo

La conversión de ejes y el cálculo de fuerzas equivalentes se automatizan mediante una hoja Excel, que devuelve para cada caso el conjunto de fuerzas y momentos con el signo para su aplicación correcta.

Componente	Selección	Todo el modelo	Sies:	Superior der	Superior izqu	Inferior derecho	Inferior izquierdo						
Sum X:	-23,545	0,0011576	Fuerza en X	183,24	183,24	-183,24	-183,24						
Sum Y:	-229,62	-0,00064564	Fuerza en Y	-229,62	-229,62	229,62	229,62						
Sum Z:	183,24	-2,52E-05	Fuerza en Z	23,545	-23,545	23,545	-23,545						
Resultante:	294,71	0,0013258											
Momento de cuerpo libre (N.m)													
Componente	Selección	Todo el modelo											
Sum X:	-8,0738	0,00016138	Momento en X	-2,9945	2,9945	2,9945	-2,9945						
Sum Y:	-1,9035	6,25E-05	Momento en Y	-1,9035	1,9035	1,9035	-1,9035						
Sum Z:	-2,9945	-0,00016859	Momento en Z	8,0738	8,0738	8,0738	8,0738						
Resultante:	8,8191	0,0002416											
			F Mx enganche delantero	-299,45	299,45	299,45	-299,45	F Mx inf		Distancia del punto relativo a punto de fuerza en m			
			F My enganche delantero	-190,35	190,35	190,35	-190,35	F My inf		0,005			
			F Mx enganche trasero	-299,45	299,45								
			F My enganche trasero	-111,97059	111,970588								

Figura 53. Ejemplo de hoja Excel usada para el traslado de cargas.

5.5.1.4. Aplicación correcta de las cargas

Tal y como fue mencionado con anterioridad, las fuerzas directas y el momento torsor alrededor de Z se aplican en la cara cilíndrica interior del alojamiento del pasador. Los momentos alrededor de X e Y se introducen con los pares de fuerzas en las muescas definidas. Se comprueba el equilibrio (fuerza neta nula y par resultante correcto) en cada caso y el signo positivo de las mismas en el sistema de coordenadas.

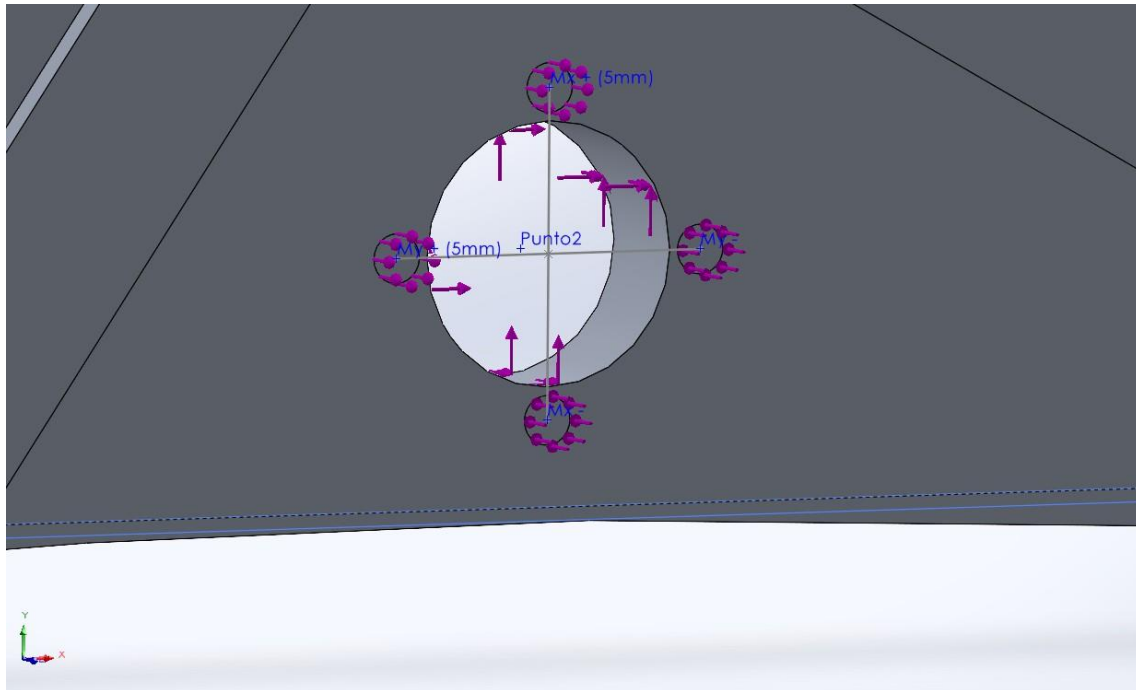


Figura 54. Disposición de las cargas sufridas por los soportes sobre las caras en contacto con elementos de fijación.

5.5.2. Casos de carga múltiples

Dado que los soportes son simétricos respecto al plano longitudinal y deben soportar las tres condiciones definidas (funcionamiento, 8.3.1 y 8.3.2) en ambos lados del vehículo, se configuran seis casos de carga en el estudio topológico.

Vista de caso																	
		Fuerzas delante			Fuerzas detrás			Torsión		Mz delante		Mz detrás		Mx + d >		My + d >	
		Fx	Fy	Fz	Fx	Fy	Fz	Torsión	Torsión	Mz	Mz	Mz	Mz	Mx	My	Mx	My
		N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Cargas de funcionamiento soporte derecho		1.7294	128.11	7.2076	-101.06	-138.12	-6.4393	-0.6527	-1.208	75.306	-75.306	-63.57	63.57	4.0875	-4.0875	-9.434	9.434
Cargas de funcionamiento soporte izquierdo		-65.889	125.21	16.639	-155.9	-208.02	9.2688	-0.64923	-2.0277	-52.756	52.756	73.242	-73.242	1.5602	-1.5602	11.426	-11.426
8_3_1 soporte derecho		-10.762	41.248	0.19603	-42.857	-57.196	0.39133	-0.21244	-0.52165	0.441	-0.441	2.6927	-2.6927	-2.5804	2.5804	1.476	-1.476
8_3_1 soporte izquierdo		-11.012	35.082	-0.27865	-36.475	-49.846	-0.20795	-0.14501	-0.47754	-0.44915	0.44915	-1.9416	1.9416	2.321	-2.321	-0.717	0.717
8_3_2 soporte derecho		24.416	-1.6704	5.4519	26.853	32.615	-6.1802	0.10954	0.3264	55.432	-55.432	-54.428	54.428	9.5027	-9.5027	-10.3970588	10.3970588
8_3_2 soporte izquierdo		-20.079	8.3068	12.902	-24.631	-30.197	7.6776	-0.10589	-0.3124	-38.625	38.625	60.31	-60.31	-4.7341	4.7341	10.459	-10.459

Figura 55. Ejemplo de aplicación de casos de carga múltiples, donde cada caso pertenece a un estado de carga y componente específicos.

5.5.3. Definición de regiones conservadas y ramificación de diseños

Para que el software proporcione la mejor distribución de material, se modifican las piezas iniciales de tal forma que pasen a ser macizas.

A partir de aquí se ramifica el estudio en dos configuraciones, con una versión orientada a chapa (con geometría laminar de espesor constante) y versión orientada a impresión 3D (con mayor libertad dimensional).

5.5.3.1. Diseño para optimización para chapa

En esta configuración se parte de una geometría laminar y se limita la región de diseño al volumen interior manteniendo espesor constante y las caras perimetrales.

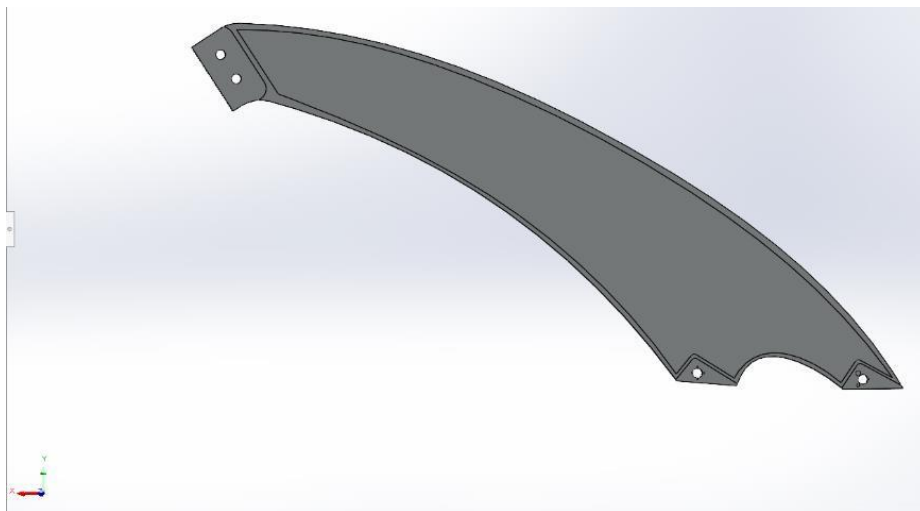


Figura 56. Diseño para estudio topológico para fabricación por chapa del soporte superior.

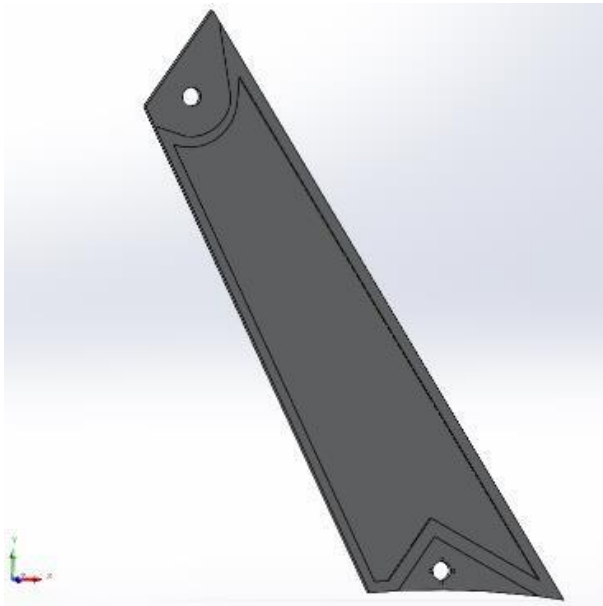


Figura 57. Diseño para estudio topológico para fabricación por chapa del soporte inferior.

5.5.3.2. Diseño para optimización para impresión 3D

Gracias a la mayor libertad dimensional de la fabricación aditiva, se redondean las aristas exteriores para mejorar la distribución de tensiones y reduciendo el espesor interior de 4 a 1,5 mm (sin acercarse al límite de la capacidad de este tipo de fabricación), siendo que ambas medidas ayudan reducir levemente el peso y a que el software de mejor resultado.

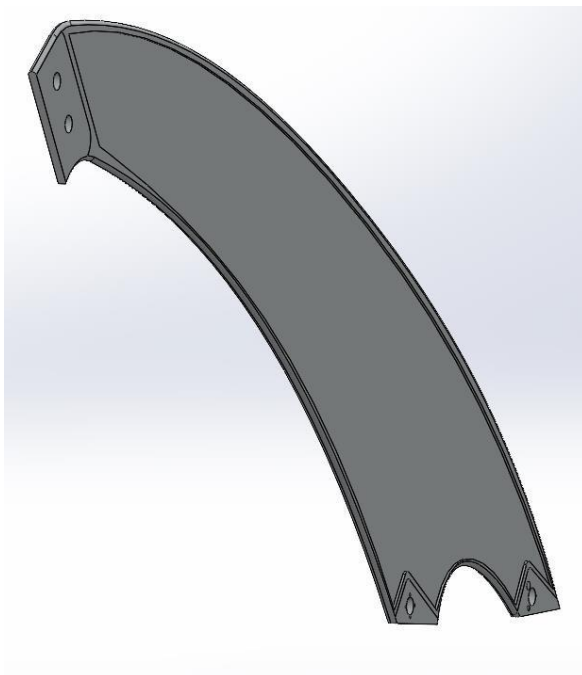


Figura 58. Diseño para estudio topológico para fabricación por impresión 3D del soporte superior.

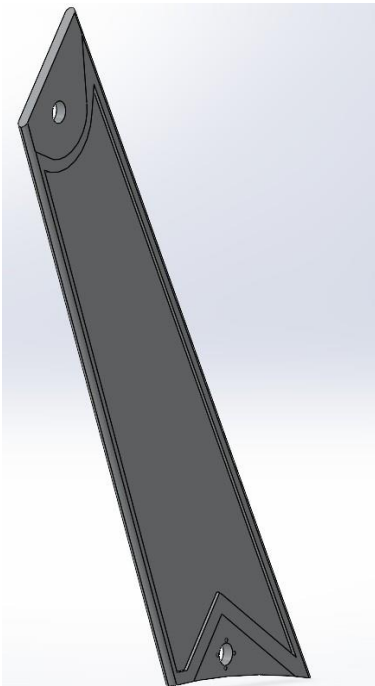


Figura 59. Diseño para estudio topológico para fabricación por impresión 3D del soporte inferior.

5.5.3.3. Regiones conservadas

Con el fin de orientar la solución se definen como regiones conservadas:

- Las caras de contacto con los elementos de fijación, para mantener la compatibilidad con pasadores y alerón.
- El contorno de cada pieza para mantener la forma general y las dimensiones funcionales.

Estas regiones conservadas son idénticas para ambas versiones de fabricación, que se diferencian en el volumen restante, declarado región de diseño para que el algoritmo determine una distribución óptima que.

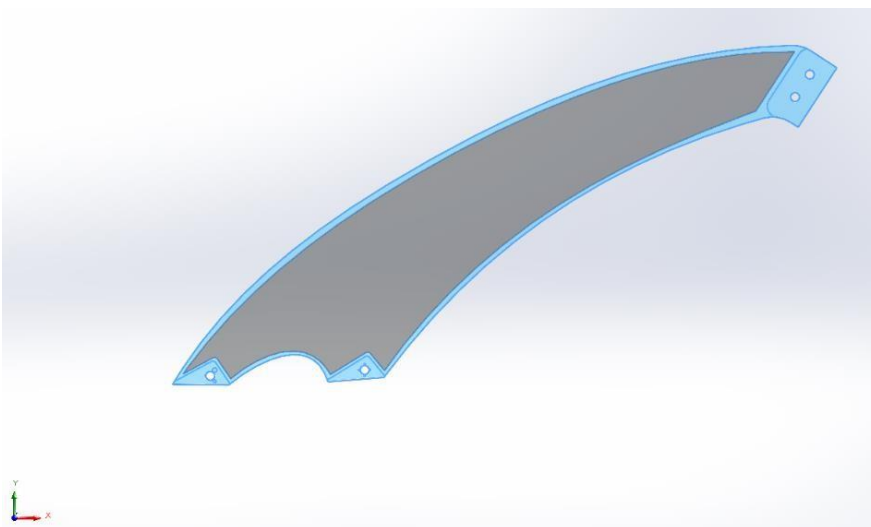


Figura 60. Regiones conservadas en el soporte superior.

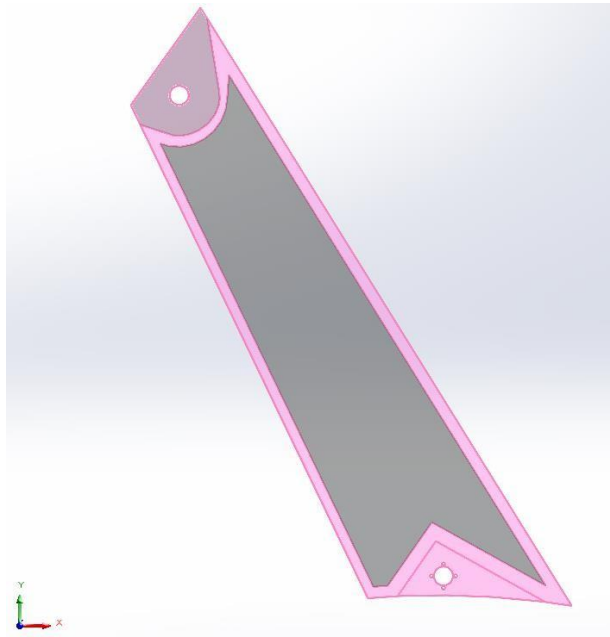


Figura 61. Regiones conservadas en el soporte inferior.

6. Desarrollo del diseño optimizado

En este capítulo se presentan los resultados de la optimización topológica aplicada al soporte del alerón. El estudio se configuró con el objetivo de maximizar la rigidez en relación con la masa y la reducción de material.

6.1. Resultados de la optimización topológica

Los resultados de la optimización se representan en forma de mallas, donde el software indica la distribución de material más eficiente en función de las cargas y restricciones aplicadas. En los apartados siguientes se describen las mallas obtenidas para cada caso de fabricación.

6.1.1. Mallas optimizadas soportes superiores

Las dos configuraciones presentan un diseño muy similar en su planteamiento estructural, distribuyendo material mediante ramas diagonales que unen la curva interior con la exterior. La versión para chapa resulta más compacta al presentar ramas entrecruzadas, pero manteniendo el carácter laminar propio de este tipo de fabricación. La versión destinada a impresión 3D, pese a la mayor libertad geométrica disponible, conserva una disposición bastante plana, manteniendo el escalón central diseñado previamente.

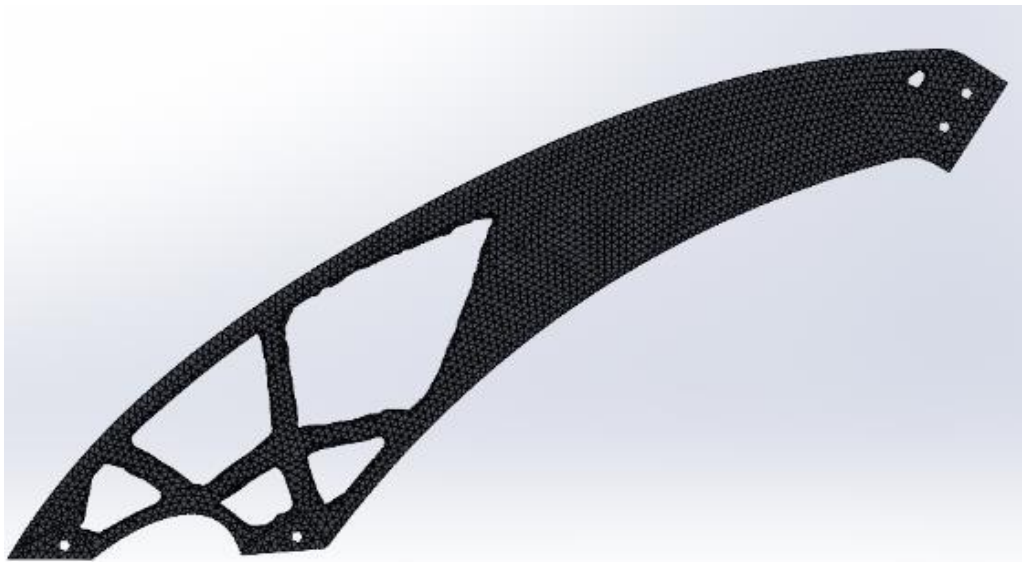


Figura 62. Malla optimizada para chapa del soporte superior.

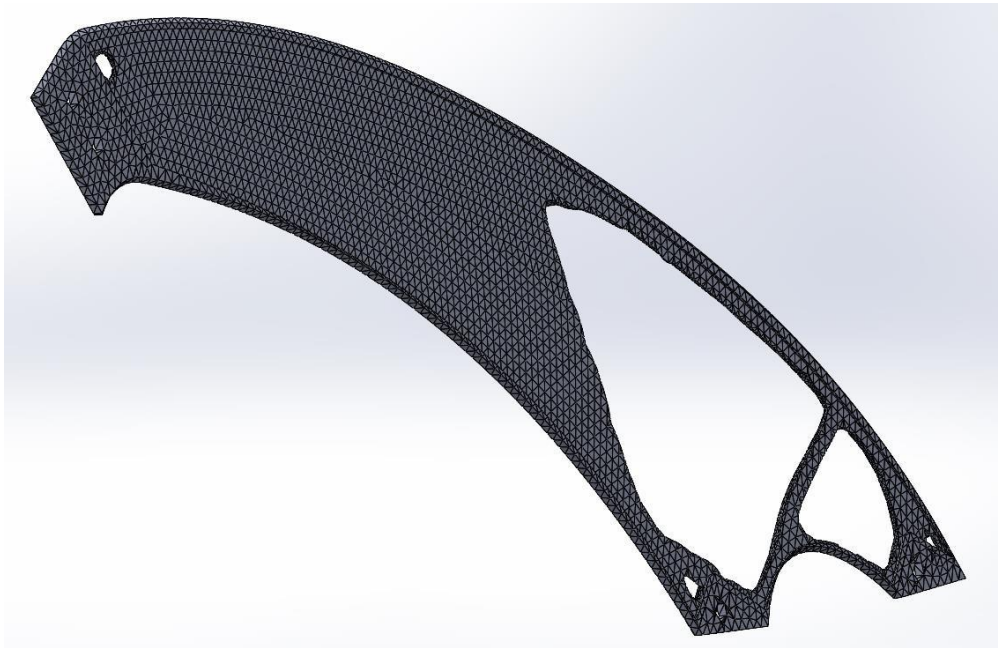


Figura 63. Malla optimizada para impresión 3D del soporte superior.

6.1.2. Mallas optimizadas soportes inferiores

La malla obtenida para chapa presenta un trazado sencillo y compacto, con vaciados triangulares bien definidos que estructuran la pieza. La versión de impresión 3D, parecida a la de chapa, mantiene una disposición plana, como ya ocurría en el soporte superior, aunque incorpora huecos adicionales fuera de las ramas principales, lo que sugiere la posibilidad de eliminar aún más material fuera de las ramas principales.



Figura 64. Malla optimizada para chapa del soporte inferior.



Figura 65. Malla optimizada para impresión 3D del soporte inferior.

6.2. Rediseño orientado a fabricación

A partir de las mallas optimizadas obtenidas, se desarrollan modelos CAD adaptados a los distintos métodos productivos. El rediseño implica ajustes geométricos, simplificaciones y retoques locales validados por análisis estáticos rápidos, con el objetivo de garantizar la correcta fabricación y conservar las propiedades estructurales en ambas versiones.

6.2.1. Importancia de los redondeos en el rediseño

La incorporación de redondeos en el modelo optimizado cumple una función estructural esencial, atenúa las transiciones geométricas evitando concentraciones agudas de tensiones que podrían iniciar grietas por fatiga. Estos radios favorecen una distribución más uniforme de los esfuerzos, mejorando tanto la resistencia al agotamiento cíclico como la vida útil del componente bajo carga repetida (Budynas & Nisbett, 2015).

6.2.2. Versión optimizada y limitaciones del diseño para chapa

6.2.2.1. Limitaciones del diseño para fabricación por chapa

La fabricación en chapa exige mantener un espesor constante en toda la pieza y limitar la geometría a configuraciones laminares. También deben evitarse transiciones bruscas o zonas excesivamente estrechas, ya que complican el mecanizado y pueden generar concentraciones de tensiones. En cuanto a los redondeos internos, se realizan con facilidad pues, tomando los servicios disponibles en Madrid de corte por chorro de agua como referencia, las tolerancias de corte habituales son de $\pm 0,25$ mm (Cutmesur, 2025).

6.2.2.2. *Diseño optimizado para fabricación por chapa*

A partir de las mallas resultantes, se desarrolló un modelo adaptado a la fabricación en chapa manteniendo el mismo espesor de 4 mm en toda la geometría. El diseño mantiene la geometría plana propia de este proceso. Las ramas diagonales de este diseño se basan en las que se encuentran en dicha malla, de forma que incremente su eficiencia estructural. En cuanto a los redondeos, el radio de estos es de 3 mm, características de diseño que se logran con facilidad con procesos de corte avanzados (como el corte por chorro de agua). El resultado es una geometría menos compacta que la inicial, pero con una distribución más eficiente de sus ramas, manteniéndose coherente con las limitaciones de la fabricación por chapa.

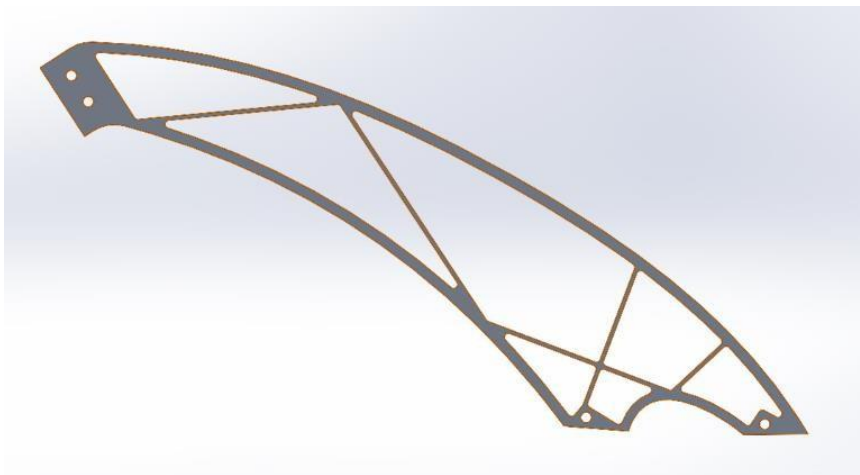


Figura 66. Diseño optimizado para chapa del soporte superior.

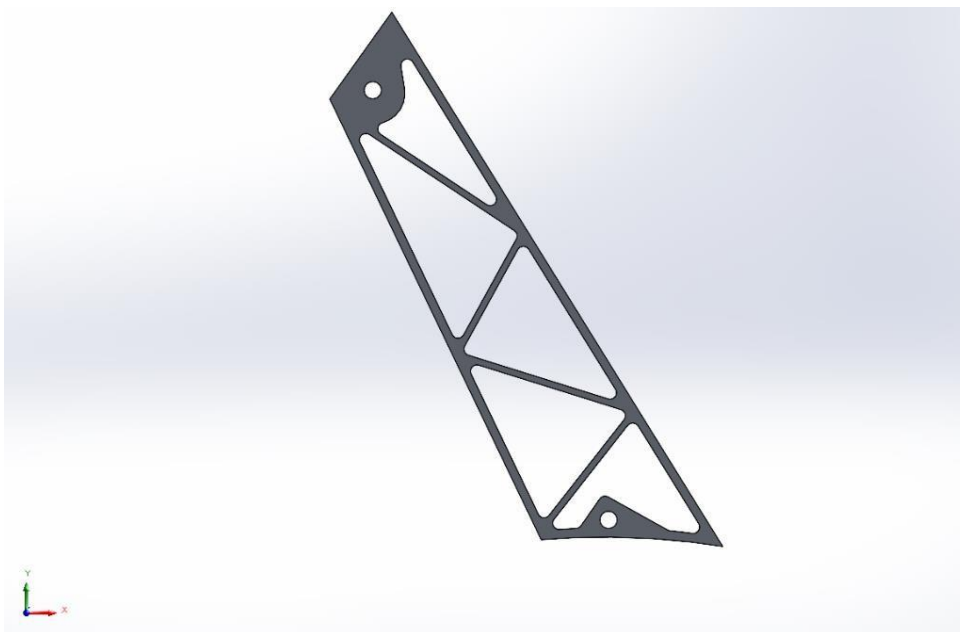


Figura 67. Diseño optimizado para chapa del soporte inferior.

6.2.3. Versión optimizada para impresión 3D

6.2.3.1. Limitaciones del diseño para fabricación por impresión 3D

La fabricación aditiva metálica permite una gran libertad geométrica, pero exige respetar ciertas limitaciones para garantizar la viabilidad del proceso y la resistencia estructural del componente. Es necesario mantener un espesor mínimo de pared de 1 mm, ya que valores inferiores dificultan la consolidación del material y aumentan el riesgo de defectos internos (Materialise, 2025). Tomando como referencia las ofertas de impresión 3D de AlSi10Mg por SLM, este proceso tiene una resolución de detalle mínima de 0,5 mm (Zelta3D, 2025) lo que asegura la capacidad de fabricar los radios más pequeños.

6.2.3.2. Diseño optimizado para fabricación por impresión 3D

El rediseño para impresión 3D se elaboró a partir de la malla obtenida en el estudio topológico, pero introduciendo ajustes específicos para este método de producción. El espesor exterior se mantuvo en 4 mm, pero en las ramas interiores se redujo a 1,5 mm (mayor al límite de 1 mm de espesor mínimo) con el objetivo de aligerar la pieza. A su vez, en el soporte inferior se incorporaron refuerzos locales de igual espesor que las ramas, en torno a los anclajes con el chasis, para favorecer la distribución de tensiones en esas áreas. En relación con los redondeos, se aplicaron diferentes valores según la zona, alcanzando un mínimo de 1,25 mm en los puntos más ajustados. De este modo, el modelo resultante combina ligereza y resistencia, adaptándose a las posibilidades de la fabricación aditiva.

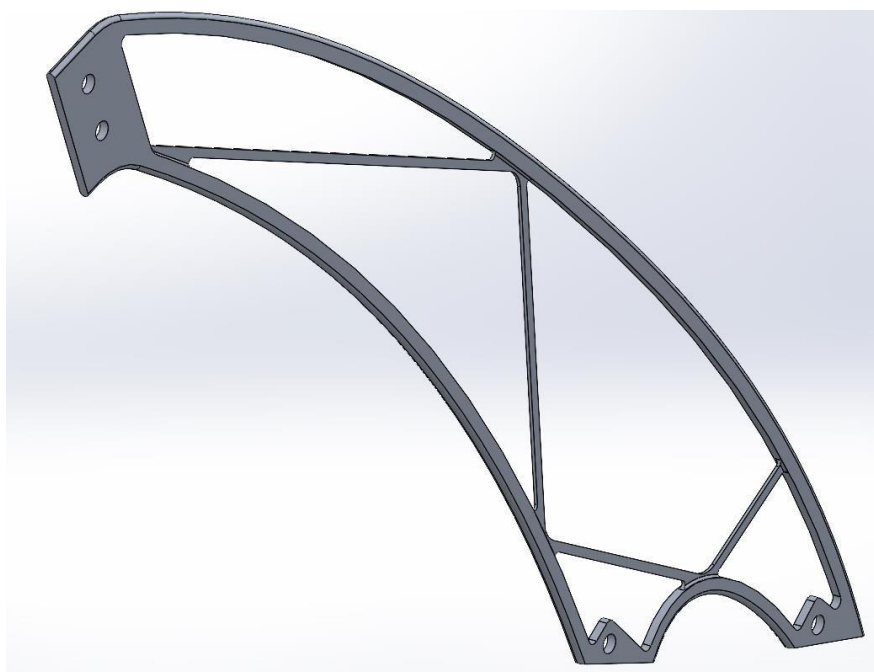


Figura 68. Diseño optimizado para impresión 3D del soporte superior.

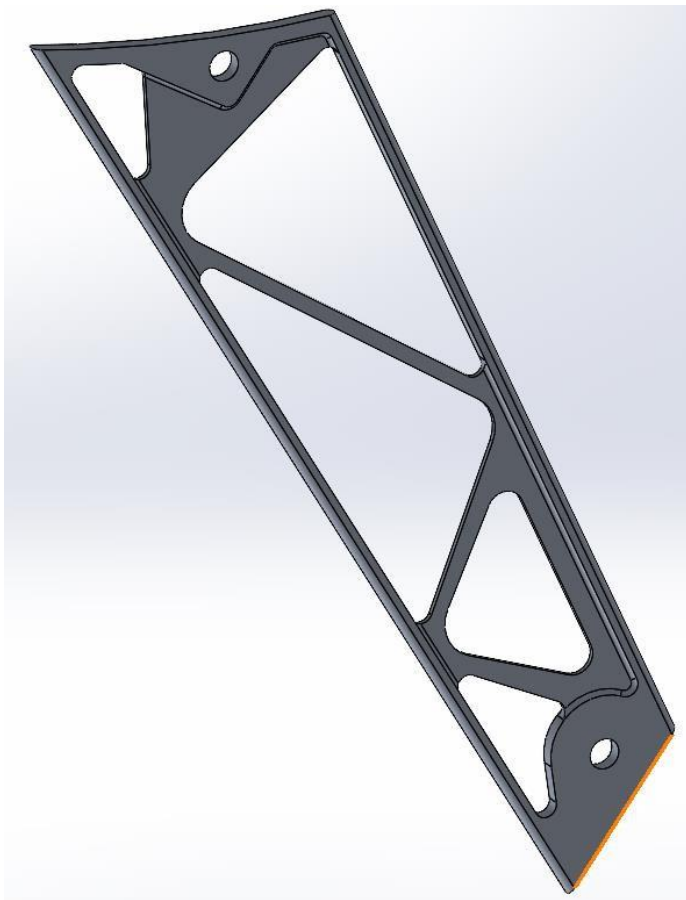


Figura 69. Diseño optimizado para impresión 3D del soporte inferior.

7. Resultados y comparaciones

Los diseños optimizados se someten a distintos análisis con el fin de evaluar su rendimiento frente al modelo inicial. Se estudia su comportamiento estructural mediante simulaciones estáticas, se examina la respuesta vibracional a través del análisis modal y se cuantifica la reducción de masa alcanzada. Estos resultados permiten establecer una comparativa clara entre las versiones obtenidas y discutir sus implicaciones en el funcionamiento real del conjunto.

7.1. Análisis estático, comparación del rendimiento estructural

El soporte inicial fue diseñado con un cierto sobredimensionamiento, lo que implica que en la comparación con los nuevos diseños, se espera apreciar una menor resistencia a la deformación y una mayor tensión máxima a cambio de la reducción de material.

7.1.1. Análisis estático del soporte diseñado para chapa

7.1.1.1. Cargas de funcionamiento en soporte diseñado para chapa

En este caso se aprecia que, aún con la reducción considerable de material llevada a cabo en el rediseño, el incremento de tensiones ha sido mínimo, manteniéndose en valores plenamente admisibles.

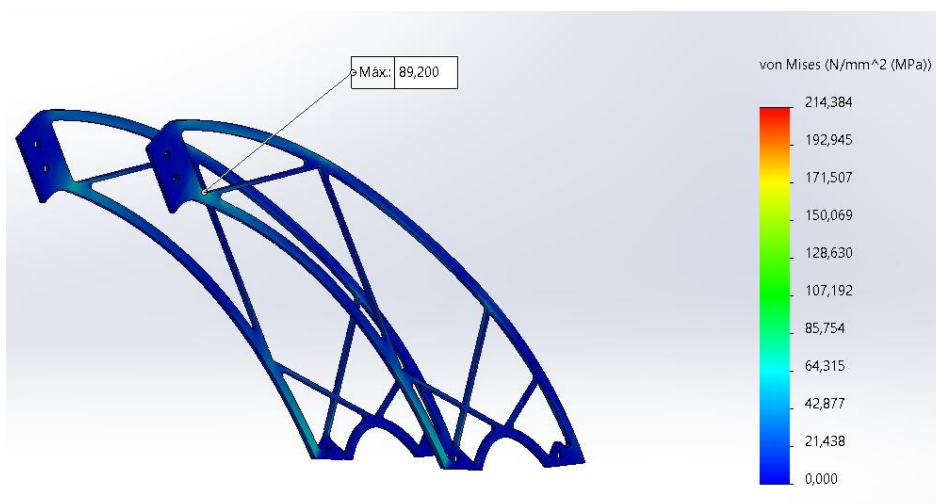


Figura 70. Distribución de tensiones bajo cargas de funcionamiento en los soportes superiores diseñados para chapa.

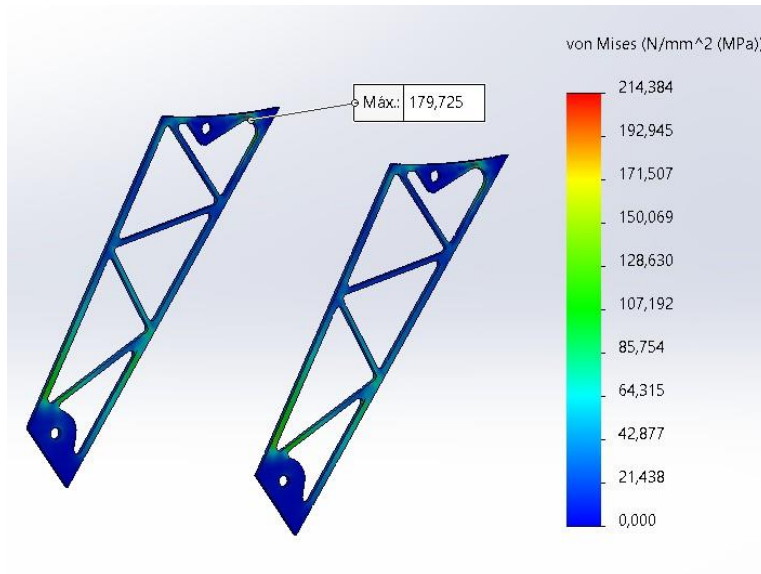


Figura 71. Distribución de tensiones bajo cargas de funcionamiento en los soportes inferiores diseñados para chapa.

Respecto al factor de seguridad mínimo, este alcanza un valor de 2,8, ligeramente inferior al obtenido en el modelo inicial (3,1), pero muy superior al objetivo de 2 establecido como referencia de diseño. Esto se debe a que en esta distribución de material se encuentra la mayor eficiencia mecánica y cualquier reducción adicional de material realizada incrementaba de manera exponencial las tensiones máximas y la deformación (en especial la de la restricción 8.3.2).

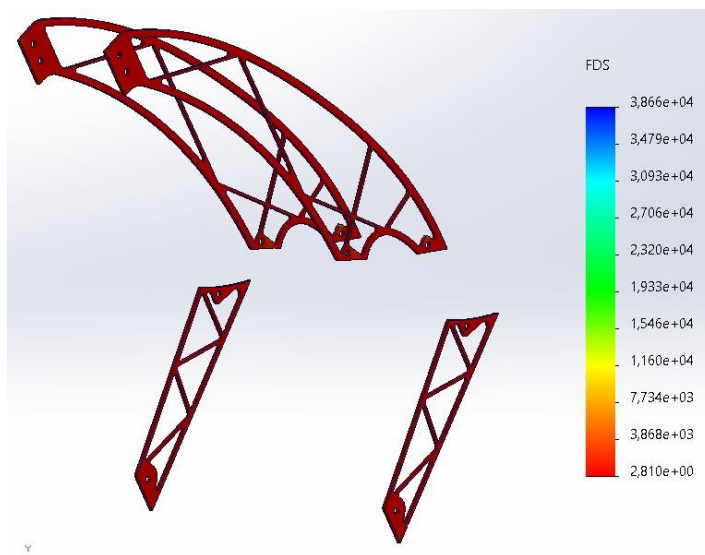


Figura 72. Factor de seguridad bajo cargas de funcionamiento en los soportes diseñados para chapa.

En conjunto, los resultados confirman que este rediseño conserva márgenes de seguridad suficientes frente a las solicitaciones reales de funcionamiento.

7.1.1.2. Restricción 8.3.1 en soporte diseñado para chapa

Los resultados obtenidos muestran que el soporte presenta un factor de seguridad mínimo de 5,8, valor que asegura sobradamente la resistencia frente a la rotura.

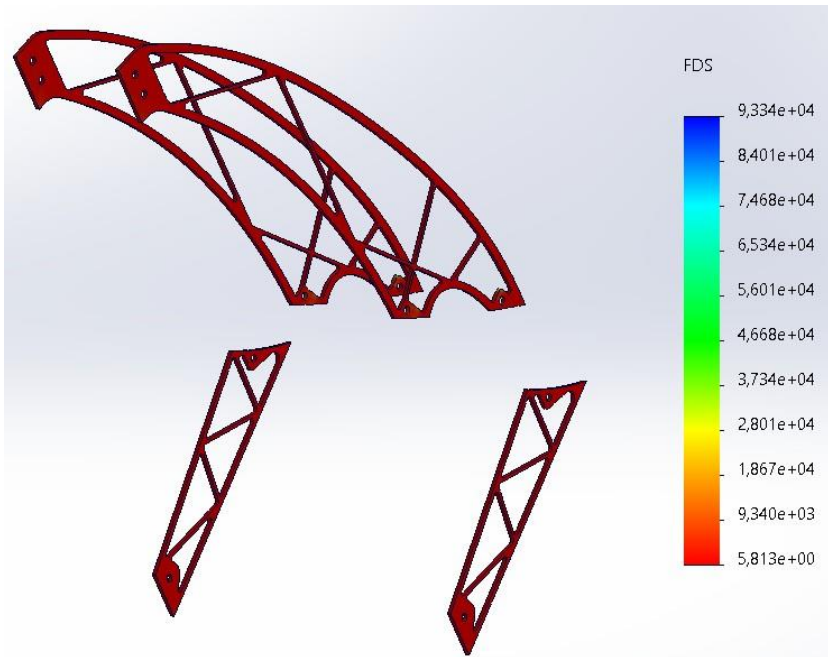


Figura 73. Factor de seguridad bajo cargas de restricción 8.3.1 en los soportes diseñados para chapa.

El desplazamiento máximo registrado en la dirección de la carga es de 1,3 mm, muy por debajo del límite de 10 mm que establece el reglamento.

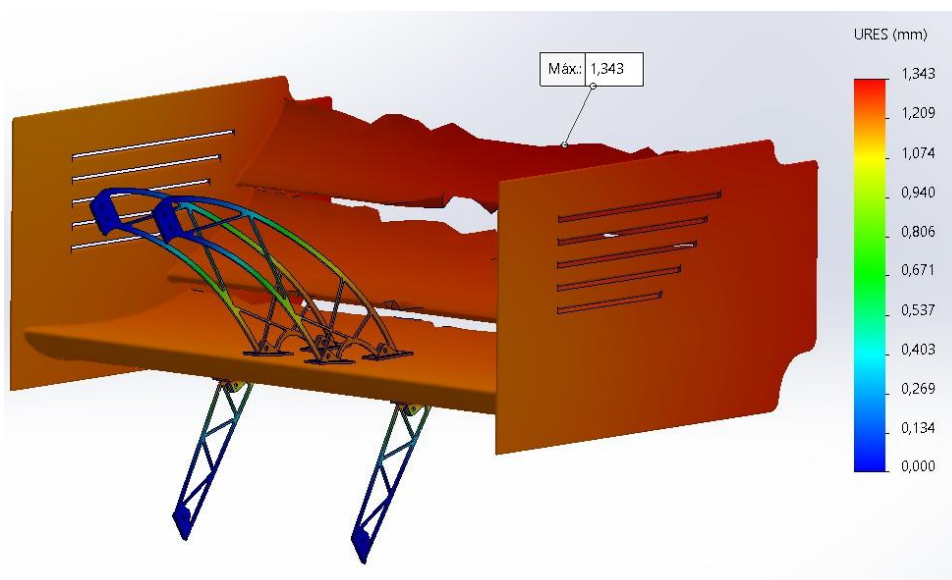


Figura 74. Desplazamientos resultantes bajo cargas de restricción 8.3.1 en los soportes diseñados para chapa.

El cumplimiento de esta restricción refleja la elevada resistencia que ofrece el modelo frente a las cargas aerodinámicas para las que fue diseñado.

7.1.1.3. Restricción 8.3.2 en soporte diseñado para chapa

Los resultados obtenidos muestran que el soporte presenta un factor de seguridad mínimo de 4,6, valor que asegura una holgura más que suficiente frente a la rotura.

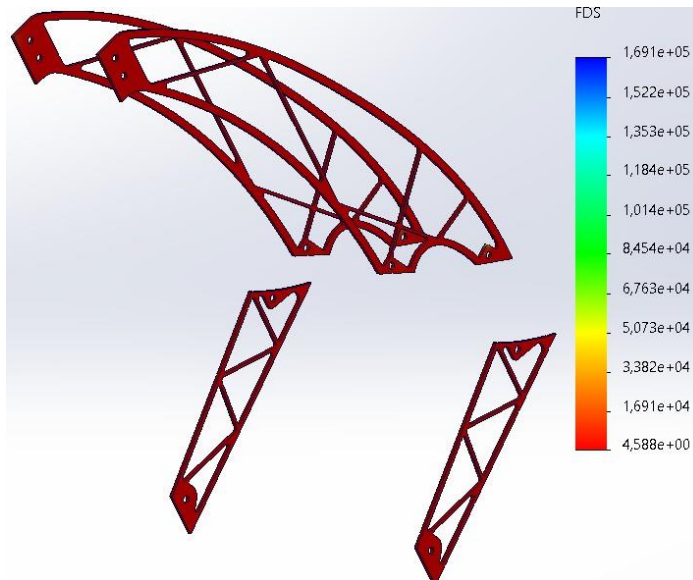


Figura 75. Factor de seguridad bajo cargas de restricción 8.3.2 en los soportes diseñados para chapa.

El desplazamiento máximo en la dirección de la fuerza aplicada es de 8,765 mm, dentro del límite reglamentario de 25 mm.

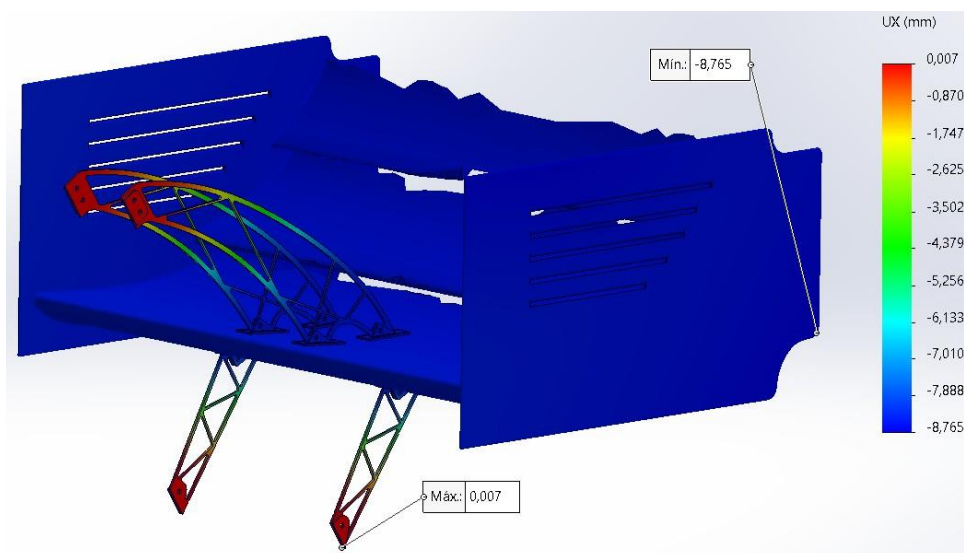


Figura 76. Desplazamientos en eje X bajo cargas de restricción 8.3.2 en los soportes diseñados para chapa.

Estos resultados confirman que el diseño mantiene una gran capacidad de resistencia frente a cargas transversales, cumpliendo de manera holgada la restricción 8.3.2 y consolidando así la validez estructural del soporte en todas las situaciones contempladas.

7.1.2. Análisis estático del soporte diseñado para impresión 3D

7.1.2.1. Cargas de funcionamiento en soporte diseñado para impresión 3D

El comportamiento bajo cargas reales refleja una buena distribución de tensiones destacable conociendo la notable reducción de material, la tensión máxima en el soporte superior apenas alcanza los 97 MPa, lo que evidencia la eficiencia mecánica de la versión optimizada para impresión 3D.

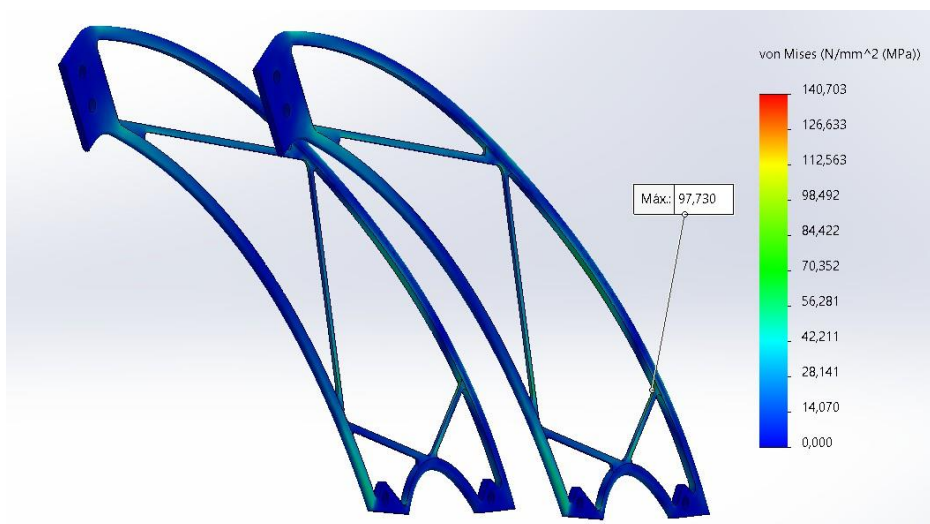


Figura 77. Distribución de tensiones bajo cargas de funcionamiento en los soportes superiores diseñados para impresión 3D.

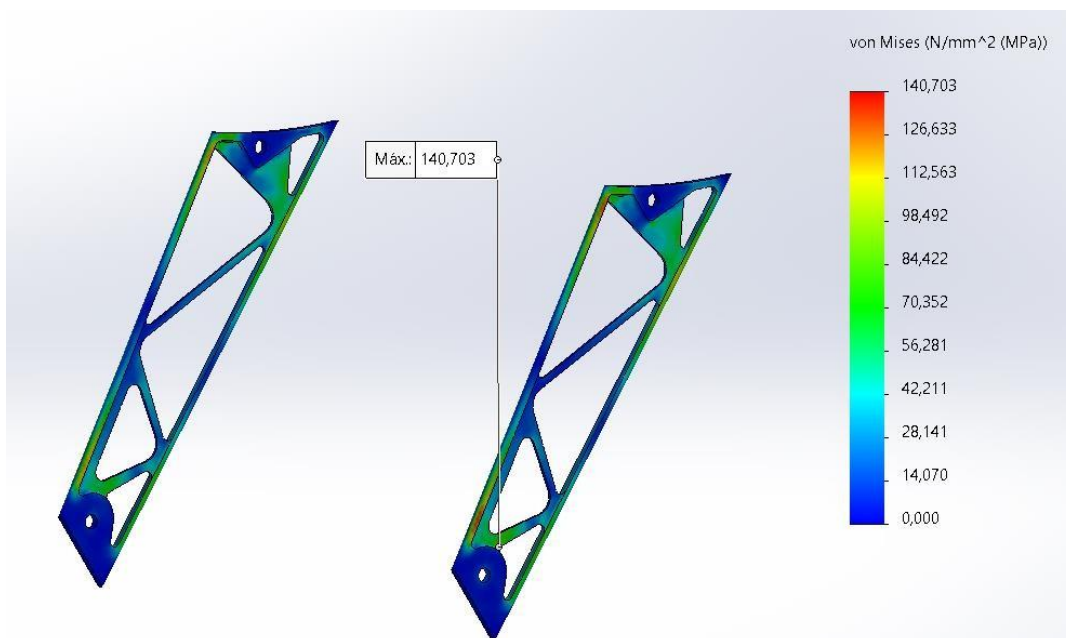


Figura 78. Distribución de tensiones bajo cargas de funcionamiento en los soportes inferiores diseñados para impresión 3D.

Sin embargo, el factor de seguridad obtiene un valor mínimo de 1,95 que a primera vista podría parecer un valor bajo, pero este resultado está condicionado por la disminución en el límite elástico del material empleado, que pasa de 505 MPa en la aleación de chapa a 275 MPa en el AlSi10Mg. Aun así, al situarse en torno a 2, el margen de seguridad sigue siendo razonable y coherente con los criterios de diseño establecidos.

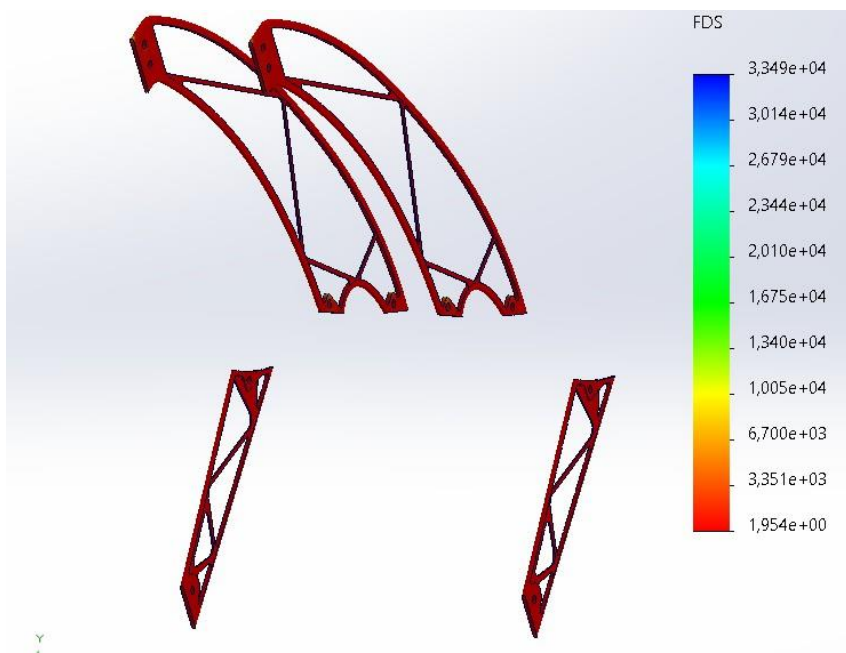


Figura 79. Factor de seguridad bajo cargas de funcionamiento en los soportes diseñados para impresión 3D.

7.1.2.2. Restricción 8.3.1 en soporte diseñado para impresión 3D

Bajo esta condición normativa, el soporte muestra un factor de seguridad mínimo de 6.

