



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

Trabajo Fin de Grado

Grado Ingeniería Mecánica

“Diseño, optimización y fabricación de una estructura de seguridad para un vehículo de Rally empleando materiales compuesto”

Autor:

Javier Carmona Giner

Dirigido:

Dr. Néstor Montañes Muñoz

Co-director:

Dr. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Septiembre 2020

Resumen

Mediante el empleo de materiales compuestos y laminados reforzados con fibras se pretende diseñar una estructura de seguridad para un vehículo de Rally que cumpla con las exigencias establecidas por la Federación Internacional de Automovilismo (FIA), como por ejemplo la resistencia a impacto. El objetivo principal es encontrar una alternativa a los materiales utilizados en la actualidad, que cumpliendo con la normativa referida, reduzca el peso total de la estructura. El presente proyecto contempla diversas disciplinas en el ámbito de la Ingeniería Mecánica: prediseño y optimización de diseños mediante análisis y simulaciones, estudio de estados tensionales, fijaciones, análisis resistentes, dimensionamiento final, pre-estudio de fabricación y pre-análisis de costes.

Palabras clave: diseño; optimización; estructura de seguridad; rally; ligereza; materiales compuestos.

Resum

Mitjançant l'ús de materials compostos i laminats reforçats amb fibres es pretén dissenyar una estructura de seguretat per a un vehicle de Ral·li que cumplisca amb les exigències establertes per la Federació Internacional d'Automobilisme (FIA), com per exemple la resistència a impacte. L'objectiu principal és trovar una alternativa als materials empleats en l'actualitat, que complint la normativa esmentada, reduisca el pes total de l'estructura. Aquest projectem abarca diverses disciplines en l'àmbit de la Ingenieria Mecànica: prediseny i optimització dels dissenys mitjançant anàlisis i simulacions; estudi d'estats tensionals, fixacions, anàlisis resistents, dimensionant final, pre-estudi de fabricació i pre-anàlisis de costos.

Paraules clau: disseny; optimització; estructura de seguretat; ral·li; lleugeresa; materials compostos.

Summary

Through the use of composite materials and fiber-reinforced laminates, the aim is to design a safety structure for a Rally vehicle that complies with the requirements established by the Federación Internacional de Automovilismo (FIA), such as impact resistance. The main objective is to find an alternative to the materials currently used, which, in compliance with the aforementioned regulation, reduce the total weight of the structure. The present project contemplates diverse disciplines in the field of Mechanical Engineering: pre-design and optimization of designs through analysis and simulations, study of tensional states, fixations, resistant analysis, final sizing, pre-study of manufacture and pre-analysis of costs.

Key words: design; optimization; security structure; rally; lightness; composite materials.

Listado de imágenes

Fig.1.0 Vehículo patentado por Karl Benz 1886	pág. 15
Fig 1.1 Vehículo participante Rallye Liege – Rome años 50	pág. 16
Fig 2.1 Vehículo disputando Rallye de