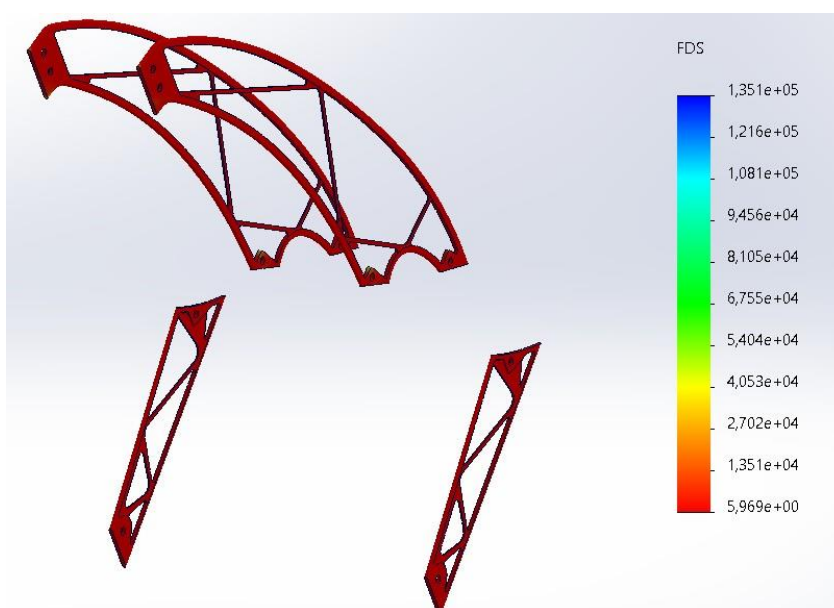


Figura 80. Factor de seguridad bajo cargas de restricción 8.3.1 en los soportes diseñados para impresión 3D.

El desplazamiento máximo registrado es de 0,621 mm. Este resultado confirma que, pese a su menor masa, el diseño presenta una resistencia a la deformación muy notable frente a las cargas aerodinámicas representadas en esta prueba.

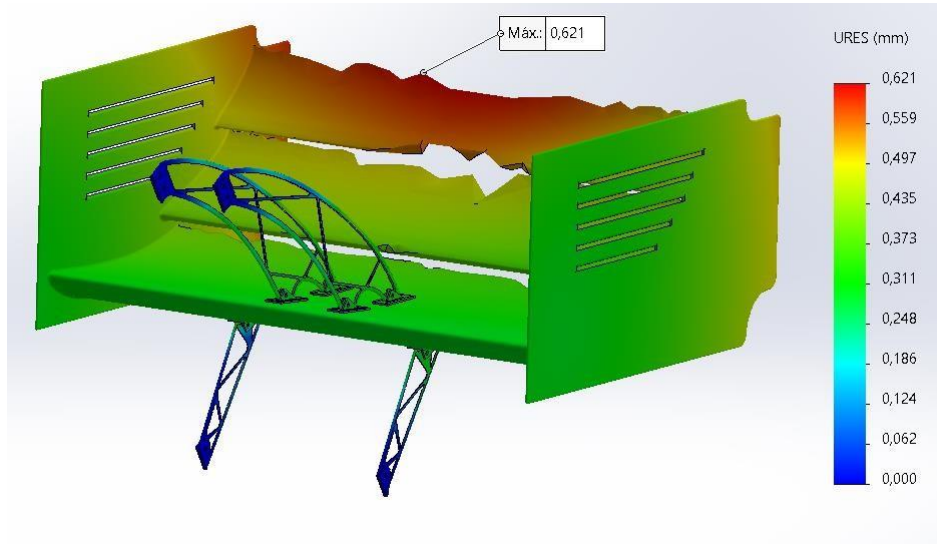


Figura 81. Desplazamientos resultantes bajo cargas de restricción 8.3.1 en los soportes diseñados para impresión 3D.

En conjunto, puede afirmarse que esta versión responde con gran solidez a la restricción 8.3.1, ofreciendo mayor rigidez que las alternativas evaluadas.

7.1.2.3. Restricción 8.3.2 en soporte diseñado para impresión 3D

En este escenario, el factor de seguridad mínimo alcanza un valor de 2,56. Aunque este resultado revela que las cargas transversales representan una mayor exigencia para esta versión, se mantiene dentro de un rango más que aceptable que garantiza su integridad.

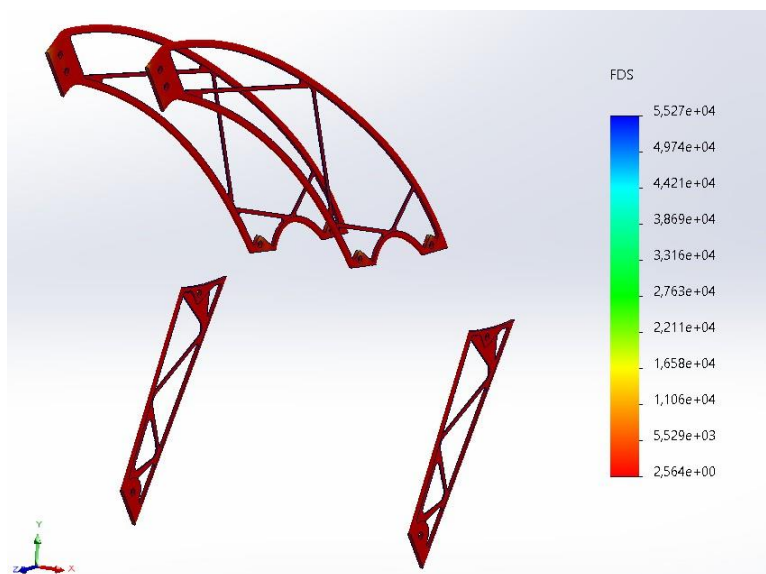


Figura 82. Factor de seguridad bajo cargas de restricción 8.3.2 en los soportes diseñados para impresión 3D.

El desplazamiento transversal máximo medido es de 7 mm. Este valor tan reducido pone de manifiesto la gran capacidad del soporte impreso en 3D para resistir deformaciones bajo sollicitaciones transversales.

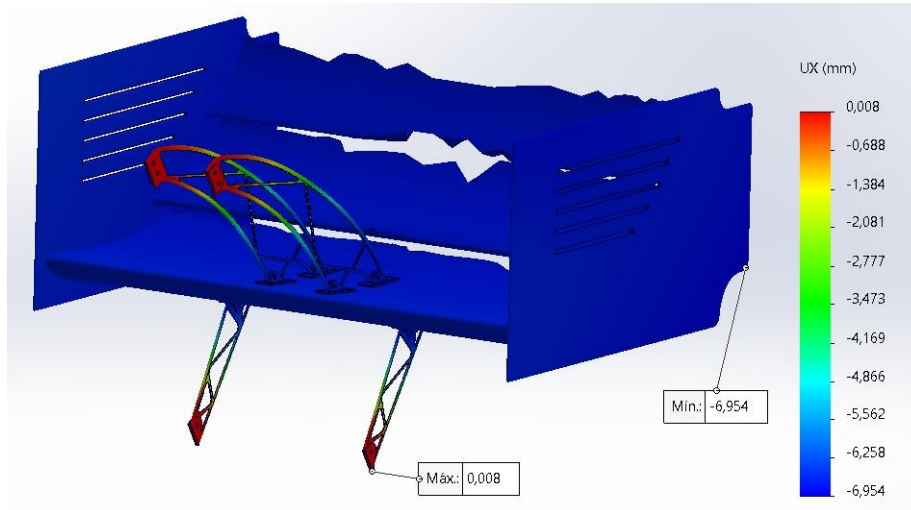


Figura 83. Desplazamientos en eje X bajo cargas de restricción 8.3.1 en los soportes diseñados para impresión 3D.

7.1.3. Tabla comparativa del soporte inicial y rediseños

Tabla 5. Comparación del rendimiento estructural de los soportes inicial y optimizados.

Estado de carga	Parámetro	Inicial	Rediseño en chapa	Rediseño 3D
Cargas de funcionamiento	Tensión máxima soporte superior (MPa)	87	89,2	97,7
	Tensión máxima soporte inferior (MPa)	162,3	179,7	140,7
	Factor de seguridad	3,11	2,8	1,95
Restricción 8.3.1	Factor de seguridad	9,6	5,8	6
	Desplazamiento máximo resultante (mm)	1,04	1,3	0,6
Restricción 8.3.2	Factor de seguridad	4,3	4,6	2,56
	Desplazamiento máx. en dir. de carga (mm)	8,1	8,8	7

En esta tabla se aprecia a través de los datos obtenidos que, en ambas versiones, pese a reducir el peso de sus componentes, mantienen respuestas similares o incluso mejores a los estados de carga establecidos respecto al diseño inicial. Destacando en la versión preparada para impresión 3D la resistencia ofrecida frente a la deformación, así como su mejor distribución de tensiones frente a cargas transversales.

7.2. Estudio de frecuencia y evaluación de riesgos

En el diseño inicial se observó que el soporte superior presentaba un primer modo de vibración en 8,1 Hz, valor comprendido dentro de los rangos de excitación aerodinámica (0-20 Hz) y mecánica (0-50 Hz), lo que suponía un considerable riesgo de resonancia, mientras que el inferior mostró un primer modo en 34,6 Hz, situado fuera del rango aerodinámico, por lo que presentaba un menor riesgo solo ligado a vibraciones del pavimento. Con los nuevos diseños es necesario comprobar si esta tendencia se mantiene o si se han producido variaciones significativas que alteren la seguridad vibracional del conjunto.

7.2.1. Resultados y comparaciones del análisis modal de los rediseños

Tabla 6. Frecuencias naturales de los cinco primeros modos de vibración, obtenidas por el software.

Versión		Inicial		Chapa		Impresión 3D	
Soporte		Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior
Frecuencias en Hz	Modo 1	8,12	34,55	8,42	38,94	8,22	35,82
	Modo 2	49,04	210,59	50,80	192,8	46,33	168,86
	Modo 3	58,19	261,57	54,95	263,15	53,02	250,26
	Modo 4	135,89	383,21	77,67	401,43	70,89	405,06
	Modo 5	155,50	728,59	139,68	565,76	116,01	564,20

Los resultados de los nuevos análisis modales muestran poca variación en las frecuencias de excitación de los nuevos modelos respecto al inicial, esto se debe a que, aunque la masa se ha reducido con el rediseño, la rigidez global se ha mantenido en niveles similares. La única variación destacable aparece en el soporte superior optimizado para chapa, cuyo segundo modo asciende a 50,8 Hz, alejándose ligeramente del rango de excitación mecánica y reduciendo así el riesgo asociado.

7.2.2. Valoración del riesgo de resonancia

El principal problema sigue estando en los soportes superiores, cuyo primer modo cae dentro de los rangos de excitación aerodinámico y mecánico. Esto puede favorecer la aparición de fatiga y microgrietas a largo plazo por la amplificación de vibraciones (Sorokin, Khryakov, & Gommers, 2018). Aun así, al tratarse de piezas de bajo coste y fácilmente sustituibles, este riesgo no se considera crítico en términos operativos, aunque sí conviene tenerlo presente en un uso prolongado.

7.3. Reducción de material conseguida

El objetivo principal del trabajo es la disminución de la masa del soporte mediante optimización topológica. En el diseño inicial, la masa individual era de 179 g para cada soporte superior y 65 g para cada soporte inferior.

7.3.1. Masa de los rediseños

El soporte superior de la versión optimizada tiene una masa de 167,89 g y el inferior de 53,10 g.

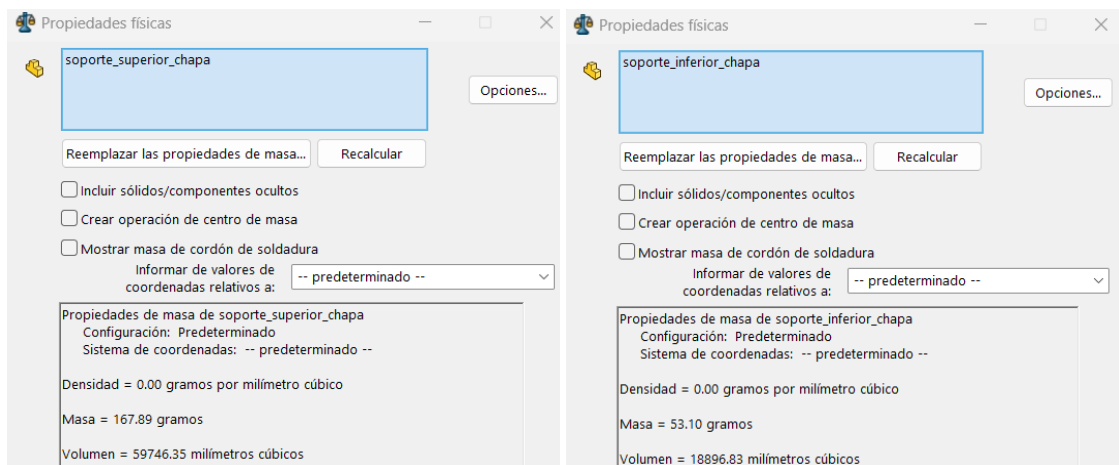


Figura 84. Masas de cada componente del soporte optimizado para chapa, calculadas por SolidWorks.

7.3.2. Masa de la versión optimizada para impresión 3D

Por otro lado, el soporte superior de la versión para impresión 3D tiene una masa de 142,50 g y el inferior de 48,39 g.

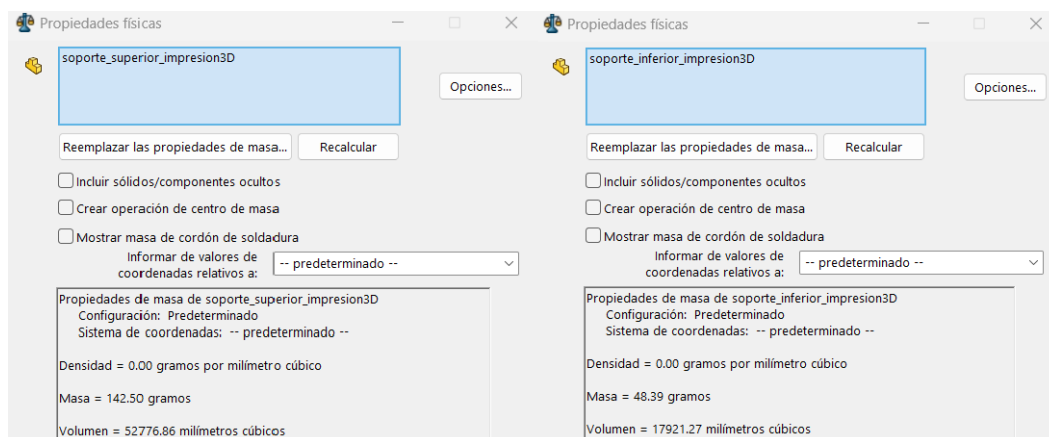


Figura 85. Masas de cada componente del soporte optimizado para impresión 3D, calculadas por SolidWorks.

7.3.3. Comparativa global de masas

Tabla 7. Comparativa global de masas.

Versión	Soporte sup. (g)	Soporte inf. (g)	Total (g)	Reducción (g)	Reducción (%)
Inicial	179,00	65,00	488,00	-	-
Chapa	167,89	53,10	441,98	45,96	9,4
3D	142,50	48,39	381,78	106,16	21,8

Se aprecia en esta comparación un ahorro sustancial de material en ambas versiones, que confirma el éxito del proceso de optimización. La versión de chapa alcanza una reducción cercana al 10 % mientras que la versión orientada a impresión 3D supera el 20 %.

8. Viabilidad y métodos de fabricación

Con el fin de garantizar la viabilidad de fabricación de los componentes optimizados, se detallan las tolerancias seleccionadas, los procesos de producción más adecuados y una comparativa de costes, acompañados de los planos técnicos de cada componente.

8.1. Tolerancias escogidas

En ambos diseños se han aplicado tolerancias generales de fabricación conforme a la norma UNE-EN 22768 m-K, junto con una tolerancia específica de $\pm 0,5$ mm en los bordes de corte o contorno. Este nivel intermedio de precisión asegura la viabilidad de fabricación por ambos procesos y cumple los requisitos funcionales de la pieza, que no exige una elevada calidad dimensional ni geométrica al tratarse de un componente estructural. En la versión fabricada en chapa mediante corte por chorro de agua se acepta el acabado superficial propio del proceso, mientras que en la versión de impresión 3D (SLM en AlSi10Mg) se requiere un posprocesado estándar, que proporciona una rugosidad suficiente para su función.

8.2. Fabricación de la versión optimizada para chapa

Los modelos optimizados para fabricación en chapa fueron diseñados con un espesor de 4 mm y con una geometría plana pero relativamente compleja en aluminio 7075-T6. Este elemento, con redondeos internos de un radio mínimo de 3 mm, requiere procesos de corte capaces de reproducir dicha geometría, pero no especialmente precisos. De entre las tres opciones mencionadas de corte de chapa, que son chorro de agua, láser y electroerosión, todas estas alcanzan la precisión con relativa facilidad, por lo que, bajo un criterio de coste y tiempo de mecanizado, la opción óptima es la de corte por chorro de agua.



Figura 86. Muestra de pieza cortada por chorro de agua en Madrid. Tomada de la página web de (Cutmesur, 2025)

8.3. Fabricación de la versión optimizada para impresión 3D

En el diseño preparado para impresión 3D en AlSi10Mg se mantuvo un espesor máximo de 4 mm y uno mínimo de 1,5 mm, aplicándose en el mismo, redondeos para evitar concentraciones de tensión de entre los cuales el mínimo era de 1,25 mm.

Entre las opciones de fabricación aditiva metálica se evaluaron la fusión selectiva por láser (SLM), la fusión por haz de electrones (EBM) y la inyección de aglutinante. El proceso fabricación de fusión por haz de electrones se descarta, ya que no resulta adecuado para aleaciones de aluminio debido a su alta reflectividad y conductividad térmica, que dificultan la fusión estable del polvo. En el caso de la fabricación por inyección de aglutinante, aunque permite fabricar rápidamente, las piezas conservan una porosidad elevada incluso tras el sinterizado, lo que compromete su resistencia mecánica. En consecuencia, la única alternativa válida para el soporte es la fusión selectiva por láser, que asegura las mejores propiedades del material.



Figura 87. Muestra de pieza impresa por SLM en Madrid. Tomada de la página web de (Zelta3D, 2025).

Tal y como se indicó previamente, la fabricación mediante SLM requiere posprocesos de alivio de tensiones y *bead blasting*, necesarios para garantizar la calidad final de la pieza.

8.4. Comparativa de costes estimados

8.4.1. Precio estimado de la versión optimizada para chapa

Para estimar el coste de fabricación en chapa influyen los siguientes factores:

- Precio del material utilizado (P_m): una plancha de aleación de aluminio de 2000 x 1000 mm (suficientemente grande como para realizar los 4 componentes en ella) tiene un peso aproximado de 22 kg. Existen ofertas en Alibaba (que tomaremos como referencia debido a la falta de referencias abiertas al público en Europa) de 3,9€/kg, que aplicando impuestos, transporte y aduanas asciende a 5€/kg, por lo que el precio del material total es 110€ (Shandong Zehao Metal Materials Co., 2025).
- Tarifa de servicio de corte (T_s): En talleres españoles especializados en corte por chorro de agua, se ofrecen precios de 180€/h de uso de máquina (Grupo Lucohe, 2021).
- Geometría de las piezas: a través de SolidWorks se calculan los perímetros de los componentes. El soporte superior tiene un perímetro de 3,9 m y el inferior de 1,77 m. Al componerse el soporte de dos parejas de estos elementos, la longitud de corte total (L_c) asciende a 11,35 m.
- Velocidad de corte (V_c): Para aleaciones de aluminio de 5 mm de espesor (1 mm mayor que la de esta chapa) las velocidades típicas de corte pueden ascender hasta los 380 mm/min (IVY Writer (IVYCNC), 2023).

Usando estos datos, en las unidades correctas, podemos realizar una estimación aproximada del coste total:

$$C_t = P_m + \frac{T_s * L_c}{V_c} = 199,6 \text{ €}$$

8.4.2. Precio estimado de la versión optimizada para impresión 3D

En cuanto a la impresión 3D, los factores que influyen son el precio del material en polvo (P_m) y la tarifa de servicio (T_s).

En primer lugar, el conjunto completo (dos componentes superiores y dos inferiores) tiene una masa de 0,382 kg, que multiplicada por el precio del polvo de AlSi10Mg, el cual puede ascender hasta 130 €/kg (Met3DP Advanced Materials, 2024), el precio total del material ascendería aproximadamente a 50 €. Para el cálculo de la tarifa de servicio, se estima que el precio por pieza alcanza los 740 € (Layers.app, 2024), y al componerse el soporte por 4 piezas, se estima una tarifa de servicio de 2960 €.

Por lo que, con esta información, encontramos un precio máximo orientativo:

$$C_t = P_m + T_s = 3010 \text{ €}$$

El análisis de costes evidencia que, aunque los métodos de fabricación aditiva permiten una mayor libertad dimensional y con ello una eficiencia estructural superior, esta opción de fabricación queda relegada a casos donde el componente en cuestión tenga un impacto crítico en el rendimiento global del monoplaça que justifique el sobrecoste. En consecuencia, la versión optimizada en chapa es la única viable en el contexto actual del equipo.

9. Discusión final

9.1. Conclusiones

El presente trabajo ha permitido desarrollar una metodología aplicable a los diferentes componentes del monoplaça del equipo ISC. Partiendo de un ensamblaje inicial con varios elementos, se establecieron unas condiciones de cargas y unas restricciones normativas que permitieron, mediante estudios topológicos individuales, optimizar componentes específicos del vehículo.

Estos estudios han demostrado su eficiencia al generar modelos base con distribuciones de material más eficientes estructuralmente que, validadas en los análisis estáticos posteriores, permitieron aligerar los componentes sin comprometer su funcionalidad.

9.2. Limitaciones observadas en el software

Durante el desarrollo del estudio topológico se probaron los distintos criterios de restricción disponibles en el software con el objetivo de obtener los resultados óptimos. Sin embargo, la mayoría de ellos no ofreció soluciones válidas.

Las restricciones de desplazamiento máximo y factor de seguridad mínimo generaron geometrías incoherentes, mientras que las de carácter vibracional no produjeron ningún impacto en la malla final siendo que, el único criterio que proporcionaba resultados consistentes era el de maximizar rigidez en relación con la masa, con reducción de material del 30 %.

Esta circunstancia limitó el alcance del estudio topológico demostrando así los límites actuales del software.

9.3. Propuesta de mejora

En los tramos finales del trabajo se identificó una limitación relevante derivada de las decisiones adoptadas en la fase de la preparación para el estudio topológico. En dicha fase se optó por una geometría prácticamente plana para ambas versiones de fabricación, lo que restringió significativamente el margen de actuación del algoritmo en la versión de fabricación aditiva. Como consecuencia, las mallas obtenidas para ambas versiones tenían formas muy similares, reduciendo en gran medida el valor diferencial de la fabricación aditiva.

Una alternativa más adecuada habría sido definir una geometría con mayor complejidad tridimensional, asimétrica respecto a su propio eje (aunque manteniendo la simetría global con su respectiva contraparte), y con un espesor mayor y no constante. Este planteamiento habría permitido obtener una pieza no solo con mejor rendimiento estructural, sino también más representativa de la capacidad reales de la optimización topológica.

9.4. Alineación final con los Objetivos de Desarrollo Sostenible

Una vez completado el trabajo, se puede valorar con mayor perspectiva en qué medida se alinea realmente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

En cuanto al ODS 9, centrado en la innovación industrial, el proyecto incorpora herramientas avanzadas como la optimización topológica y plantea un rediseño orientado a tecnologías de fabricación modernas, por lo que puede se puede confirmar la alineación con dicho objetivo.

Respecto al ODS 12, sobre producción y consumo responsables, la situación es más complicada. Pues, aunque se ha conseguido reducir la masa de los componentes, esto no implica necesariamente una reducción en el uso de material. Por ejemplo, en la versión diseñada para fabricación en chapa, la pieza se recorta de una lámina completa, por lo que el ahorro de masa no se traduce en una disminución del material consumido ni de los residuos generados.

Por otro lado, el ODS 13, centrado en la acción por el clima, ha recibido un impacto por parte del proyecto limitado. Procesos de fabricación como el SLM, ofrecidos en la fabricación aditiva, permiten un muy eficiente uso de material, pero presentan un alto consumo energético. A falta de cuantificar la reducción de emisiones provocada por el aligeramiento de la pieza, no es perceptible el beneficio ambiental obtenido.

En definitiva, aunque el proyecto plantea un enfoque técnicamente avanzado y alineado con los principios de sostenibilidad, su contribución real dependerá en gran medida del contexto de aplicación y del proceso de fabricación que finalmente se utilice. Para trabajos futuros sería recomendable acompañar el proyecto con una evaluación ambiental paralela y más completa.

10. Bibliografía

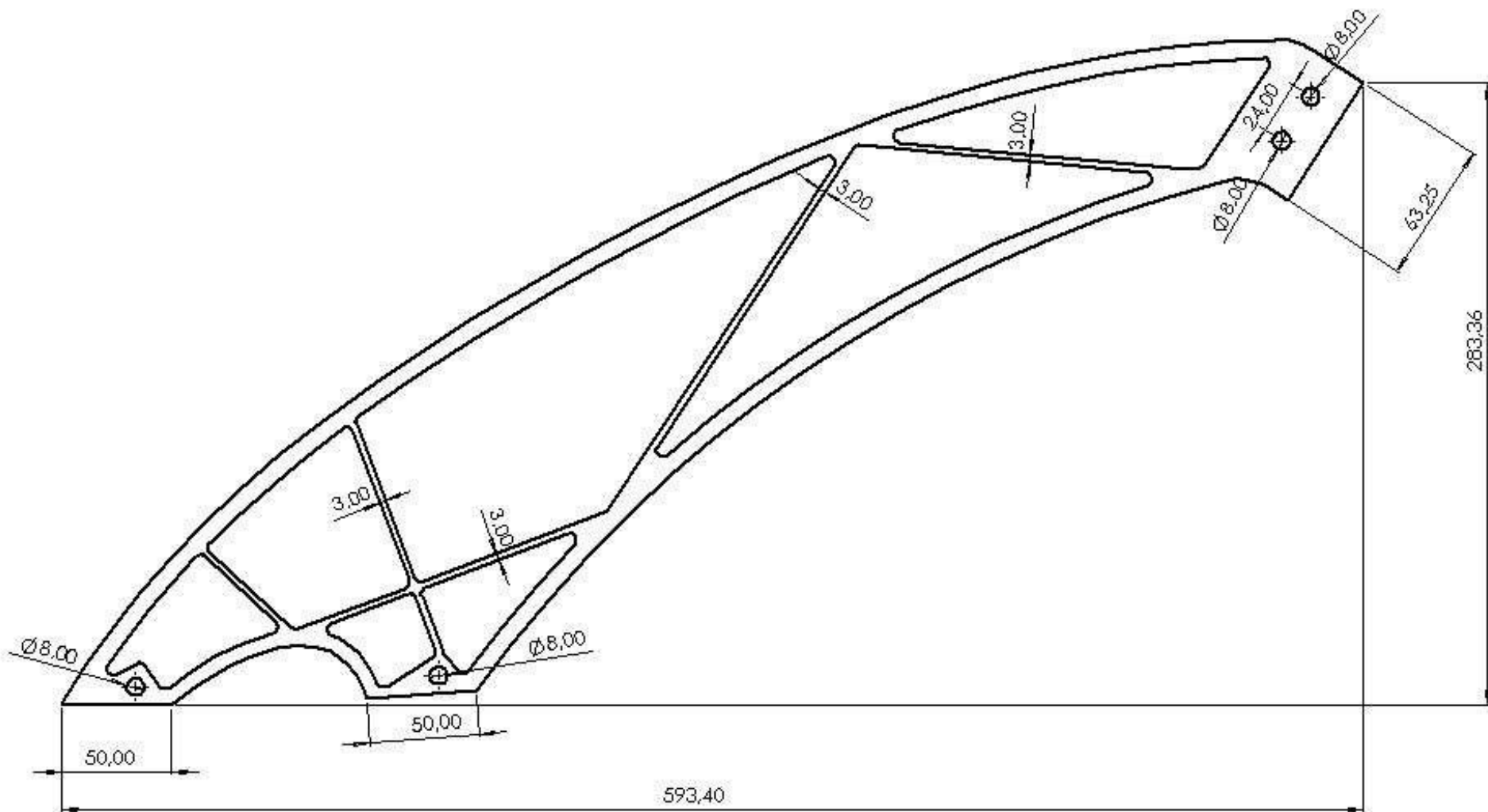
- 3DSPRO. (2025). *3DSPRO*. Retrieved from SLM 3D Printing Post-processing Guide: <https://3dspro.com/resources/blog/slm-3d-printing-post-processing-guide>
- Bertin, J., & Cummings, R. (2014). *Aerodynamics for Engineers*. Boston: Pearson.
- Brahma, A., Ferguson, S., Eckert, C., & Isaksson, O. (2023). Margins in design – review of related concepts and methods. *Journal of Engineering Design*. doi:10.1080/09544828.2023.2225842
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2015). *Shigley's mechanical engineering design*. New York: McGraw-Hill Education.
- Cakir. (2012). *CFD study on aerodynamic effects of a rear wing/spoiler on a passenger vehicle*. Santa Clara University. Retrieved from https://scholarcommons.scu.edu/mech_mstr/1/
- Chirinda, G., & Matope, S. (2021). Cars on Weight Loss: The Development of a Methodology for the Topology Optimization of Monolithic Components – Emerging Trends, Challenges and Opportunities. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. Rome, Italy. Retrieved from <https://ieomsociety.org/proceedings/2021rome/499.pdf>
- Cutmesur. (2025). *Corte por chorro de agua en Madrid*. Retrieved from <https://cutmesur.com/tecnologias-de-corte/corte-chorro-de-agua-madrid/>
- Dahlberg, H. (2014). *Aerodynamic Development of Formula Student Race Car*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology, School of Engineering Sciences (Mechanics). Retrieved from <https://kth.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:737287>
- Du, Z., Huang, Y., Liu, X., Zhang, W., Fang, H., & Wang, H. (2021). Deformation Behavior and Properties of 7075 Aluminum Alloy in the Temperature Range of 25 °C to 400 °C. *Materials*. doi:10.3390/ma14174959
- EUROfusion Consortium. (2025). *EUROfusion*. Retrieved from EUROfusion: <https://eurofusion.org/member-news/kit-electron-beam-melting/>
- FineMetalworking. (2021). *FineMetalworking.com*. Retrieved from FineMetalworking.com: <https://finemetalworking.com/water-jet-cutter>
- Ghio, E., Bassani, P., Gatto, A., Lecis, N., Villa, F., & Vedani, M. (2022). Additive Manufacturing of AlSi10Mg and Ti6Al4V: Influence of Heat Treatments on Microstructural Morphology and Mechanical Performance. *Materials*. doi:10.3390/ma15062047
- Groover, M. P. (2020). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems*. Hoboken: Wiley.
- Grupo Lucohe. (2021). *¿Cuánto cuesta el corte por chorro de agua?* Retrieved from Lucohe: <https://lucohe.com/precio/>
- Institution of Mechanical Engineers. (2024). Retrieved from IMechE: <https://www.imeche.org/events/formula-student>

- Institution of Mechanical Engineers. (2024). *Formula Student Rules 2025. Version 1.1*. London: Institution of Mechanical Engineers. Retrieved from <https://www.imeche.org/events/formula-student>
- IVY Writer (IVYCNC). (2023). *Exploring Water Jet Cutting Speed: A Comprehensive Guide*. Retrieved from IVY CNC: <https://ivycnc.com/waterjet/water-jet-cutting-speed/>
- Jazar. (2013). *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. New York: Springer.
- Jazar, R. N. (2014). *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. New York: Springer. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8544-5>
- Kalpakjian, S. &. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology*. Boston: Pearson.
- Katz, J. (2016). *Automotive aerodynamics*. John Wiley & Sons.
- Katz, J., & Garcia, D. (2002). Aerodynamic effects of Indy Car components. *SAE Technical Paper Series*. SAE International. doi:10.4271/2002-01-3311
- KDMFAB. (2024). *KDM Fabrication*. Retrieved from KDM Fabrication: <https://kdmfab.com/selective-laser-melting/>
- Kurec, K., Remer, M., Mayer, T., Tudruj, S., & Piechna, J. (2019). Flow control for a car-mounted rear wing. *International Journal of Mechanical Sciences*. doi:https://doi.org/10.1016/j.ijmecsci.2018.12.034
- Layers.app. (2024). *¿Cuánto cuesta imprimir en 3D piezas metálicas?* Retrieved from Layers.app: <https://layers.app/es/blog/cuanto-cuesta-imprimir-en-3d-piezas-metalicas>
- Lin, R., Zhan, X., & Li, X. (2025). Topology Optimization Design of Automotive Suspension Control Arm. *Engineering Reports*. doi:10.1002/eng2.70188
- Lógó, J., & Ismail, H. (2020). Milestones in the 150-year history of topology optimization: A review. *Computer Assisted Methods in Engineering and Science*, <https://doi.org/10.24423/comes.296>.
- Materialise. (2025). *Design Guidelines for 3D Printing in Aluminum (AlSi10Mg)*. Retrieved from Materialise Academy: <https://www.materialise.com/en/academy/industrial/design-am/aluminum>
- Met3DP Advanced Materials. (2024). *AlSi10Mg Powder for Additive Manufacturing*. Retrieved from Met3DP: <https://met3dp.com/product/alsi10mg-powder>
- Murr, L. (2015). Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting. *Additive Manufacturing*. doi:10.1016/j.addma.2014.12.002
- Nadolny, K. (2023). Assessing the technological quality of abrasive water jet and laser cutting processes by geometrical errors and a multiplicative indicator. *Measurement*. doi:10.1016/j.measurement.2023.113060
- Nágêra, M., Toniasso, P., Slaviero, G., de Souza, C., & Rodríguez, R. (2019). Topological Optimization Software Tools: Literature Review and Real Application. *XL Ibero-Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering (CILAMCE 2019)*. Associação Brasileira de Métodos Computacionais em Engenharia (ABMEC).

- Neary, E., Rinaldo, J., Woodman, O., & Martin, R. (2024). 6.03: Uniform circular motion. In *Introductory Physics – Building Models to Describe Our World*. Physics LibreTexts. Retrieved from https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Book%3A_Introductory_Physics_-_Building_Models_to_Describe_Our_World_%28Martin_Neary_Rinaldo_and_Woodman%29/06%3A_Applying_Newtons_Laws/6.03%3A_Uniform_circular_motion
- Proto3000. (2022). *Proto3000*. Retrieved from Proto3000: <https://proto3000.com/binder-jetting-3d-printing/>
- Qiu, Z., & Zhang, H. (2023). Aerodynamics-based design of the rear wing of a sports car. *Applied and Computational Engineering*. doi:<https://doi.org/10.54254/2755-2721/11/20230245>
- Quedeiri, J. E. (2020). Principles and Characteristics of Different EDM Processes in Machining Tool and Die Steels. *Applied Sciences*. doi:10.3390/app10062082
- Shandong Zehao Metal Materials Co. (2025). *Aluminium 7075 Price Per kg Aluminium Alloyed Sheet*. Retrieved from Alibaba: <https://www.alibaba.com/showroom/aluminium-7075-price-per-kg.html>
- Shengen Fab. (2024). *Corte por electroerosión de hilo: Qué es y cómo funciona*. Retrieved from Shengen Fabrication: <https://shengenfab.com/es/wire-edm-cutting/>
- Sigmund, O., & Maute, K. (2013). Topology optimization approaches: A comparative review. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. doi:<https://doi.org/10.1007/s00158-013-0978-6>
- Silvestre Gómez, C. (2017). *Optimización topológica aplicada al diseño de balancines de suspensión para un monopla de Fórmula Student*. Sevilla, España: Universidad de Sevilla.
- Sorokin, P. A., Khryakov, K. S., & Gommers, M. (2018). Analysis of Dallara T12 race car front wing vibrations. *Acta Polytechnica*. doi:10.14311/AP.2018.58.0308
- United Nations. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: United Nations. Retrieved from <https://sdgs.un.org/2030agenda>
- United Nations. (2025). *Sustainable Development Goals – Resources*. Retrieved from <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/resources/>
- WayKen Rapid Manufacturing. (2022). *WayKen Rapid Manufacturing Blog*. Retrieved from WayKen Rapid Manufacturing Blog: <https://waykenrm.com/blogs/sheet-metal-laser-cutting/>
- Zelta3D. (2025). *SLM AlSi10Mg Aluminium*. Retrieved from Zelta3D: <https://zelta3d.co/slm-alsi10mg-aluminium/>
- Zhang, W., & Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for automobiles: A review. *Materials & Design*. doi:10.1016/j.matdes.2022.110994

- Zhang, X., Toet, W., & Zerihan, J. (2006). Ground effect aerodynamics of race cars. *Applied Mechanics Reviews*. doi:<https://doi.org/10.1115/1.2110263>
- Zhou, H., Li, R., Chen, J., & Wang, X. (2024). Additive Manufacturing: A Comprehensive Review. *Sensors*. doi:10.3390/s24092668
- Zienkiewicz, O. C., Taylor, R. L., & Zhu, J. Z. (2013). *The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals*. doi:10.1016/C2009-0-24909-9

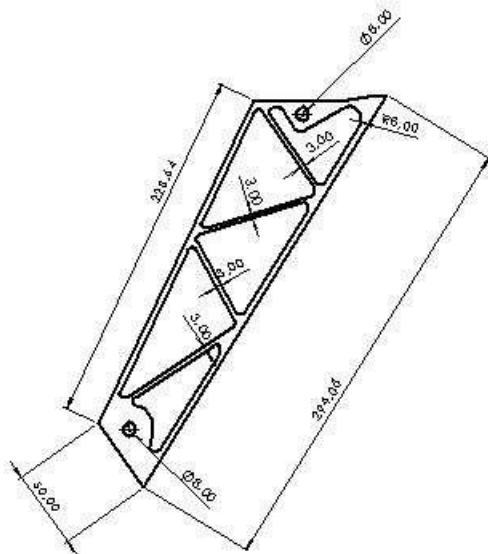
Anexo I: Planos técnicos de las piezas rediseñadas



Redondeos no acotados R3
 Matar aristas vivas
 Thickness: 4

CONFIDENTIALITY

... (PROPRIETARY) ... (PROPRIETARY) ...			TRF: RW Upper Bracket - Sheet		A2	1:2
Drawn:	Maker:	Date:	Rev:	Rev:		
Lat A.P.		01/04/2005	D_RW_01	PA_RW_01		
Verified:			waterjet cutting			N/A
Approved:			N/A			
			7075 - T6 Aluminium			

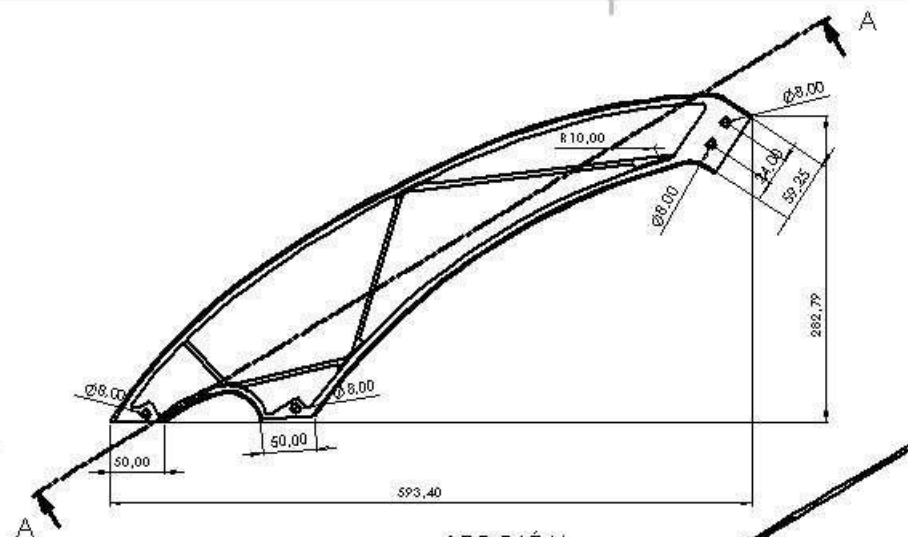


Redondeos no acotados R3
 Matar aristas vivas
 Thickness: 4

CONFIDENTIALITY

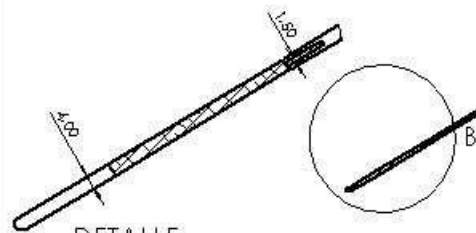
Title		A3	12
ARM FROM UNDER RWTO CHASS V2			
Author	DC-TH-1-B1	PA-TH-1-B1	
Checker			
Designer	Foreign Group		
Manufacturer	4/A		
Material	7073-T6 Aluminum		
Finish			
DC-TH-1-B1			





SECCIÓN A-A

ESCALA 1 : 3



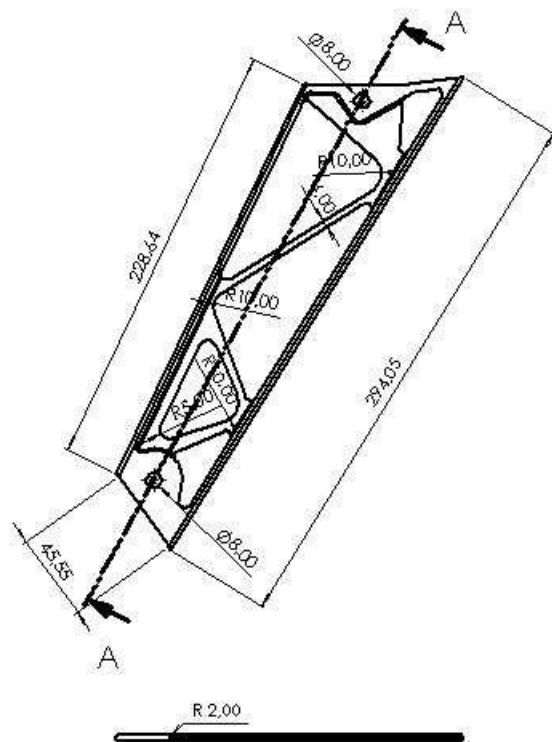
DETALLE B

ESCALA 1 : 1

Redondeos no acotados R3
Matar aristas vivas

CONFIDENTIALITY

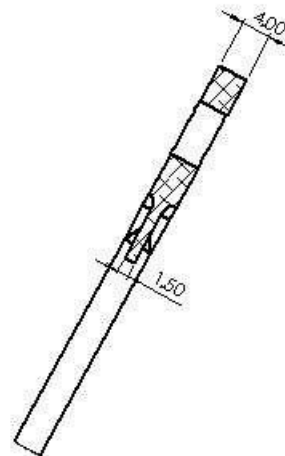
Title			RW UPPER BRACKET - 3 D		A3	1/2
Author	Drawn	Rev	D_RW_U_D2	PA_RW_U_D2		
Design	Check	Rev				
Material	Process	Rev		Selective laser melting	N/A	
Finish	Rev	Rev		Lead blast		
Assembly	Rev	Rev		AB/DWG		
ISC					DC-RW-U-D1	



Redondeos no acotados R3
Matar aristas vivas



SECCIÓN A-A

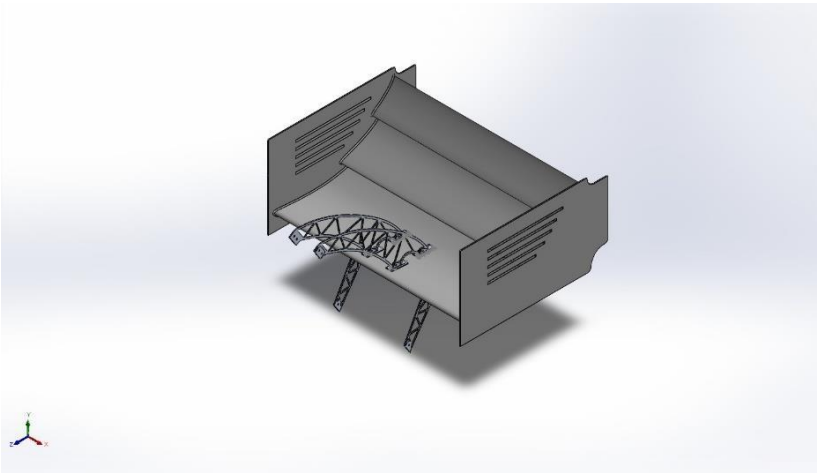


DETALLE B
ESCALA 2:1

CONFIDENTIALITY

... REVISIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS		FILE:	RW LOWER BRACKET - 3D	A3	1:2
Desarrollado	Revisado	Rev. No.	D_RW_L_02	PA_RW_L_02	REVISIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS
Elaborado	Revisado	Rev. No.	Selective Laser Melting		N/A
Aprobado	Revisado	Rev. No.	Bead blast		REVISIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS
MATERIAL		Material	AIN10 Mg		REVISIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS
DISEÑO		Author	BSC-RW-L-01		REVISIÓN Y CALIFICACIÓN DE LOS DISEÑOS

Anexo II: Informes de análisis estáticos de ensamblajes



Simulación de Ensamblaje_inicial

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

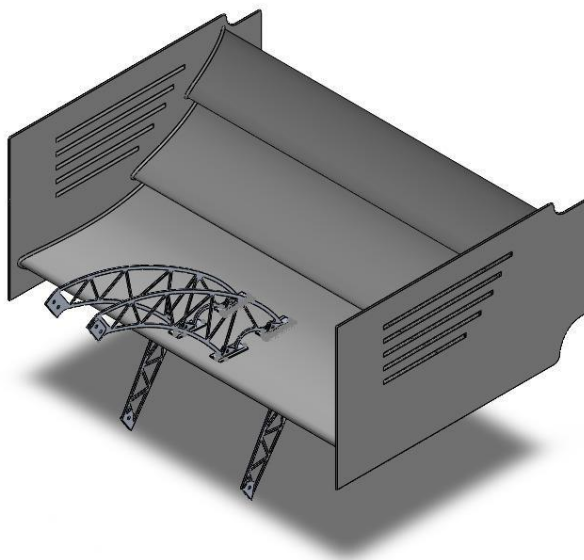
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	18
Información de interacción	22
Información de malla	23
Detalles del sensor	24
Fuerzas resultantes	25
Vigas	25
Resultados del estudio.....	26





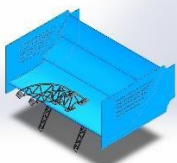
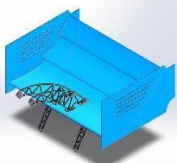
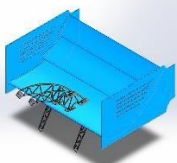
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

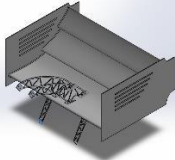
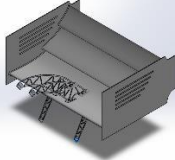
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\aleron.SLDPRT Aug 15 15:31:48 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\enganche_sopinf _chasis.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\enganche_sopinf _chasis.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

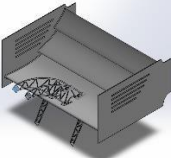
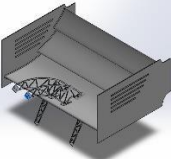
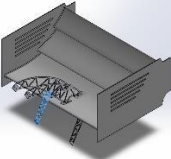


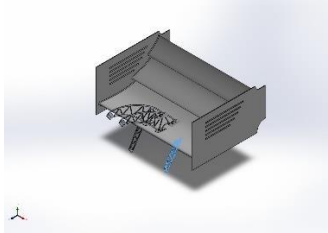
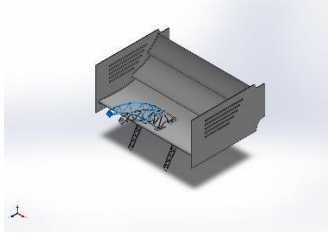
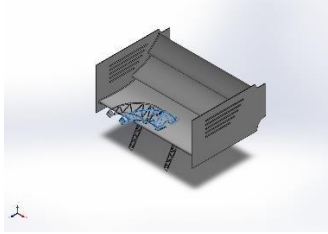
			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia



		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\enganche_sopsum_p_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\enganche_sopsum_p_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1 	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas

			iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m ³ Densidad:2.810,58 kg/m ³ Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m ³ Densidad:2.810,58 kg/m ³ Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025



Propiedades de estudio

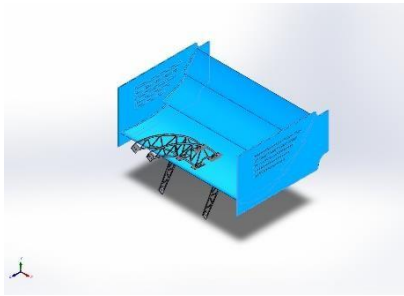
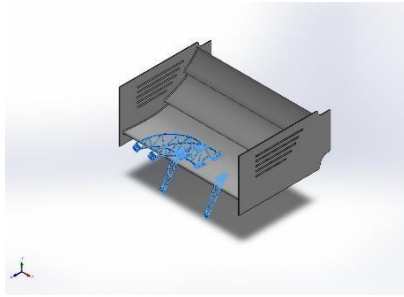
Nombre de estudio	Cargas de funcionamiento
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3),



		nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-4), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-2), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-3), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-4), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-4),
--	--	--



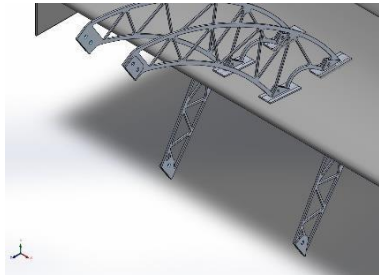
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sopsup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sopsup_chasis-3), Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-1), Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-3), Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superior_inicial-2),
--	--	---

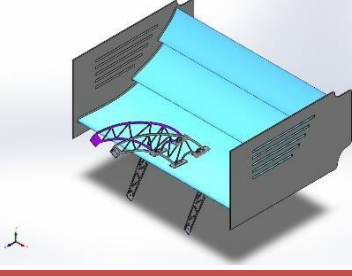
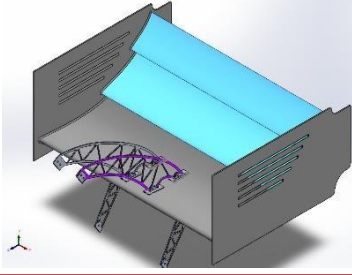


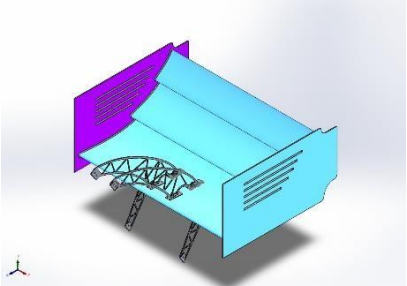
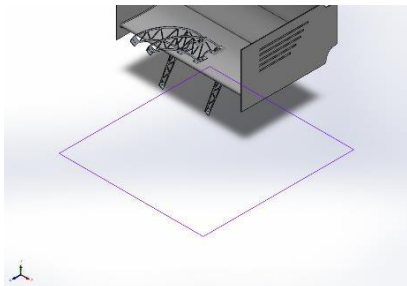
		Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superior_inicial-3)
Datos de curva:N/A		



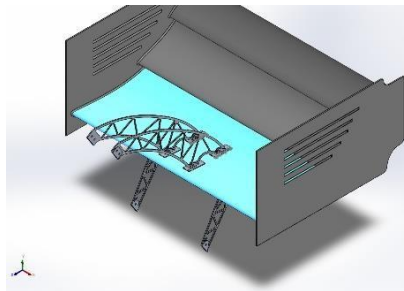
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

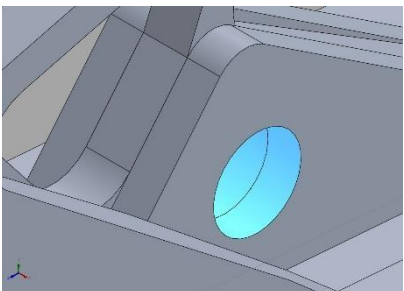
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Downforce		Entidades:	3 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; 443; --- N	
Drag		Entidades:	2 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	-172; ---; --- N	

Inercia		Entidades: 6 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 66 N
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9,81 Unidades: m/s^2

Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	24,984	-0	-0	24,984
Fuerza cortante (N)	0	-4,1305	-7,4758	8,541
Torsión (N.m)	-0,021101	0	0	-0,021101
Momento flector (N.m)	0	0,026626	-0,027993	0,038633

Fuerzas del conector Junta 2

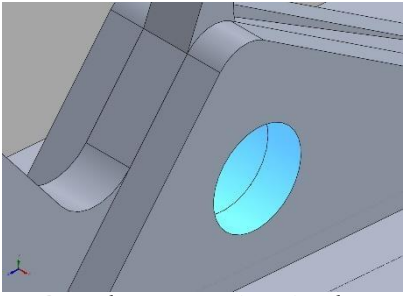
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	16,765	-0	-0	16,765
Fuerza cortante (N)	0	10,973	7,2586	13,156
Torsión (N.m)	-0,0055801	0	0	-0,0055801
Momento flector (N.m)	0	0,091627	-0,042088	0,10083

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-16,765	0	0	-16,765
Fuerza cortante (N)	0	-10,973	-7,2586	13,156



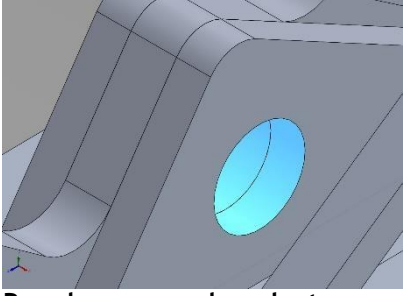
Torsión (N.m)	0,0055801	-0	-0	0,0055801
Momento flector (N.m)	0	-0,066082	0,0034728	0,066174

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	26,709	-0	-0	26,709
Fuerza cortante (N)	0	-4,6927	-11,675	12,583
Torsión (N.m)	-0,013098	0	0	-0,013098
Momento flector (N.m)	0	0,015531	-0,020538	0,02575

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	20,153	-0	-0	20,153
Fuerza cortante (N)	0	6,65	11,298	13,11
Torsión (N.m)	0,0041909	-0	-0	0,0041909
Momento flector (N.m)	0	0,10566	-0,022538	0,10804

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-20,153	0	0	-20,153
Fuerza cortante (N)	0	-6,65	-11,298	13,11
Torsión (N.m)	-0,0041909	0	0	-0,0041909
Momento flector (N.m)	0	-0,066336	-0,00060851	0,066339

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

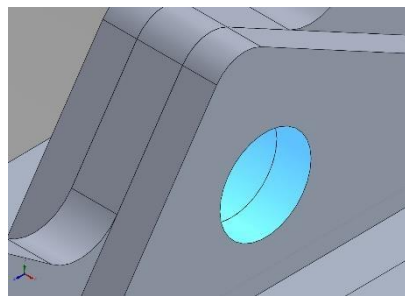
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-20,685	-0	-0	20,685
Fuerza cortante (N)	0	7,9941	-9,1733	12,168
Torsión (N.m)	-0,0017676	-0	-0	0,0017676
Momento flector (N.m)	0	0,033921	0,02048	0,039624

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-20,685	-0	-0	20,685
Fuerza cortante (N)	0	7,9941	-9,1733	12,168
Torsión (N.m)	-0,0017676	-0	-0	0,0017676
Momento flector (N.m)	0	0,0019911	-0,0073456	0,0076107

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	21,223	0	0	-21,223
Fuerza cortante (N)	0	5,5413	-8,1962	9,8937
Torsión (N.m)	-0,0009346	-0	-0	0,0009346
Momento flector (N.m)	0	-0,027318	-0,012197	0,029918



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-23,027	-0	-0	23,027
Fuerza cortante (N)	0	9,753	-14,189	17,218
Torsión (N.m)	-0,0057199	-0	-0	0,0057199
Momento flector (N.m)	0	0,036264	0,017638	0,040325

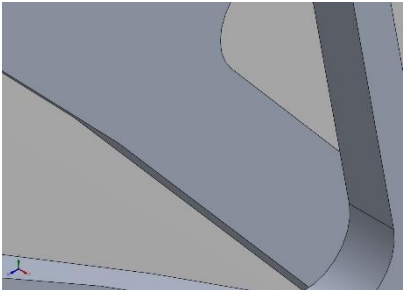
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-23,027	-0	-0	23,027
Fuerza cortante (N)	0	9,753	-14,189	17,218
Torsión (N.m)	-0,0057199	-0	-0	0,0057199
Momento flector (N.m)	0	-0,013672	-0,016685	0,021571

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	27,213	0	0	-27,213
Fuerza cortante (N)	0	7,9628	-11,285	13,812
Torsión (N.m)	-0,0044646	-0	-0	0,0044646
Momento flector (N.m)	0	-0,04169	-0,019252	0,045921



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf derecho

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-19,92	-0	-0	19,92
Fuerza cortante (N)	0	-17,811	-3,0562	18,071
Torsión (N.m)	-0,0094263	-0	-0	0,0094263
Momento flector (N.m)	0	0,066671	-0,22238	0,23216

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-66,574	-0	-0	66,574
Fuerza cortante (N)	0	-3,4738	-41,644	41,788
Torsión (N.m)	0,098665	0	0	-0,098665
Momento flector (N.m)	0	0,17553	-0,22503	0,28539

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	66,574	0	0	-66,574
Fuerza cortante (N)	0	3,4738	41,644	41,788
Torsión (N.m)	-0,098665	-0	-0	0,098665
Momento flector (N.m)	0	-0,026092	0,21256	0,21416

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf izquierdo

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,915	-0	-0	9,915
Fuerza cortante (N)	0	-16,542	-3,4178	16,891
Torsión (N.m)	0,020535	0	0	-0,020535
Momento flector (N.m)	0	0,065339	-0,1965	0,20708

Fuerzas del conector Junta 2

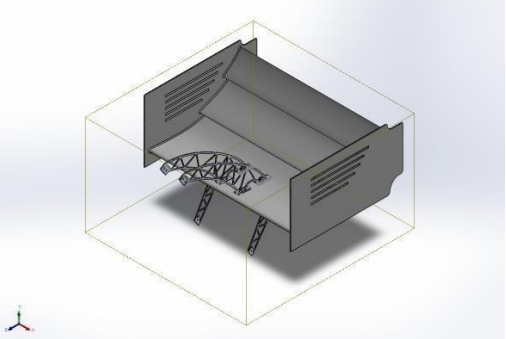
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-61,653	-0	-0	61,653



Fuerza cortante (N)	0	-5,6268	-38,635	39,043
Torsión (N.m)	0,10094	0	0	-0,10094
Momento flector (N.m)	0	0,16189	-0,21353	0,26796

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	61,653	0	0	-61,653
Fuerza cortante (N)	0	5,6268	38,635	39,043
Torsión (N.m)	-0,10094	-0	-0	0,10094
Momento flector (N.m)	0	-0,023248	0,19334	0,19473

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

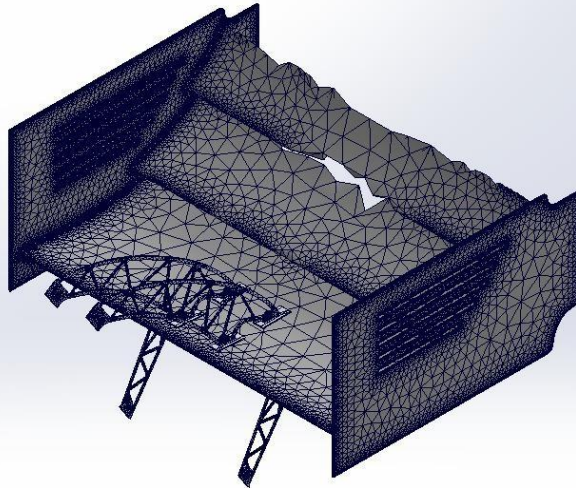
Número total de nodos	282260
Número total de elementos	148656
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,807
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:42
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	56,6307	780,247	172,075	801

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0967329	249,459	0,0326046	249,459

Momentos de cuerpo libre

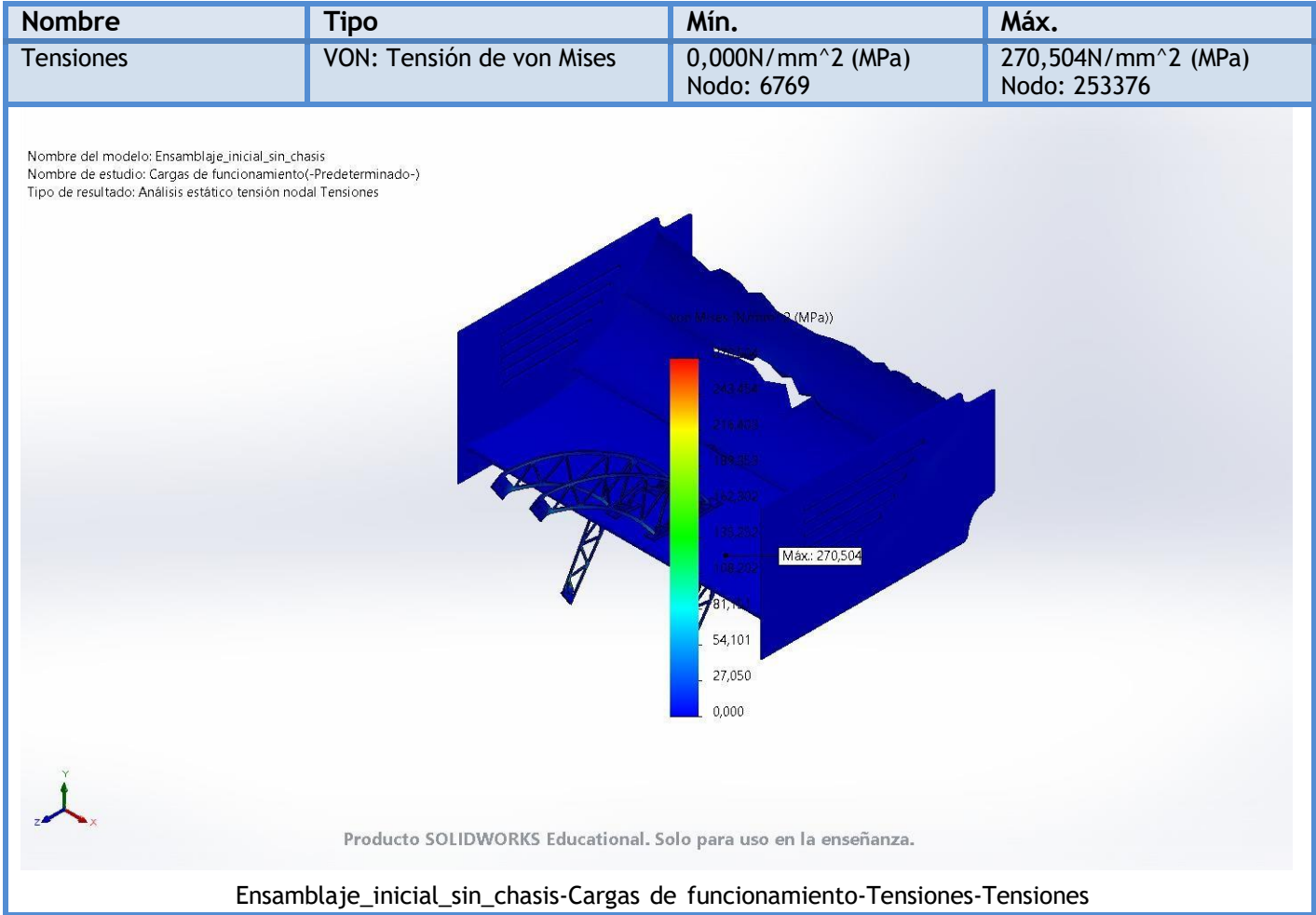
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



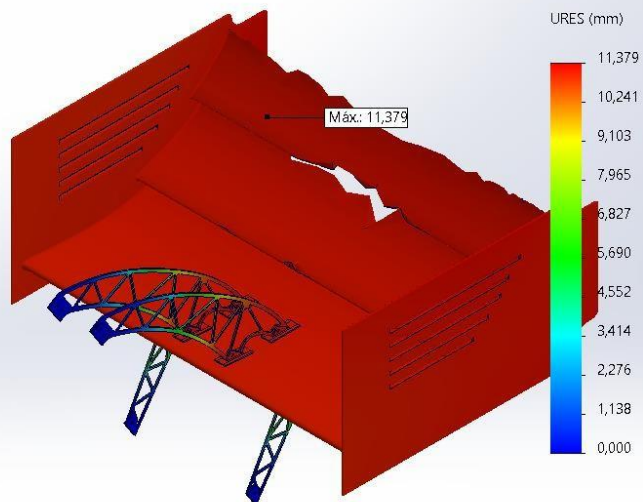
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos totales	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258585	11,379mm Nodo: 30312



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos totales



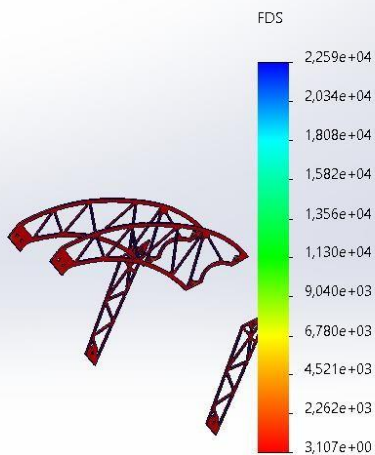
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Desplazamientos-Desplazamientos totales

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	3,107e+00 Nodo: 262375	2,259e+04 Nodo: 271917



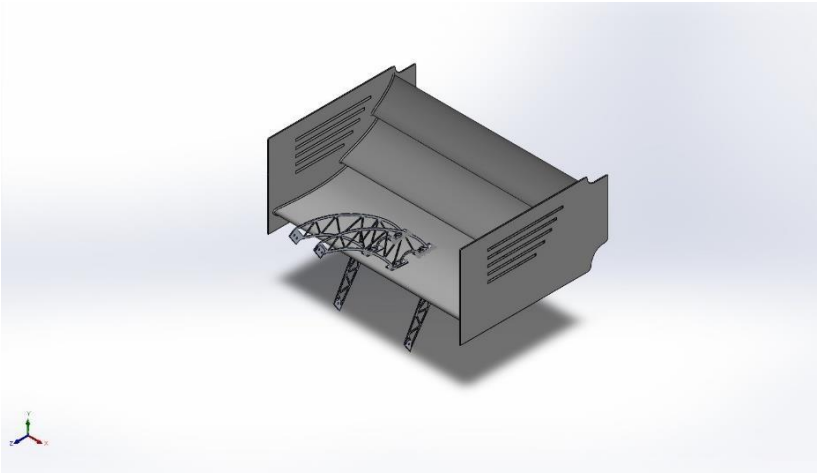
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 3,1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_inicial

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

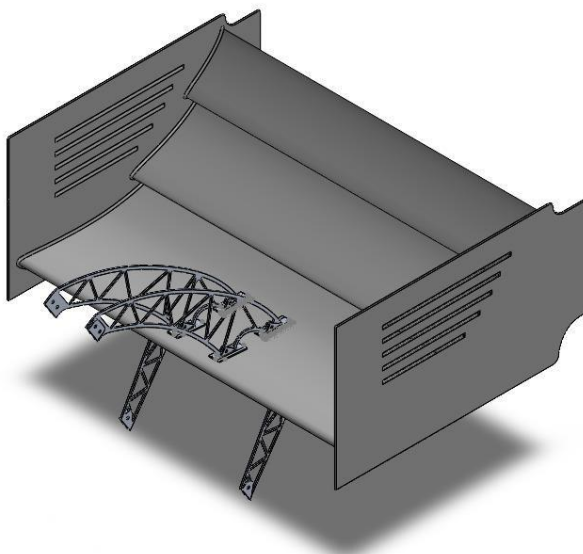
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	17
Información de interacción	21
Información de malla	22
Detalles del sensor	23
Fuerzas resultantes	24
Vigas	24
Resultados del estudio.....	25





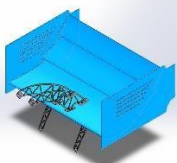
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

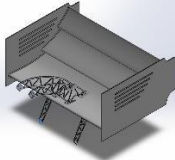
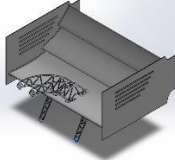
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\aleron.SLDPRT Aug 15 15:31:48 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\triangulo_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\triangulo_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\triangulo_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\enganche_sopinf _chasis.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\enganche_sopinf _chasis.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

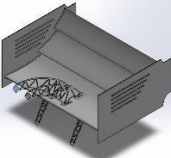
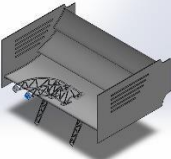
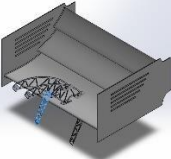


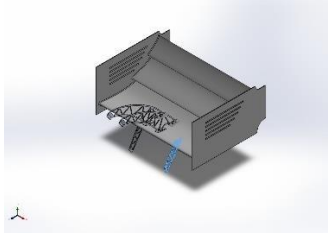
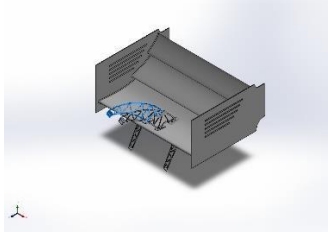
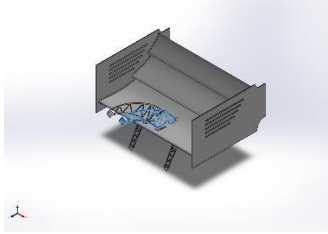
			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia



		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\enganche_sopsum_p_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\enganche_sopsum_p_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1 	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas

			iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m ³ Densidad:2.810,58 kg/m ³ Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m ³ Densidad:2.810,58 kg/m ³ Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025



Propiedades de estudio

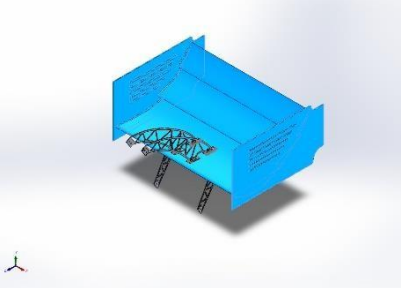
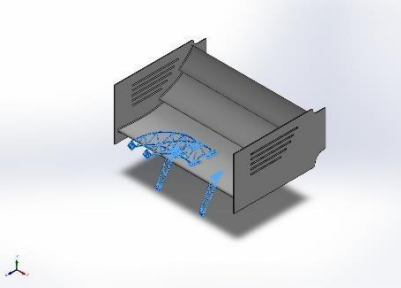
Nombre de estudio	Restricción 8_3_1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi



		nf_aleron-4/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopin nf_aleron-4/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_c_hasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_c_hasis-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/base_enganche_af_front-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/base_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/triangulo_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/triangulo_enganche_af_front-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/base_enganche_af_front-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/base_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/triangulo_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/triangulo_enganche_af_front-4),
--	--	---



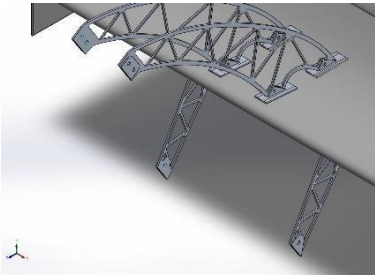
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3), Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-1), Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-3), Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superior_inicial-2),
--	--	---

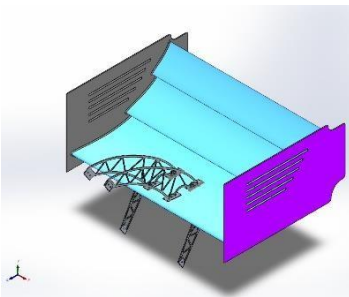
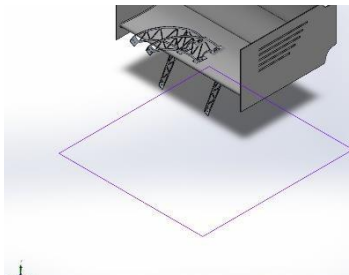


		Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superi or_inicial-3)
Datos de curva:N/A		



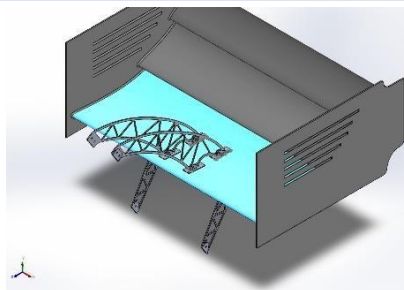
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

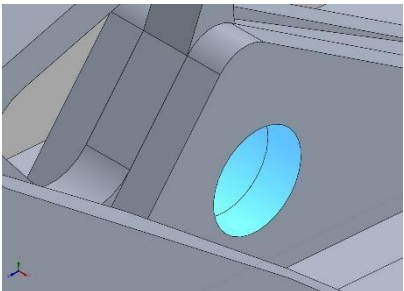
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza		Entidades:	3 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; -.200; -- - N	
Gravedad-1		Referencia:	Planta	
		Valores:	0 0 -9,81	
		Unidades:	m/s^2	



Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,883	-0	-0	10,883
Fuerza cortante (N)	0	-3,2214	-4,0397	5,1668
Torsión (N.m)	-0,0052395	0	0	-0,0052395
Momento flector (N.m)	0	0,020984	-0,0097866	0,023154

Fuerzas del conector Junta 2

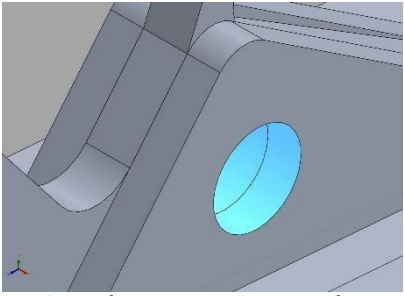
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,166	-0	-0	10,166
Fuerza cortante (N)	0	2,9725	3,6419	4,701
Torsión (N.m)	0,0020484	-0	-0	0,0020484
Momento flector (N.m)	0	0,038144	-0,019368	0,042779

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,166	0	0	-10,166
Fuerza cortante (N)	0	-2,9725	-3,6419	4,701



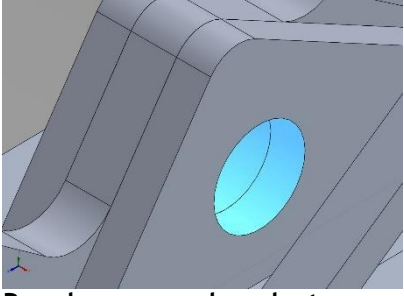
Torsión (N.m)	-0,0020484	0	0	-0,0020484
Momento flector (N.m)	0	-0,025327	0,0089074	0,026848

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,634	-0	-0	10,634
Fuerza cortante (N)	0	-3,2812	-4,0421	5,2062
Torsión (N.m)	-0,0037479	0	0	-0,0037479
Momento flector (N.m)	0	0,019198	-0,0077009	0,020685

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,379	-0	-0	10,379
Fuerza cortante (N)	0	0,84079	4,2672	4,3492
Torsión (N.m)	0,0083616	-0	-0	0,0083616
Momento flector (N.m)	0	0,039336	-0,011106	0,040874

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,379	0	0	-10,379
Fuerza cortante (N)	0	-0,84079	-4,2672	4,3492
Torsión (N.m)	-0,0083616	0	0	-0,0083616
Momento flector (N.m)	0	-0,024483	0,0081792	0,025813

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

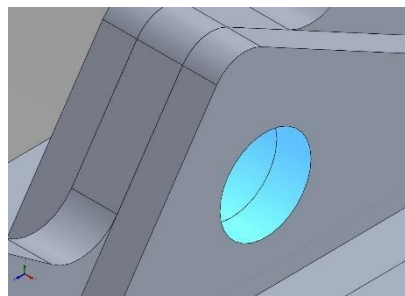
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,124	-0	-0	10,124
Fuerza cortante (N)	0	3,8179	-4,3597	5,7951
Torsión (N.m)	-0,00067114	-0	-0	0,00067114
Momento flector (N.m)	0	0,016342	0,0098404	0,019076

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,124	-0	-0	10,124
Fuerza cortante (N)	0	3,8179	-4,3597	5,7951
Torsión (N.m)	-0,00067114	-0	-0	0,00067114
Momento flector (N.m)	0	0,001167	-0,0034489	0,003641

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,346	0	0	-10,346
Fuerza cortante (N)	0	2,7396	-4,1	4,931
Torsión (N.m)	-0,00043762	-0	-0	0,00043762
Momento flector (N.m)	0	-0,013786	-0,0060596	0,015059



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,4574	-0	-0	9,4574
Fuerza cortante (N)	0	3,9601	-5,7224	6,9591
Torsión (N.m)	-0,0022117	-0	-0	0,0022117
Momento flector (N.m)	0	0,014572	0,0071115	0,016215

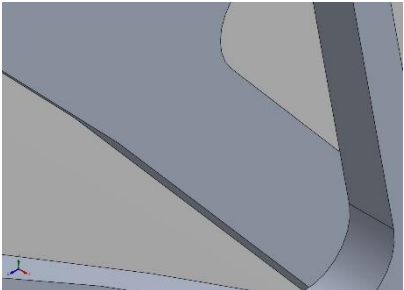
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,4574	-0	-0	9,4574
Fuerza cortante (N)	0	3,9601	-5,7224	6,9591
Torsión (N.m)	-0,0022117	-0	-0	0,0022117
Momento flector (N.m)	0	-0,0055665	-0,0068251	0,0088073

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	11,163	0	0	-11,163
Fuerza cortante (N)	0	3,3063	-4,7217	5,7642
Torsión (N.m)	-0,001869	-0	-0	0,001869
Momento flector (N.m)	0	-0,017378	-0,0079453	0,019108



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf derecho

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-21,514	-0	-0	21,514
Fuerza cortante (N)	0	-5,7224	10,131	11,635
Torsión (N.m)	-0,055626	-0	-0	0,055626
Momento flector (N.m)	0	0,0081535	-0,11021	0,11051

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-21,514	-0	-0	21,514
Fuerza cortante (N)	0	-5,7224	10,131	11,635
Torsión (N.m)	-0,055626	-0	-0	0,055626
Momento flector (N.m)	0	0,042715	-0,090688	0,10024

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	17,069	0	0	-17,069
Fuerza cortante (N)	0	-1,9391	9,0525	9,2579
Torsión (N.m)	0,011473	0	0	-0,011473
Momento flector (N.m)	0	-0,015006	0,10345	0,10453

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf izquierdo

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-19,329	-0	-0	19,329
Fuerza cortante (N)	0	-5,2329	11,796	12,905
Torsión (N.m)	-0,051917	-0	-0	0,051917
Momento flector (N.m)	0	0,0093865	-0,10468	0,1051

Fuerzas del conector Junta 2

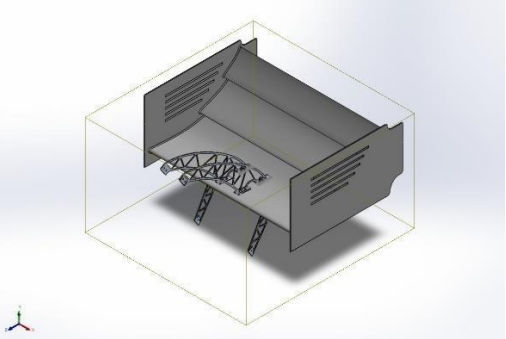
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-19,329	-0	-0	19,329



Fuerza cortante (N)	0	-5,2329	11,796	12,905
Torsión (N.m)	-0,051917	-0	-0	0,051917
Momento flector (N.m)	0	0,04963	-0,086832	0,10001

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	16,231	0	0	-16,231
Fuerza cortante (N)	0	-2,2629	7,8023	8,1238
Torsión (N.m)	0,016483	0	0	-0,016483
Momento flector (N.m)	0	-0,018921	0,1049	0,10659

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

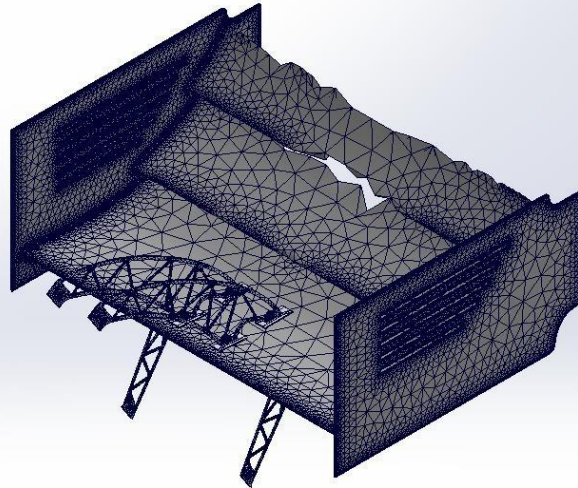
Número total de nodos	282260
Número total de elementos	148656
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,807
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:32
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1 (-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-0,878028	537,253	0,00626469	537,254

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0230776	249,395	0,00398248	249,395

Momentos de cuerpo libre

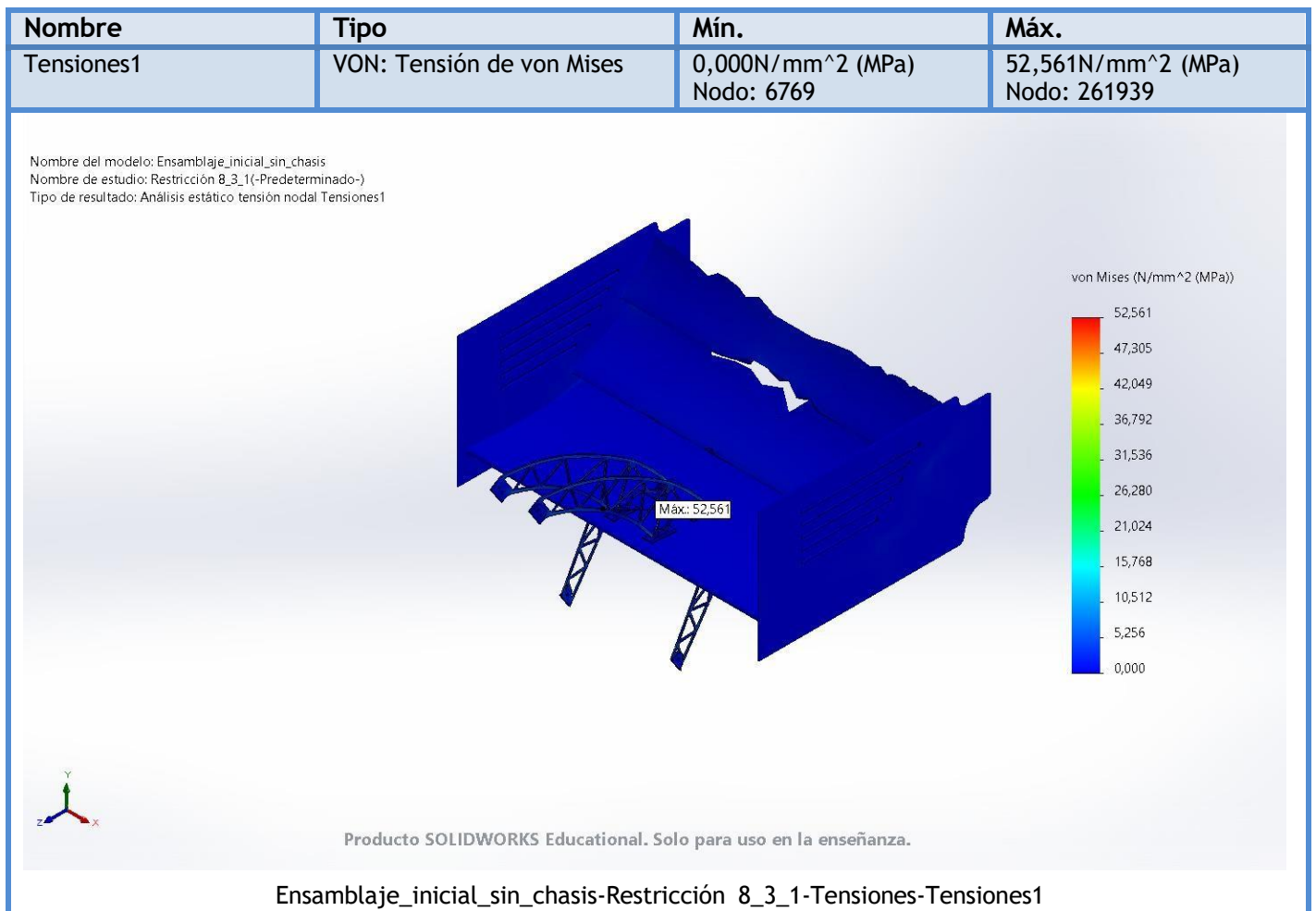
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



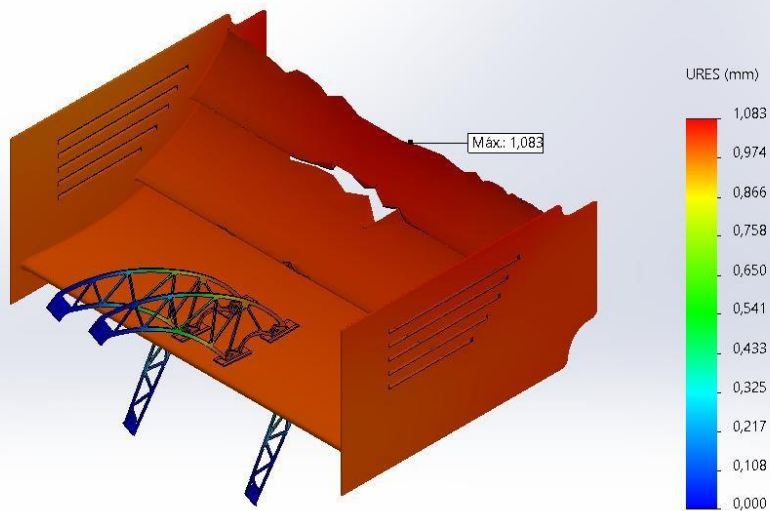
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258585	1,083mm Nodo: 197263



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



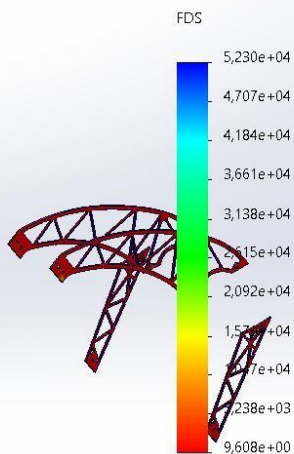
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	9,608e+00 Nodo: 261939	5,230e+04 Nodo: 274834



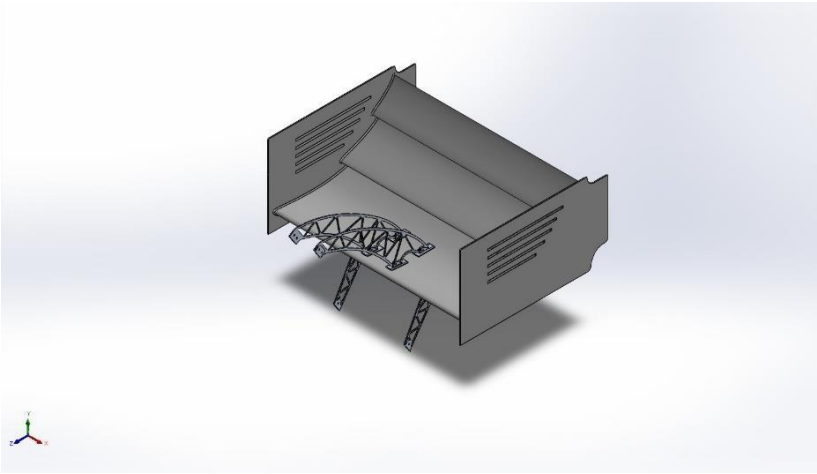
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 9,6



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_inicial

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Información de modelo	4
Propiedades de estudio.....	12
Unidades.....	12
Propiedades de material	13
Cargas y sujeciones	17
Definiciones de conector	18
Información de interacción	22
Información de malla	23
Detalles del sensor	24
Fuerzas resultantes	25
Vigas	25
Resultados del estudio.....	26

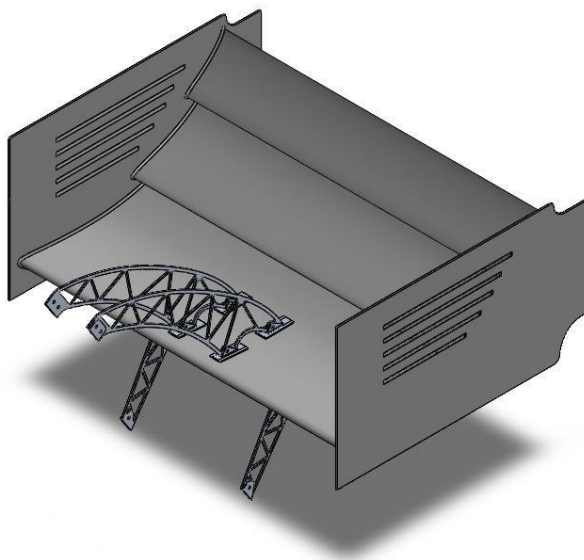






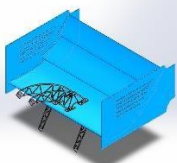
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

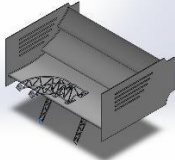
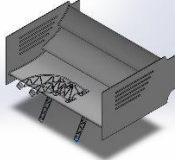
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\aleron.SLDPRT Aug 15 15:31:48 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\enganche_sopinf _chasis.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas iniciales\enganche_sopinf _chasis.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

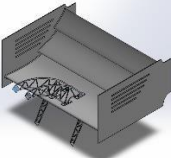
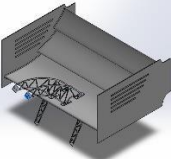
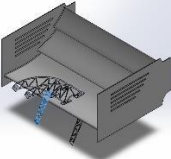


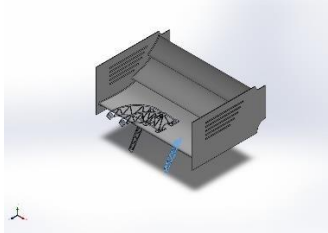
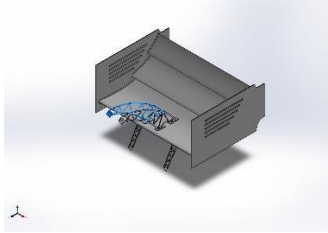
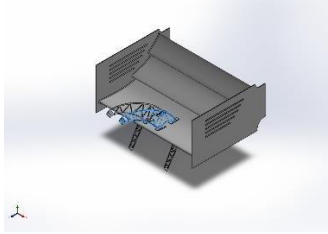
			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia



		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\enganche_sopsum_p_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\enganche_sopsum_p_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1 	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas

			iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m ³ Densidad:2.810,58 kg/m ³ Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m ³ Densidad:2.810,58 kg/m ³ Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025



Propiedades de estudio

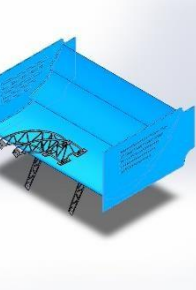
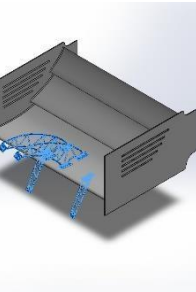
Nombre de estudio	Restricción 8_3_2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 \text{ /Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 \text{ /Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_f_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_f_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopin_f_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopin_f_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_f_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_f_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopin_f_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3),

		nf_aleron-4/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopin nf_aleron-4/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_c_hasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_c_hasis-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/base_enganche_af_front-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/base_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/triangulo_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/triangulo_enganche_af_front-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/base_enganche_af_front-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/base_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/triangulo_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/triangulo_enganche_af_front-4),
--	--	---



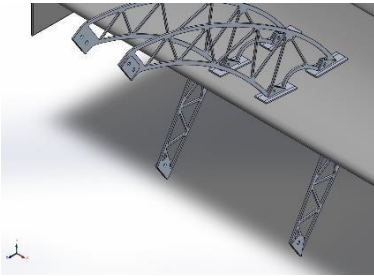
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_c_hasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_c_hasis-3), Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-1), Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-3), Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superior_inicial-2),
--	--	---

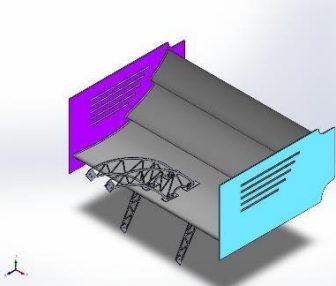
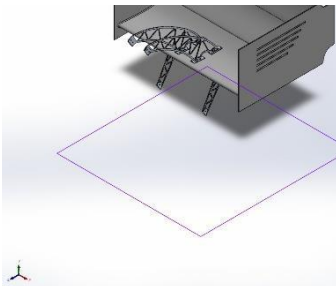


		Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superi or_inicial-3)
Datos de curva:N/A		



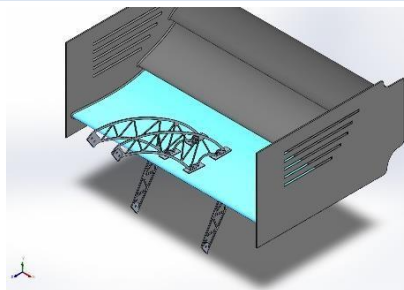
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

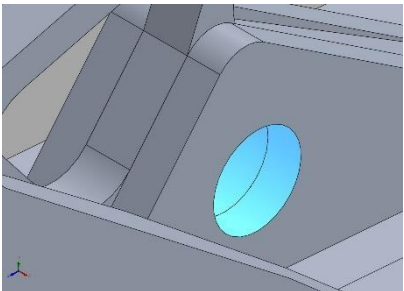
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza		Entidades:	1 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; ---; 50 N	
Gravedad-1		Referencia:	Planta	
		Valores:	0 0 -9,81	
		Unidades:	m/s^2	



Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	7,1039	-0	-0	7,1039
Fuerza cortante (N)	0	-0,024353	-2,0771	2,0772
Torsión (N.m)	-0,0089636	0	0	-0,0089636
Momento flector (N.m)	0	-0,0056486	-0,012936	0,014115

Fuerzas del conector Junta 2

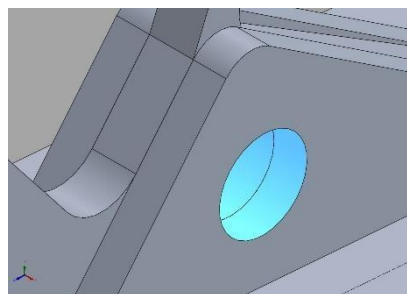
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,1839	-0	-0	1,1839
Fuerza cortante (N)	0	6,0982	2,4824	6,5841
Torsión (N.m)	-0,0098686	0	0	-0,0098686
Momento flector (N.m)	0	0,030872	-0,014571	0,034138

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,1839	0	0	-1,1839
Fuerza cortante (N)	0	-6,0982	-2,4824	6,5841



Torsión (N.m)	0,0098686	-0	-0	0,0098686
Momento flector (N.m)	0	-0,022136	-0,00689	0,023183



Pasador sopsup izquierdo delantero

Entidades: 3 cara(s)
Tipo: Pasador
Con anillo de retención (sin traslación): Sí
Con clave (sin rotación): Sí
Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

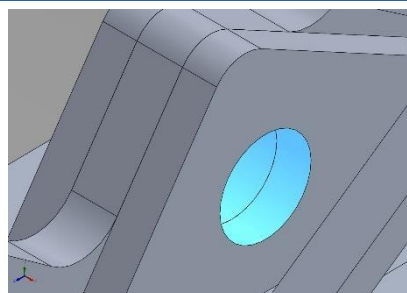
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	8,1972	-0	-0	8,1972
Fuerza cortante (N)	0	-0,089053	-5,2255	5,2263
Torsión (N.m)	-0,0040873	0	0	-0,0040873
Momento flector (N.m)	0	-0,014148	-0,0081718	0,016338

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	3,1014	-0	-0	3,1014
Fuerza cortante (N)	0	4,8824	4,5834	6,6967
Torsión (N.m)	-0,0094114	0	0	-0,0094114
Momento flector (N.m)	0	0,03819	-0,0065308	0,038745

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,1014	0	0	-3,1014
Fuerza cortante (N)	0	-4,8824	-4,5834	6,6967
Torsión (N.m)	0,0094114	-0	-0	0,0094114
Momento flector (N.m)	0	-0,022236	-0,010464	0,024575



Pasador sopsup derecho trasero

Entidades: 3 cara(s)
Tipo: Pasador
Con anillo de retención (sin traslación): Sí
Con clave (sin rotación): Sí
Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,3453	-0	-0	4,3453
Fuerza cortante (N)	0	1,7878	-2,1044	2,7612
Torsión (N.m)	-0,00054867	-0	-0	0,00054867
Momento flector (N.m)	0	0,0075747	0,0045028	0,008812

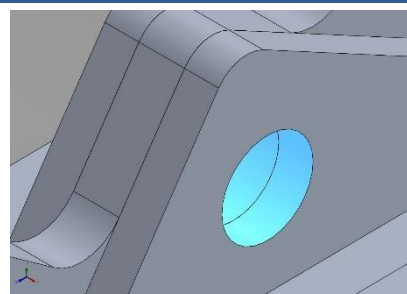


Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,3454	-0	-0	4,3454
Fuerza cortante (N)	0	1,7878	-2,1044	2,7612
Torsión (N.m)	0,00054867	0	0	-0,00054867
Momento flector (N.m)	0	-0,00024984	0,0017199	0,001738

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	4,4954	0	0	-4,4954
Fuerza cortante (N)	0	1,1115	-1,6109	1,9572
Torsión (N.m)	-0,00014411	-0	-0	0,00014411
Momento flector (N.m)	0	-0,0053247	-0,0024242	0,0058506



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-6,6642	-0	-0	6,6642
Fuerza cortante (N)	0	2,8708	-4,2553	5,1331
Torsión (N.m)	-0,0017907	-0	-0	0,0017907
Momento flector (N.m)	0	0,011015	0,005253	0,012204

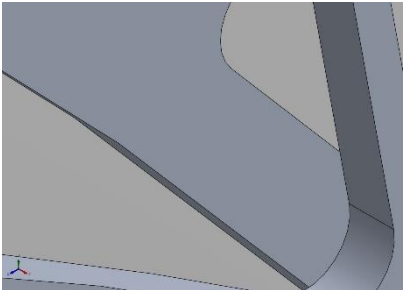
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-6,6642	-0	-0	6,6642
Fuerza cortante (N)	0	2,8708	-4,2553	5,1331
Torsión (N.m)	-0,0017907	-0	-0	0,0017907
Momento flector (N.m)	0	-0,0039597	-0,0048501	0,0062612

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	7,8907	0	0	-7,8907
Fuerza cortante (N)	0	2,241	-3,149	3,865
Torsión (N.m)	-0,0011662	-0	-0	0,0011662
Momento flector (N.m)	0	-0,011813	-0,0054859	0,013025



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf derecho

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,2476	-0	-0	4,2476
Fuerza cortante (N)	0	-11,21	-7,5569	13,52
Torsión (N.m)	0,022376	0	0	-0,022376
Momento flector (N.m)	0	0,047747	-0,11791	0,12721

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-42,976	-0	-0	42,976
Fuerza cortante (N)	0	-4,1086	-27,878	28,179
Torsión (N.m)	0,08327	0	0	-0,08327
Momento flector (N.m)	0	0,11243	-0,12759	0,17006

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	42,976	0	0	-42,976
Fuerza cortante (N)	0	4,1086	27,878	28,179
Torsión (N.m)	-0,08327	-0	-0	0,08327
Momento flector (N.m)	0	-0,012394	0,11285	0,11352

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf izquierdo

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	2,6768	0	0	-2,6768
Fuerza cortante (N)	0	-10,334	-9,0473	13,735
Torsión (N.m)	0,044935	0	0	-0,044935
Momento flector (N.m)	0	0,046052	-0,097081	0,10745

Fuerzas del conector Junta 2

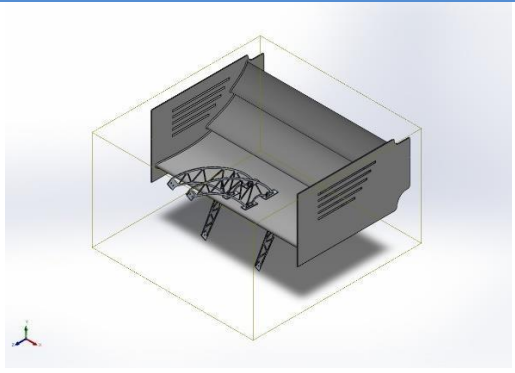
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-39,427	-0	-0	39,427



Fuerza cortante (N)	0	-5,8823	-25,928	26,587
Torsión (N.m)	0,08835	0	0	-0,08835
Momento flector (N.m)	0	0,10098	-0,11491	0,15297

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	39,427	0	0	-39,427
Fuerza cortante (N)	0	5,8823	25,928	26,587
Torsión (N.m)	-0,08835	-0	-0	0,08835
Momento flector (N.m)	0	-0,0079427	0,0938	0,094136

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

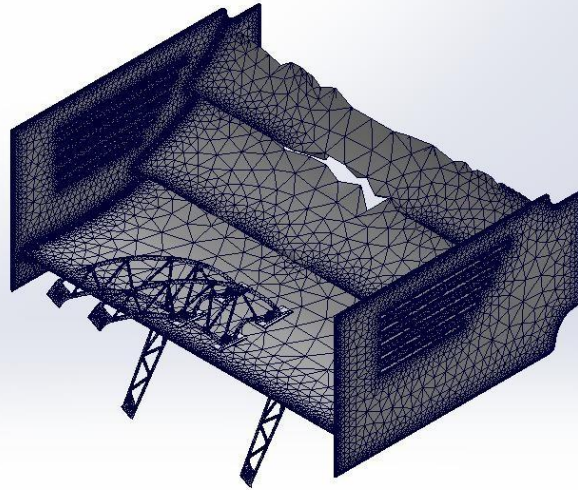
Número total de nodos	282260
Número total de elementos	148656
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,807
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:38
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	44,5091	337,247	0,0411768	340,171

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0255874	249,414	0,0261103	249,414

Momentos de cuerpo libre

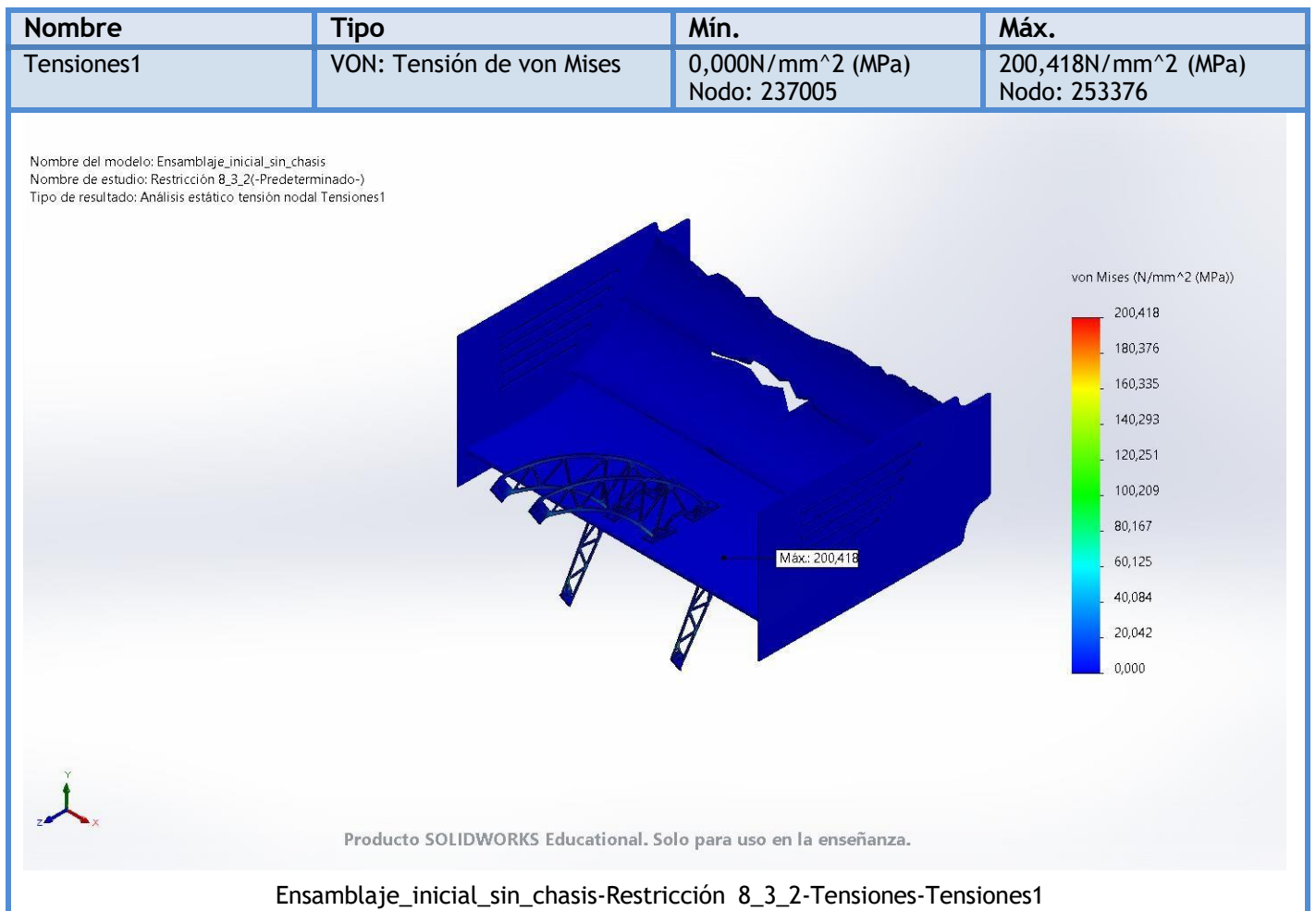
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



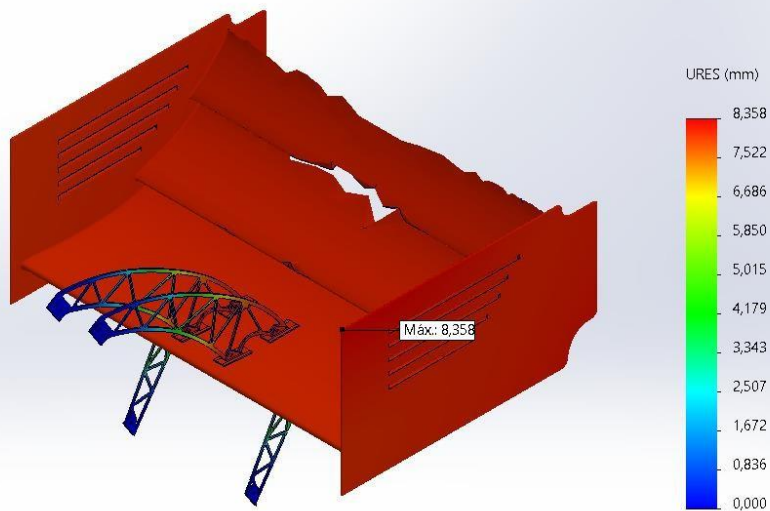
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258585	8,358mm Nodo: 158



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



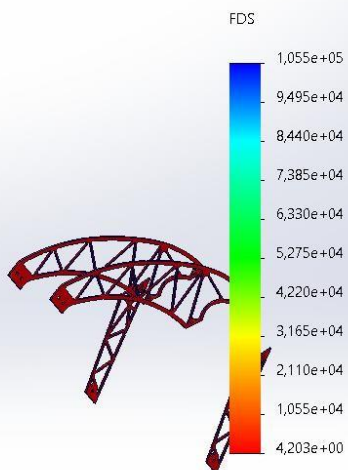
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	4,203e+00 Nodo: 262375	1,055e+05 Nodo: 267230



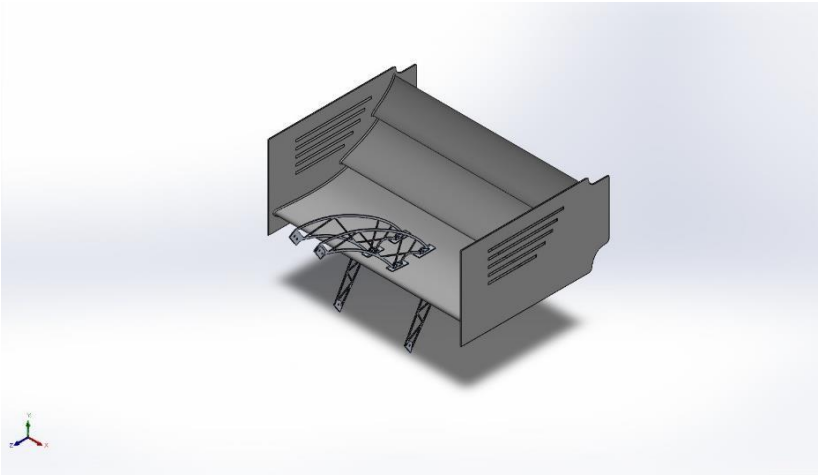
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 4,2



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_chapa

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

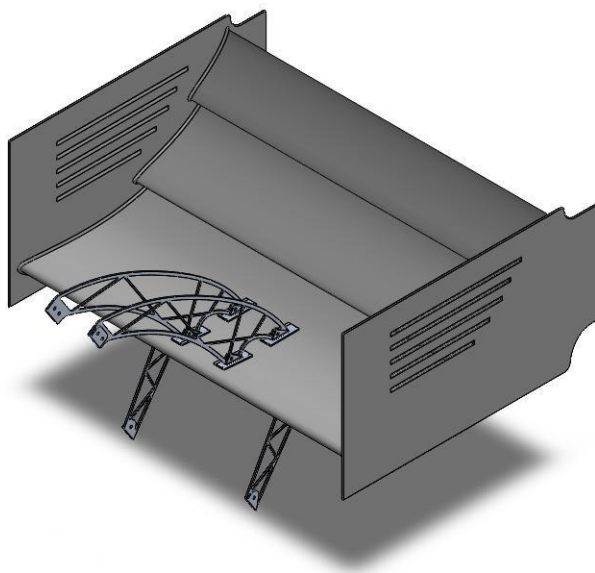
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	18
Información de interacción	22
Información de malla	23
Detalles del sensor	24
Fuerzas resultantes	25
Vigas	25
Resultados del estudio.....	26





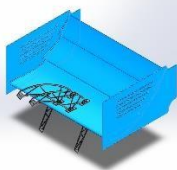
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

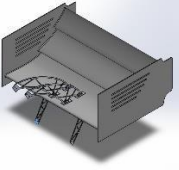
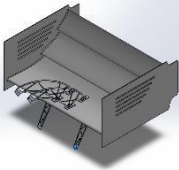
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\aleron.SLDPRT Aug 18 15:06:18 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPR T Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\enganche_sopinf_c hasis.SLDPR T Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\enganche_sopinf_c hasis.SLDPR T Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT T Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT T Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

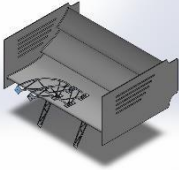
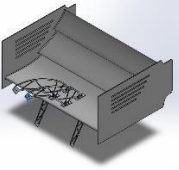
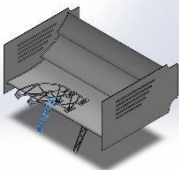


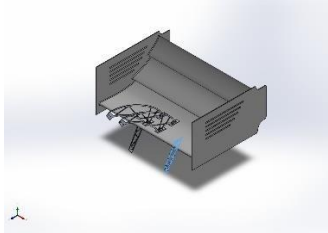
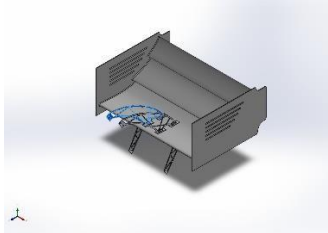
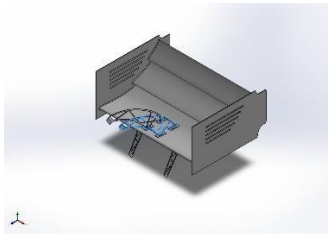
			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia



		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir3 	Sólido	Masa:0,0531001 kg Volumen:1,88968e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,520381 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\soporte_inferior_chapa.SLDPRT Aug 18 15:56:51 2025
Cortar-Extruir3	Sólido	Masa:0,0531001 kg Volumen:1,88968e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,520381 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas

			chapa\soporte_inferior_c hapa.SLDPRT Aug 18 15:56:51 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,167927 kg Volumen:5,97463e-05 m ³ Densidad:2.810,66 kg/m ³ Peso:1,64568 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\soporte_superior_c hapa.SLDPRT Aug 18 15:56:50 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,167927 kg Volumen:5,97463e-05 m ³ Densidad:2.810,66 kg/m ³ Peso:1,64568 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\soporte_superior_c hapa.SLDPRT Aug 18 15:56:50 2025



Propiedades de estudio

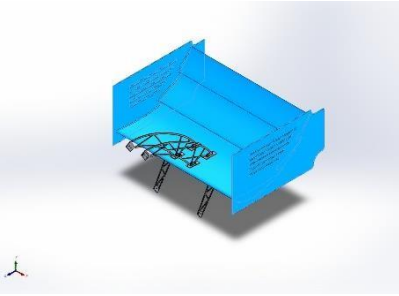
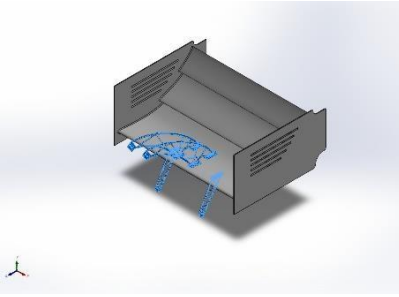
Nombre de estudio	Cargas de funcionamiento
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-4),



		nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-4), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-2), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-3), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-4), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-4),
--	--	--



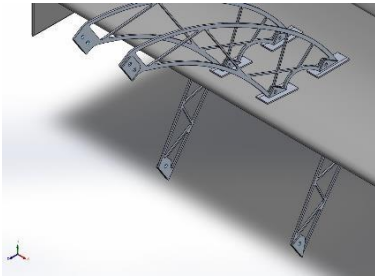
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_inicial-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_inicial-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(soporte_superior_inicial-2),
--	--	---

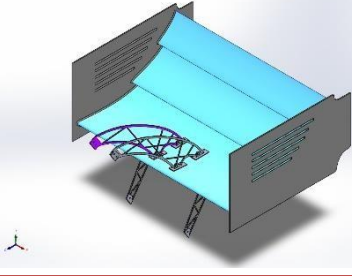
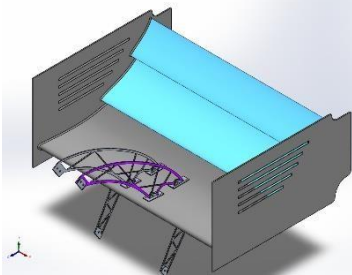


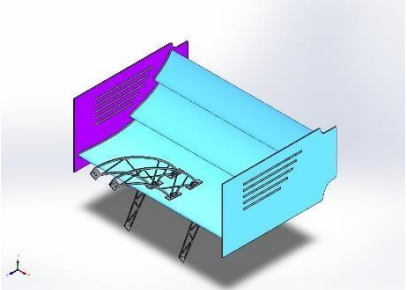
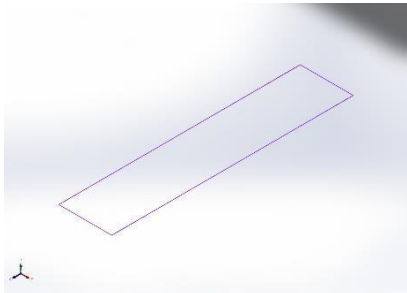
		Sólido 1 (Cortar-Extruir2)(soporte_superior_inicial-3)
Datos de curva:N/A		



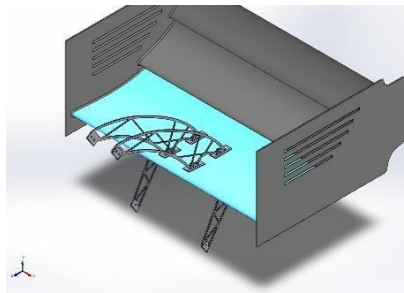
Cargas y sujeciones

Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción			
Fijo-1		Entidades: 6 cara(s) Tipo: Geometría fija			
Fuerzas resultantes					

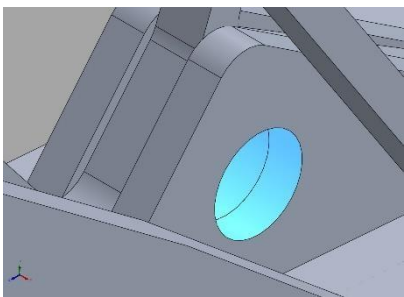
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Downforce		Entidades:	3 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; 443; --- N	
Drag		Entidades:	2 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	-172; ---; --- N	

Inercia		Entidades: 6 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 66 N
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9,81 Unidades: m/s^2

Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	38,552	-0	-0	38,552
Fuerza cortante (N)	0	-11,861	-10,531	15,861
Torsión (N.m)	0,070973	-0	-0	0,070973
Momento flector (N.m)	0	0,043609	-0,0048837	0,043882

Fuerzas del conector Junta 2

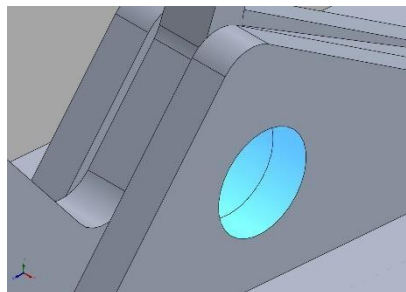
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-38,552	0	0	-38,552
Fuerza cortante (N)	0	11,861	10,531	15,861
Torsión (N.m)	-0,070973	0	0	-0,070973
Momento flector (N.m)	0	-0,080672	0,046624	0,093176

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,4144	0	0	-3,4144
Fuerza cortante (N)	0	2,3107	12,623	12,832



Torsión (N.m)	-0,03517	0	0	-0,03517
Momento flector (N.m)	0	-0,063639	0,011636	0,064694



Pasador sopsup izquierdo delantero

Entidades: 3 cara(s)
Tipo: Pasador
Con anillo de retención (sin traslación): Sí
Con clave (sin rotación): Sí
Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

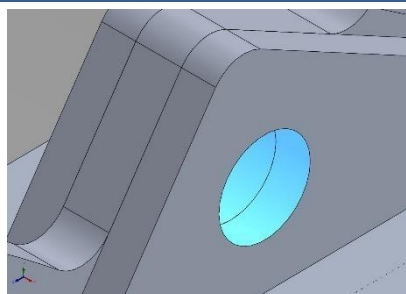
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	41,653	-0	-0	41,653
Fuerza cortante (N)	0	-13,549	-11,078	17,501
Torsión (N.m)	0,082666	-0	-0	0,082666
Momento flector (N.m)	0	0,06003	0,0046902	0,060213

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-41,653	0	0	-41,653
Fuerza cortante (N)	0	13,549	11,078	17,501
Torsión (N.m)	-0,082666	0	0	-0,082666
Momento flector (N.m)	0	-0,099016	0,042992	0,10795

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,2205	0	0	-4,2205
Fuerza cortante (N)	0	-1,2757	14,161	14,218
Torsión (N.m)	-0,039334	0	0	-0,039334
Momento flector (N.m)	0	-0,075816	0,00012829	0,075816



Pasador sopsup derecho trasero

Entidades: 3 cara(s)
Tipo: Pasador
Con anillo de retención (sin traslación): Sí
Con clave (sin rotación): Sí
Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,4994	-0	-0	9,4994
Fuerza cortante (N)	0	2,3103	-5,4853	5,952
Torsión (N.m)	0,00069263	0	0	-0,00069263
Momento flector (N.m)	0	0,030078	0,0063419	0,030739

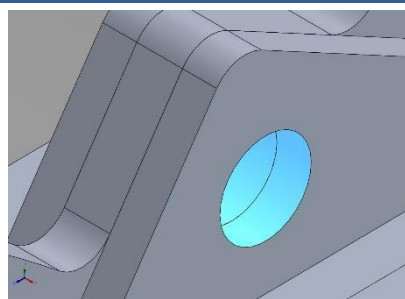


Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,4994	-0	-0	9,4994
Fuerza cortante (N)	0	2,3103	-5,4853	5,952
Torsión (N.m)	-0,00069263	-0	-0	0,00069263
Momento flector (N.m)	0	-0,010773	0,0017887	0,010921

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	8,9199	0	0	-8,9199
Fuerza cortante (N)	0	3,3474	-7,0402	7,7955
Torsión (N.m)	0,0006432	0	0	-0,0006432
Momento flector (N.m)	0	-0,029322	-0,0082154	0,030451



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,7893	-0	-0	9,7893
Fuerza cortante (N)	0	4,2655	-7,61	8,7239
Torsión (N.m)	-0,0058056	-0	-0	0,0058056
Momento flector (N.m)	0	0,037504	0,0070376	0,038158

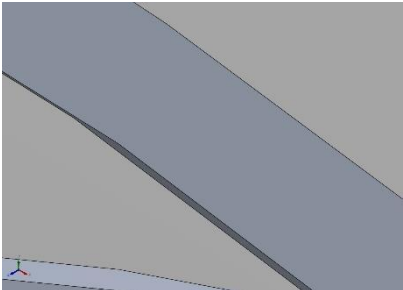
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-9,7893	-0	-0	9,7893
Fuerza cortante (N)	0	4,2655	-7,61	8,7239
Torsión (N.m)	0,0058056	0	0	-0,0058056
Momento flector (N.m)	0	-0,010722	0,0079737	0,013362

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,589	0	0	-10,589
Fuerza cortante (N)	0	3,1902	-9,0261	9,5733
Torsión (N.m)	0,0025518	0	0	-0,0025518
Momento flector (N.m)	0	-0,042032	-0,010566	0,043339



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
Pasador sopinf derecho		

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-12,274	-0	-0	12,274
Fuerza cortante (N)	0	-5,8296	-13,313	14,534
Torsión (N.m)	-0,063112	-0	-0	0,063112
Momento flector (N.m)	0	0,077405	0,26339	0,27453

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-26,917	-0	-0	26,917
Fuerza cortante (N)	0	52,126	1,4105	52,145
Torsión (N.m)	-0,04035	-0	-0	0,04035
Momento flector (N.m)	0	0,079632	0,37144	0,37988

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	26,917	0	0	-26,917
Fuerza cortante (N)	0	-52,126	-1,4105	52,145
Torsión (N.m)	0,04035	0	0	-0,04035
Momento flector (N.m)	0	-0,084694	-0,18439	0,20291

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
Pasador sopinf izquierdo		

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-2,2159	-0	-0	2,2159
Fuerza cortante (N)	0	-2,0839	-8,7635	9,0079
Torsión (N.m)	-0,0043889	-0	-0	0,0043889
Momento flector (N.m)	0	0,044295	0,22819	0,23245

Fuerzas del conector Junta 2

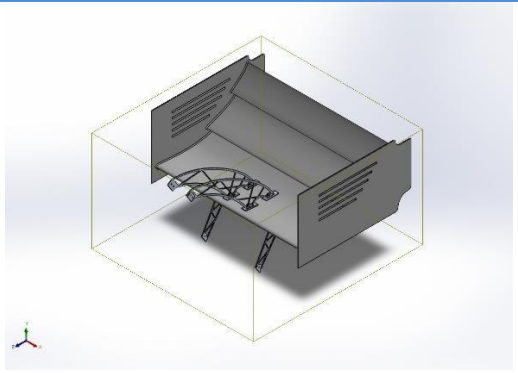
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-21,147	-0	-0	21,147



Fuerza cortante (N)	0	44,524	-4,6882	44,77
Torsión (N.m)	-0,0095268	-0	-0	0,0095268
Momento flector (N.m)	0	0,080733	0,3133	0,32354

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	21,147	0	0	-21,147
Fuerza cortante (N)	0	-44,524	4,6882	44,77
Torsión (N.m)	0,0095268	0	0	-0,0095268
Momento flector (N.m)	0	-0,06391	-0,15353	0,1663

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

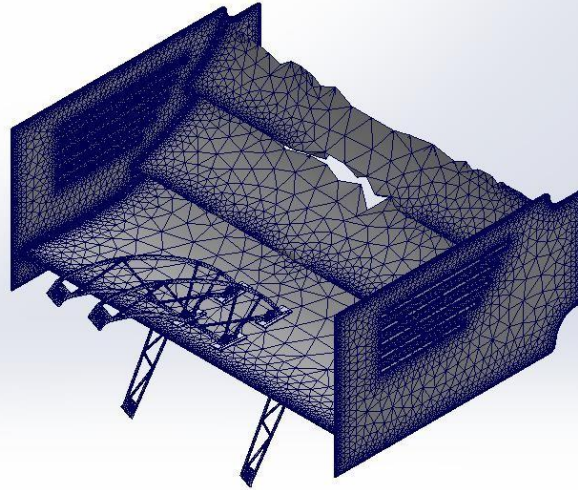
Número total de nodos	276724
Número total de elementos	146294
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,1
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,828
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:44
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	52,7679	779,776	172,062	800,276

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,218551	249,567	-0,096185	249,567

Momentos de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

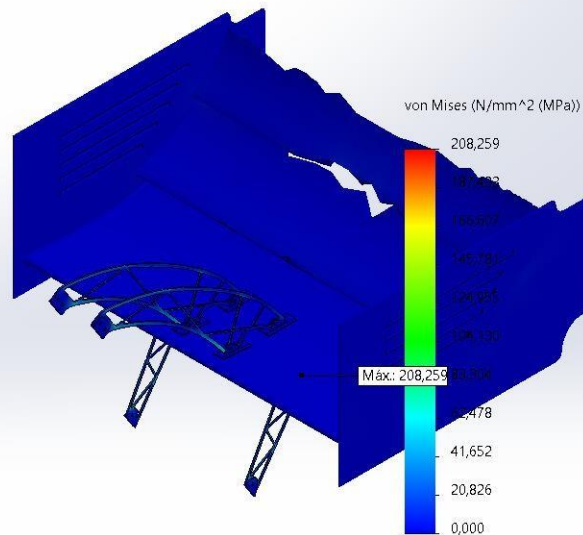
No hay datos



Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones	VON: Tensión de von Mises	0,000N/mm ² (MPa) Nodo: 6769	208,259N/mm ² (MPa) Nodo: 253369

Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Análisis estático: tensión nodal Tensiones



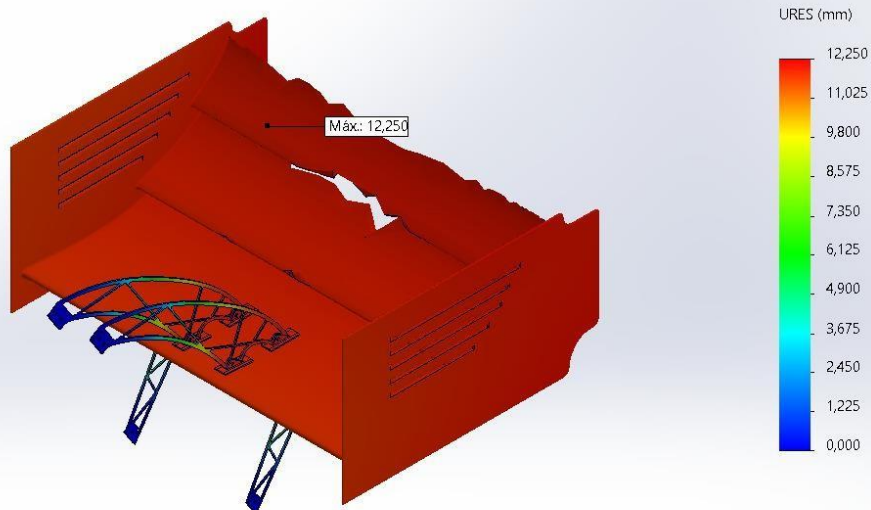
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Tensiones-Tensiones

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos totales	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258577	12,250mm Nodo: 101139



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos totales



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Desplazamientos-Desplazamientos totales

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2,836e+00 Nodo: 261686	3,876e+04 Nodo: 265903



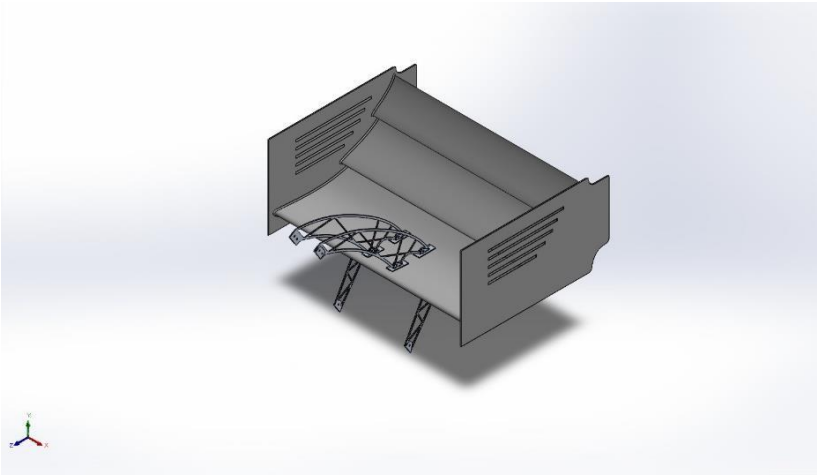
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 2,8



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_chapa

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	2
Unidades.....	2
Propiedades de material	3
Cargas y sujeciones	7
Definiciones de conector	8
Información de interacción	12
Información de malla	13
Detalles del sensor	14
Fuerzas resultantes	15
Vigas	15
Resultados del estudio.....	16



Propiedades de estudio

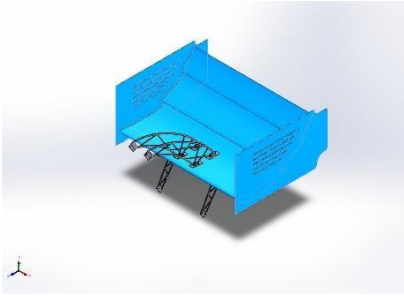
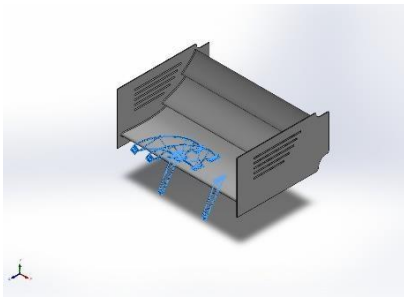
Nombre de estudio	Restricción 8_3_1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 \text{ /Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 \text{ /Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-4)

		nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-4), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-2), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-3), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-4), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-4),
--	--	--



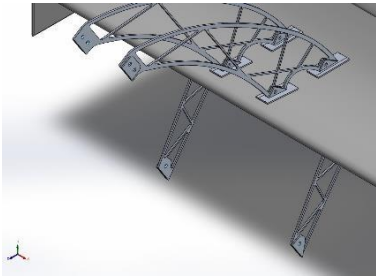
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_inicial-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_inicial-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(soporte_superior_inicial-2),
--	--	---

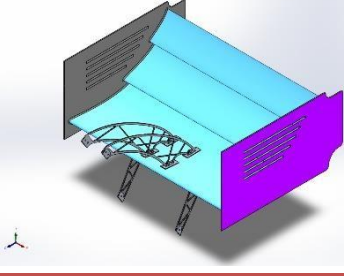
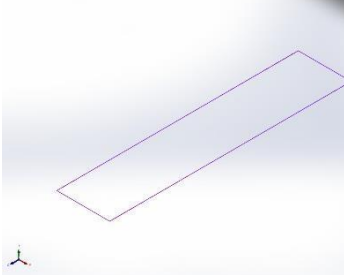


		Sólido 1 (Cortar-Extruir2)(soporte_superior_inicial-3)
Datos de curva:N/A		

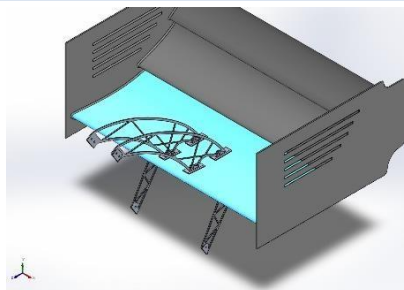


Cargas y sujeciones

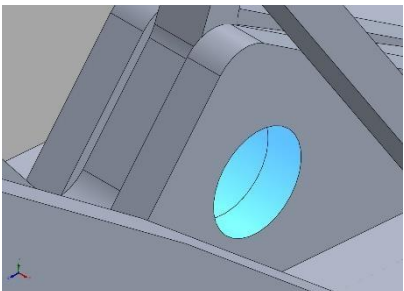
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza		Entidades:	3 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; -.200; -- - N	
Gravedad-1		Referencia:	Planta	
		Valores:	0 0 -9,81	
		Unidades:	m/s^2	

Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,893	-0	-0	10,893
Fuerza cortante (N)	0	-4,0278	-0,3709	4,0448
Torsión (N.m)	0,016255	-0	-0	0,016255
Momento flector (N.m)	0	0,024638	-0,0010386	0,02466

Fuerzas del conector Junta 2

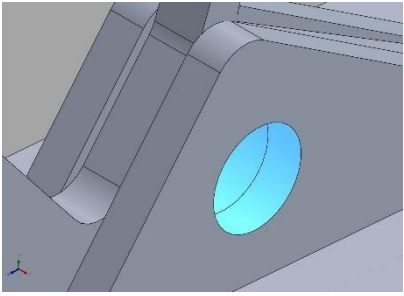
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,893	0	0	-10,893
Fuerza cortante (N)	0	4,0278	0,3709	4,0448
Torsión (N.m)	-0,016255	0	0	-0,016255
Momento flector (N.m)	0	-0,025944	0,015213	0,030075

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-6,9073	0	0	-6,9073
Fuerza cortante (N)	0	-2,0993	1,9232	2,8471



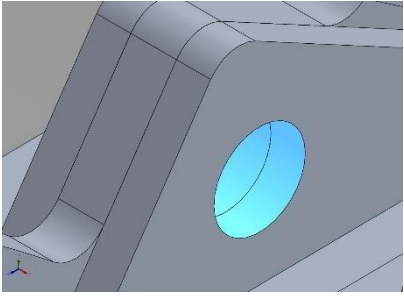
Torsión (N.m)	0,0047995	-0	-0	0,0047995
Momento flector (N.m)	0	-0,025419	0,0021941	0,025513

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	11,337	-0	-0	11,337
Fuerza cortante (N)	0	-3,7596	-0,81598	3,8472
Torsión (N.m)	0,018726	-0	-0	0,018726
Momento flector (N.m)	0	0,025725	0,00012574	0,025726

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-11,337	0	0	-11,337
Fuerza cortante (N)	0	3,7596	0,81598	3,8472
Torsión (N.m)	-0,018726	0	0	-0,018726
Momento flector (N.m)	0	-0,028597	0,013105	0,031457

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-6,6553	0	0	-6,6553
Fuerza cortante (N)	0	-2,6991	2,3022	3,5476
Torsión (N.m)	0,0040919	-0	-0	0,0040919
Momento flector (N.m)	0	-0,026027	-0,00043834	0,02603

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

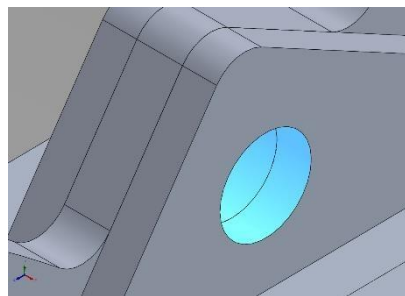
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,9837	-0	-0	3,9837
Fuerza cortante (N)	0	1,0124	-2,6587	2,8449
Torsión (N.m)	0,00085372	0	0	-0,00085372
Momento flector (N.m)	0	0,015878	0,0035871	0,016278

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,9837	-0	-0	3,9837
Fuerza cortante (N)	0	1,0124	-2,6587	2,8449
Torsión (N.m)	-0,00085372	-0	-0	0,00085372
Momento flector (N.m)	0	-0,0065213	-2,4242e-05	0,0065213

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	3,4633	0	0	-3,4633
Fuerza cortante (N)	0	1,5577	-3,3043	3,653
Torsión (N.m)	0,00074906	0	0	-0,00074906
Momento flector (N.m)	0	-0,015724	-0,0040004	0,016225



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,7842	-0	-0	3,7842
Fuerza cortante (N)	0	1,6632	-3,0392	3,4646
Torsión (N.m)	-0,0021328	-0	-0	0,0021328
Momento flector (N.m)	0	0,015555	0,0031704	0,015875

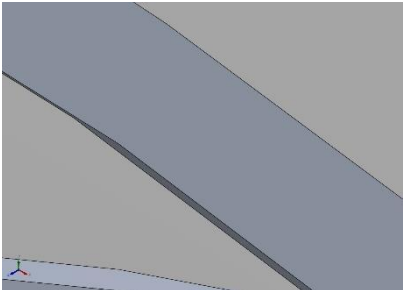
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,7842	-0	-0	3,7842
Fuerza cortante (N)	0	1,6632	-3,0392	3,4646
Torsión (N.m)	0,0021328	0	0	-0,0021328
Momento flector (N.m)	0	-0,0048596	0,0026827	0,005551

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	3,8835	0	0	-3,8835
Fuerza cortante (N)	0	1,2637	-3,5958	3,8114
Torsión (N.m)	0,0011891	0	0	-0,0011891
Momento flector (N.m)	0	-0,017589	-0,004144	0,01807



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
Pasador sopinf derecho		

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-11,196	-0	-0	11,196
Fuerza cortante (N)	0	-6,8312	2,3166	7,2133
Torsión (N.m)	-0,092805	-0	-0	0,092805
Momento flector (N.m)	0	0,018495	0,10192	0,10359

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,733	-0	-0	10,733
Fuerza cortante (N)	0	13,141	13,016	18,496
Torsión (N.m)	-0,083484	-0	-0	0,083484
Momento flector (N.m)	0	-0,014937	0,13693	0,13775

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,733	0	0	-10,733
Fuerza cortante (N)	0	-13,141	-13,016	18,496
Torsión (N.m)	0,083484	0	0	-0,083484
Momento flector (N.m)	0	-0,03177	-0,089779	0,095235

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
Pasador sopinf izquierdo		

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,499	-0	-0	10,499
Fuerza cortante (N)	0	-8,1033	1,2246	8,1953
Torsión (N.m)	-0,089085	-0	-0	0,089085
Momento flector (N.m)	0	0,018948	0,10232	0,10406

Fuerzas del conector Junta 2

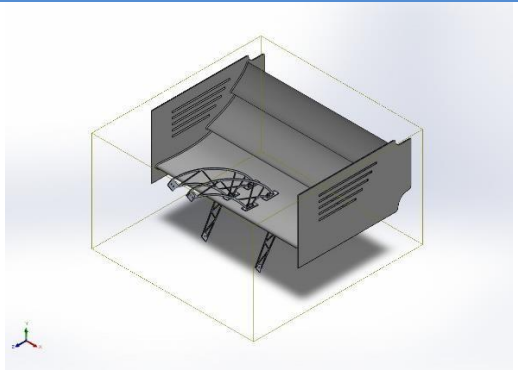
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,194	-0	-0	10,194



Fuerza cortante (N)	0	12,049	11,556	16,695
Torsión (N.m)	-0,086581	-0	-0	0,086581
Momento flector (N.m)	0	-0,013591	0,13556	0,13624

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,194	0	0	-10,194
Fuerza cortante (N)	0	-12,049	-11,556	16,695
Torsión (N.m)	0,086581	0	0	-0,086581
Momento flector (N.m)	0	-0,027877	-0,092326	0,096443

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

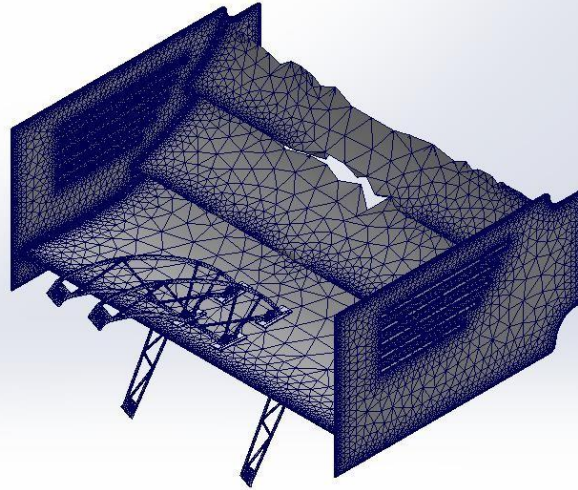
Número total de nodos	276724
Número total de elementos	146294
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,1
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,828
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:40
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-1,15844	536,788	0,0021317	536,79

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0284177	249,271	-0,0087927	249,271

Momentos de cuerpo libre

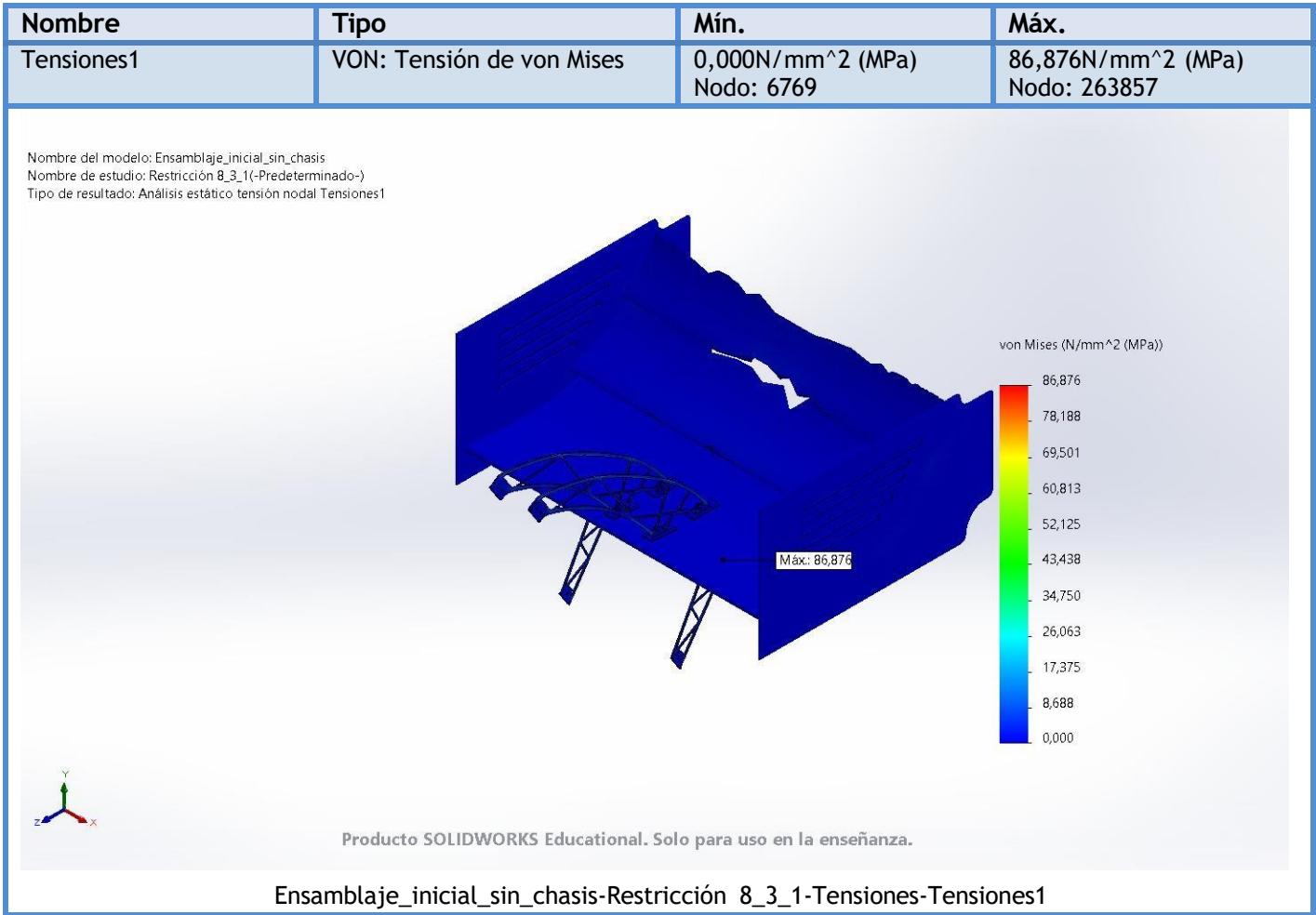
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



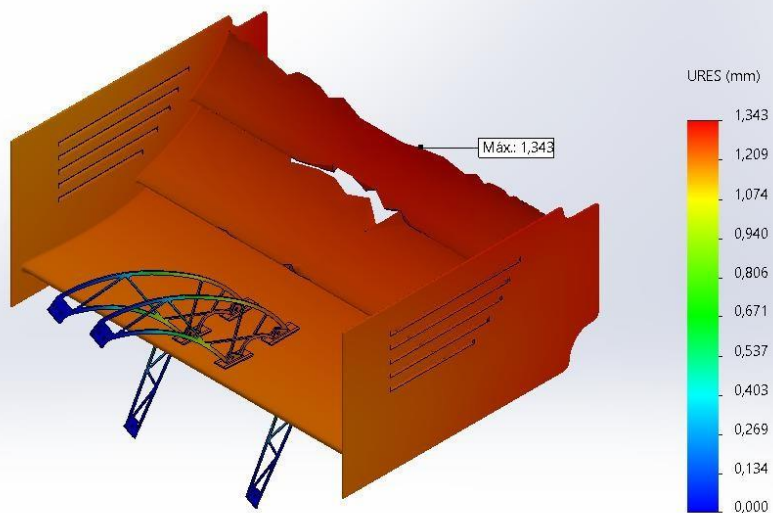
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258577	1,343mm Nodo: 3286



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



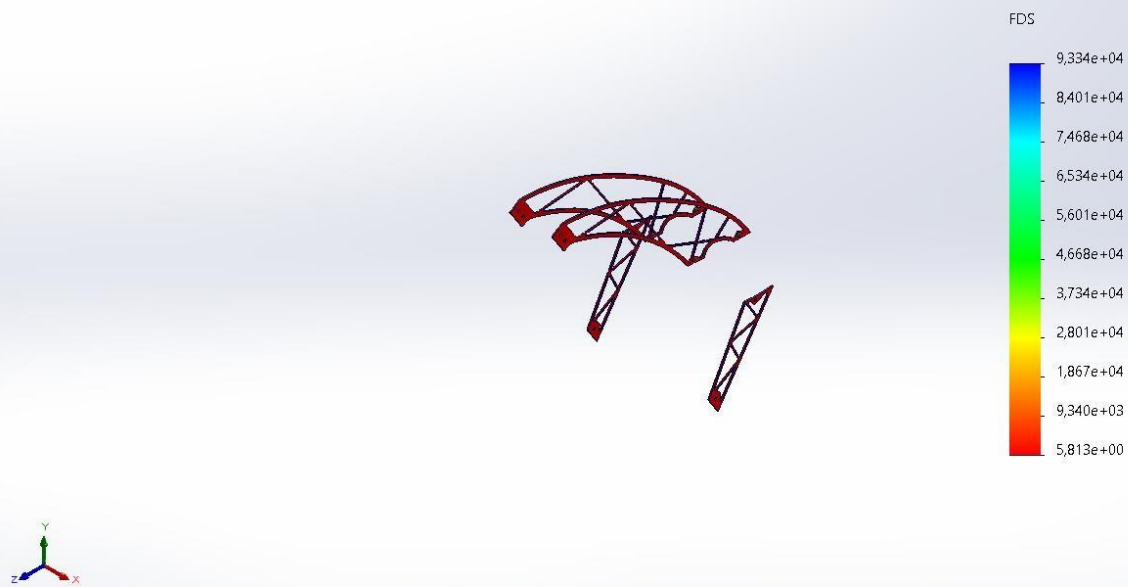
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	5,813e+00 Nodo: 263857	9,334e+04 Nodo: 265903

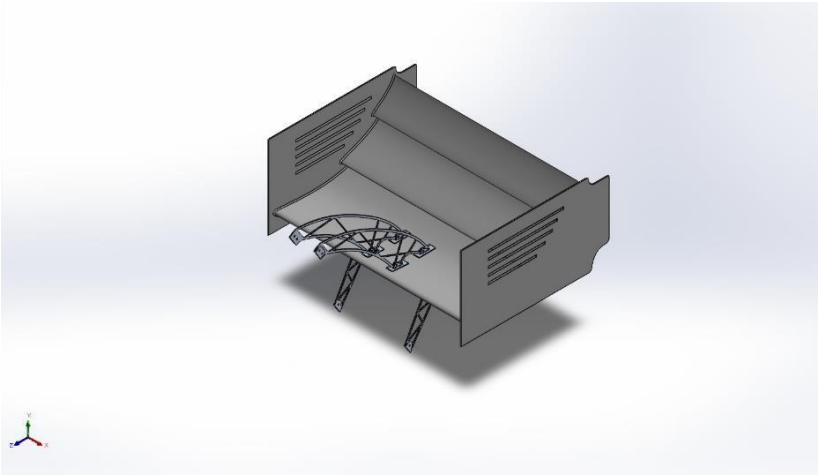


Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 5,8



Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_chapa

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

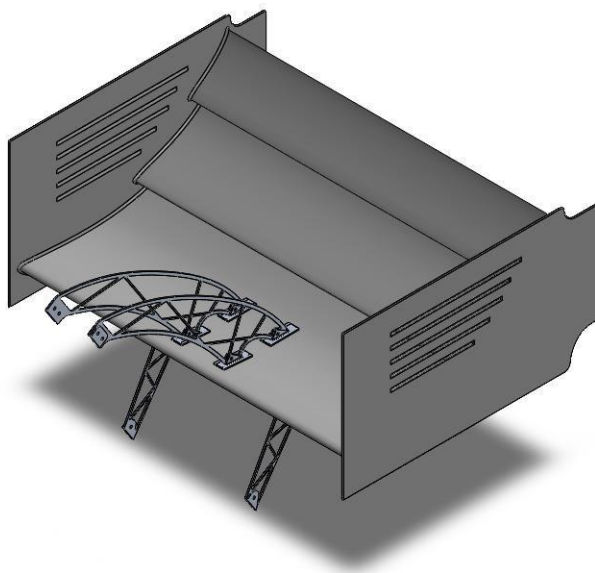
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	17
Información de interacción	21
Información de malla	22
Detalles del sensor	23
Fuerzas resultantes	24
Vigas	24
Resultados del estudio.....	25





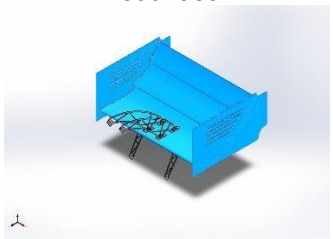
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

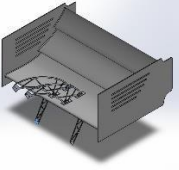
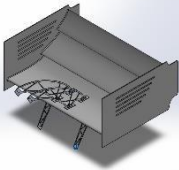
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\aleron.SLDPRT Aug 18 15:06:18 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDprt Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\enganche_sopinf_c hasis.SLDprt Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\enganche_sopinf_c hasis.SLDprt Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

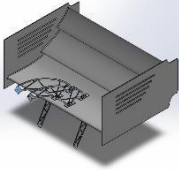
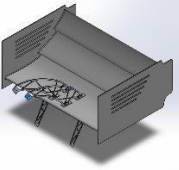
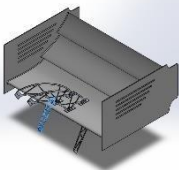


			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia

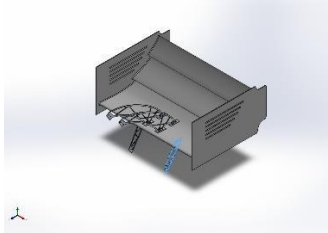
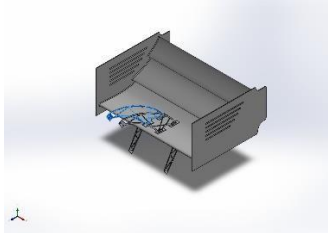
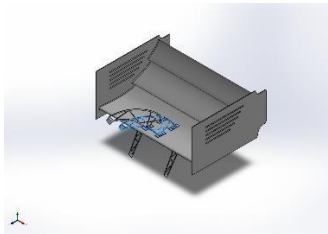


		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir3 	Sólido	Masa:0,0531001 kg Volumen:1,88968e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,520381 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\soporte_inferior_chapa.SLDPRT Aug 18 15:56:51 2025
Cortar-Extruir3	Sólido	Masa:0,0531001 kg Volumen:1,88968e-05 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,520381 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas



			chapa\soporte_inferior_c hapa.SLDPRT Aug 18 15:56:51 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,167927 kg Volumen:5,97463e-05 m ³ Densidad:2.810,66 kg/m ³ Peso:1,64568 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\soporte_superior_c hapa.SLDPRT Aug 18 15:56:50 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,167927 kg Volumen:5,97463e-05 m ³ Densidad:2.810,66 kg/m ³ Peso:1,64568 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas chapa\soporte_superior_c hapa.SLDPRT Aug 18 15:56:50 2025



Propiedades de estudio

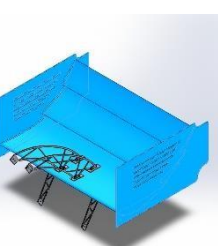
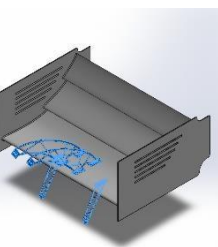
Nombre de estudio	Restricción 8_3_2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 \text{ /Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 \text{ /Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-4)

		nf_aleron-4/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopin nf_aleron-4/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_c_hasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopin_c_hasis-3), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/base_enganche_af_front-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/base_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/triangulo_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-2/triangulo_enganche_af_front-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/base_enganche_af_front-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/base_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/triangulo_enganche_af_front-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopsup_aleron_delante-3/triangulo_enganche_af_front-4),
--	--	---



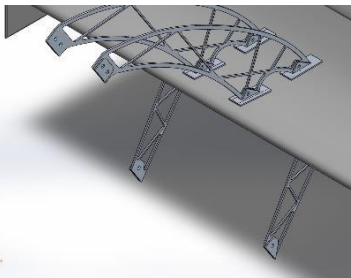
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangu lo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-2/triangu lo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangu lo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detras-3/triangu lo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_inicial-1), Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_inicial-3), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(soporte_superior_inicial-2),
--	--	---

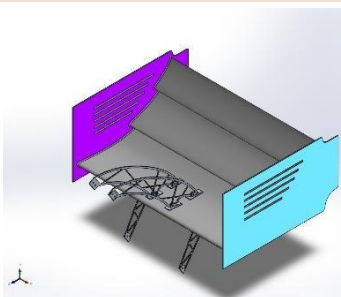
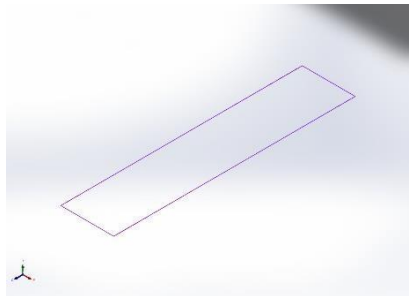


		Sólido 1 (Cortar-Extruir2)(soporte_superior_inicial-3)
Datos de curva:N/A		

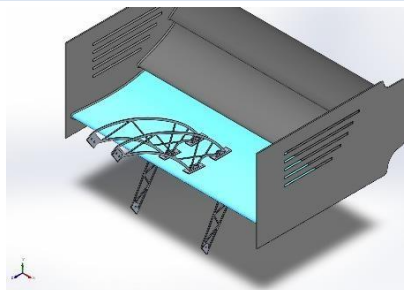


Cargas y sujeciones

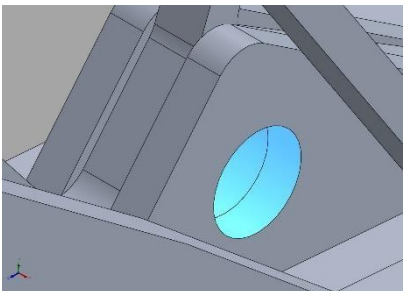
Nombre de sujeción		Imagen de sujeción		Detalles de sujeción	
Fijo-1				Entidades: 6 cara(s) Tipo: Geometría fija	
Fuerzas resultantes					

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza		Entidades:	1 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; ---; 50 N	
Gravedad-1		Referencia:	Planta	
		Valores:	0 0 -9,81	
		Unidades:	m/s^2	

Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	17,889	-0	-0	17,889
Fuerza cortante (N)	0	-5,1472	-8,4285	9,8759
Torsión (N.m)	0,041248	-0	-0	0,041248
Momento flector (N.m)	0	0,0042878	-0,0020107	0,0047358

Fuerzas del conector Junta 2

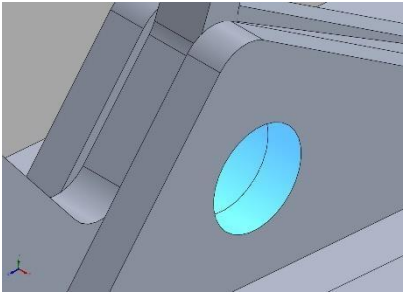
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	17,889	-0	-0	17,889
Fuerza cortante (N)	0	-5,1472	-8,4285	9,8759
Torsión (N.m)	0,041248	-0	-0	0,041248
Momento flector (N.m)	0	0,03395	-0,020125	0,039466

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	7,0743	-0	-0	7,0743
Fuerza cortante (N)	0	4,5364	8,4621	9,6014



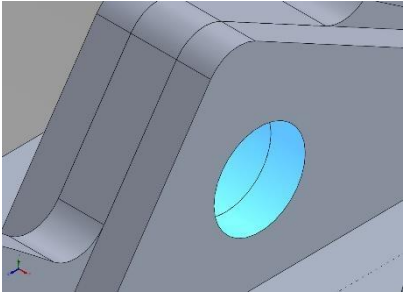
Torsión (N.m)	-0,035109	0	0	-0,035109
Momento flector (N.m)	0	-0,020491	0,0065356	0,021508

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	19,391	-0	-0	19,391
Fuerza cortante (N)	0	-6,702	-8,2985	10,667
Torsión (N.m)	0,047174	-0	-0	0,047174
Momento flector (N.m)	0	0,015211	0,0044249	0,015841

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	19,391	-0	-0	19,391
Fuerza cortante (N)	0	-6,702	-8,2985	10,667
Torsión (N.m)	0,047174	-0	-0	0,047174
Momento flector (N.m)	0	0,044415	-0,019161	0,048372

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	6,5844	-0	-0	6,5844
Fuerza cortante (N)	0	2,4748	9,1679	9,496
Torsión (N.m)	-0,039141	0	0	-0,039141
Momento flector (N.m)	0	-0,028464	0,00012283	0,028464

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

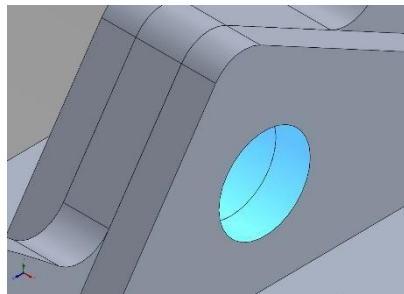
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,8578	-0	-0	1,8578
Fuerza cortante (N)	0	0,51402	-1,0853	1,2009
Torsión (N.m)	-8,4553e-05	-0	-0	8,4553e-05
Momento flector (N.m)	0	0,005835	0,00098841	0,0059182

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,8578	-0	-0	1,8578
Fuerza cortante (N)	0	0,51402	-1,0853	1,2009
Torsión (N.m)	8,4553e-05	0	0	-8,4553e-05
Momento flector (N.m)	0	-0,0020155	0,00082054	0,0021761

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	2,0219	0	0	-2,0219
Fuerza cortante (N)	0	0,61812	-1,4585	1,5841
Torsión (N.m)	0,00018099	0	0	-0,00018099
Momento flector (N.m)	0	-0,005627	-0,0020339	0,0059833



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-2,2297	-0	-0	2,2297
Fuerza cortante (N)	0	1,2479	-2,0437	2,3945
Torsión (N.m)	-0,0018723	-0	-0	0,0018723
Momento flector (N.m)	0	0,01145	0,0018864	0,011605

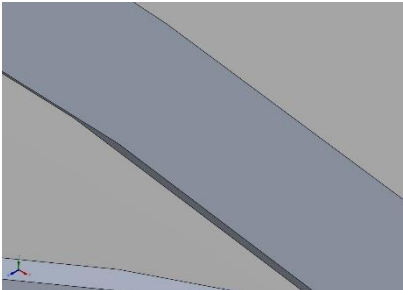
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-2,2297	-0	-0	2,2297
Fuerza cortante (N)	0	1,2479	-2,0437	2,3945
Torsión (N.m)	0,0018723	0	0	-0,0018723
Momento flector (N.m)	0	-0,0042582	0,0025051	0,0049404

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	2,769	0	0	-2,769
Fuerza cortante (N)	0	0,81811	-2,584	2,7104
Torsión (N.m)	0,0011897	0	0	-0,0011897
Momento flector (N.m)	0	-0,012587	-0,0035593	0,013081



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf derecho

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-3,4398	-0	-0	3,4398
Fuerza cortante (N)	0	-1,1705	-11,67	11,728
Torsión (N.m)	-0,0004647	-0	-0	0,0004647
Momento flector (N.m)	0	0,051358	0,15291	0,16131

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-14,972	-0	-0	14,972
Fuerza cortante (N)	0	34,051	-5,594	34,508
Torsión (N.m)	0,012608	0	0	-0,012608
Momento flector (N.m)	0	0,070312	0,2196	0,23058

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	14,972	0	0	-14,972
Fuerza cortante (N)	0	-34,051	5,594	34,508
Torsión (N.m)	-0,012608	-0	-0	0,012608
Momento flector (N.m)	0	-0,050238	-0,097408	0,1096

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Pasador sopinf izquierdo

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,511	0	0	-1,511
Fuerza cortante (N)	0	0,25269	-15,413	15,416
Torsión (N.m)	0,037868	0	0	-0,037868
Momento flector (N.m)	0	0,046137	0,11981	0,12838

Fuerzas del conector Junta 2

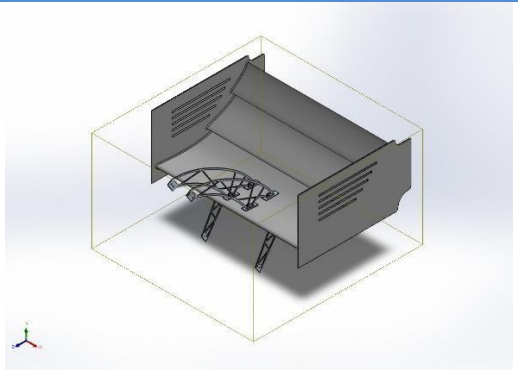
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-10,882	-0	-0	10,882



Fuerza cortante (N)	0	28,413	-9,8117	30,059
Torsión (N.m)	0,040078	0	0	-0,040078
Momento flector (N.m)	0	0,070515	0,17351	0,18729

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	10,882	0	0	-10,882
Fuerza cortante (N)	0	-28,413	9,8117	30,059
Torsión (N.m)	-0,040078	-0	-0	0,040078
Momento flector (N.m)	0	-0,035307	-0,071551	0,079788

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

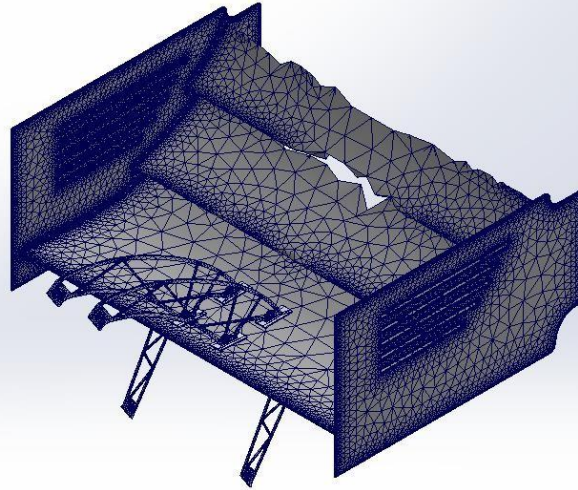
Número total de nodos	276724
Número total de elementos	146294
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,1
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,828
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:42
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	41,8996	336,783	0,0243778	339,379

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,101635	249,218	-0,0597495	249,218

Momentos de cuerpo libre

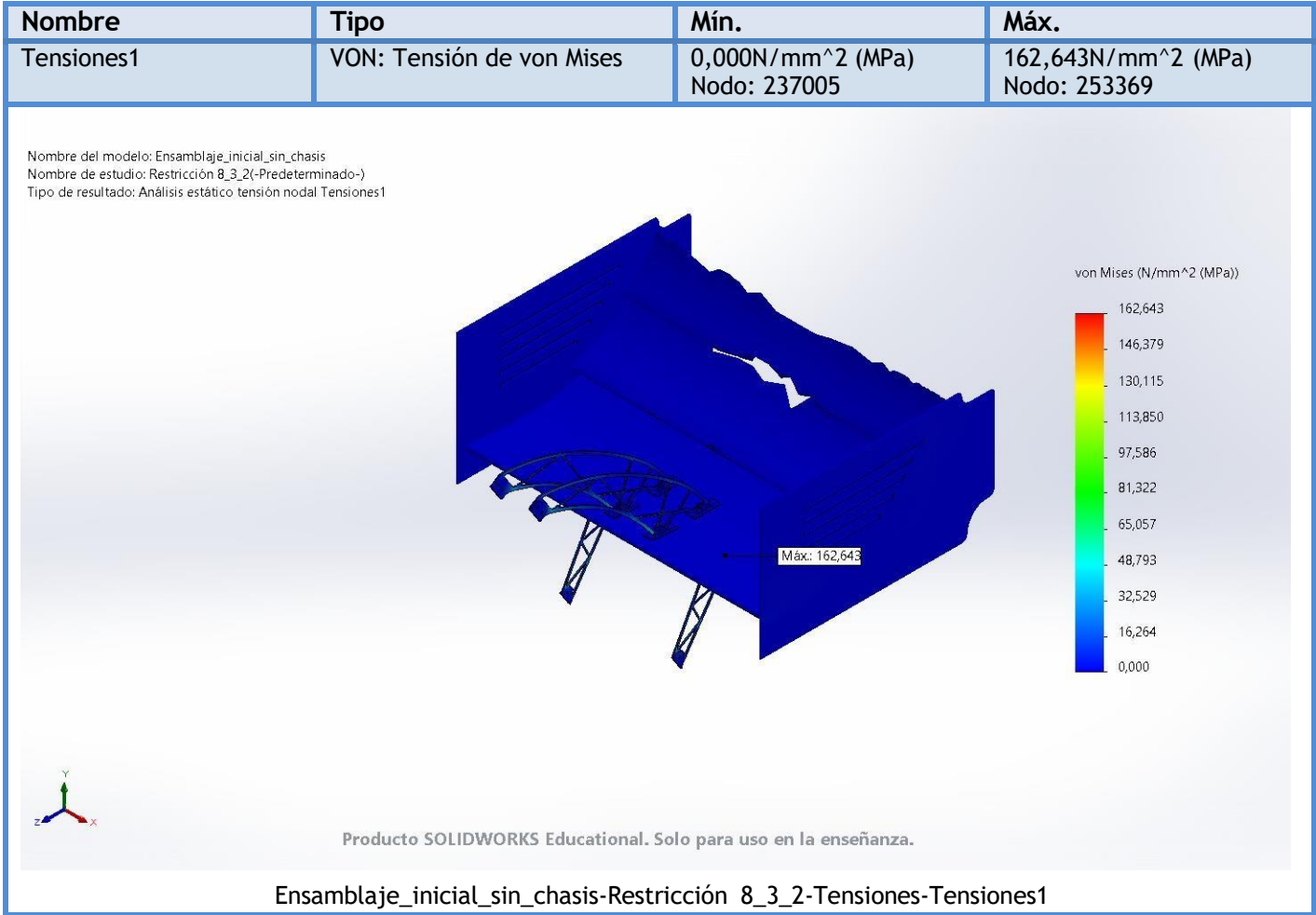
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



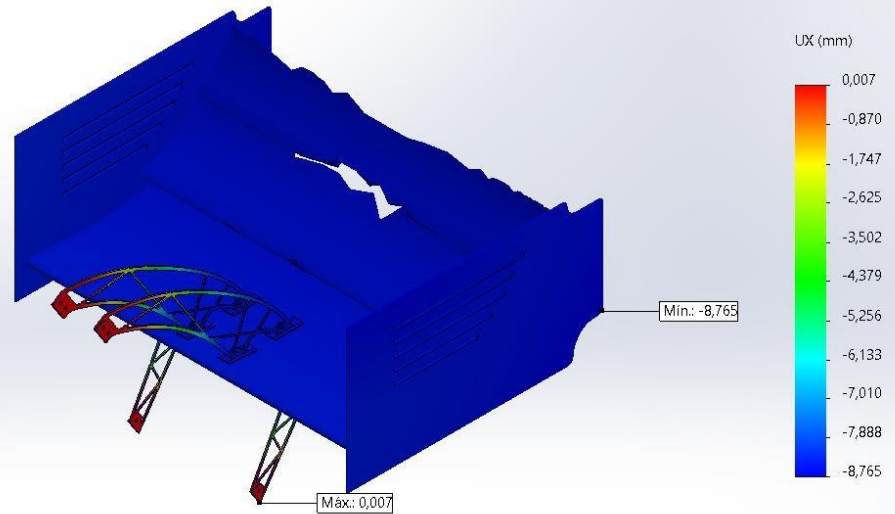
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	UX: Desplazamiento de X	-8,765mm Nodo: 29661	0,007mm Nodo: 261734



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



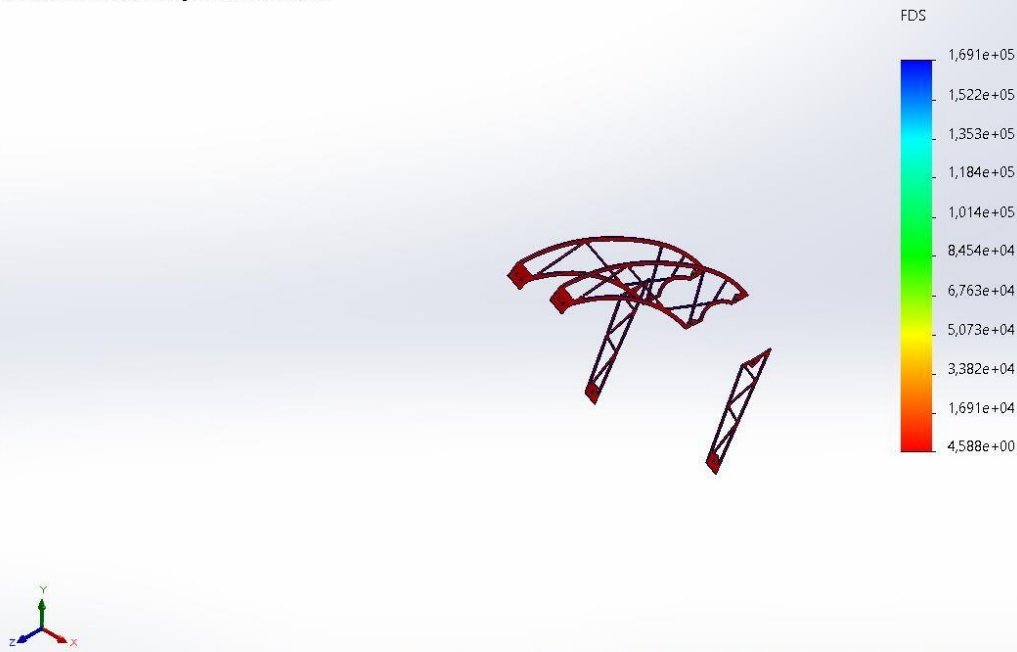
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	4,588e+00 Nodo: 258590	1,691e+05 Nodo: 266330



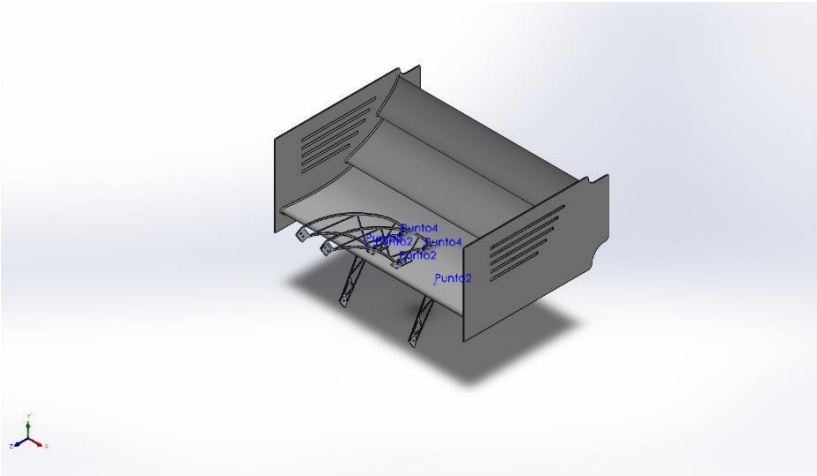
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 4,6



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_fabricacion3D

Fecha: martes, 2 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

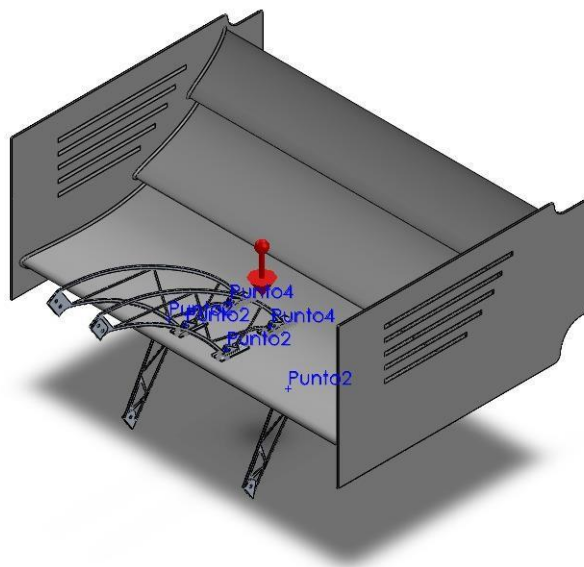
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	18
Información de interacción	22
Información de malla	23
Detalles del sensor	24
Fuerzas resultantes	25
Vigas	25
Resultados del estudio.....	26





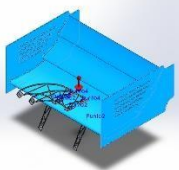
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

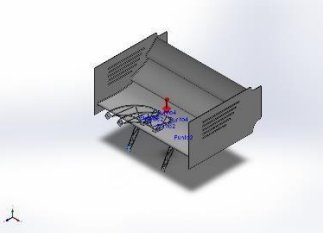
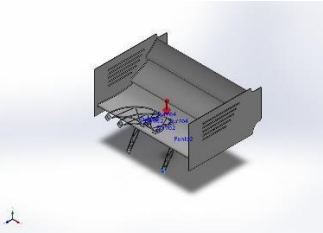
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\aleron.SLDPRT Aug 18 12:21:24 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\enganche_sopinf_chas is.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\enganche_sopinf_chas is.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

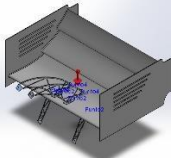
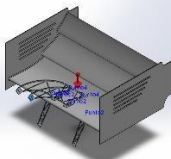
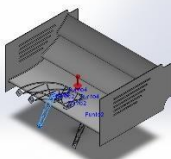


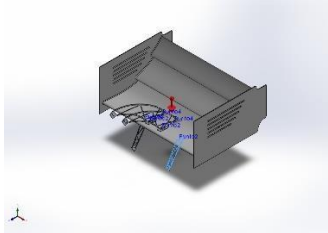
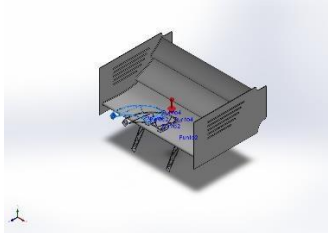
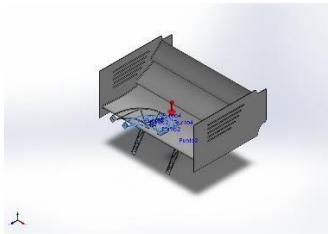
			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia



		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo20 	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\soporte_inferior_impression3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025
Redondeo20	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas

			3D\soporte_inferior_impr esion3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m ³ Densidad:2.701,19 kg/m ³ Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\soporte_superior_imp resion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m ³ Densidad:2.701,19 kg/m ³ Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\soporte_superior_imp resion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025



Propiedades de estudio

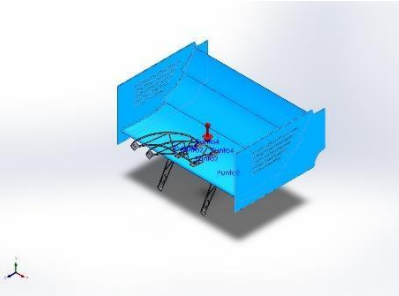
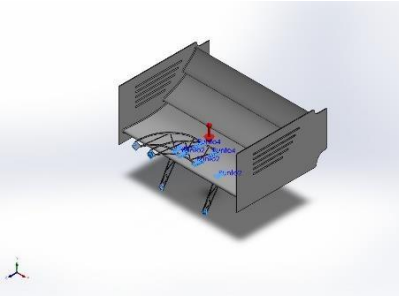
Nombre de estudio	Cargas de funcionamiento
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-4),

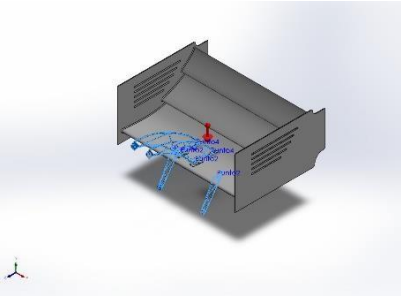


		nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-4), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-2), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-3), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-4), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-4),
--	--	--



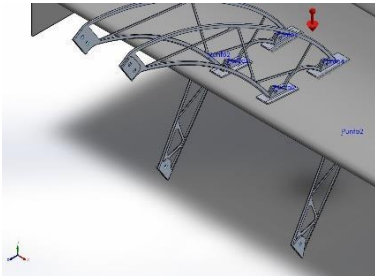
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3)
Datos de curva:N/A		

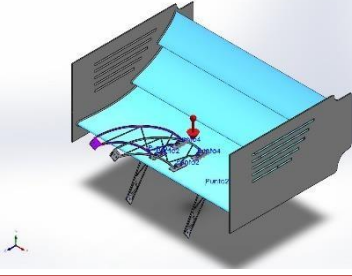
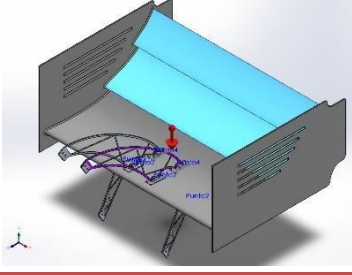


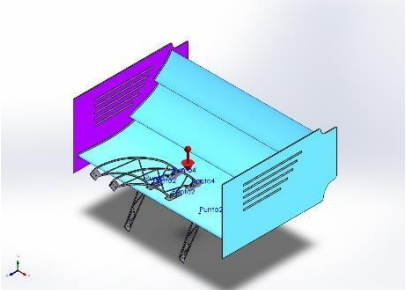
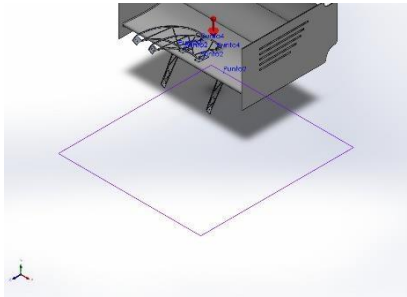
	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $2,75 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $3,1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Modulo elástico: $6,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: $2,700 \text{ kg/m}^3$ Modulo cortante: $2,6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Sólido 1 (Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-1), Sólido 1 (Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-3), Sólido 1 (Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-2), Sólido 1 (Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-3)
Datos de curva:N/A		



Cargas y sujeciones

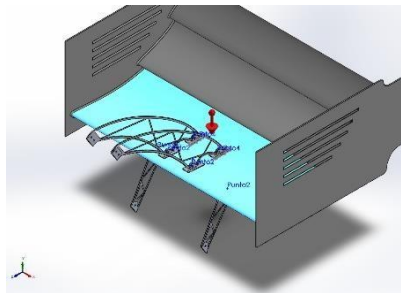
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Downforce		Entidades:	3 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; 443; --- N	
Drag		Entidades:	2 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	-172; ---; --- N	

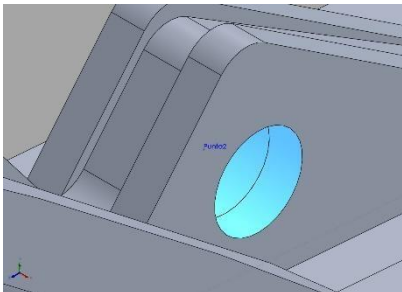
Inercia		Entidades: 6 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 66 N
Gravedad-1		Referencia: Planta Valores: 0 0 -9,81 Unidades: m/s^2



Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	8,8094	-0	-0	8,8094
Fuerza cortante (N)	0	3,2739	-7,3267	8,0249
Torsión (N.m)	0,0027928	-0	-0	0,0027928
Momento flector (N.m)	0	0,0045413	0,0062382	0,0077161

Fuerzas del conector Junta 2

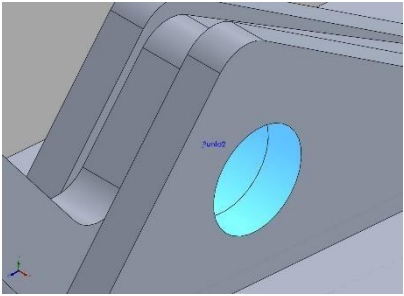
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-8,8094	0	0	-8,8094
Fuerza cortante (N)	0	-3,2739	7,3267	8,0249
Torsión (N.m)	0,0027928	-0	-0	0,0027928
Momento flector (N.m)	0	0,030044	0,017634	0,034837

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0,85712	0	0	-0,85712
Fuerza cortante (N)	0	-1,2123	3,5368	3,7388



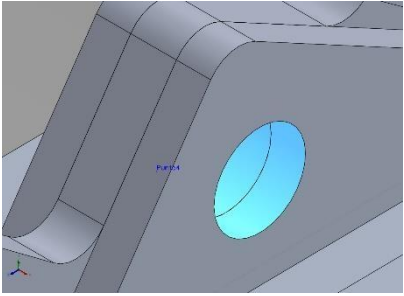
Torsión (N.m)	-0,011458	0	0	-0,011458
Momento flector (N.m)	0	-0,013245	0,0023808	0,013457

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades:	3 cara(s)	No hay datos
	Tipo:	Pasador	
	Con anillo de retención (sin traslación):	Sí	
	Con clave (sin rotación):	Sí	
	Tipo de conexión:	Unión rígida	

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	8,9695	-0	-0	8,9695
Fuerza cortante (N)	0	4,488	-4,4891	6,3477
Torsión (N.m)	0,00042111	-0	-0	0,00042111
Momento flector (N.m)	0	0,0097109	0,0035204	0,010329

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-8,9695	0	0	-8,9695
Fuerza cortante (N)	0	-4,488	4,4891	6,3477
Torsión (N.m)	0,00042111	-0	-0	0,00042111
Momento flector (N.m)	0	0,025336	0,019142	0,031755

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0,37983	0	0	-0,37983
Fuerza cortante (N)	0	-1,2217	5,1889	5,3308
Torsión (N.m)	-0,0096255	0	0	-0,0096255
Momento flector (N.m)	0	-0,014096	0,0013497	0,014161

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades:	3 cara(s)	No hay datos
	Tipo:	Pasador	
	Con anillo de retención (sin traslación):	Sí	
	Con clave (sin rotación):	Sí	
	Tipo de conexión:	Unión rígida	

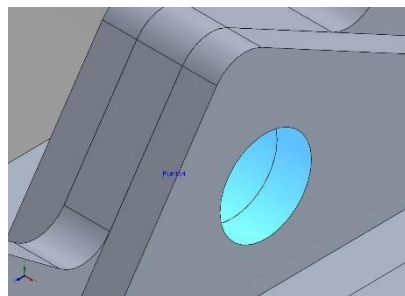
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,0339	-0	-0	4,0339
Fuerza cortante (N)	0	-3,1571	-4,875	5,8079
Torsión (N.m)	0,0010918	0	0	-0,0010918
Momento flector (N.m)	0	0,018815	0,0015522	0,018879

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,0339	-0	-0	4,0339
Fuerza cortante (N)	0	-3,1571	-4,875	5,8079
Torsión (N.m)	0,0010918	0	0	-0,0010918
Momento flector (N.m)	0	0,001846	0,012541	0,012676

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	3,6354	0	0	-3,6354
Fuerza cortante (N)	0	5,0086	-6,0731	7,872
Torsión (N.m)	-0,0033675	-0	-0	0,0033675
Momento flector (N.m)	0	-0,023819	-0,015549	0,028445



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,6246	-0	-0	4,6246
Fuerza cortante (N)	0	-3,0775	-4,5718	5,5111
Torsión (N.m)	-0,0032429	-0	-0	0,0032429
Momento flector (N.m)	0	0,021629	0,004742	0,022143

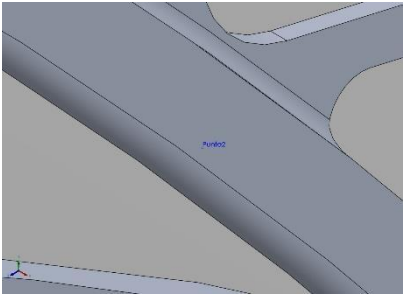
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-4,6246	-0	-0	4,6246
Fuerza cortante (N)	0	-3,0775	-4,5718	5,5111
Torsión (N.m)	-0,0032429	-0	-0	0,0032429
Momento flector (N.m)	0	0,0057162	0,015454	0,016477

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	4,578	0	0	-4,578
Fuerza cortante (N)	0	5,9147	-7,018	9,1781
Torsión (N.m)	-0,0022029	-0	-0	0,0022029
Momento flector (N.m)	0	-0,029014	-0,018255	0,03428



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	---------------------

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	20,438	0	0	-20,438
Fuerza cortante (N)	0	-0,208	-31,587	31,588
Torsión (N.m)	0,25853	0	0	-0,25853
Momento flector (N.m)	0	0,11862	0,035913	0,12394

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-31,584	-0	-0	31,584
Fuerza cortante (N)	0	17,492	-19,89	26,488
Torsión (N.m)	0,31272	0	0	-0,31272
Momento flector (N.m)	0	0,15637	0,098836	0,18498

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	31,584	0	0	-31,584
Fuerza cortante (N)	0	-17,492	19,89	26,488
Torsión (N.m)	-0,31272	-0	-0	0,31272
Momento flector (N.m)	0	-0,084993	-0,036066	0,092329

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	---------------------

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	23,098	0	0	-23,098
Fuerza cortante (N)	0	1,269	-30,965	30,991
Torsión (N.m)	0,25553	0	0	-0,25553
Momento flector (N.m)	0	0,10081	0,017647	0,10234

Fuerzas del conector Junta 2

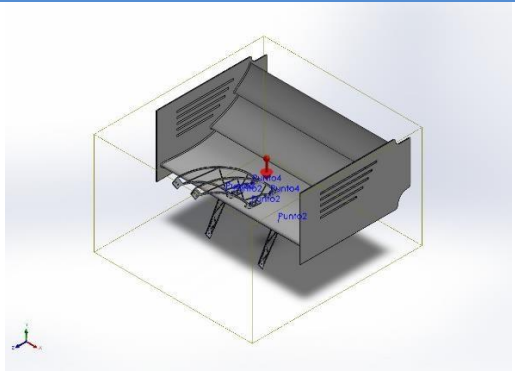
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-28,91	-0	-0	28,91



Fuerza cortante (N)	0	15,171	-20,254	25,306
Torsión (N.m)	0,29265	0	0	-0,29265
Momento flector (N.m)	0	0,142	0,057187	0,15308

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	28,91	0	0	-28,91
Fuerza cortante (N)	0	-15,171	20,254	25,306
Torsión (N.m)	-0,29265	-0	-0	0,29265
Momento flector (N.m)	0	-0,069321	-0,0027465	0,069375

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

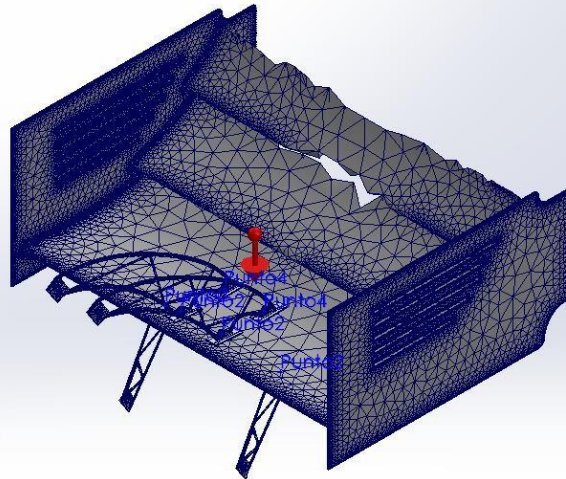
Número total de nodos	303355
Número total de elementos	159890
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,802
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:46
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	57,9929	779,218	171,934	800,066

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,162555	249,838	-0,0443943	249,838

Momentos de cuerpo libre

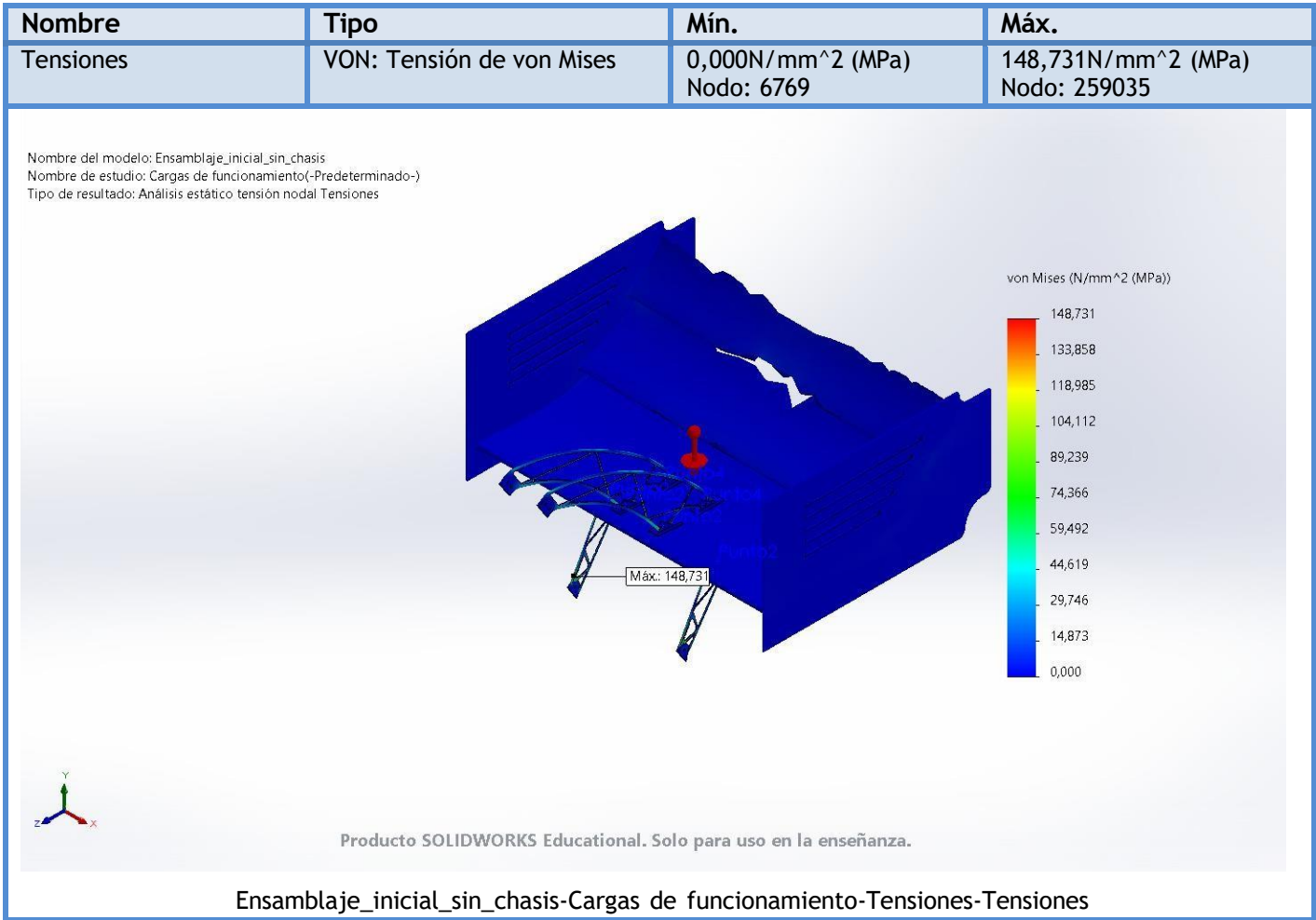
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



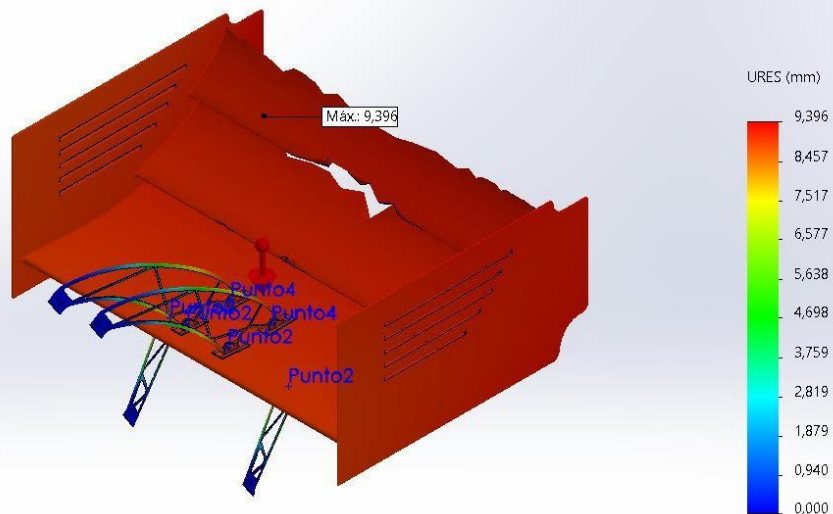
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Desplazamientos totales	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258613	9,396mm Nodo: 101139



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos totales



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Desplazamientos-Desplazamientos totales

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,849e+00 Nodo: 259035	3,263e+04 Nodo: 302626

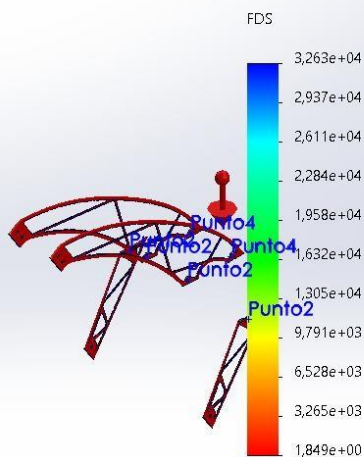


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

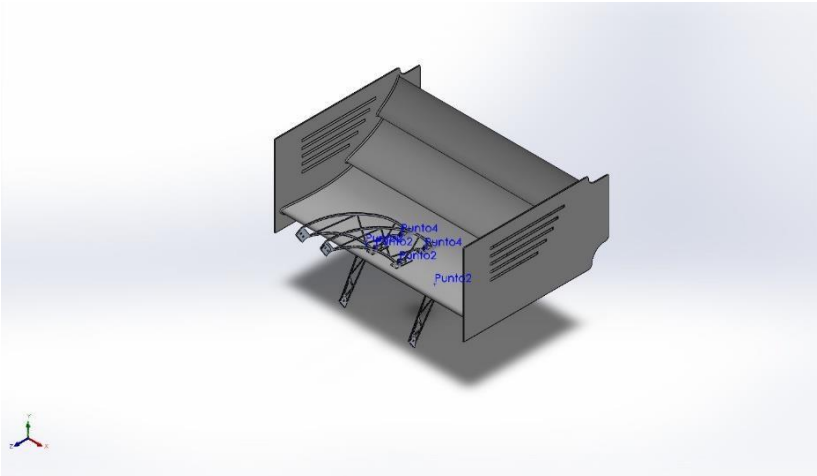
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Cargas de funcionamiento(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 1,8



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Cargas de funcionamiento-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_fabricacion3D

Fecha: martes, 26 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

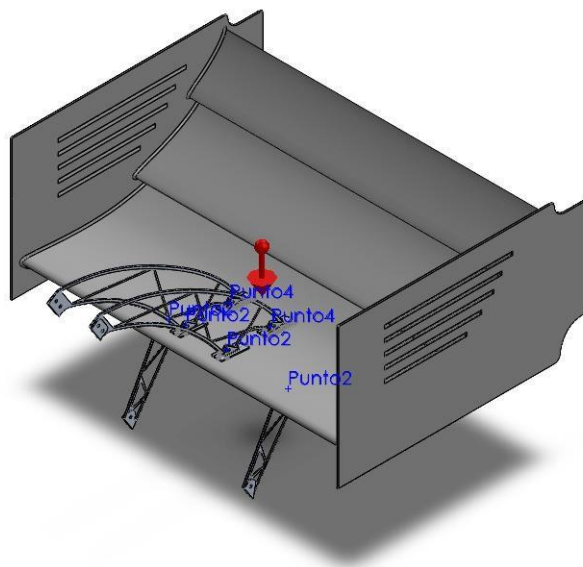
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	17
Información de interacción	21
Información de malla	22
Detalles del sensor	23
Fuerzas resultantes	24
Vigas	24
Resultados del estudio.....	25





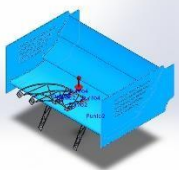
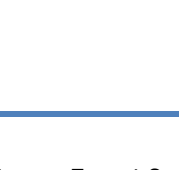
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

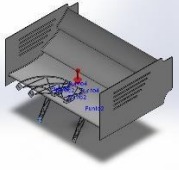
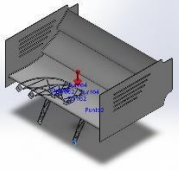
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\aleron.SLDPRT Aug 18 12:21:24 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\enganche_sopinf_chas is.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\enganche_sopinf_chas is.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

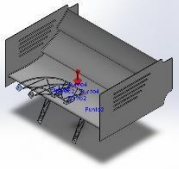
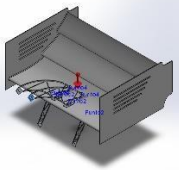
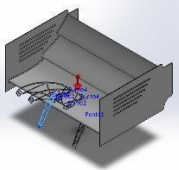


			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia

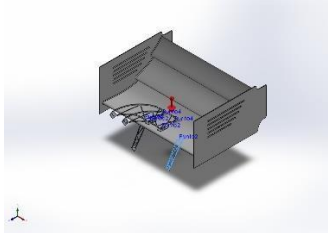
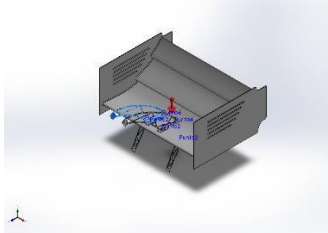
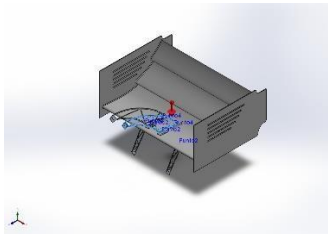


		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo20 	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\soporte_inferior_impression3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025
Redondeo20	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas



			3D\soporte_inferior_impr esion3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m ³ Densidad:2.701,19 kg/m ³ Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\soporte_superior_imp resion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m ³ Densidad:2.701,19 kg/m ³ Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\soporte_superior_imp resion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025



Propiedades de estudio

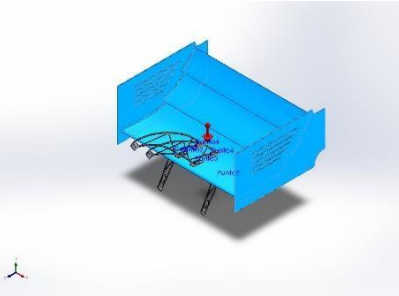
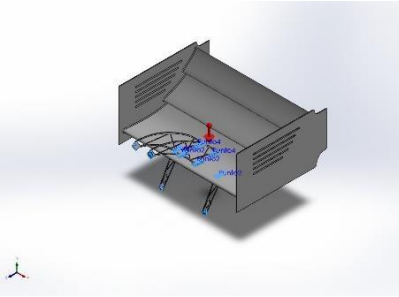
Nombre de estudio	Restricción 8_3_1
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3),

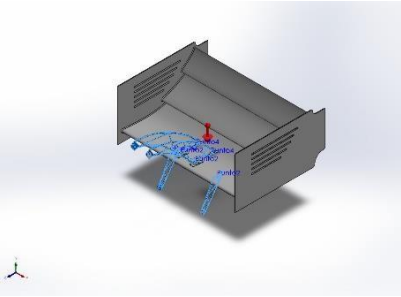


		nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-4), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-2), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-3), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-4), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-4),
--	--	--



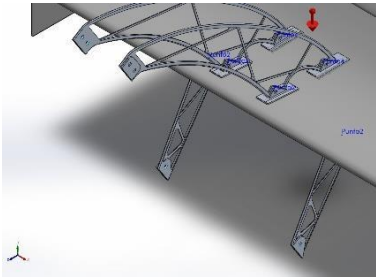
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3)
Datos de curva:N/A		

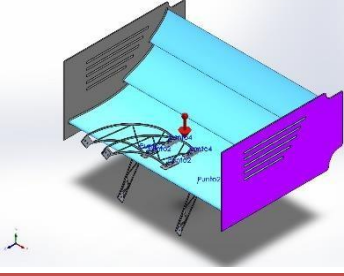
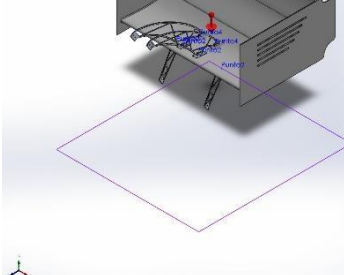


	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $2,75 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $3,1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Modulo elástico: $6,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: $2,700 \text{ kg/m}^3$ Modulo cortante: $2,6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Sólido 1 (Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-1), Sólido 1 (Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-3), Sólido 1 (Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-2), Sólido 1 (Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-3)
Datos de curva:N/A		

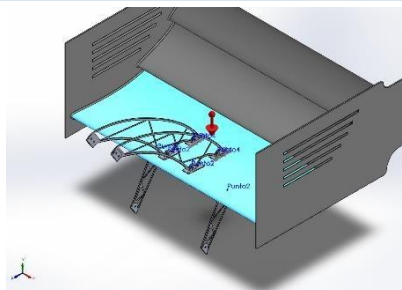


Cargas y sujeciones

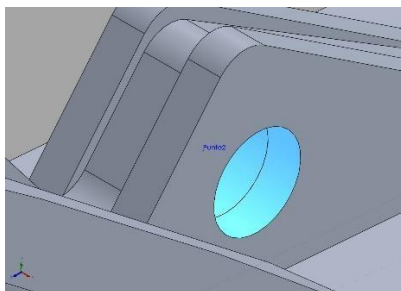
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza		Entidades:	3 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; -.200; -- - N	
Gravedad-1		Referencia:	Planta	
		Valores:	0 0 -9,81	
		Unidades:	m/s^2	

Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,555	-0	-0	1,555
Fuerza cortante (N)	0	0,70819	0,005802	0,70821
Torsión (N.m)	-0,0030929	0	0	-0,0030929
Momento flector (N.m)	0	0,0028924	-0,00042796	0,0029239

Fuerzas del conector Junta 2

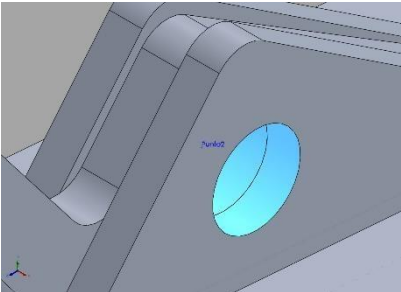
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,7849	-0	-0	1,7849
Fuerza cortante (N)	0	-0,73954	0,0097241	0,73961
Torsión (N.m)	0,0028644	-0	-0	0,0028644
Momento flector (N.m)	0	0,0034866	0,0022429	0,0041457

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,7849	0	0	-1,7849
Fuerza cortante (N)	0	0,73954	-0,0097241	0,73961



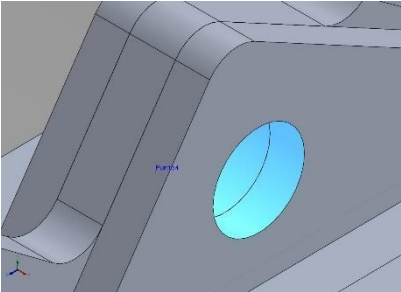
Torsión (N.m)	-0,0028644	0	0	-0,0028644
Momento flector (N.m)	0	-0,0034524	0,00035976	0,0034711

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,6149	-0	-0	1,6149
Fuerza cortante (N)	0	0,79487	-0,014361	0,795
Torsión (N.m)	-0,0031135	0	0	-0,0031135
Momento flector (N.m)	0	0,0033719	-0,00058413	0,0034221

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,6149	-0	-0	1,6149
Fuerza cortante (N)	0	0,79487	-0,014361	0,795
Torsión (N.m)	-0,0031135	0	0	-0,0031135
Momento flector (N.m)	0	0,0034218	0,0021826	0,0040587

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,5793	0	0	-1,5793
Fuerza cortante (N)	0	0,6961	-0,020854	0,69641
Torsión (N.m)	-0,0025391	0	0	-0,0025391
Momento flector (N.m)	0	-0,0031966	0,00050635	0,0032364

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

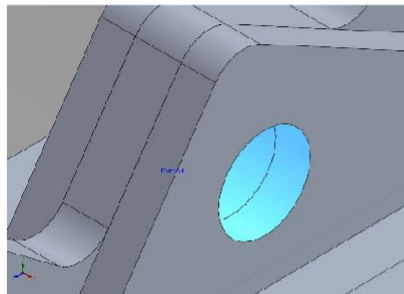
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,4391	-0	-0	1,4391
Fuerza cortante (N)	0	0,4136	-2,7912	2,8216
Torsión (N.m)	-9,2027e-06	-0	-0	9,2027e-06
Momento flector (N.m)	0	0,012782	0,0045051	0,013553

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,4391	-0	-0	1,4391
Fuerza cortante (N)	0	0,4136	-2,7912	2,8216
Torsión (N.m)	9,2027e-06	0	0	-9,2027e-06
Momento flector (N.m)	0	-0,0030669	-0,0030654	0,0043362

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,3159	0	0	-1,3159
Fuerza cortante (N)	0	0,55471	-2,6537	2,711
Torsión (N.m)	0,00025484	0	0	-0,00025484
Momento flector (N.m)	0	-0,011324	-0,0054455	0,012566



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,6297	-0	-0	1,6297
Fuerza cortante (N)	0	0,44573	-2,3426	2,3846
Torsión (N.m)	-0,0019184	-0	-0	0,0019184
Momento flector (N.m)	0	0,011347	0,0045908	0,01224

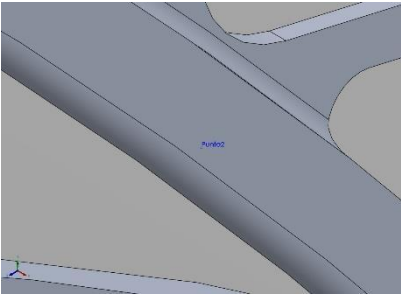
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-1,6297	-0	-0	1,6297
Fuerza cortante (N)	0	0,44573	-2,3426	2,3846
Torsión (N.m)	0,0019184	0	0	-0,0019184
Momento flector (N.m)	0	-0,0031928	-0,0030393	0,0044081

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,6459	0	0	-1,6459
Fuerza cortante (N)	0	0,76663	-2,6702	2,7781
Torsión (N.m)	0,00041522	0	0	-0,00041522
Momento flector (N.m)	0	-0,011132	-0,0056728	0,012494



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
Pasador sopinf derecho		

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-5,3406	-0	-0	5,3406
Fuerza cortante (N)	0	-4,0894	-2,1827	4,6355
Torsión (N.m)	-0,014624	-0	-0	0,014624
Momento flector (N.m)	0	0,039223	0,016599	0,042591

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-6,694	-0	-0	6,694
Fuerza cortante (N)	0	4,9713	5,1973	7,1921
Torsión (N.m)	0,036993	0	0	-0,036993
Momento flector (N.m)	0	0,026972	0,033955	0,043364

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	6,694	0	0	-6,694
Fuerza cortante (N)	0	-4,9713	-5,1973	7,1921
Torsión (N.m)	-0,036993	-0	-0	0,036993
Momento flector (N.m)	0	-0,045622	-0,016116	0,048385

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
Pasador sopinf izquierdo		

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-5,223	-0	-0	5,223
Fuerza cortante (N)	0	-4,46	-2,7358	5,2323
Torsión (N.m)	-0,014885	-0	-0	0,014885
Momento flector (N.m)	0	0,040073	0,016237	0,043238

Fuerzas del conector Junta 2

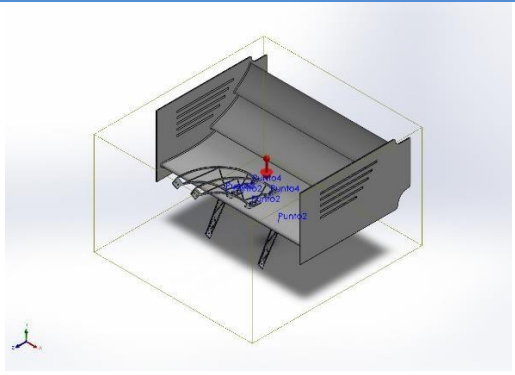
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-6,4888	-0	-0	6,4888



Fuerza cortante (N)	0	5,0996	5,4673	7,4765
Torsión (N.m)	0,036524	0	0	-0,036524
Momento flector (N.m)	0	0,027162	0,03457	0,043965

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	6,4888	0	0	-6,4888
Fuerza cortante (N)	0	-5,0996	-5,4673	7,4765
Torsión (N.m)	-0,036524	-0	-0	0,036524
Momento flector (N.m)	0	-0,046781	-0,016271	0,04953

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

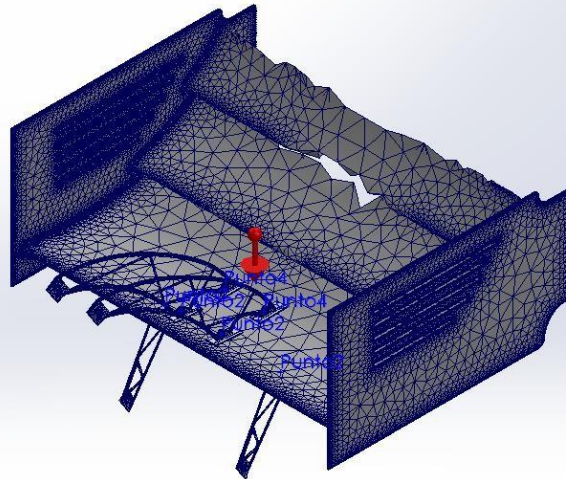
Número total de nodos	303355
Número total de elementos	159890
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,802
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:42
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00263631	536,219	-0,0559483	536,219

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0281293	249,62	-0,002882	249,62

Momentos de cuerpo libre

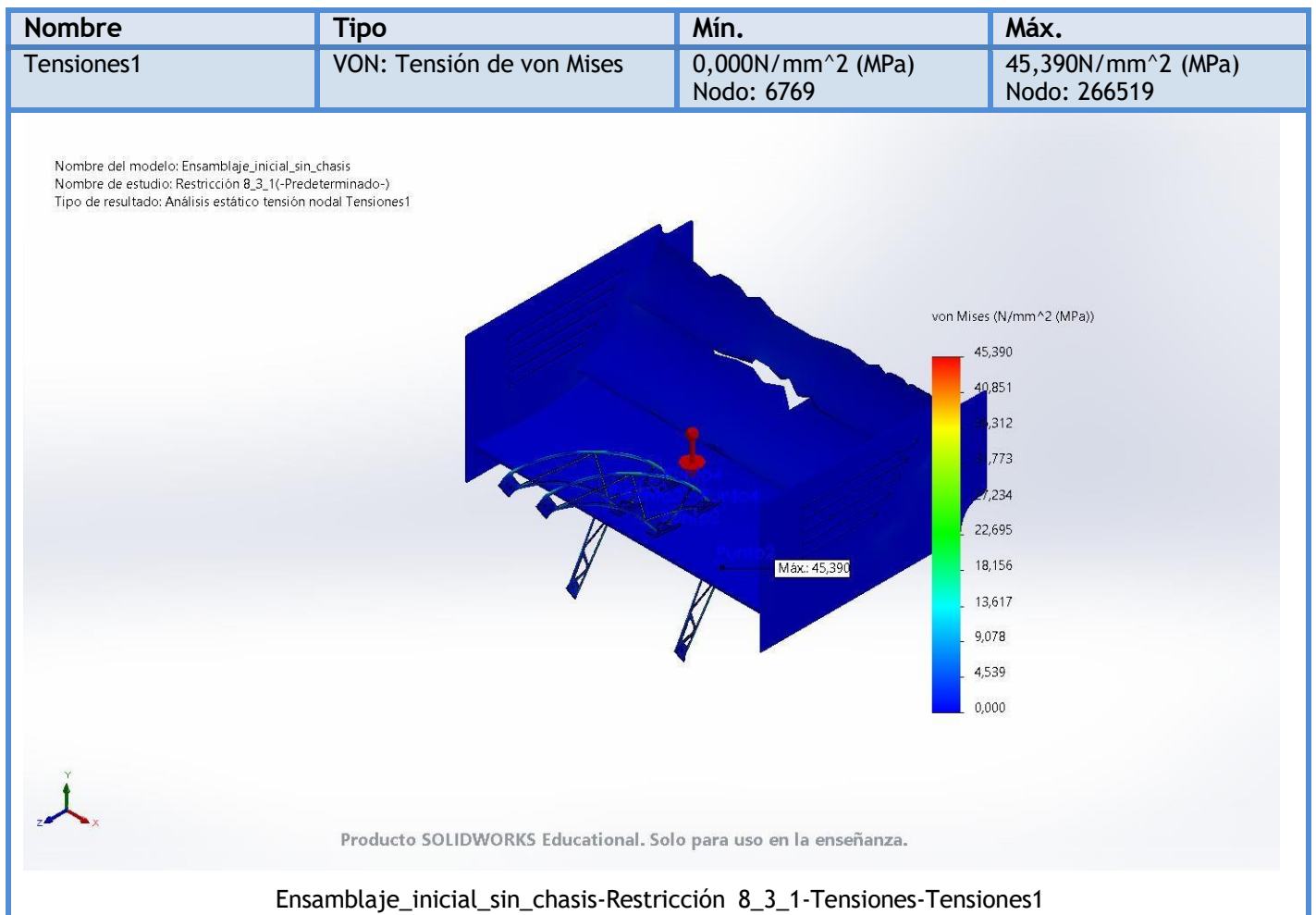
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



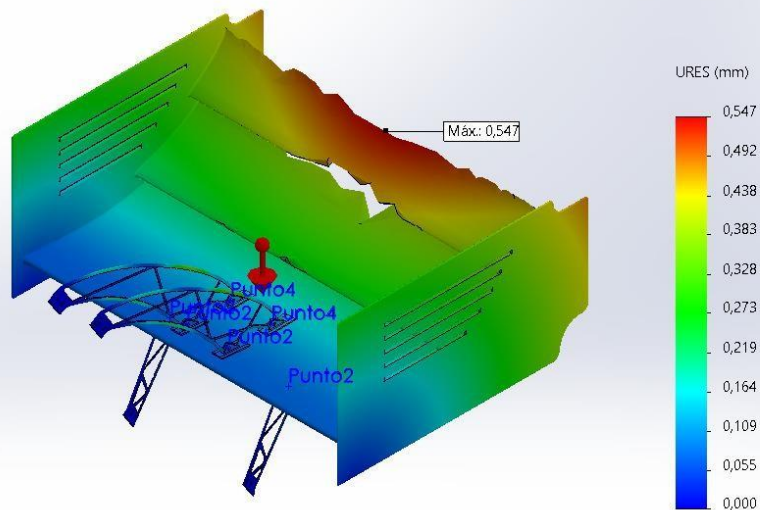
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 258613	0,547mm Nodo: 89205



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



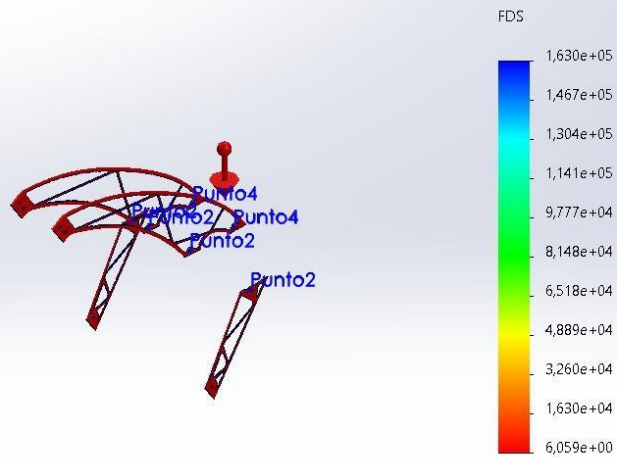
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	6,059e+00 Nodo: 266519	1,630e+05 Nodo: 295307



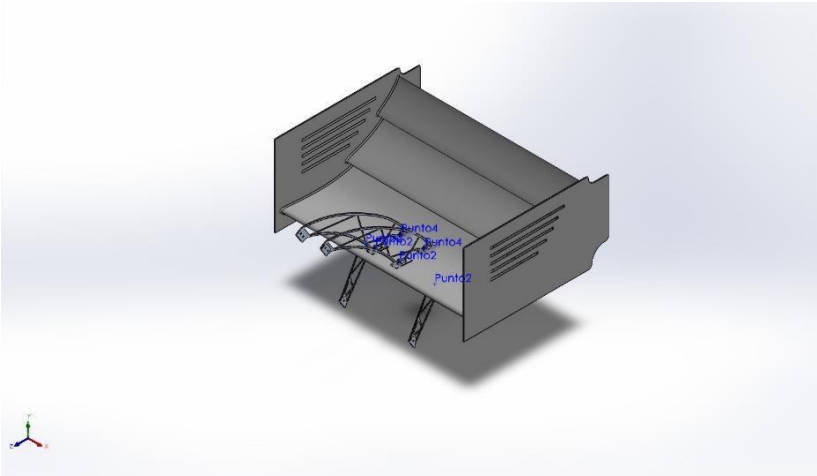
Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_1(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 6,1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1





Simulación de Ensamblaje_fabricacion3D

Fecha: martes, 26 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

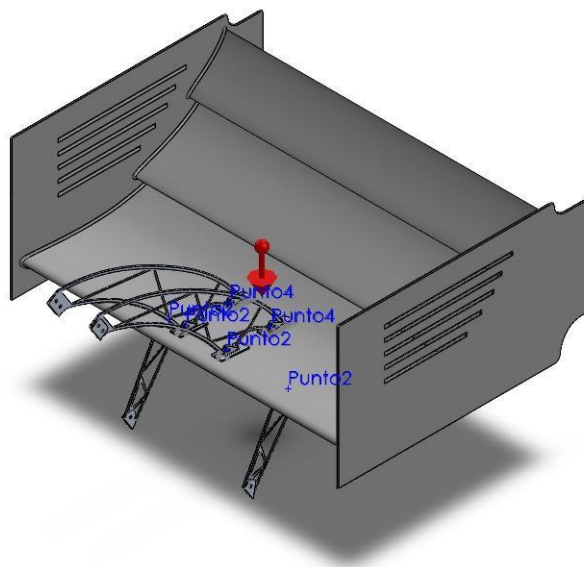
Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	11
Unidades.....	11
Propiedades de material	12
Cargas y sujeciones	16
Definiciones de conector	17
Información de interacción	21
Información de malla	22
Detalles del sensor	23
Fuerzas resultantes	24
Vigas	24
Resultados del estudio.....	25





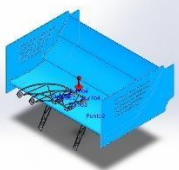
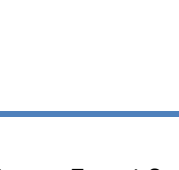
Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

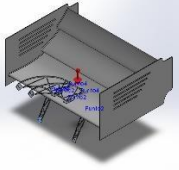
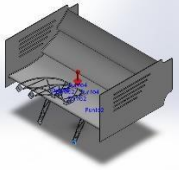
Sólidos

Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo7 	Sólido	Masa:33,9471 kg Volumen:0,0219018 m ³ Densidad:1.549,97 kg/m ³ Peso:332,681 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\aleron.SLDPRT Aug 18 12:21:24 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debajo\base_enganche_af_x_debajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025



			REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Cortar-Extruir2	Sólido	Masa:0,0179712 kg Volumen:6,3955e-06 m ³ Densidad:2.809,98 kg/m ³ Peso:0,176118 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\base_enganche_af_x_d ebajo.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025



Redondeo1	Sólido	Masa:0,00400348 kg Volumen:1,42473e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0392341 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_x_debaj o\triangulo_enganche_af_ x_debajo.SLDPRT Aug 6 20:21:49 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\PI ezas rediseñadas 3D\enganche_sopinf_chas is.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,00797665 kg Volumen:2,83866e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0781711 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\PI ezas rediseñadas 3D\enganche_sopinf_chas is.SLDPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri

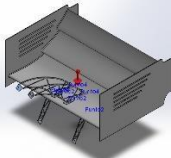
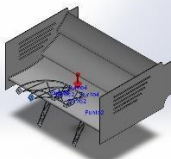
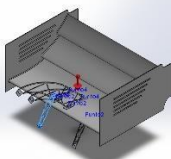


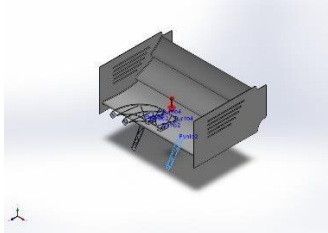
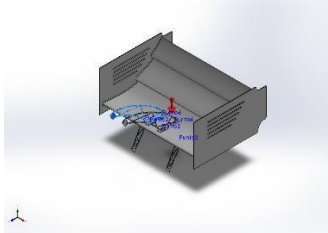
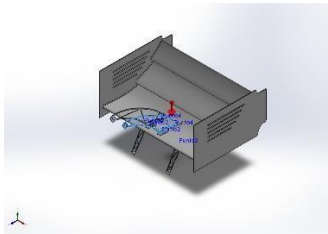
			angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179137 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\ba se_enganche_af_front.SL DPRT Jul 30 12:30:14 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICA\ICA\ cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_front\tri angulo_enganche_af_fron t.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia



		Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\tria ngulo_enganche_af_behi nd.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas e_enganche_af_behind.S LDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Saliente-Extruir1	Sólido	Masa:0,0179138 kg Volumen:6,375e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,175555 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\EN GANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\bas



			e_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 6 23:15:04 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Redondeo1	Sólido	Masa:0,00377846 kg Volumen:1,34465e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,0370289 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\ENGANCHE REAR\ENGANCHES AF\enganche_af_back\triangulo_enganche_af_behind.SLDPRT Aug 2 13:29:20 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Cortar-Extruir1 	Sólido	Masa:0,0122787 kg Volumen:4,36965e-06 m ³ Densidad:2.810 kg/m ³ Peso:0,120331 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\enganche_sopsup_chasis.SLDPRT Aug 3 13:52:46 2025
Redondeo20 	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\soporte_inferior_impression3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025
Redondeo20	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m ³ Densidad:2.700 kg/m ³ Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas

			3D\soporte_inferior_impr esion3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m ³ Densidad:2.701,19 kg/m ³ Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\soporte_superior_imp resion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m ³ Densidad:2.701,19 kg/m ³ Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Pi ezas rediseñadas 3D\soporte_superior_imp resion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025



Propiedades de estudio

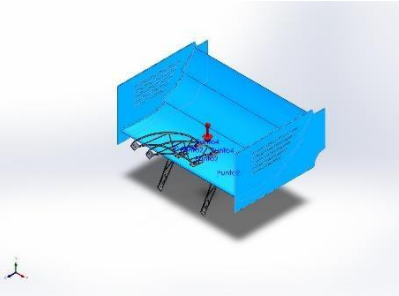
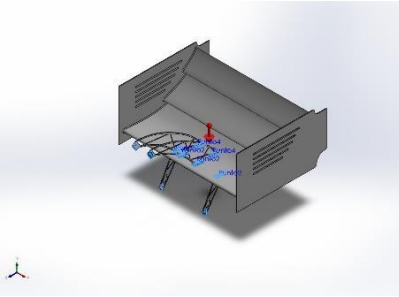
Nombre de estudio	Restricción 8_3_2
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla sólida
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	Automático
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

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



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1 Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $6e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de compresión: $8e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $6e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,3 Densidad: 1.550 kg/m^3 Módulo cortante: $2,3e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2e-06 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo7)(aleron-1)
Datos de curva:N/A		
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05e+08 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7e+08 \text{ N/m}^2$ Módulo elástico: $7,2e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo cortante: $2,69e+10 \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4e-05 / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-2/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-2/triangulo_enganche_af_x_debajo-4), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-2), Sólido 1(Cortar-Extruir2)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopinf_aleron-4/base_enganche_af_x_debajo-4),

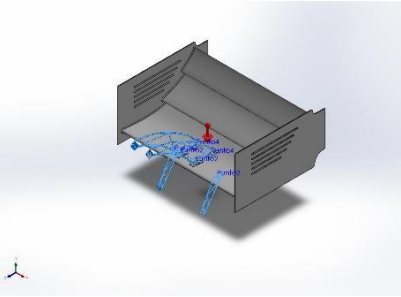


		nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sopi nf_aleron- 4/triangulo_enganche_af_x_ debajo-4), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-2), Sólido 1(Cortar- Extruir2)(enganche_sopin_f_c hasis-3), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 2/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 2/triangulo_enganche_af_fro nt-4), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 2), Sólido 1(Saliente- Extruir1)(enganche_sopsup_a leron_delante- 3/base_enganche_af_front- 3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sops up_aleron_delante- 3/triangulo_enganche_af_fro nt-4),
--	--	--



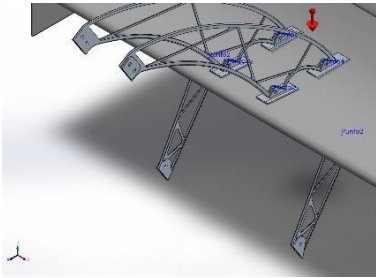
		Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-2/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/base_enganche_af_behind-2), Sólido 1(Saliente-Extruir1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/base_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/triangulo_enganche_af_behind-3), Sólido 1(Redondeo1)(enganche_sop sup_aleron_detr as-3/triangulo_enganche_af_behind-4), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-2), Sólido 1(Cortar-Extruir1)(enganche_sop sup_chasis-3)
Datos de curva:N/A		

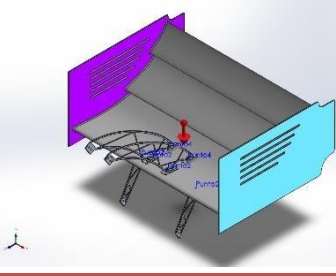
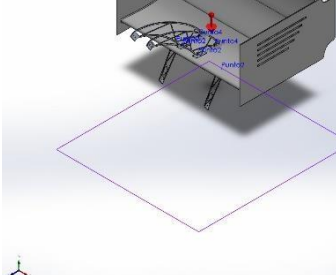


	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $2,75 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $3,1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Modulo elástico: $6,9 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de Poisson: 0,33 Densidad: $2,700 \text{ kg/m}^3$ Modulo cortante: $2,6 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coefficiente de dilatación térmica: $2,4 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Sólido 1 (Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-1), Sólido 1 (Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-3), Sólido 1 (Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-2), Sólido 1 (Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-3)
Datos de curva:N/A		

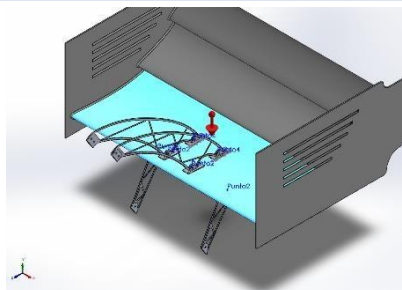


Cargas y sujeciones

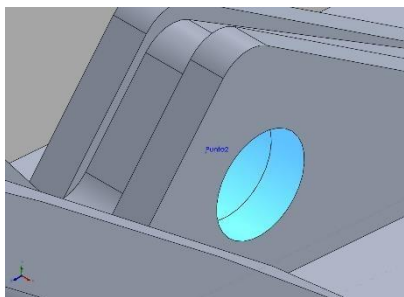
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción				
Fijo-1		Entidades:	6 cara(s)			
		Tipo:	Geometría fija			
Fuerzas resultantes						

Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza		Entidades:	1 cara(s)	
		Referencia:	Cara< 1 >	
		Tipo:	Aplicar fuerza	
		Valores:	---; ---; 50 N	
Gravedad-1		Referencia:	Planta	
		Valores:	0 0 -9,81	
		Unidades:	m/s^2	

Definiciones de conector

Nombre de conector	Detalles del conector	Imagen del conector
Unión alerón enganches	Entidades: 13 cara(s) Tipo: Unión rígida	 Unión alerón enganches

Conector de pasador/perno/rodamiento

Referencia de modelo	Detalles del conector	Detalles de resistencia
 Pasador sopsup derecho delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	5,3354	-0	-0	5,3354
Fuerza cortante (N)	0	1,8365	-5,2035	5,5181
Torsión (N.m)	0,0055835	-0	-0	0,0055835
Momento flector (N.m)	0	0,0015833	0,0049688	0,005215

Fuerzas del conector Junta 2

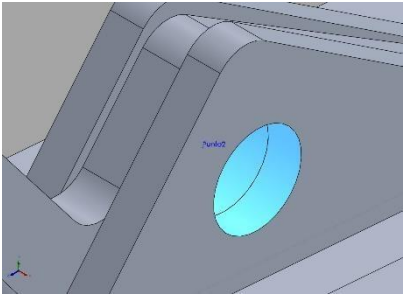
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-5,3354	0	0	-5,3354
Fuerza cortante (N)	0	-1,8365	5,2035	5,5181
Torsión (N.m)	0,0055835	-0	-0	0,0055835
Momento flector (N.m)	0	0,019695	0,011361	0,022737

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,0371	-0	-0	1,0371
Fuerza cortante (N)	0	-1,6622	3,0727	3,4935



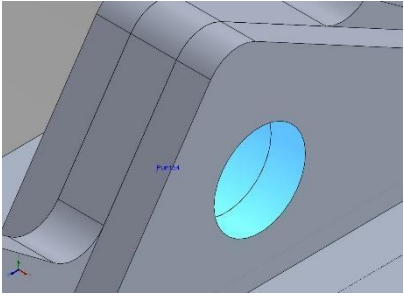
Torsión (N.m)	-0,0055195	0	0	-0,0055195
Momento flector (N.m)	0	-0,0073731	0,0016029	0,0075453

 Pasador sopsup izquierdo delantero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	5,3	-0	-0	5,3
Fuerza cortante (N)	0	2,6409	-2,9416	3,9532
Torsión (N.m)	0,003845	-0	-0	0,003845
Momento flector (N.m)	0	0,0050017	0,0031076	0,0058884

Fuerzas del conector Junta 2				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	5,3	-0	-0	5,3
Fuerza cortante (N)	0	2,6409	-2,9416	3,9532
Torsión (N.m)	0,003845	-0	-0	0,003845
Momento flector (N.m)	0	0,015241	0,0123	0,019585

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	1,2499	-0	-0	1,2499
Fuerza cortante (N)	0	-1,5912	4,2688	4,5557
Torsión (N.m)	-0,0045073	0	0	-0,0045073
Momento flector (N.m)	0	-0,0080231	0,00076252	0,0080593

 Pasador sopsup derecho trasero	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	---	--------------

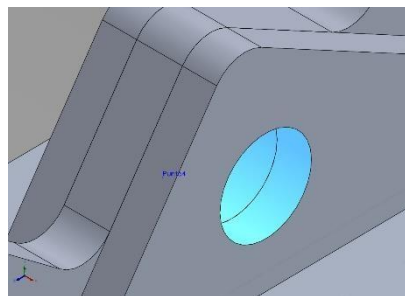
Fuerzas del conector Junta 1				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0,27237	-0	-0	0,27237
Fuerza cortante (N)	0	-2,953	-0,43434	2,9848
Torsión (N.m)	0,0021363	0	0	-0,0021363
Momento flector (N.m)	0	0,002096	-0,0035243	0,0041005

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0,27237	-0	-0	0,27237
Fuerza cortante (N)	0	-2,953	-0,43434	2,9848
Torsión (N.m)	0,0021363	0	0	-0,0021363
Momento flector (N.m)	0	0,00058421	0,0067546	0,0067798

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	0,14059	0	0	-0,14059
Fuerza cortante (N)	0	3,2192	-1,7202	3,65
Torsión (N.m)	-0,00161	-0	-0	0,00161
Momento flector (N.m)	0	-0,0077182	-0,0062844	0,0099532



Pasador sopsup izquierdo trasero

Entidades: 3 cara(s)
 Tipo: Pasador
 Con anillo de retención (sin traslación): Sí
 Con clave (sin rotación): Sí
 Tipo de conexión: Unión rígida

No hay datos

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0,54989	-0	-0	0,54989
Fuerza cortante (N)	0	-2,9689	-0,69744	3,0497
Torsión (N.m)	0,00067911	0	0	-0,00067911
Momento flector (N.m)	0	0,0051609	-0,0015458	0,0053874

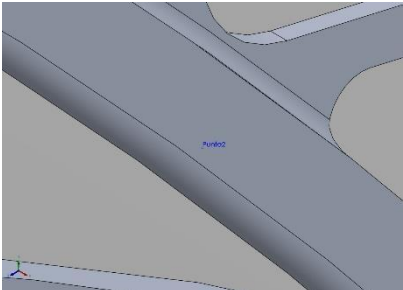
Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-0,54989	-0	-0	0,54989
Fuerza cortante (N)	0	-2,9689	-0,69744	3,0497
Torsión (N.m)	0,00067911	0	0	-0,00067911
Momento flector (N.m)	0	0,0027333	0,0087883	0,0092035

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	0,54365	0	0	-0,54365
Fuerza cortante (N)	0	3,4905	-2,187	4,1191
Torsión (N.m)	-0,0010583	-0	-0	0,0010583
Momento flector (N.m)	0	-0,010767	-0,0075376	0,013143



	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Fuerzas del conector Junta 1

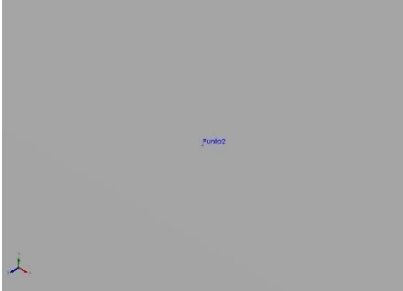
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	17,379	0	0	-17,379
Fuerza cortante (N)	0	1,5333	-23,056	23,107
Torsión (N.m)	0,20226	0	0	-0,20226
Momento flector (N.m)	0	0,074285	0,016204	0,076031

Fuerzas del conector Junta 2

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-21,44	-0	-0	21,44
Fuerza cortante (N)	0	11,313	-17,522	20,857
Torsión (N.m)	0,22173	0	0	-0,22173
Momento flector (N.m)	0	0,10868	0,057238	0,12283

Fuerzas del conector Junta 3

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	21,44	0	0	-21,44
Fuerza cortante (N)	0	-11,313	17,522	20,857
Torsión (N.m)	-0,22173	-0	-0	0,22173
Momento flector (N.m)	0	-0,045805	-0,016644	0,048735

	Entidades: 3 cara(s) Tipo: Pasador Con anillo de retención (sin traslación): Sí Con clave (sin rotación): Sí Tipo de conexión: Unión rígida	No hay datos
---	--	--------------

Fuerzas del conector Junta 1

Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	19,373	0	0	-19,373
Fuerza cortante (N)	0	2,9072	-22,197	22,386
Torsión (N.m)	0,20069	0	0	-0,20069
Momento flector (N.m)	0	0,059242	0,0046878	0,059428

Fuerzas del conector Junta 2

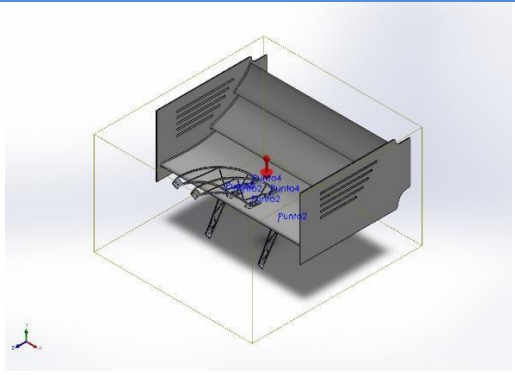
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	-19,442	-0	-0	19,442



Fuerza cortante (N)	0	9,4758	-18,043	20,38
Torsión (N.m)	0,20554	0	0	-0,20554
Momento flector (N.m)	0	0,096838	0,027221	0,10059

Fuerzas del conector Junta 3				
Tipo	Componente X	Componente Y	Componente Z	Resultante
Fuerza axial (N)	19,442	0	0	-19,442
Fuerza cortante (N)	0	-9,4758	18,043	20,38
Torsión (N.m)	-0,20554	-0	-0	0,20554
Momento flector (N.m)	0	-0,032092	0,006782	0,032801

Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente

Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	70,7518 mm
Tamaño mínimo del elemento	3,53759 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

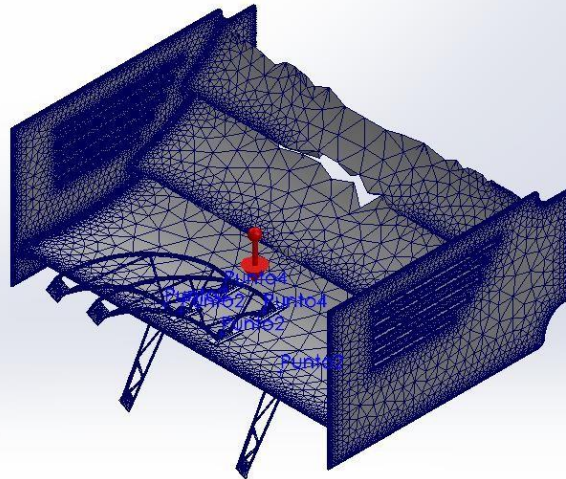
Número total de nodos	303355
Número total de elementos	159890
Cociente máximo de aspecto	87,984
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	87,3
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,802
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:43
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	43,9378	336,221	-0,0319366	339,079

Momentos de reacción

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

Fuerzas de cuerpo libre

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,0397639	249,493	-0,0211815	249,493

Momentos de cuerpo libre

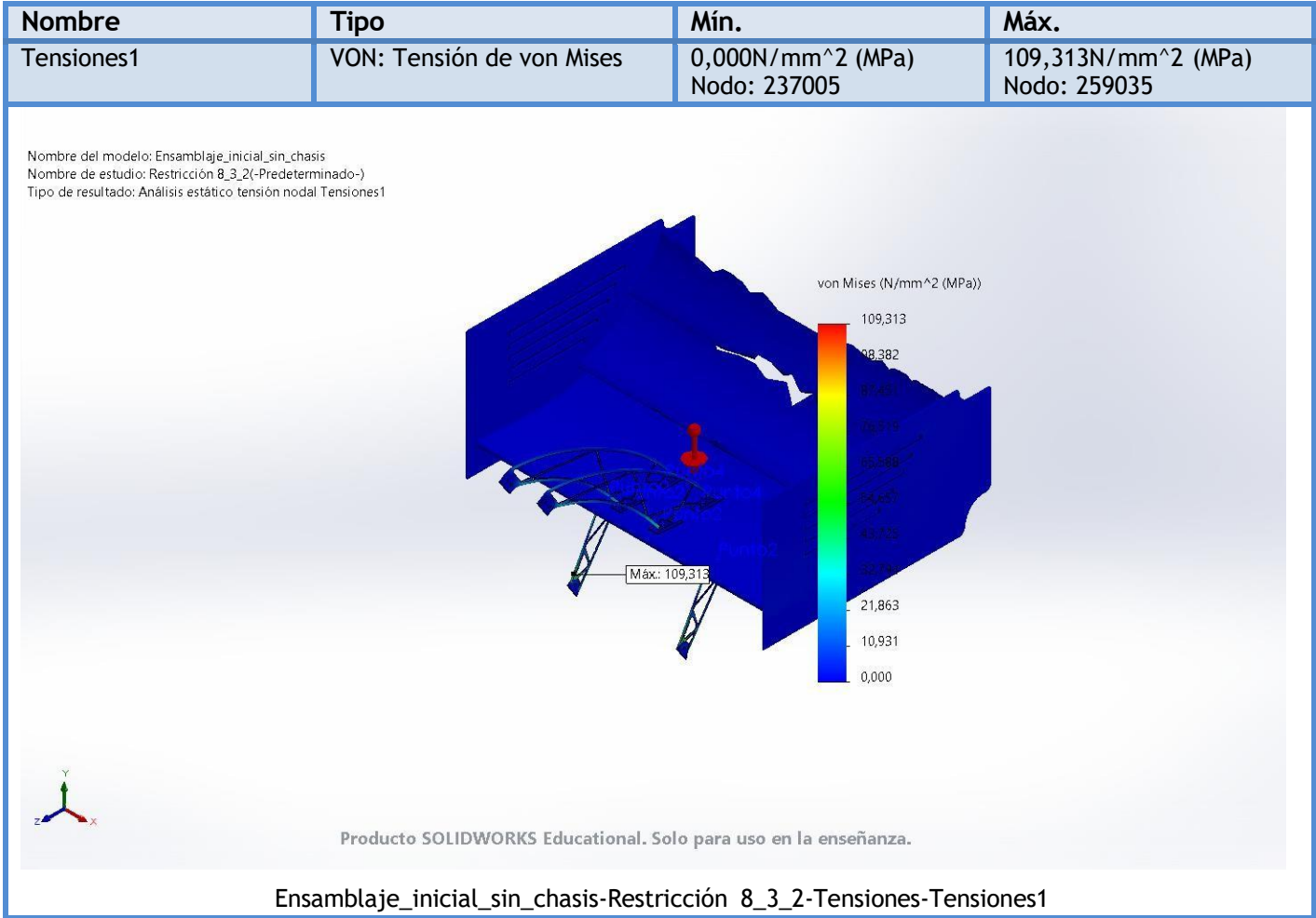
Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	0	0	0	1e-33

Vigas

No hay datos



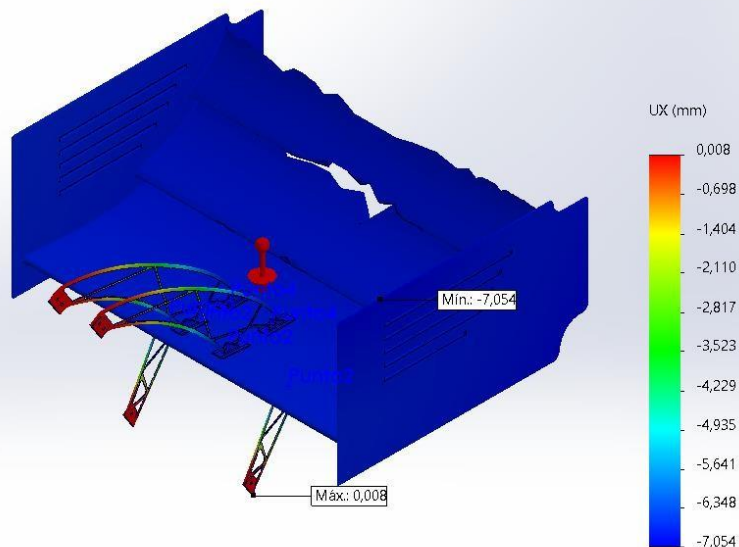
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	UX: Desplazamiento de X	-7,054mm Nodo: 221740	0,008mm Nodo: 254125



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Restricción 8_3_2(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	2,516e+00 Nodo: 259035	5,320e+04 Nodo: 300553

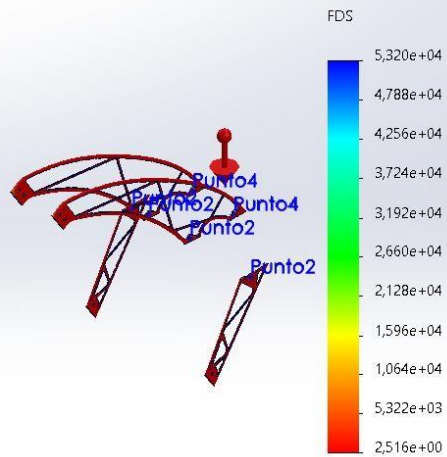


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Restricción 8_3_2{-Predeterminado-}
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,5



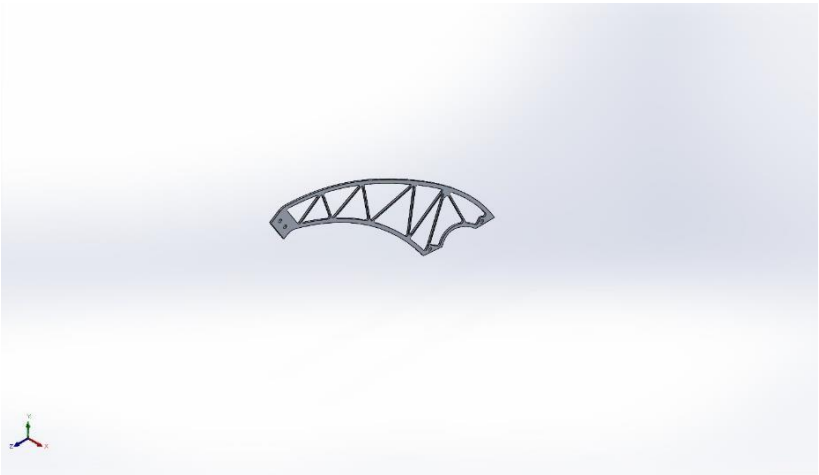
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Restricción 8_3_2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1



Anexo III: Informes de estudios de frecuencia





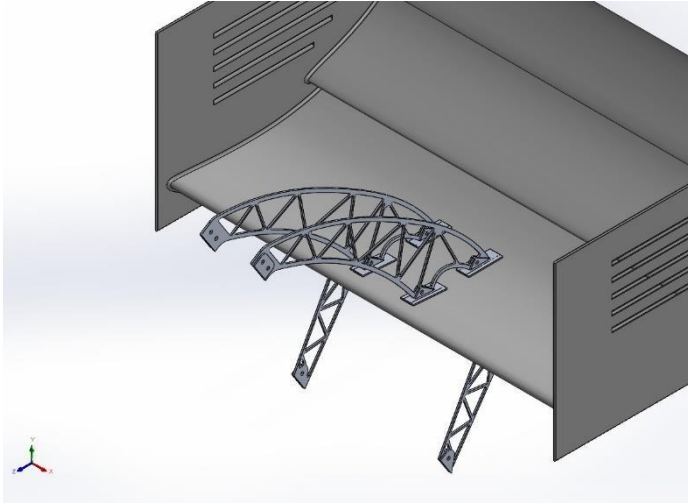
Simulación de Ensamblaje_inicial

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior
Tipo de análisis: Frecuencia

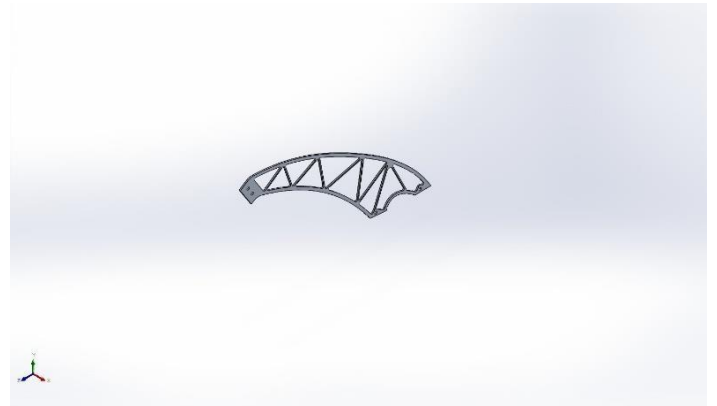
Tabla de contenidos

Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	4
Unidades.....	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Definiciones de conector	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	8
Resultados del estudio.....	9





Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo5 	Sólido	Masa:0,179011 kg Volumen:6,3692e-05 m^3 Densidad:2.810,58 kg/m^3 Peso:1,75431 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_superior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:30 2025



Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Estudio de frecuencia soporte superior
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	5
Desacople los modos de sólido libre mixto	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

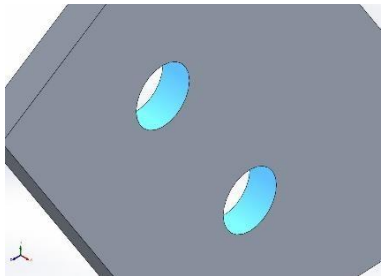
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 5,05e+08 N/m² Límite de tracción: 5,7e+08 N/m² Densidad: 2.810 kg/m³ Módulo elástico: 7,2e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin	Sólido 1(Redondeo5)(soporte_superior_inicial-2)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

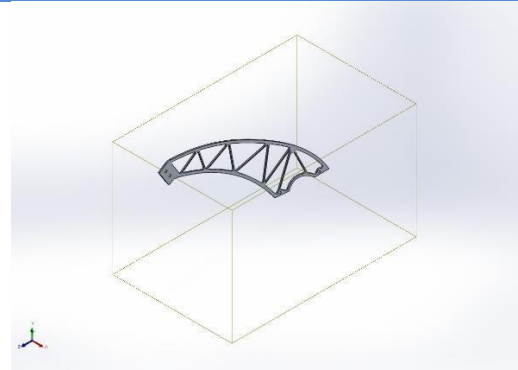
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija

Definiciones de conector

No hay datos



Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	4,437 mm
Tamaño mínimo del elemento	1,47898 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

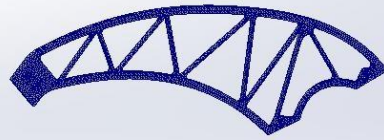
Número total de nodos	17759
Número total de elementos	7820
Cociente máximo de aspecto	6,4904
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96,5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:07
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte superior-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos

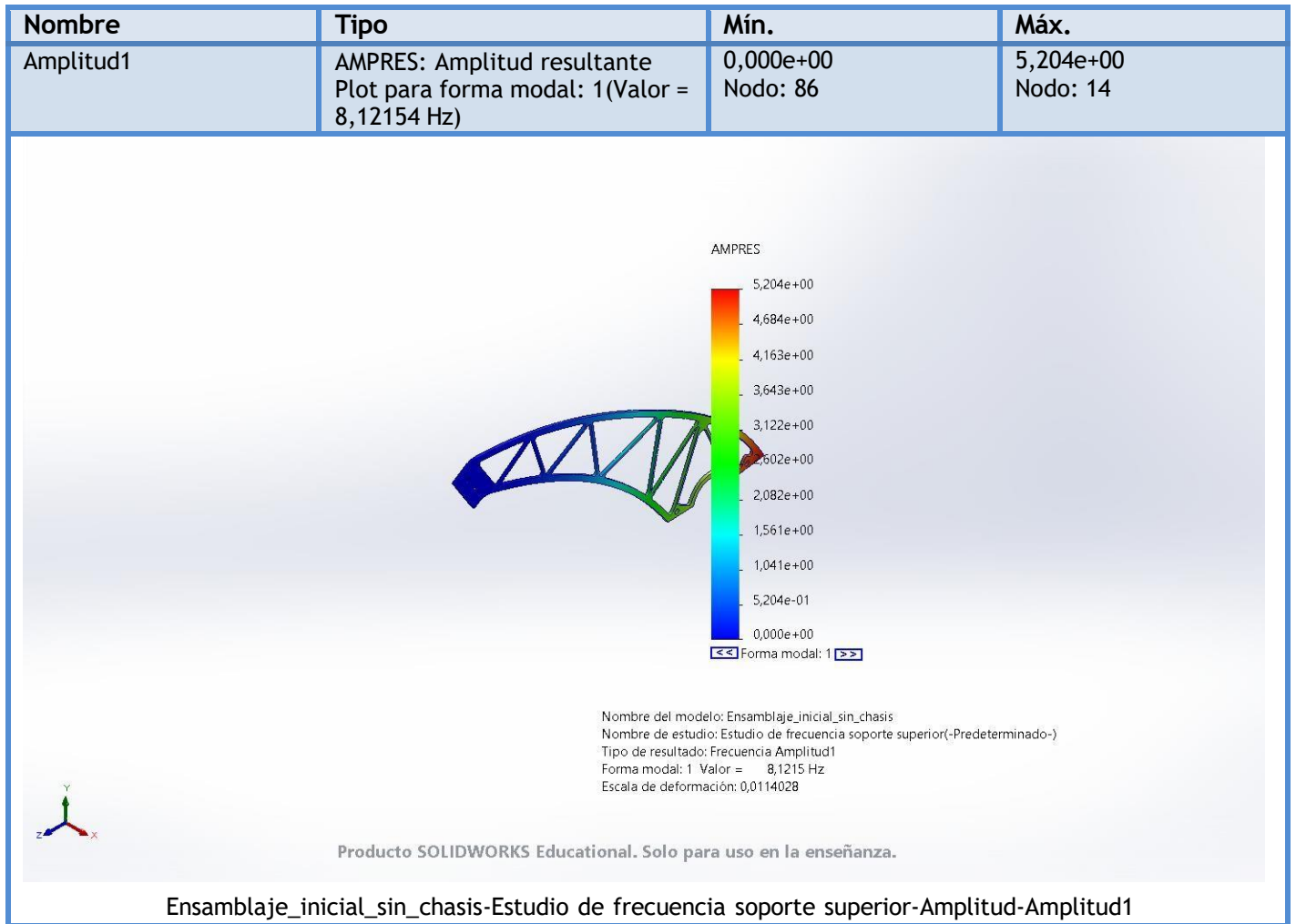


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

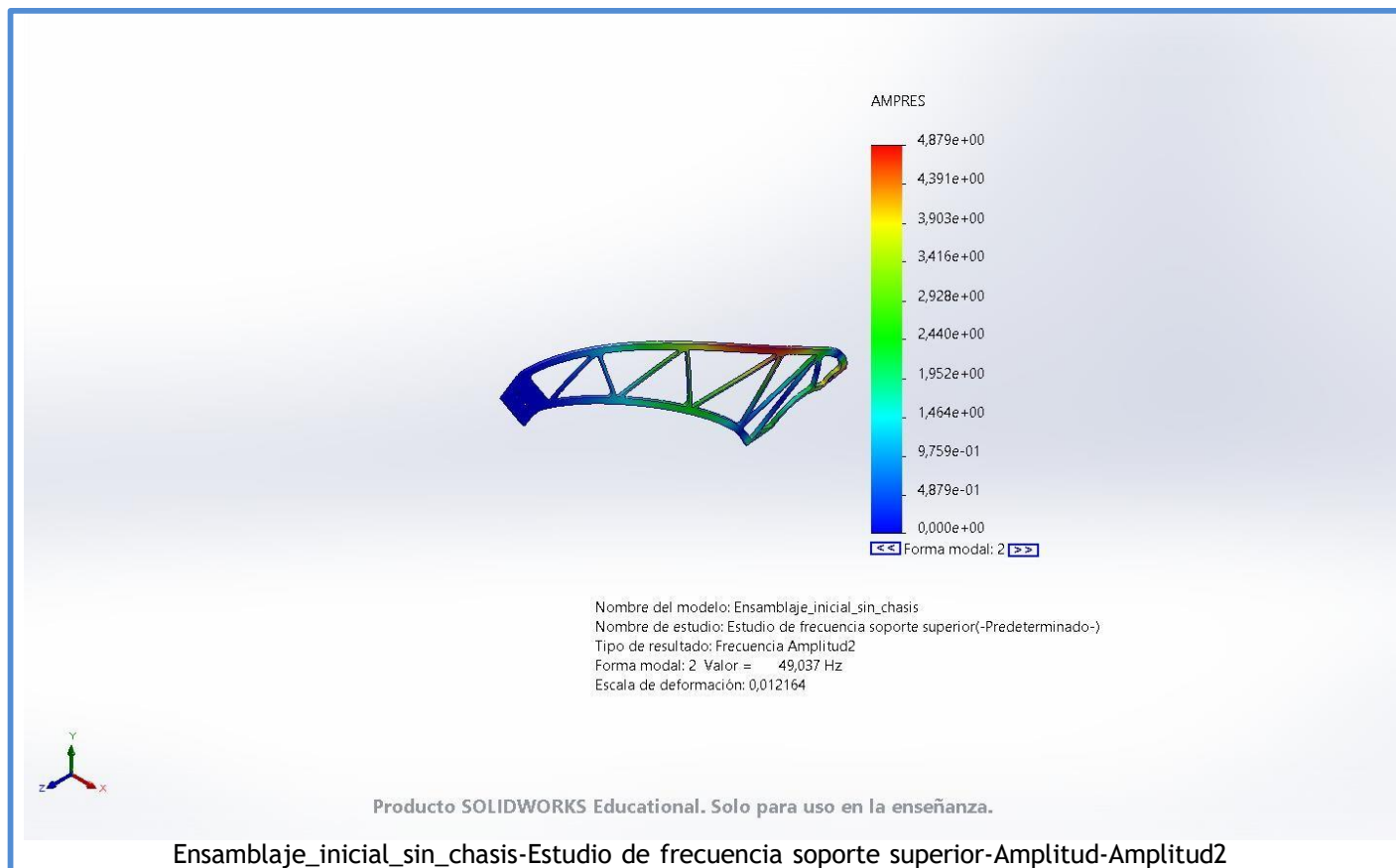
Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Resultados del estudio

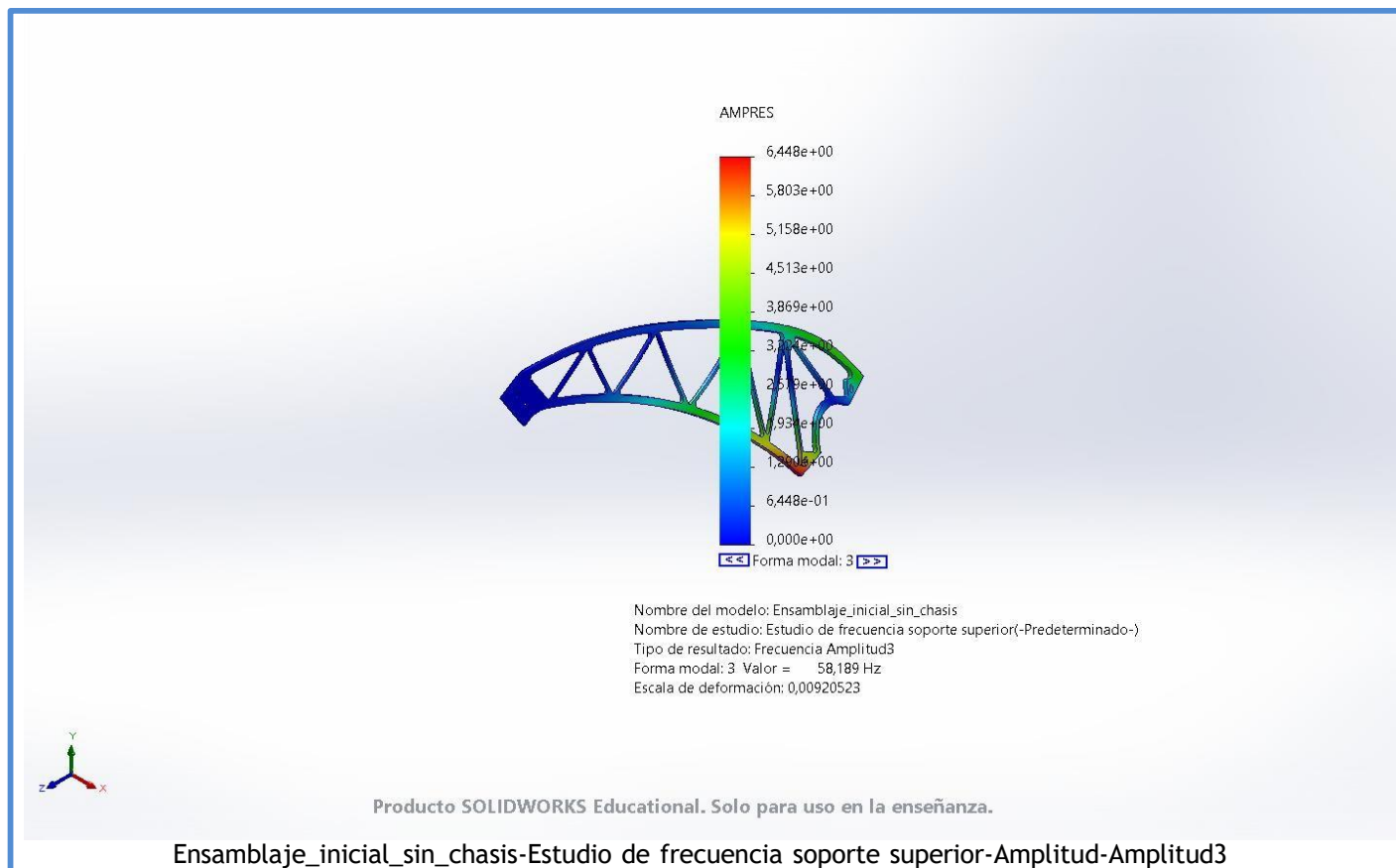


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 49,0373 Hz)	0,000e+00 Nodo: 86	4,879e+00 Nodo: 16



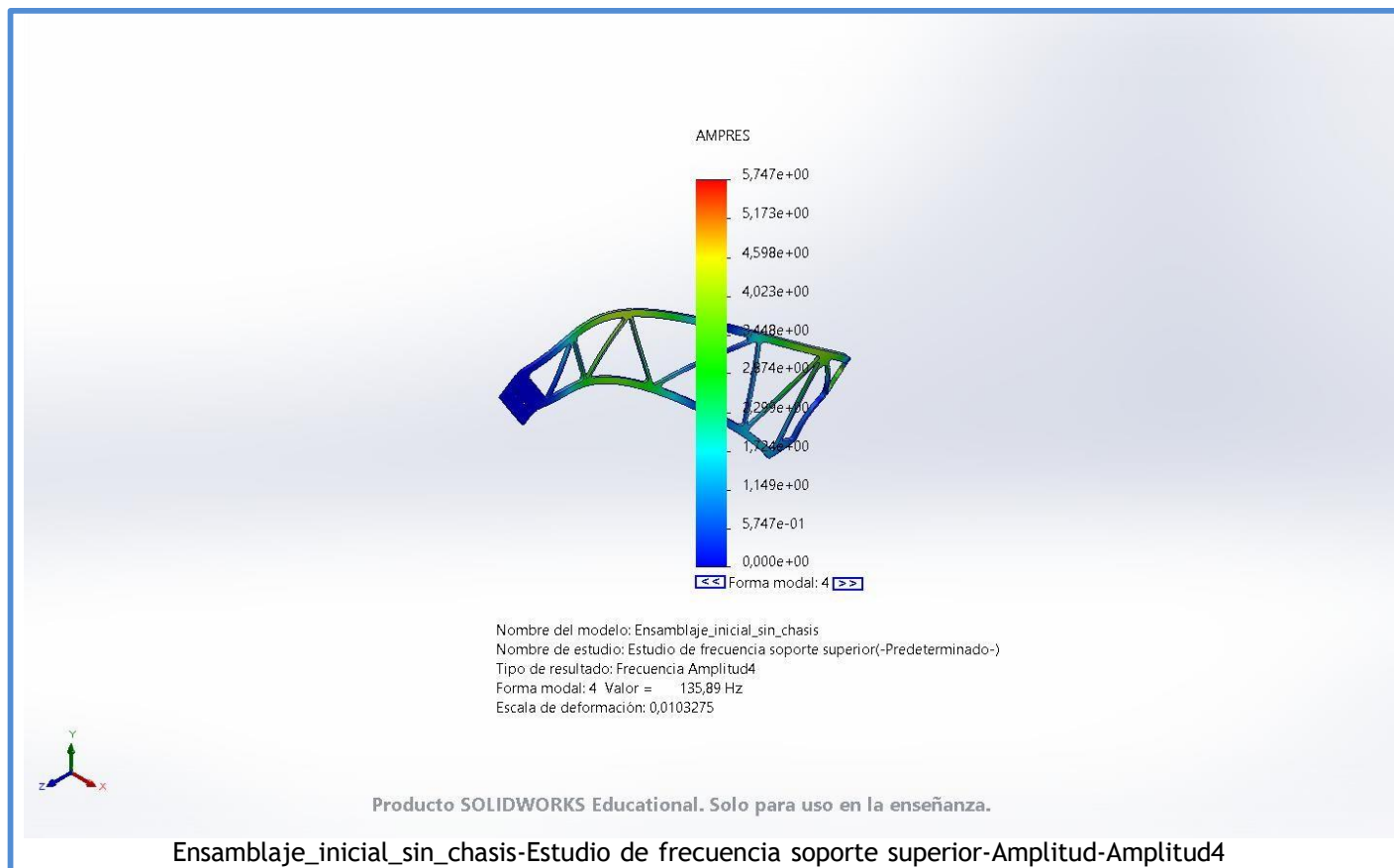


Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 58,1894 Hz)	0,000e+00 Nodo: 86	6,448e+00 Nodo: 4



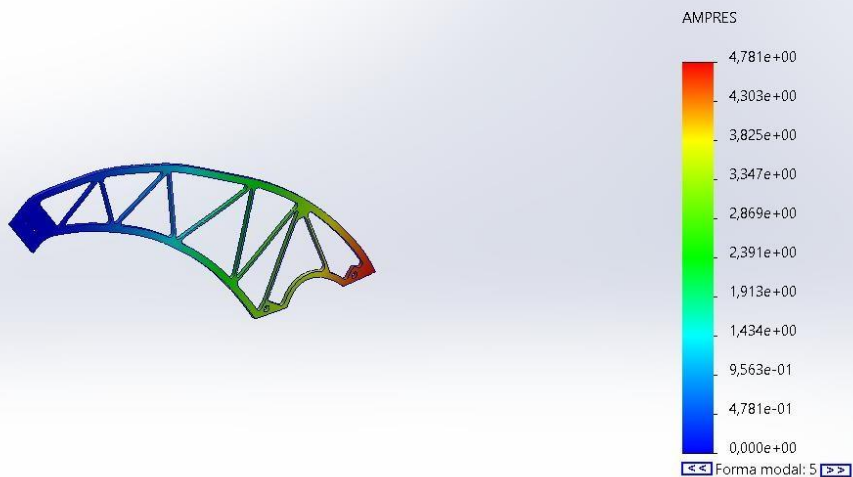
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 135,885 Hz)	0,000e+00 Nodo: 86	5,747e+00 Nodo: 16





Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 155,504 Hz)	0,000e+00 Nodo: 86	4,781e+00 Nodo: 14

Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5
Forma modal: 5 Valor = 155,5 Hz
Escala de deformación: 0,0140708



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte superior-Amplitud-Amplitud5

Lista de modos

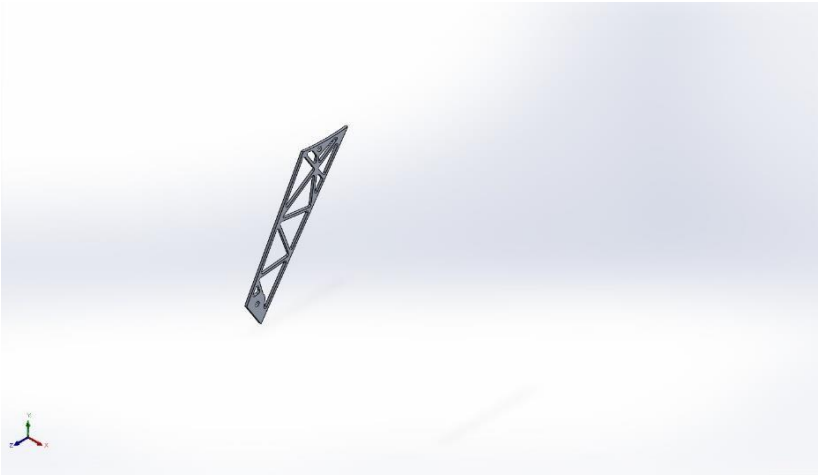
Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	51,029	8,1215	0,12313
2	308,11	49,037	0,020393
3	365,61	58,189	0,017185
4	853,79	135,89	0,0073592
5	977,06	155,5	0,0064307

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	8,1215	0,53701	1,0101e-13	7,2901e-13
2	49,037	0,13136	1,3312e-10	1,8127e-12
3	58,189	0,0196	2,7357e-11	8,8376e-11
4	135,89	0,056359	3,2232e-08	4,303e-09
5	155,5	2,0082e-09	0,48324	0,10609
		Sum X = 0,74433	Sum Y = 0,48324	Sum Z = 0,10609







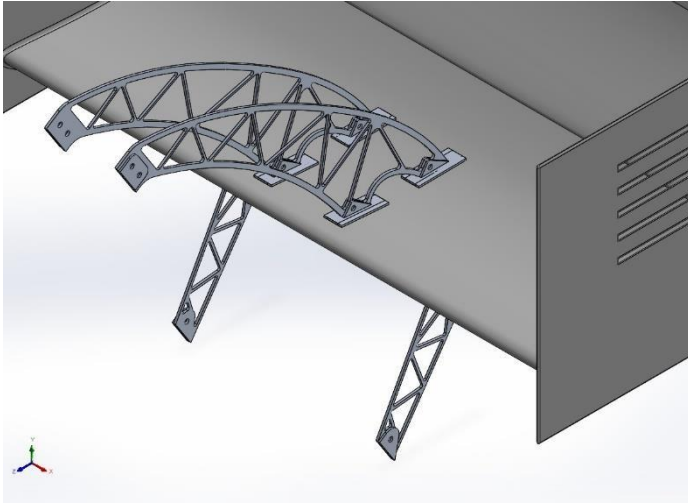
Simulación de Ensamblaje_inicial

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior
Tipo de análisis: Frecuencia

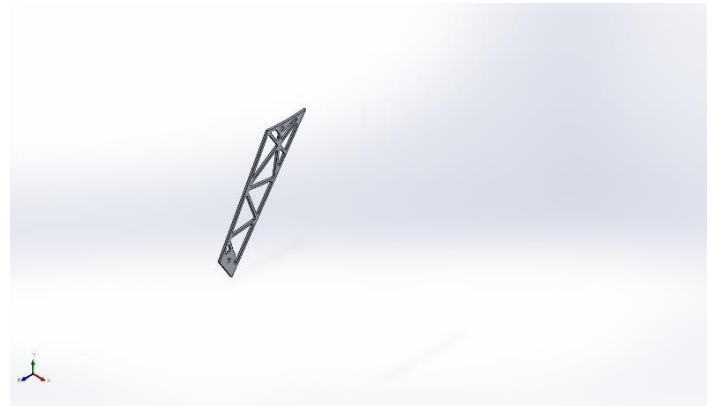
Tabla de contenidos

Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	4
Unidades.....	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Definiciones de conector	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	8
Resultados del estudio.....	9



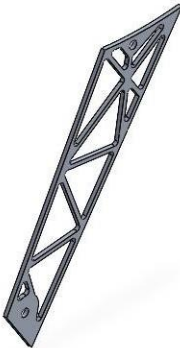
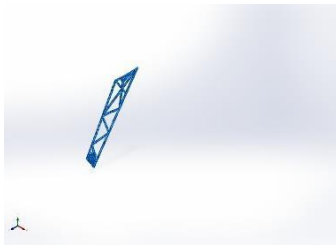


Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo

 Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo1 	Sólido	Masa:0,0649983 kg Volumen:2,31311e-05 m^3 Densidad:2.810 kg/m^3 Peso:0,636983 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales\soporte_inferior_inicial.SLDPRT Aug 18 15:03:29 2025



Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Estudio de frecuencia soporte inferior
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	5
Desacople los modos de sólido libre mixto	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

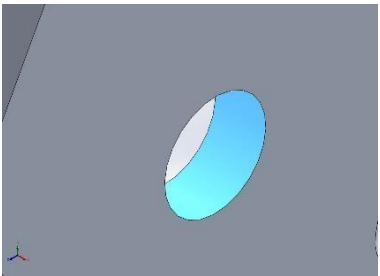
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo elástico: $7,2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coeficiente de Poisson: 0,33 Coeficiente de dilatación térmica: $2,4 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Redondeo1)(soporte_inferior_inicial-1)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

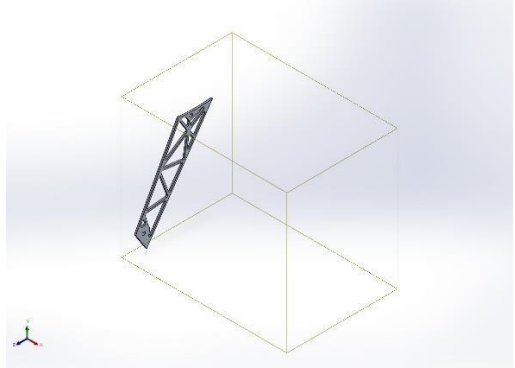
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Definiciones de conector

No hay datos



Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	2,90446 mm
Tamaño mínimo del elemento	0,968144 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

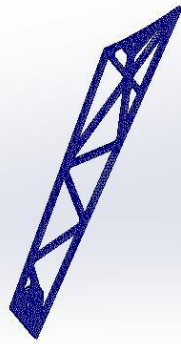
Número total de nodos	20134
Número total de elementos	10225
Cociente máximo de aspecto	3,7887
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,6
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos



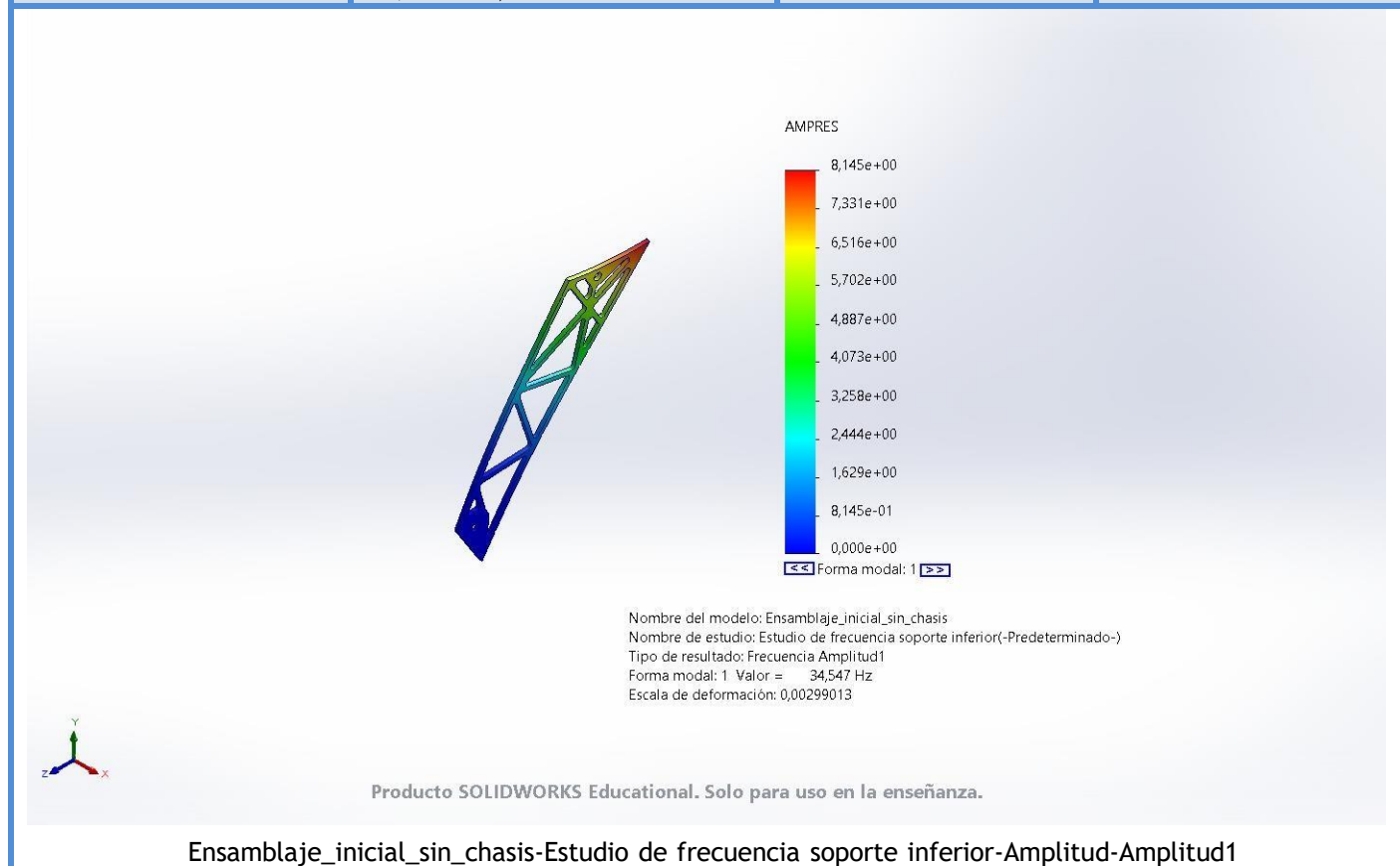
SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial

Resultados del estudio

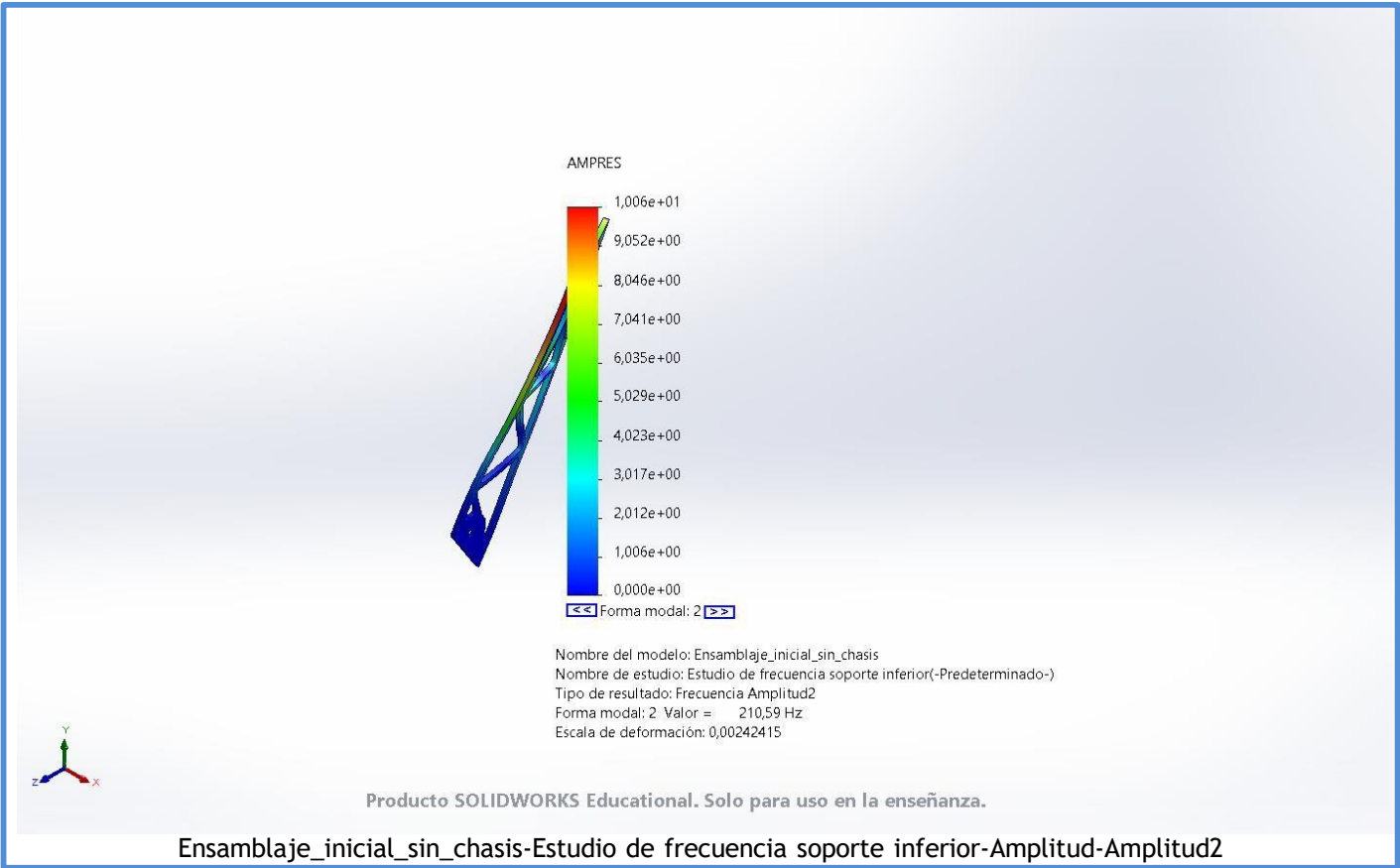
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud1	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 1(Valor = 34,5466 Hz)	0,000e+00 Nodo: 11	8,145e+00 Nodo: 7



Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud1

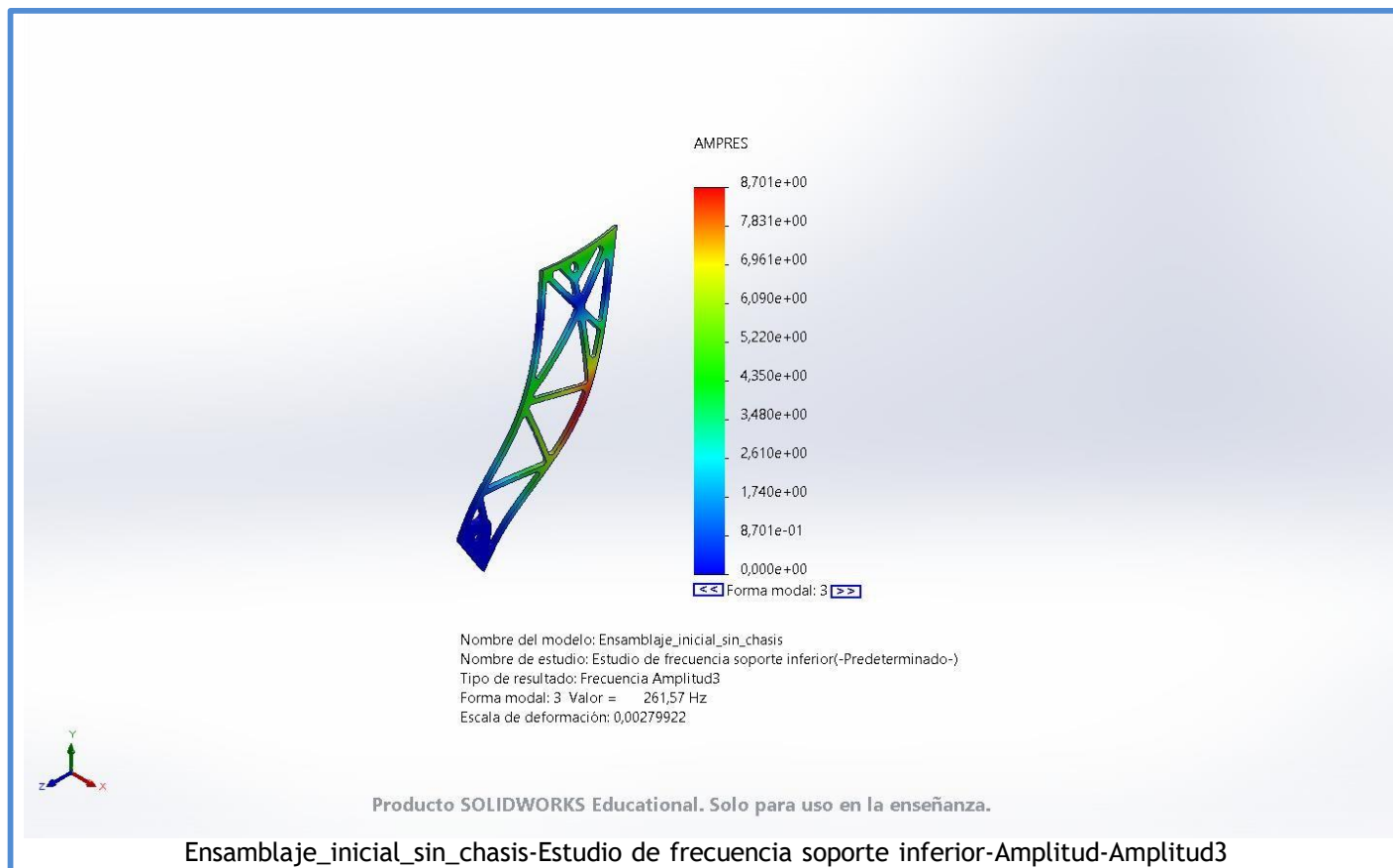
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 210,586 Hz)	0,000e+00 Nodo: 11	1,006e+01 Nodo: 5





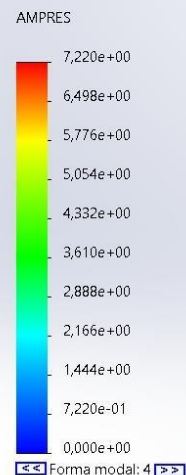
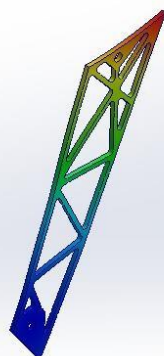
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 261,567 Hz)	0,000e+00 Nodo: 11	8,701e+00 Nodo: 13059





Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 383,212 Hz)	0,000e+00 Nodo: 11	7,220e+00 Nodo: 7

Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud4
 Forma modal: 4 Valor = 383,21 Hz
 Escala de deformación: 0,00442443



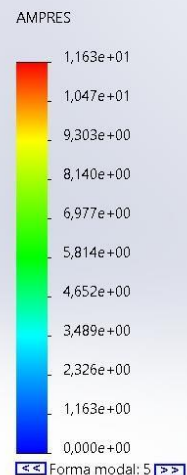
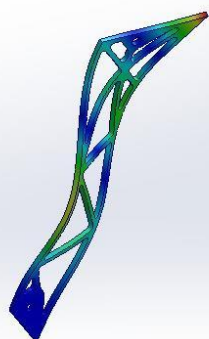
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud4

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 728,593 Hz)	0,000e+00 Nodo: 11	1,163e+01 Nodo: 8



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5
Forma modal: 5 Valor = 728,59 Hz
Escala de deformación: 0,00209644



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud5

Lista de modos

Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	217,06	34,547	0,028946
2	1.323,2	210,59	0,0047487
3	1.643,5	261,57	0,0038231
4	2.407,8	383,21	0,0026095
5	4.577,9	728,59	0,0013725

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	34,547	0,5576	3,5067e-10	1,0592e-12
2	210,59	0,011918	2,0542e-11	7,8868e-11
3	261,57	0,12754	1,259e-11	6,6993e-13
4	383,21	2,2873e-11	0,19081	0,42204
5	728,59	0,027239	9,2362e-11	5,5818e-12
		Sum X = 0,7243	Sum Y = 0,19081	Sum Z = 0,42204

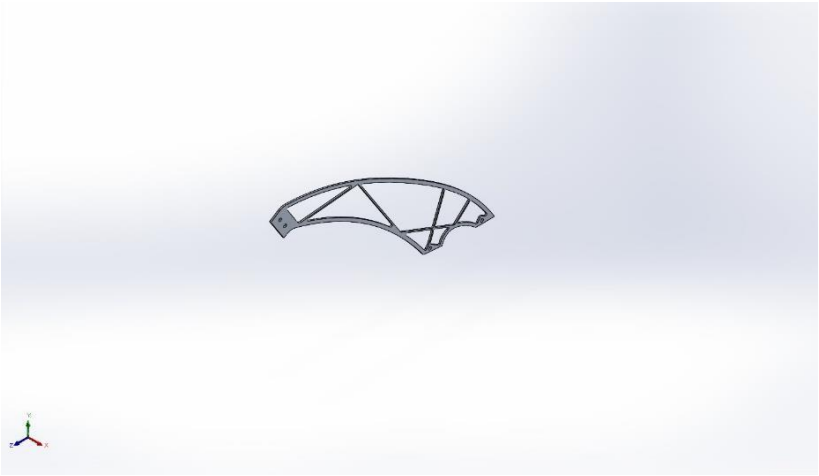


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_inicial





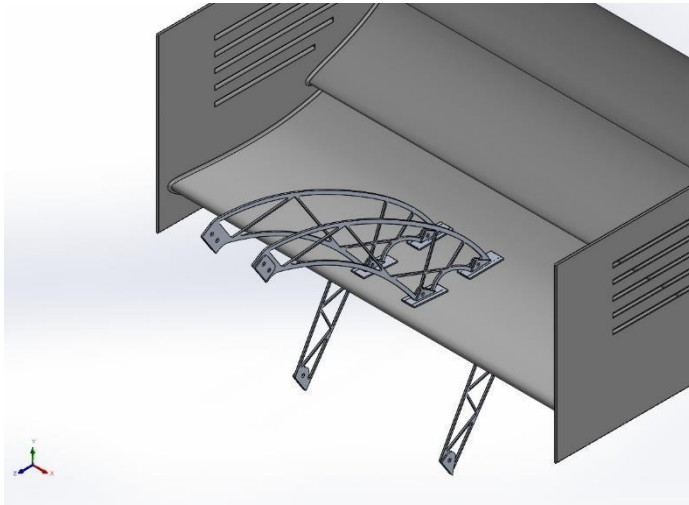
Simulación de Ensamblaje_chapa

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior
Tipo de análisis: Frecuencia

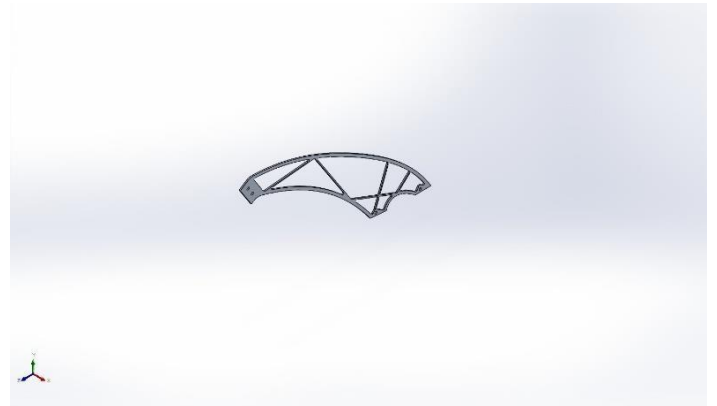
Tabla de contenidos

Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	4
Unidades.....	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Definiciones de conector	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	8
Resultados del estudio.....	9



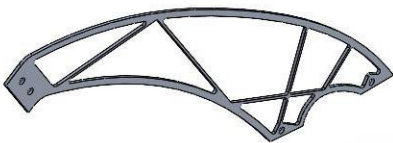


Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo





Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir2 	Sólido	Masa:0,167927 kg Volumen:5,97463e-05 m^3 Densidad:2.810,66 kg/m^3 Peso:1,64568 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\soporte_superior_chapa.SLDPRT Aug 18 15:56:50 2025



Propiedades de estudio

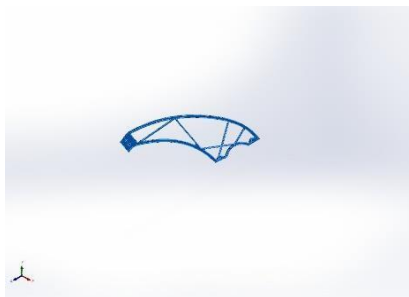
Nombre de estudio	Estudio de frecuencia soporte superior
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	5
Desacople los modos de sólido libre mixto	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

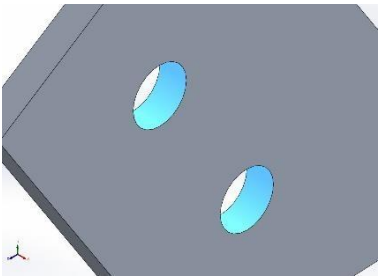
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo elástico: $7,2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coeficiente de Poisson: 0,33 Coeficiente de dilatación térmica: $2,4 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir2)(soporte_superior_chapa-2)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

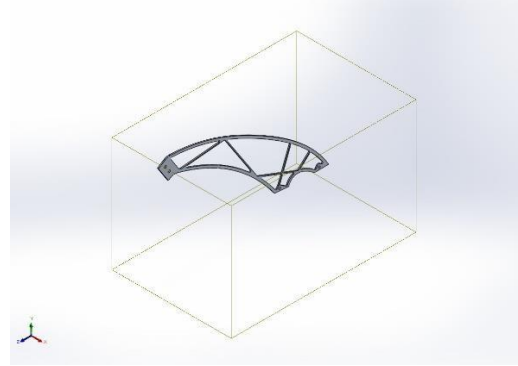
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija

Definiciones de conector

No hay datos



Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	4,437 mm
Tamaño mínimo del elemento	1,47898 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

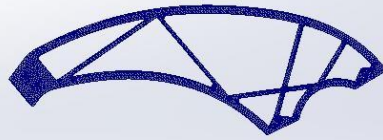
Número total de nodos	18036
Número total de elementos	8294
Cociente máximo de aspecto	7,6806
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	96,5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte superior-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos

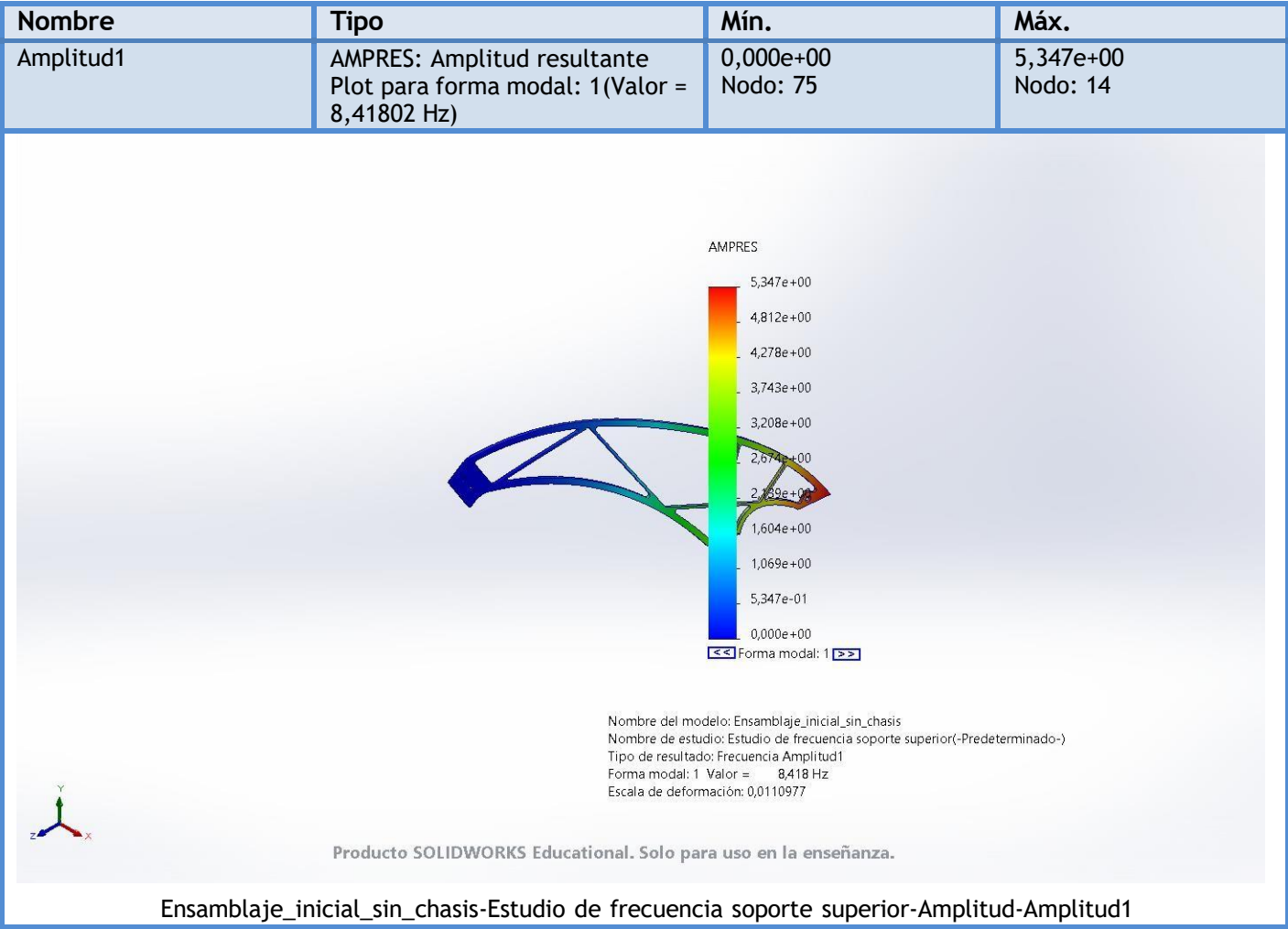


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

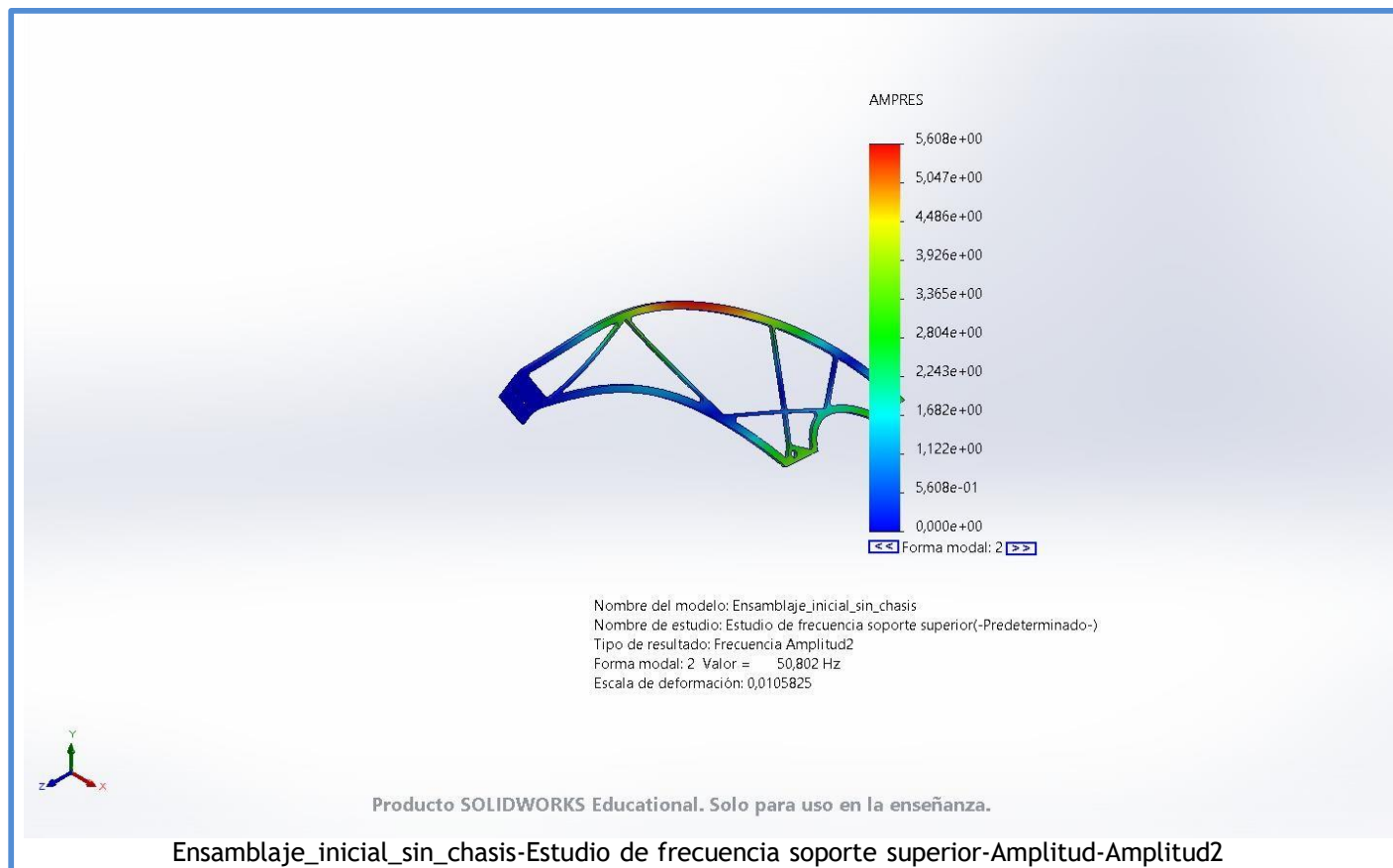
Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Resultados del estudio

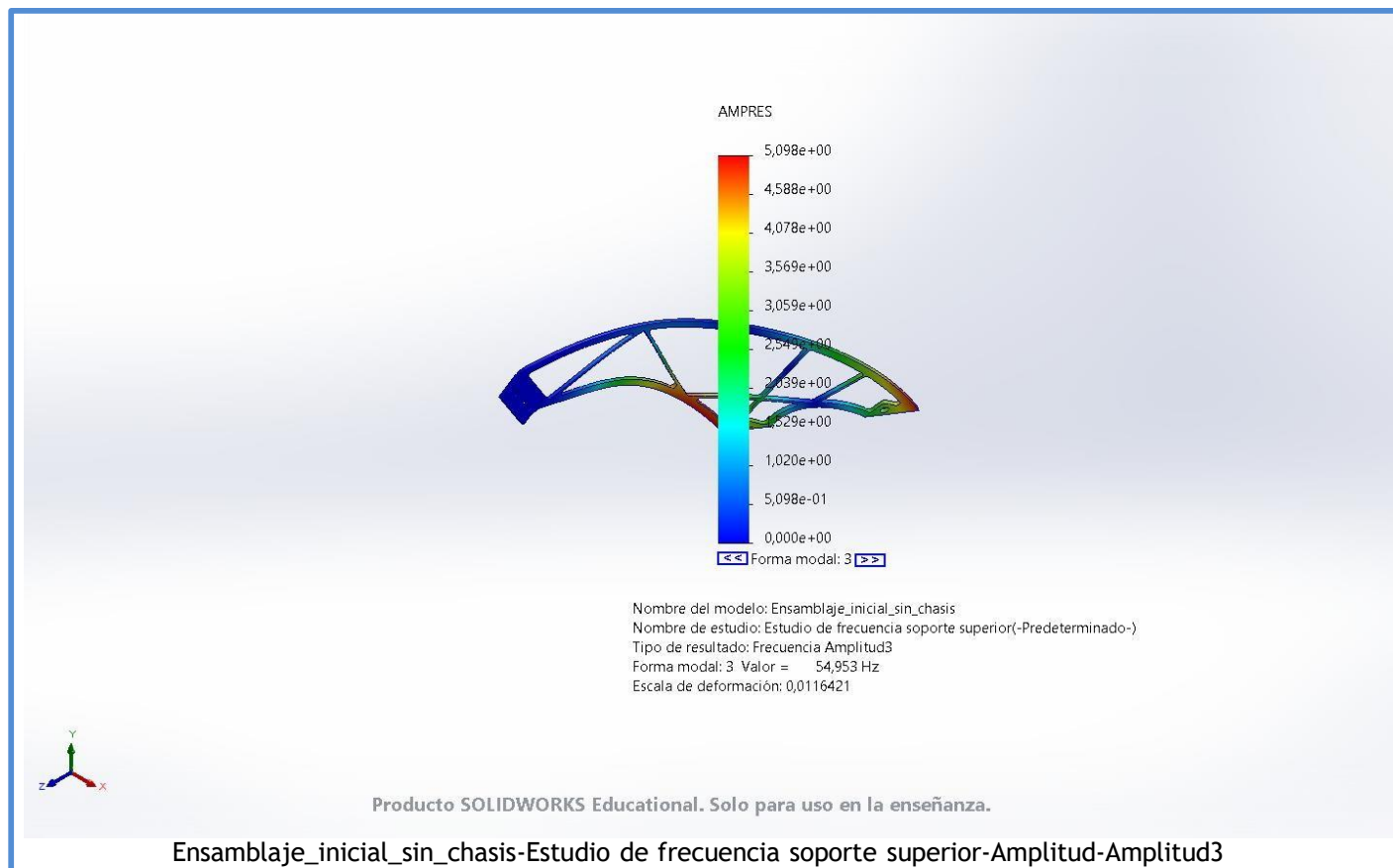


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 50,8024 Hz)	0,000e+00 Nodo: 75	5,608e+00 Nodo: 445



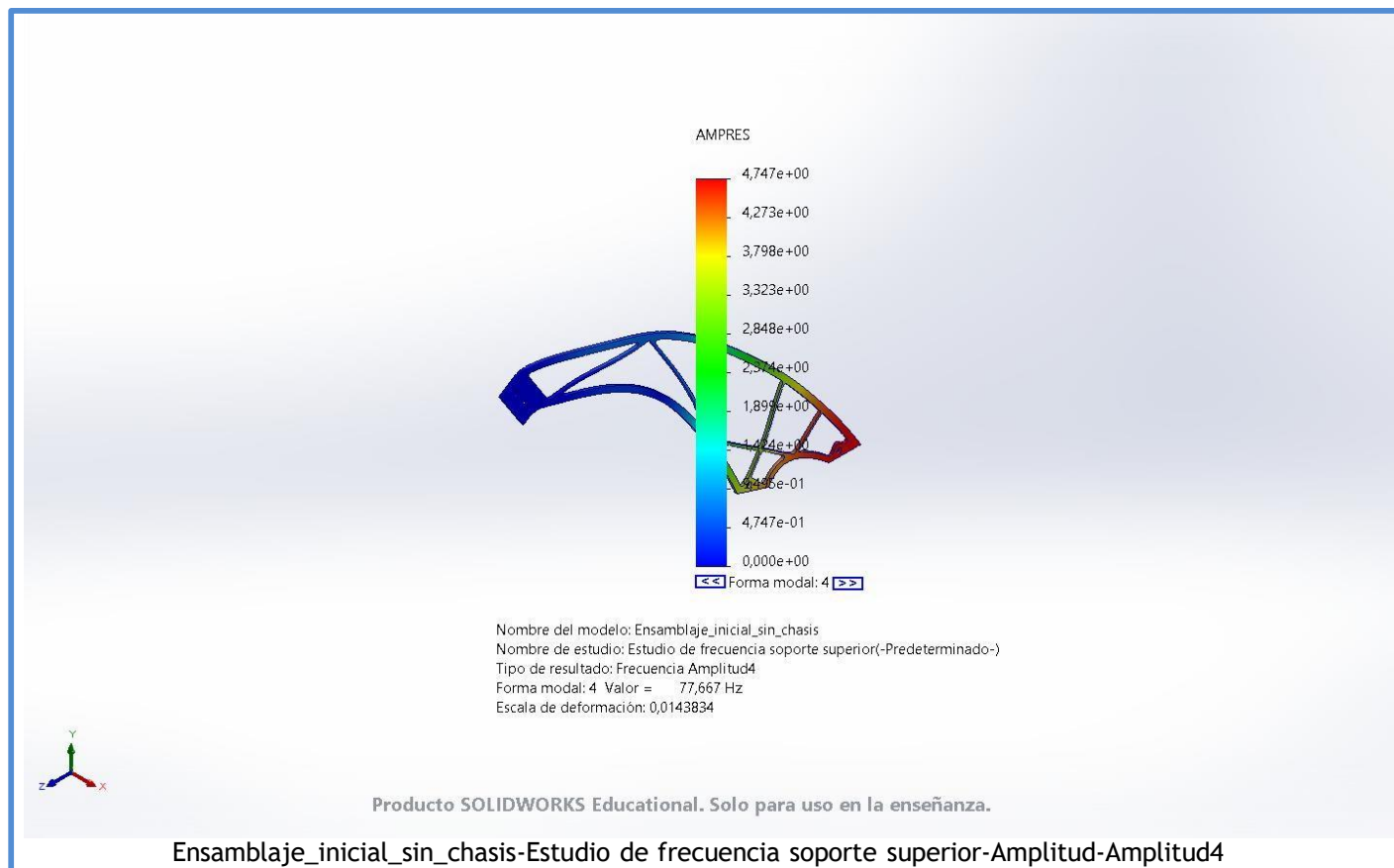


Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 54,9527 Hz)	0,000e+00 Nodo: 75	5,098e+00 Nodo: 15087



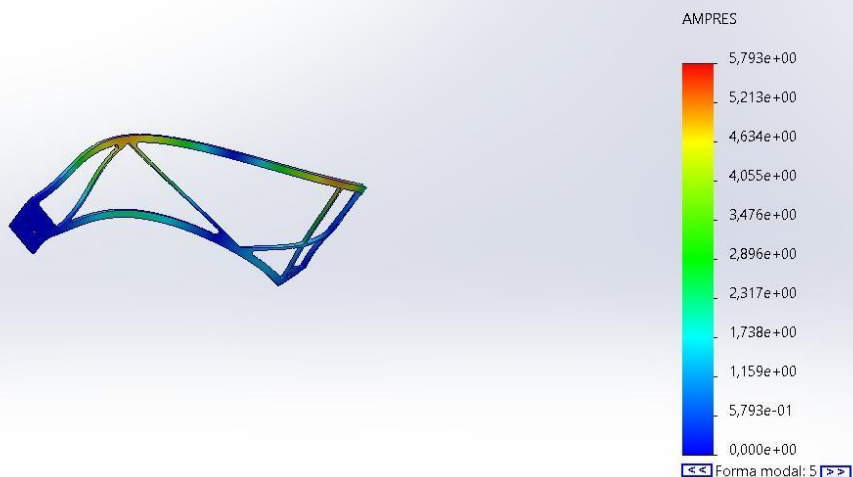
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 77,6671 Hz)	0,000e+00 Nodo: 75	4,747e+00 Nodo: 14





Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 139,678 Hz)	0,000e+00 Nodo: 75	5,793e+00 Nodo: 14

Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5
Forma modal: 5 Valor = 139,68 Hz
Escala de deformación: 0,0102474



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte superior-Amplitud-Amplitud5

Lista de modos

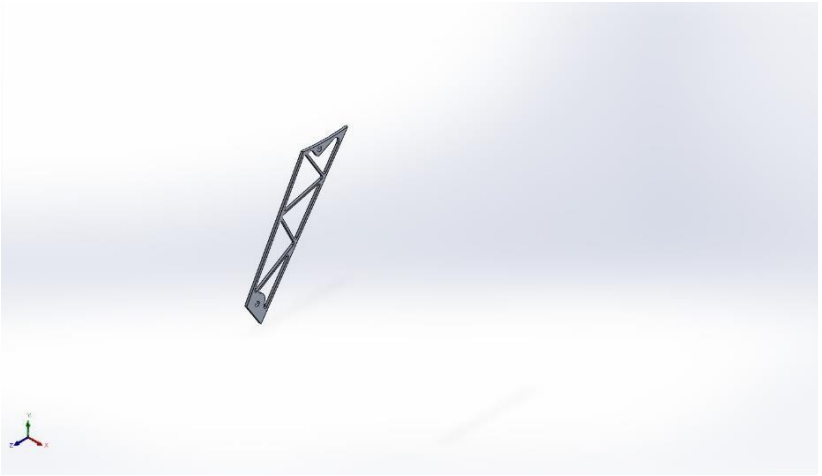
Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	52,892	8,418	0,11879
2	319,2	50,802	0,019684
3	345,28	54,953	0,018197
4	488	77,667	0,012875
5	877,62	139,68	0,0071593

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	8,418	0,52805	6,2459e-12	3,7511e-12
2	50,802	0,092514	5,8557e-11	2,1385e-11
3	54,953	0,063613	1,9564e-09	9,4463e-10
4	77,667	2,5471e-10	0,35159	0,11367
5	139,68	0,046463	2,5023e-10	2,5322e-12
		Sum X = 0,73064	Sum Y = 0,35159	Sum Z = 0,11367







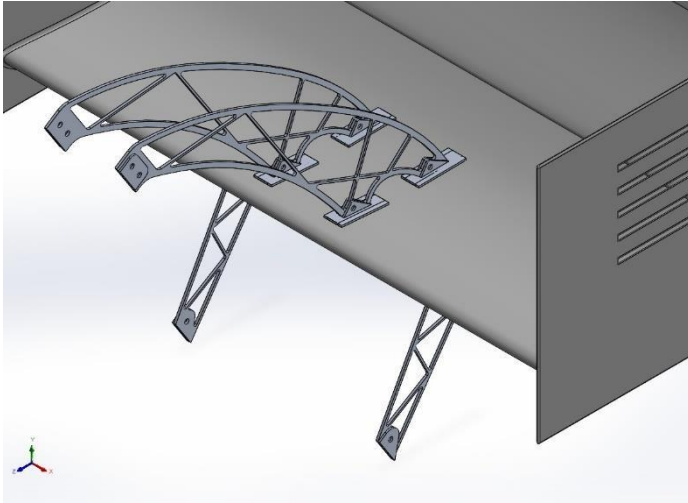
Simulación de Ensamblaje_chapa

Fecha: lunes, 25 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior
Tipo de análisis: Frecuencia

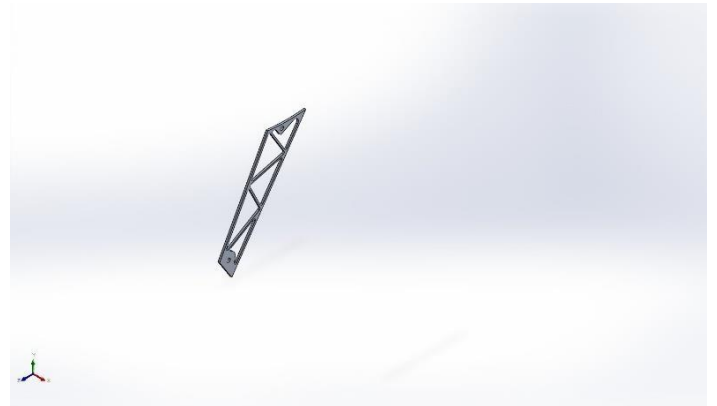
Tabla de contenidos

Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	4
Unidades.....	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Definiciones de conector	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	8
Resultados del estudio.....	9





Modelo original



Modelo analizado

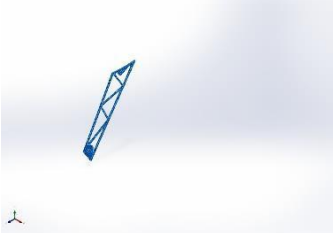


Información de modelo



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Cortar-Extruir3 	Sólido	Masa:0,0531001 kg Volumen:1,88968e-05 m^3 Densidad:2.810 kg/m^3 Peso:0,520381 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa\soporte_inferior_chapa.SLDPRT Aug 18 15:56:51 2025

Propiedades de estudio

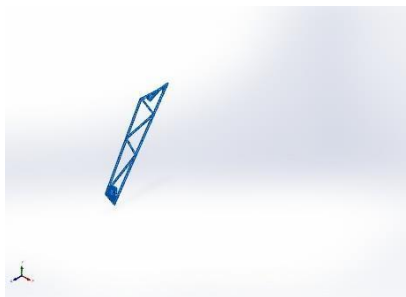
Nombre de estudio	Estudio de frecuencia soporte inferior
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	5
Desacople los modos de sólido libre mixto	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa)

Unidades

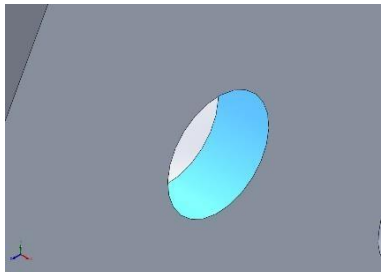
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 7075-T6, Chapa (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: $5,05 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Límite de tracción: $5,7 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ Densidad: 2.810 kg/m^3 Módulo elástico: $7,2 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ Coeficiente de Poisson: 0,33 Coeficiente de dilatación térmica: $2,4 \times 10^{-5} / \text{Kelvin}$	Sólido 1(Cortar-Extruir3)(soporte_inferior_chapa-1)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

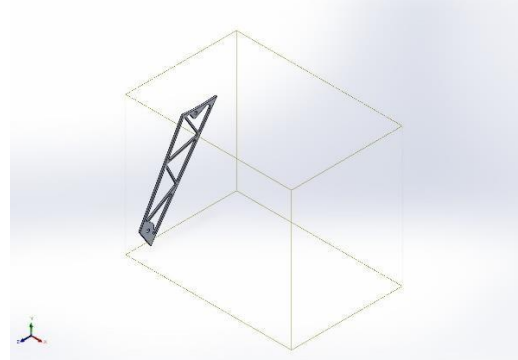
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Definiciones de conector

No hay datos



Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	2,65324 mm
Tamaño mínimo del elemento	0,884404 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

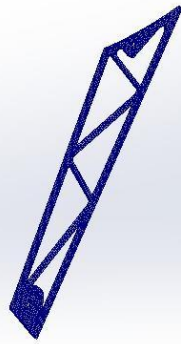
Número total de nodos	20076
Número total de elementos	10125
Cociente máximo de aspecto	4,3256
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,8
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos

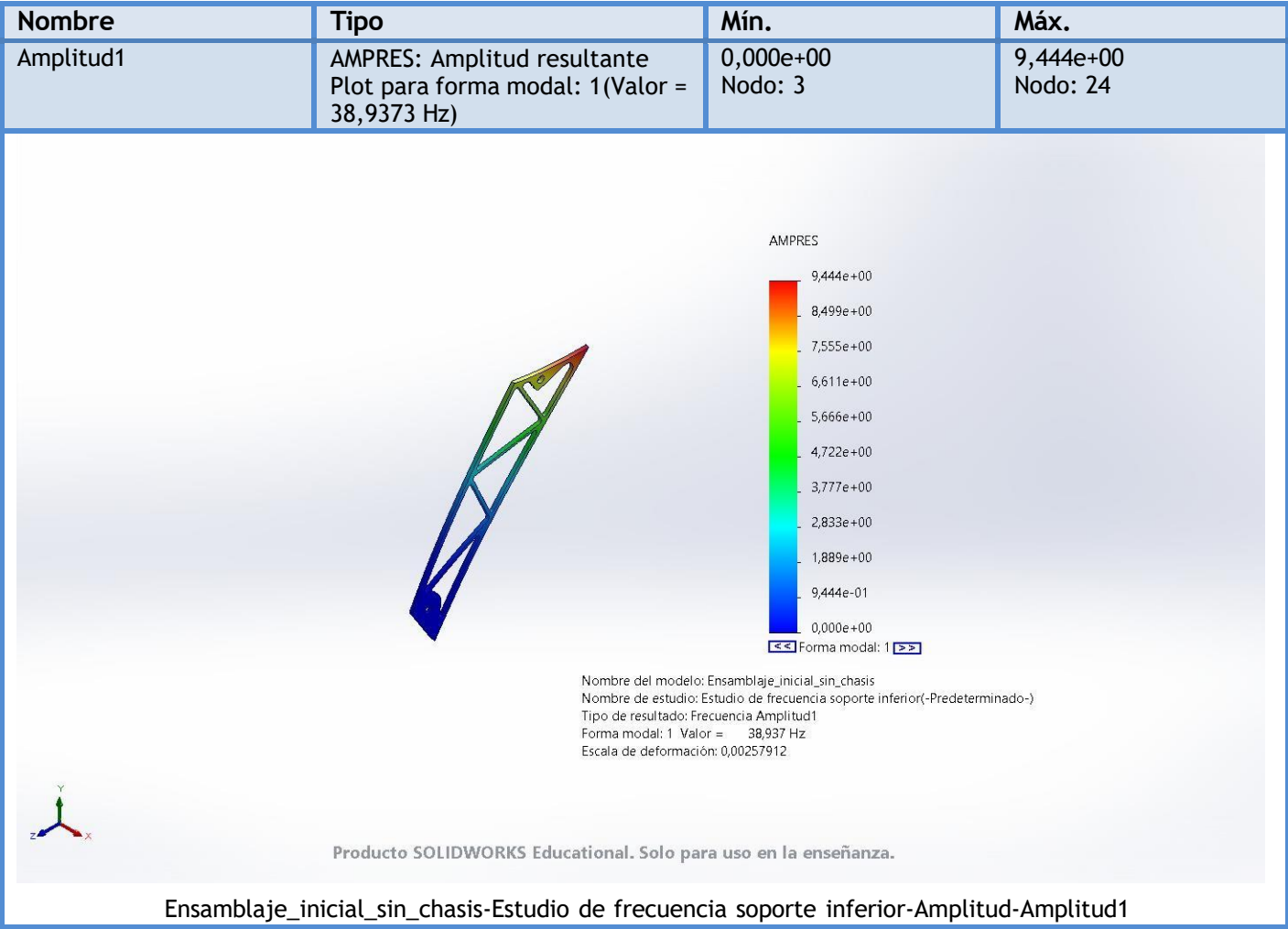


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_chapa

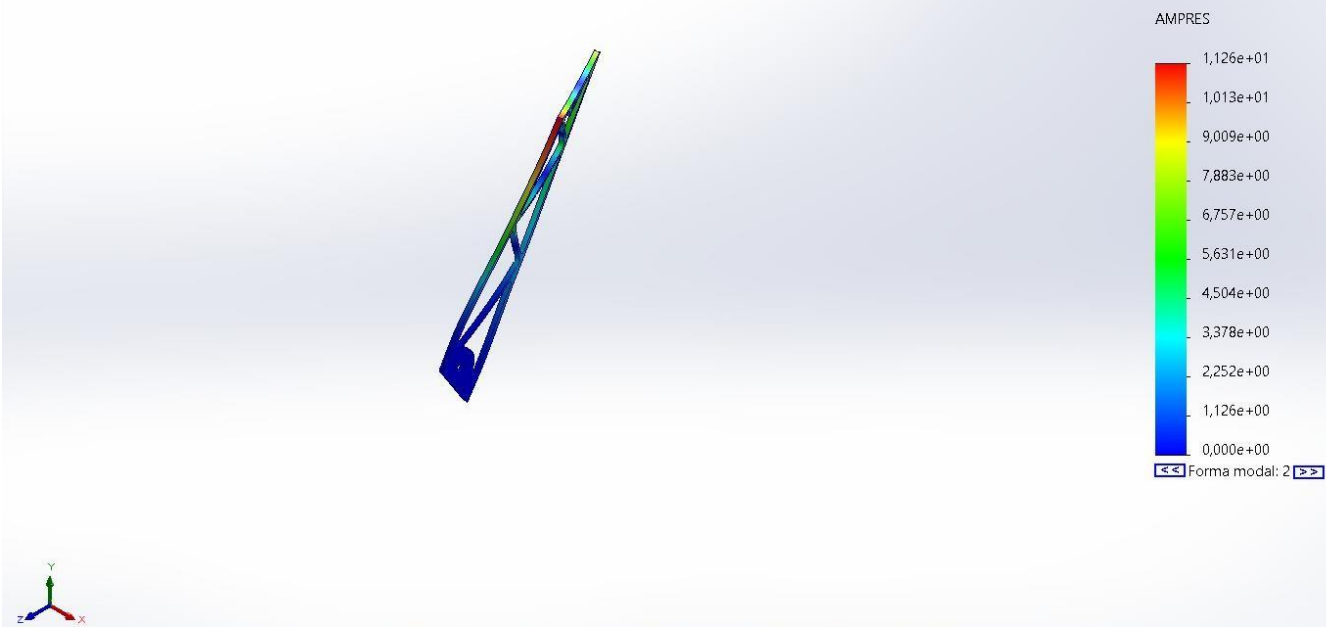
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 192,797 Hz)	0,000e+00 Nodo: 3	1,126e+01 Nodo: 23



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud2
 Forma modal: 2 Valor = 192,8 Hz
 Escala de deformación: 0,00216515



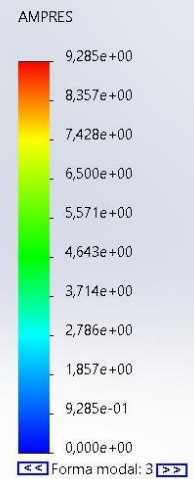
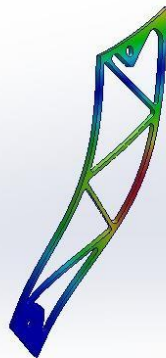
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 263,151 Hz)	0,000e+00 Nodo: 3	9,285e+00 Nodo: 9780



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud3
 Forma modal: 3 Valor = 263,15 Hz
 Escala de deformación: 0,00262296



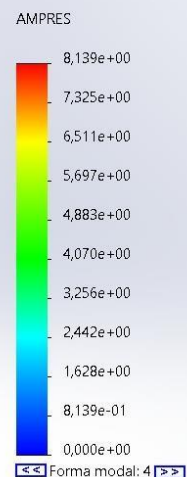
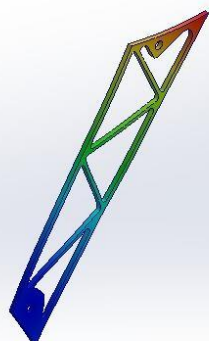
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 401,43 Hz)	0,000e+00 Nodo: 3	8,139e+00 Nodo: 50



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud4
 Forma modal: 4 Valor = 401,43 Hz
 Escala de deformación: 0,0039504



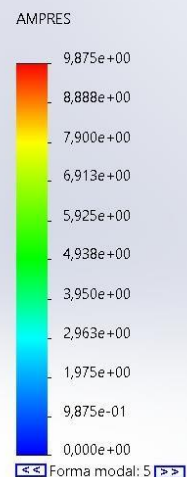
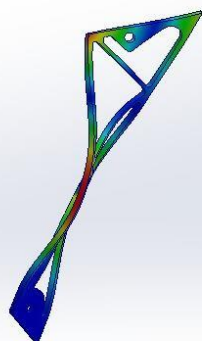
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud4

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 656,762 Hz)	0,000e+00 Nodo: 3	9,875e+00 Nodo: 14895



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5
Forma modal: 5 Valor = 656,76 Hz
Escala de deformación: 0,00246755



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud5

Lista de modos

Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	244,65	38,937	0,025682
2	1.211,4	192,8	0,0051868
3	1.653,4	263,15	0,0038001
4	2.522,3	401,43	0,0024911
5	4.126,6	656,76	0,0015226

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	38,937	0,49401	7,0045e-16	7,5529e-13
2	192,8	0,0039987	1,6577e-10	3,2467e-10
3	263,15	0,13581	1,4618e-11	1,7106e-11
4	401,43	2,3613e-11	0,18998	0,37721
5	656,76	0,00033856	1,5497e-10	5,6109e-11
		Sum X = 0,63416	Sum Y = 0,18998	Sum Z = 0,37721

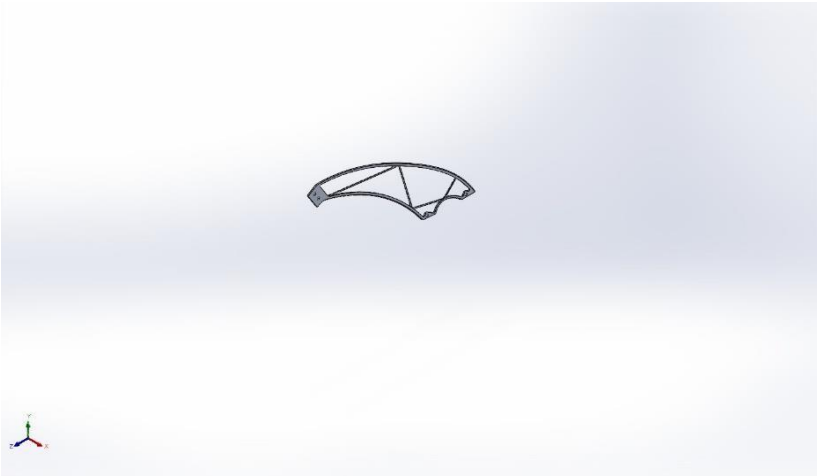


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

Simulación de Ensamblaje_chapa





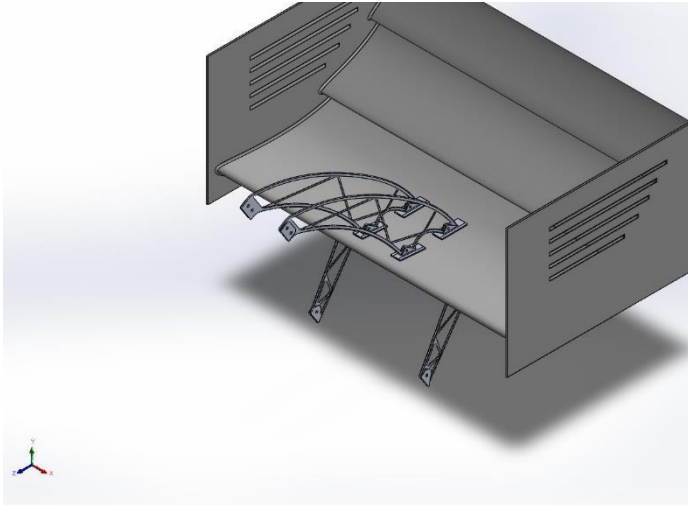
Simulación de Ensamblaje_fabricacion3D

Fecha: martes, 26 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior
Tipo de análisis: Frecuencia

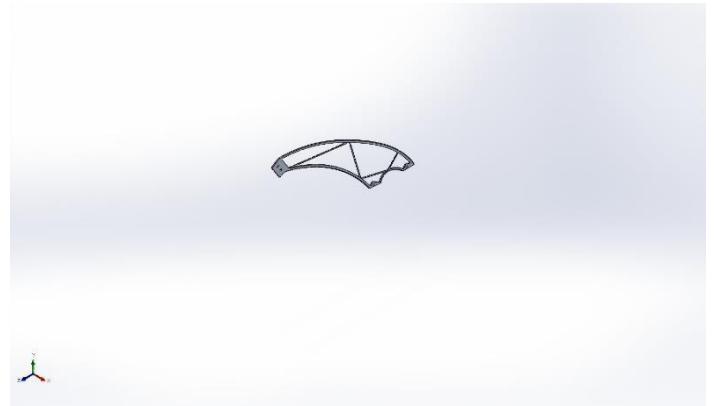
Tabla de contenidos

Información de modelo	3
Propiedades de estudio.....	4
Unidades.....	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Definiciones de conector	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	8
Resultados del estudio.....	9





Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Configuración actual: Predeterminado

Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo39 	Sólido	Masa:0,14256 kg Volumen:5,27769e-05 m^3 Densidad:2.701,19 kg/m^3 Peso:1,39709 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\soporte_superior_impresion3D.SLDPRT Aug 19 13:58:46 2025



Propiedades de estudio

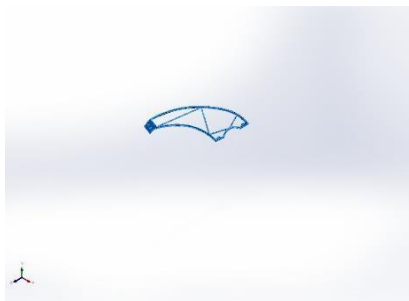
Nombre de estudio	Estudio de frecuencia soporte superior
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	5
Desacople los modos de sólido libre mixto	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas iniciales)

Unidades

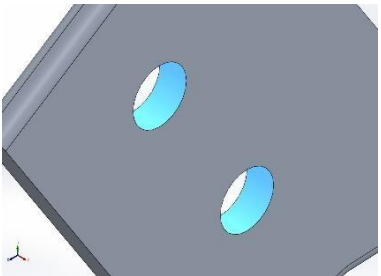
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2,75e+08 N/m² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m² Densidad: 2.700 kg/m³ Módulo elástico: 6,9e+10 N/m² Coefficiente de Poisson: 0,33 Coefficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin	Sólido 1(Redondeo39)(soporte_superior_impresion3D-2)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

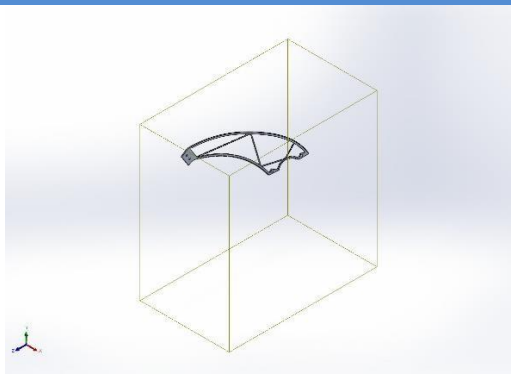
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 2 cara(s) Tipo: Geometría fija

Definiciones de conector

No hay datos



Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	4,437 mm
Tamaño mínimo del elemento	1,47898 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	83006
Número total de elementos	47808
Cociente máximo de aspecto	8,5079
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	98,5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:16
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte superior-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos

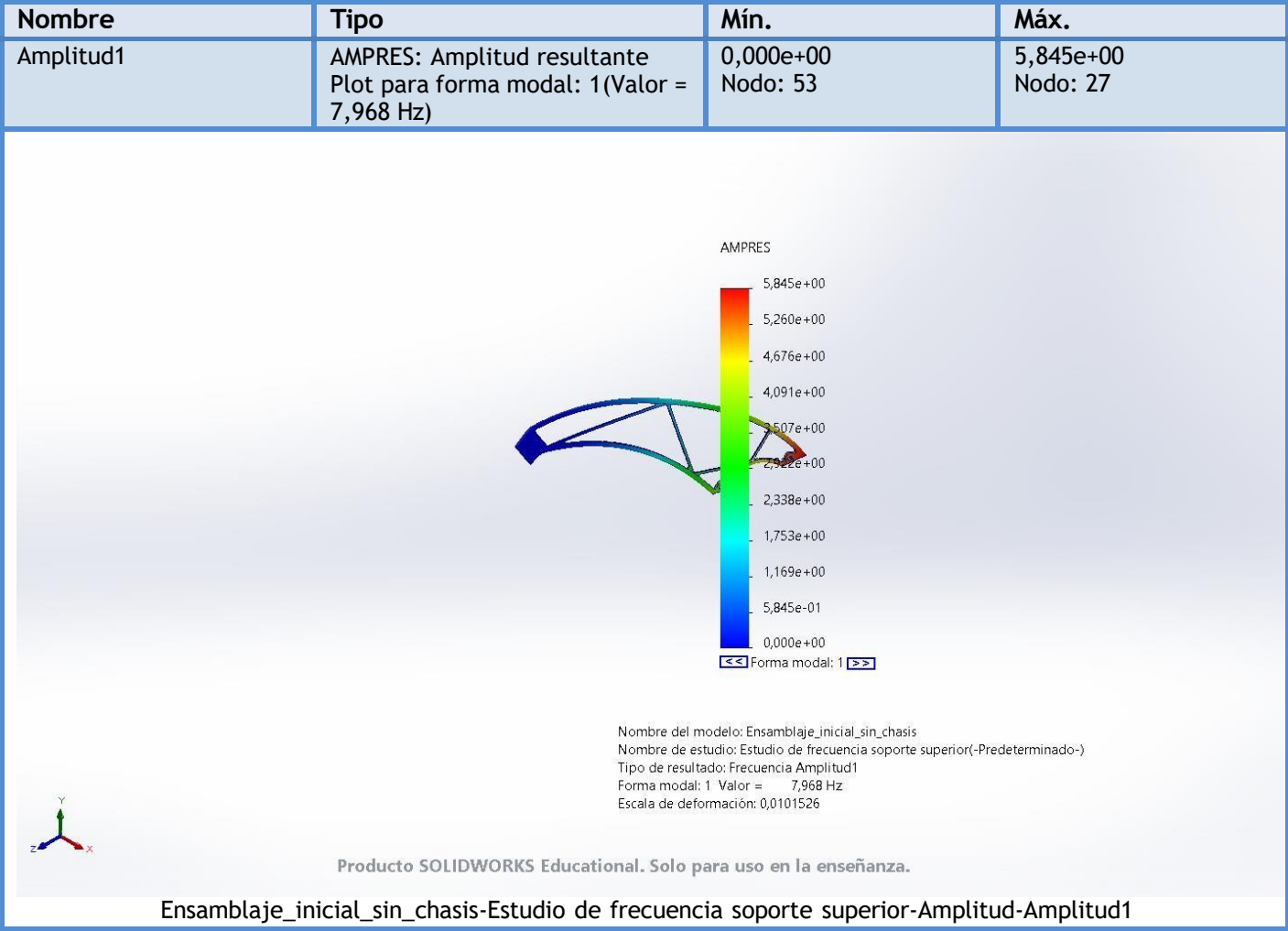


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

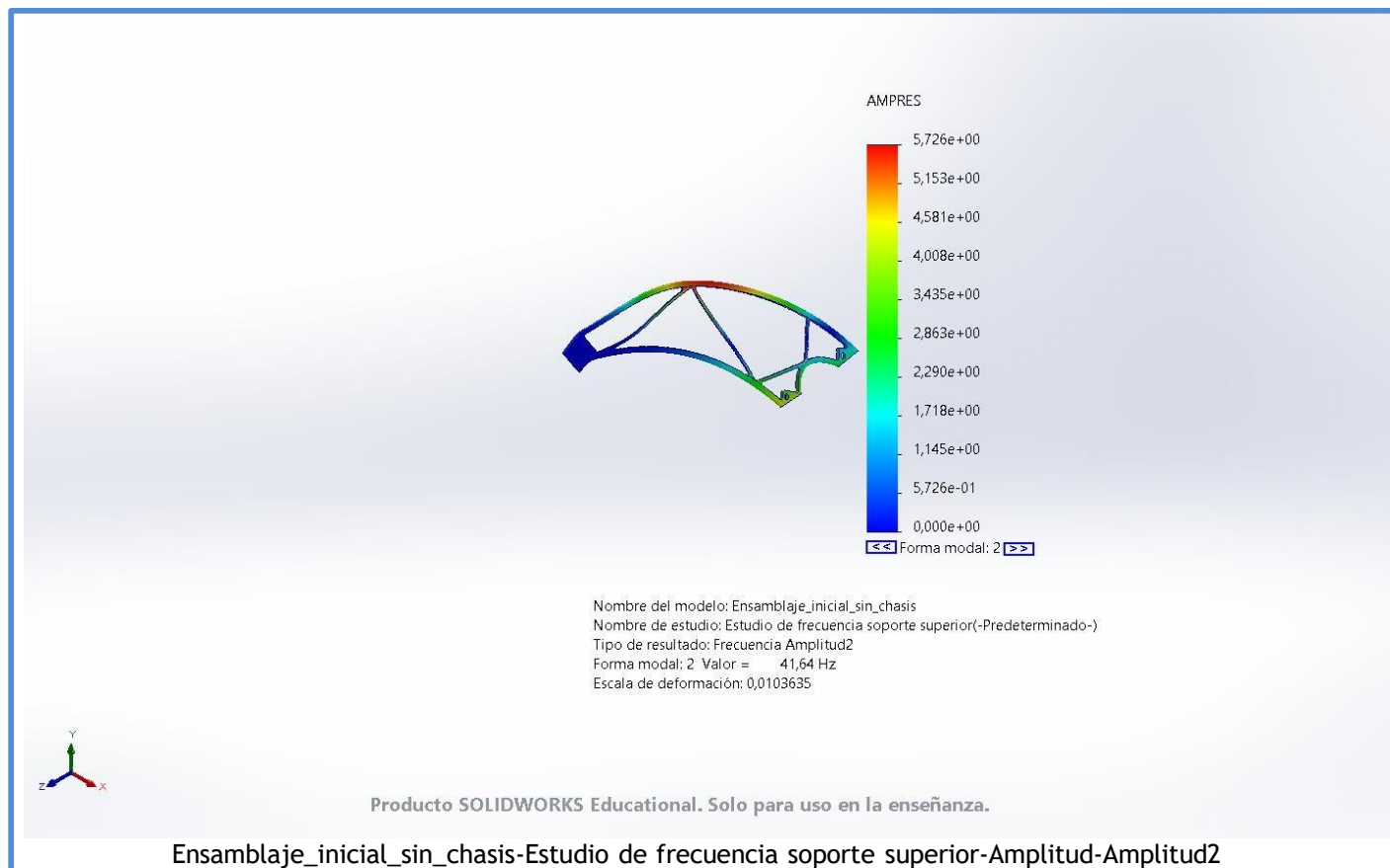
Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Resultados del estudio



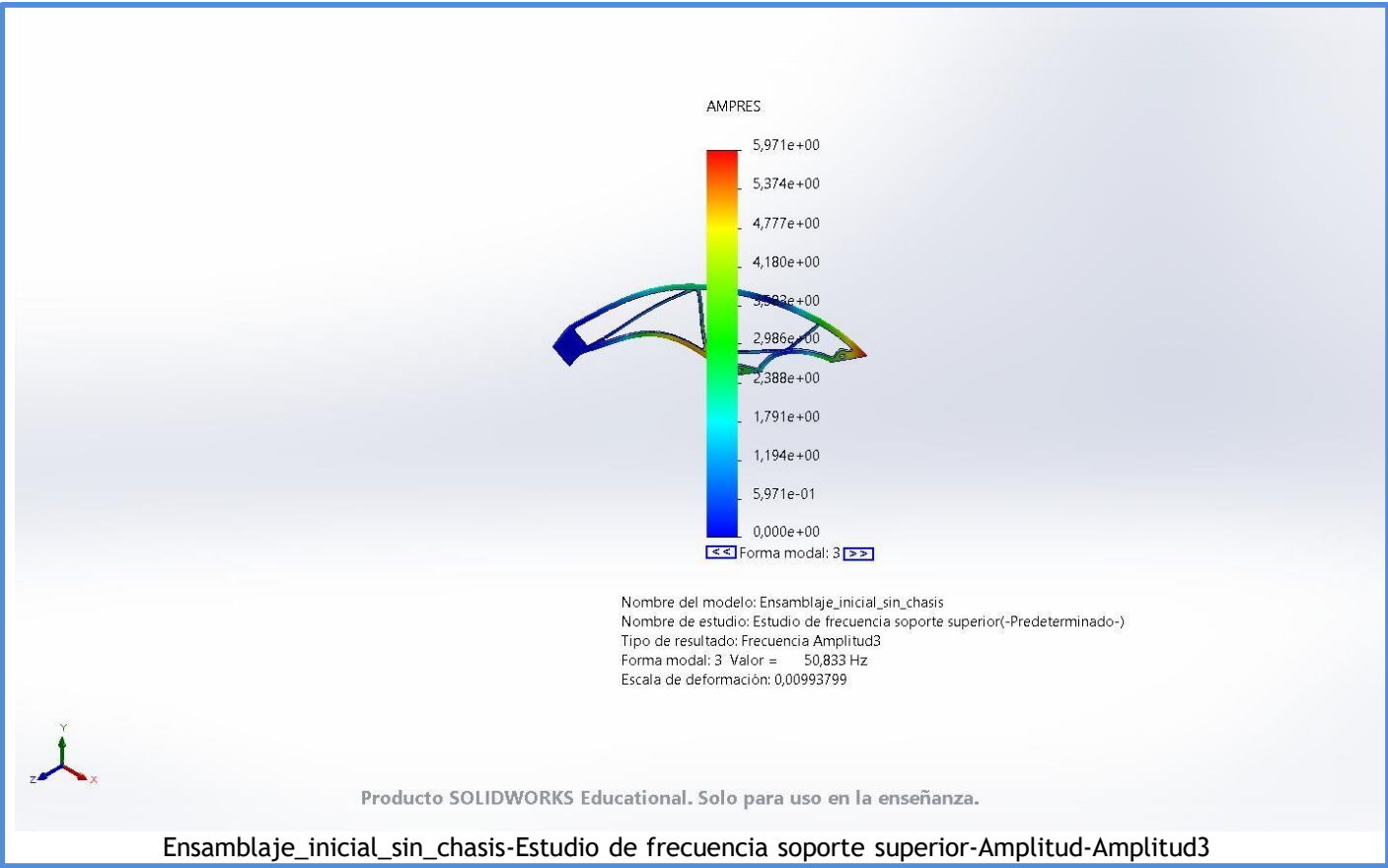
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 41,6398 Hz)	0,000e+00 Nodo: 53	5,726e+00 Nodo: 77485





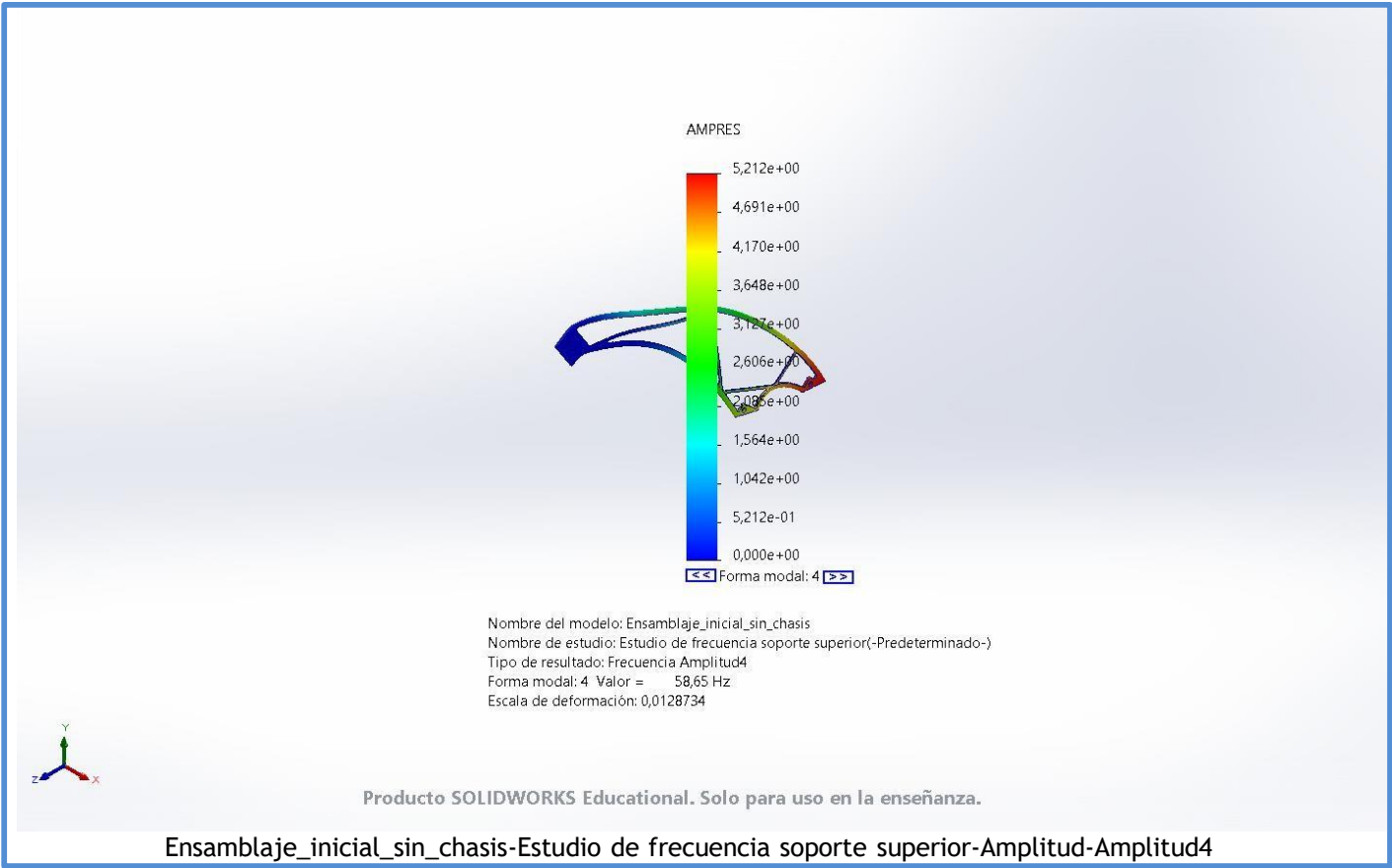
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 50,8328 Hz)	0,000e+00 Nodo: 53	5,971e+00 Nodo: 27





Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 58,6498 Hz)	0,000e+00 Nodo: 53	5,212e+00 Nodo: 27

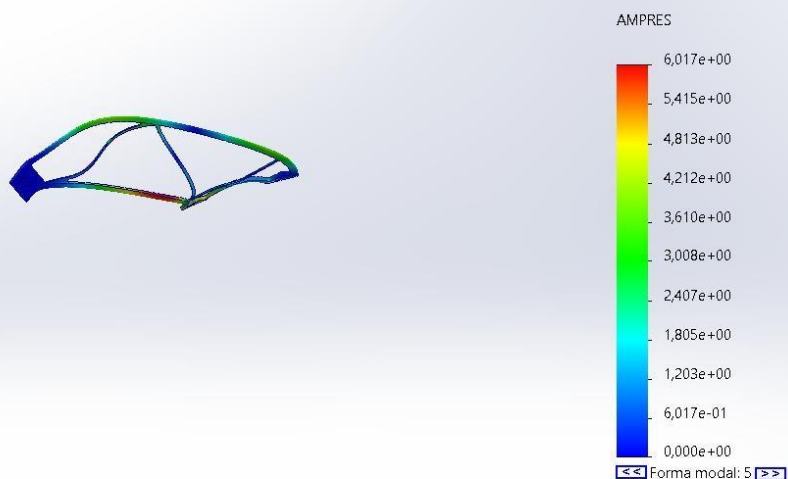




Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 103,886 Hz)	0,000e+00 Nodo: 53	6,017e+00 Nodo: 49597



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte superior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5
Forma modal: 5 Valor = 103,89 Hz
Escala de deformación: 0,00986305



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte superior-Amplitud-Amplitud5

Lista de modos

Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	50,064	7,968	0,1255
2	261,63	41,64	0,024015
3	319,39	50,833	0,019672
4	368,51	58,65	0,01705
5	652,74	103,89	0,0096259

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	7,968	0,50982	8,593e-13	2,0417e-14
2	41,64	0,037343	1,2703e-12	1,9719e-14
3	50,833	0,10926	2,6579e-09	7,7854e-10
4	58,65	7,0142e-10	0,44598	0,09986
5	103,89	0,0017431	1,299e-10	6,897e-12
		Sum X = 0,65817	Sum Y = 0,44598	Sum Z = 0,09986







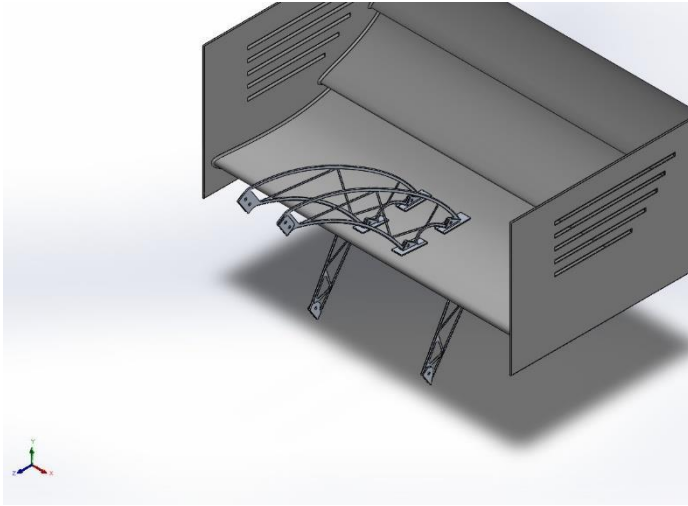
Simulación de Ensamblaje_fabricacion3D

Fecha: martes, 26 de agosto de 2025
Diseñador: Solidworks
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior
Tipo de análisis: Frecuencia

Tabla de contenidos

Información de modelo	3
Propiedades de estudio	4
Unidades	4
Propiedades de material	5
Cargas y sujeciones	5
Definiciones de conector	5
Información de interacción	6
Información de malla	7
Detalles del sensor	8
Resultados del estudio	9





Modelo original



Modelo analizado

Información de modelo

 Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis Configuración actual: Predeterminado			
Sólidos			
Nombre de documento y referencia	Tratado como	Propiedades volumétricas	Ruta al documento/Fecha de modificación
Redondeo20 	Sólido	Masa:0,0483874 kg Volumen:1,79213e-05 m^3 Densidad:2.700 kg/m^3 Peso:0,474196 N	C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas 3D\soporte_inferior_impression3D.SLDPRT Aug 18 21:31:08 2025



Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Estudio de frecuencia soporte inferior
Tipo de análisis	Frecuencia
Tipo de malla	Malla sólida
Número de frecuencias	5
Desacople los modos de sólido libre mixto	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Muelle blando:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\imene\OneDrive - Universidad Pontificia Comillas\ICAI\ICAI cuarto 2ºsem\TFG\SolidWorks\Piezas rediseñadas chapa)

Unidades

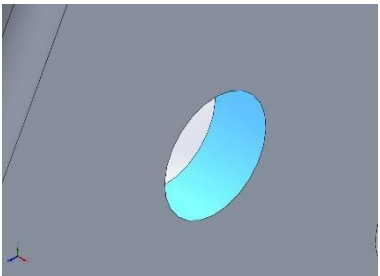
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²



Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 6061-T6 (SS) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Desconocido Límite elástico: 2,75e+08 N/m ² Límite de tracción: 3,1e+08 N/m ² Densidad: 2.700 kg/m ³ Módulo elástico: 6,9e+10 N/m ² Coeficiente de Poisson: 0,33 Coeficiente de dilatación térmica: 2,4e-05 /Kelvin	Sólido 1(Redondeo20)(soporte_inferior_impresion3D-1)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

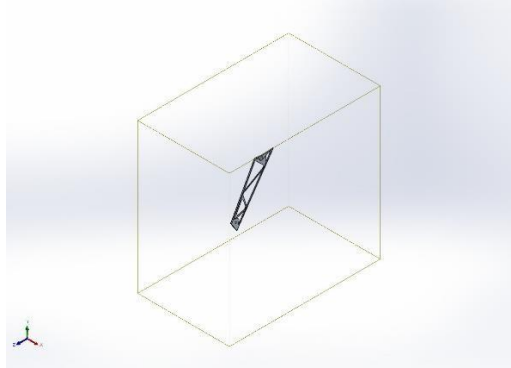
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-1		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Geometría fija

Definiciones de conector

No hay datos



Información de interacción

Interacción	Imagen de interacción	Propiedades de interacción
Interacción global		Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado independiente



Información de malla

Tipo de malla	Malla sólida
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura de combinado
Puntos jacobianos para malla de alta calidad	16 Puntos
Tamaño máximo de elemento	2,65324 mm
Tamaño mínimo del elemento	0,884404 mm
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Mallar de nuevo las piezas fallidas de forma independiente	Desactivar
Reutilizar malla para partes idénticas en un ensamblaje (solo mallador basado en curvatura combinado)	Desactivar

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	60921
Número total de elementos	35374
Cociente máximo de aspecto	11,612
% de elementos cuyo cociente de aspecto es < 3	99,5
El porcentaje de elementos cuyo cociente de aspecto es > 10	0,0113
Porcentaje de elementos distorsionados	0
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:08
Nombre de computadora:	

Trazados de calidad de malla

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Calidad1	Malla	-	-



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Malla Calidad1



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Calidad-Calidad1

Detalles del sensor

No hay datos

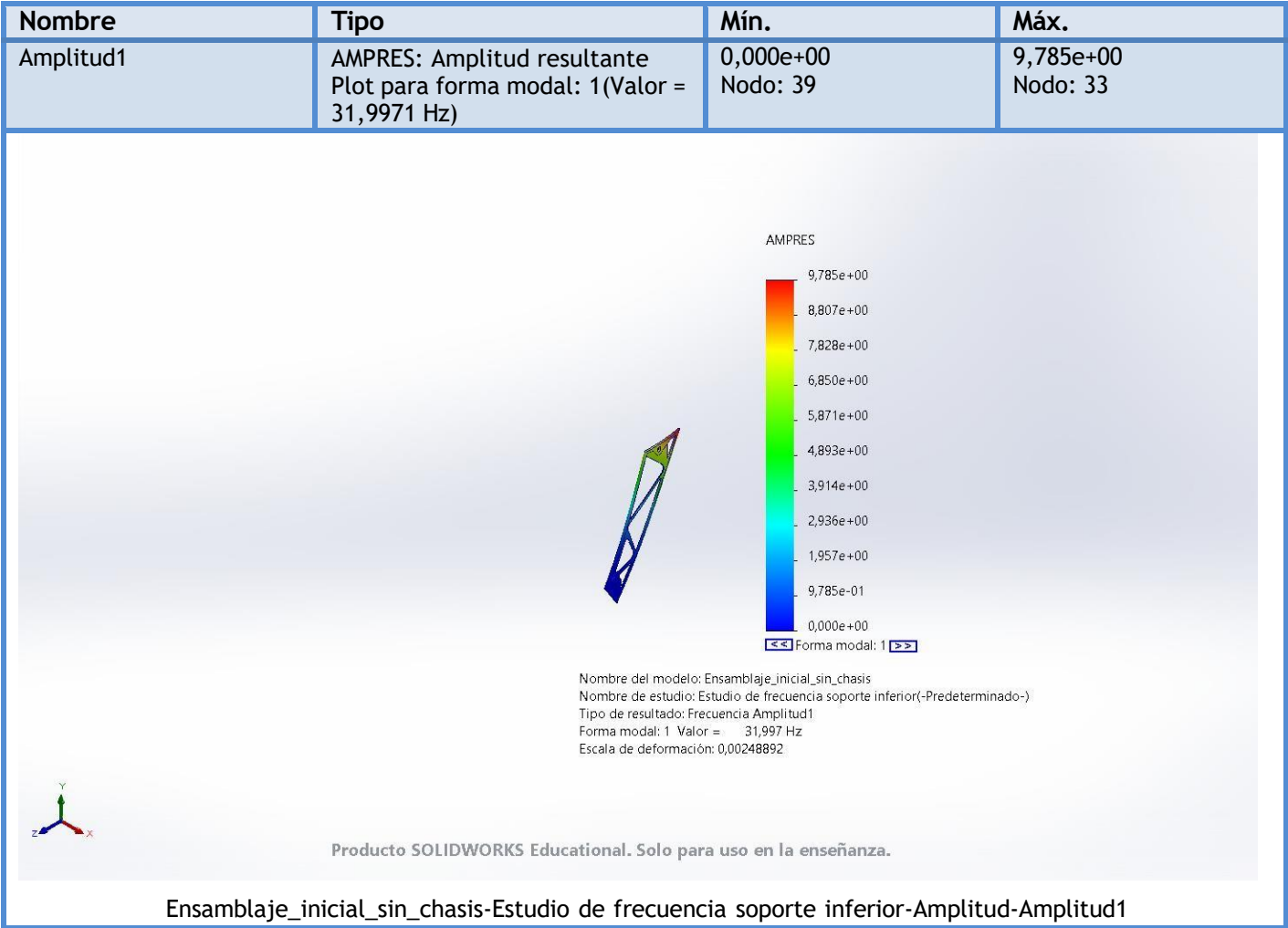


SOLIDWORKS

Analizado con SOLIDWORKS Simulation

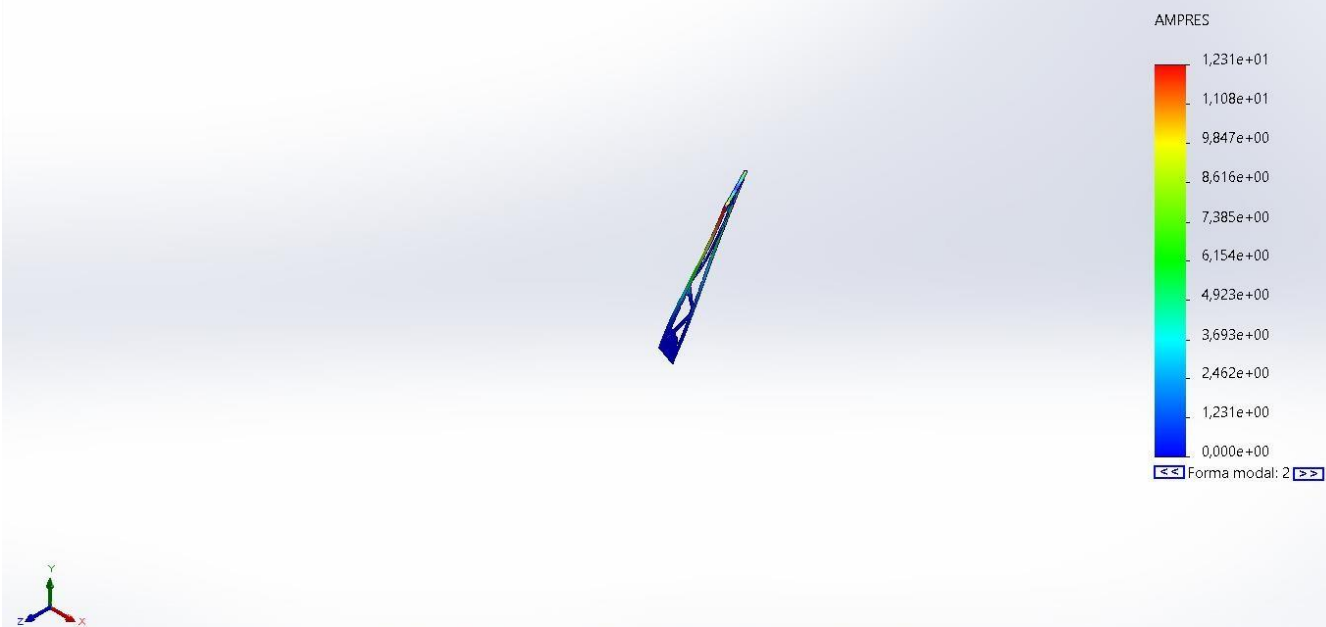
Simulación de Ensamblaje_inicial_sin_chasis

Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud2	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 2(Valor = 157,693 Hz)	0,000e+00 Nodo: 39	1,231e+01 Nodo: 36

Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud2
 Forma modal: 2 Valor = 157,69 Hz
 Escala de deformación: 0,00197868



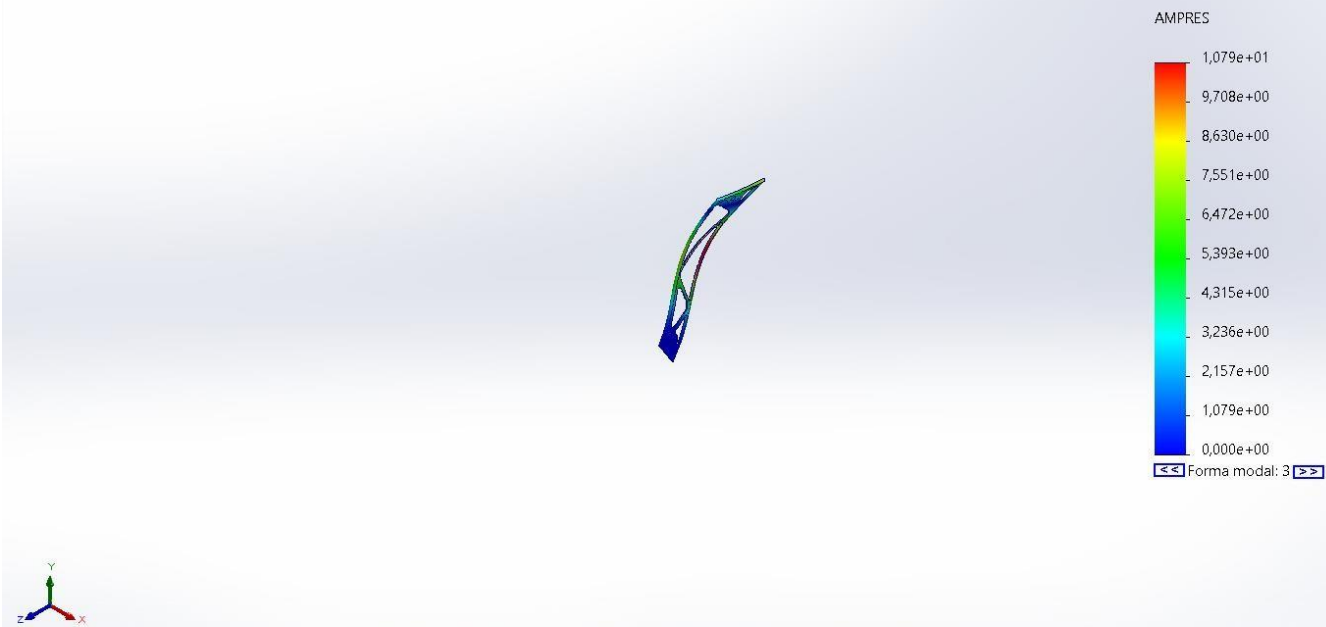
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud3	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 3(Valor = 244,116 Hz)	0,000e+00 Nodo: 39	1,079e+01 Nodo: 43381



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
 Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud3
 Forma modal: 3 Valor = 244,12 Hz
 Escala de deformación: 0,00225779



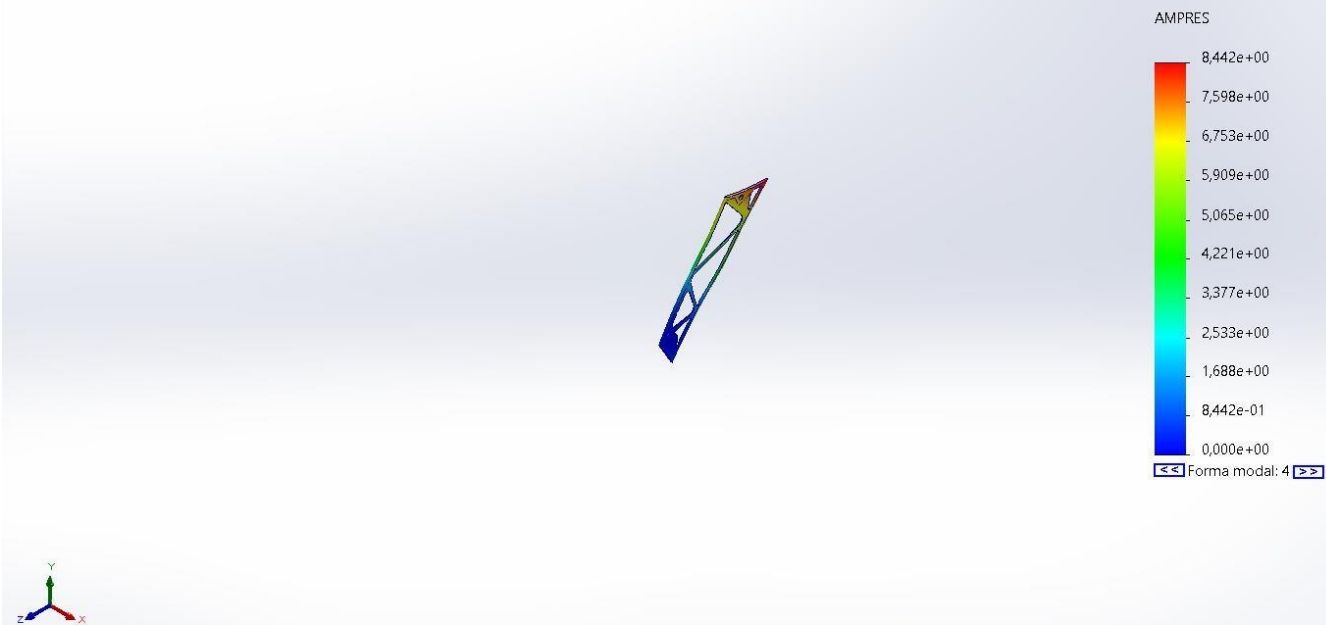
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud3

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud4	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 4(Valor = 389,093 Hz)	0,000e+00 Nodo: 39	8,442e+00 Nodo: 33



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud4
Forma modal: 4 Valor = 389,09 Hz
Escala de deformación: 0,00379242

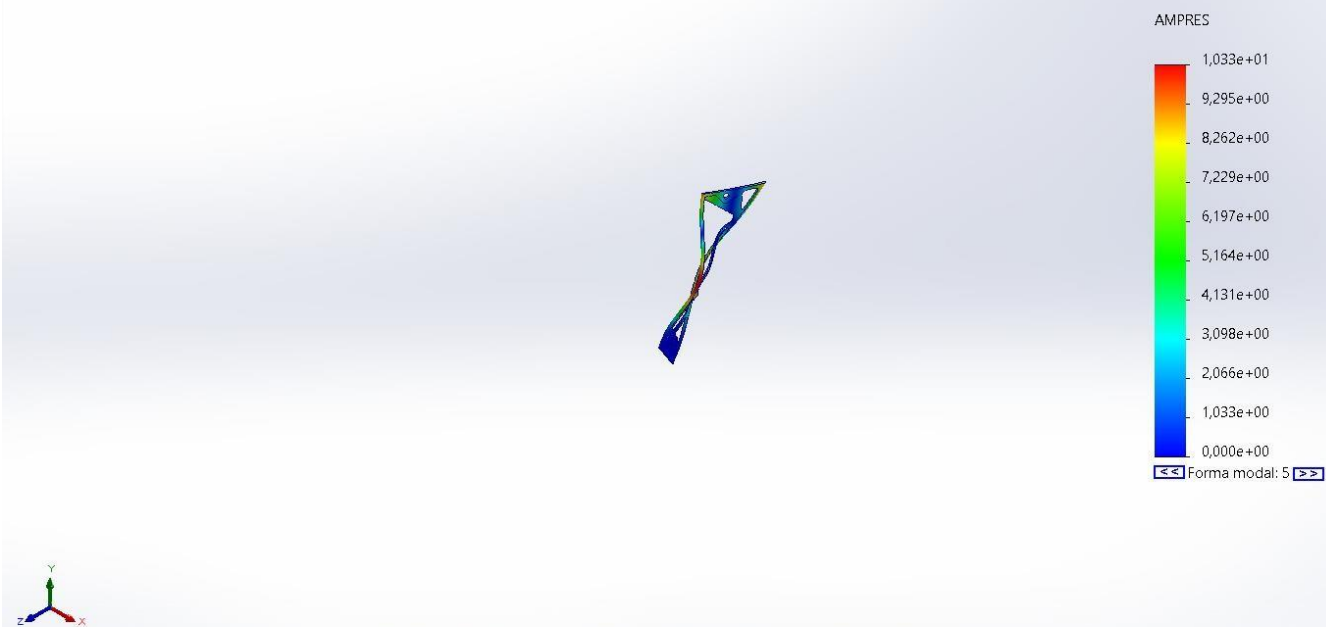


Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud4

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Amplitud5	AMPRES: Amplitud resultante Plot para forma modal: 5(Valor = 480,074 Hz)	0,000e+00 Nodo: 39	1,033e+01 Nodo: 60549



Nombre del modelo: Ensamblaje_inicial_sin_chasis
Nombre de estudio: Estudio de frecuencia soporte inferior(-Predeterminado-)
Tipo de resultado: Frecuencia Amplitud5
Forma modal: 5 Valor = 480,07 Hz
Escala de deformación: 0,00235817



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

Ensamblaje_inicial_sin_chasis-Estudio de frecuencia soporte inferior-Amplitud-Amplitud5

Lista de modos

Frecuencia nº.	Rad/seg	Hertz	Segundos
1	201,04	31,997	0,031253
2	990,81	157,69	0,0063414
3	1.533,8	244,12	0,0040964
4	2.444,7	389,09	0,0025701
5	3.016,4	480,07	0,002083

Participación de masa (Normalizada)

Modo nº.	Frecuencia(Hertz)	Dirección X	Dirección Y	Dirección Z
1	31,997	0,48129	5,8772e-15	3,4931e-13
2	157,69	0,00652	2,8105e-13	2,5146e-12
3	244,12	0,12651	1,0655e-12	1,0966e-11
4	389,09	5,2672e-14	0,17302	0,36212
5	480,07	0,0044986	9,9232e-11	1,429e-10
		Sum X = 0,61883	Sum Y = 0,17302	Sum Z = 0,36212



Anexo IV: Hoja Excel para cálculo de traslado de cargas



Componente	Selección	Todo el modelo
Sum X:	16.639	0.0011576
Sum Y:	125.21	-0.0006456
Sum Z:	-65.889	-2.52E-05
Resultante:	142.46	0.0013258

Si es:	Superior dere	Superior izqu
Fuerza en X	-65.889	-65.889
Fuerza en Y	125.21	125.21
Fuerza en Z	-16.639	16.639

Momento de cuerpo libre (N.m)

Componente	Selección	Todo el modelo
Sum X:	-0.64923	0.00026989
Sum Y:	-0.73242	-2.74E-05
Sum Z:	0.52756	0.00024818
Resultante:	1.1119	0.00036768

Momento en	0.52756	-0.52756
Momento en	-0.73242	0.73242
Momento en	0.64923	0.64923

F Mx sup del	52.756	-52.756
F My sup del	-73.242	73.242
F Mxsup detr	52.756	-52.756
F Mysup detr	-43.083529	43.0835294

Inferior derec Inferior izquierdo

65.889	65.889
-125.21	-125.21
-16.639	16.639

Sop sup

Delante
Mx 5mm
My 5mm

Detrás
Mx 5mm
My 8,5mm

-0.52756	0.52756
0.73242	-0.73242
0.64923	0.64923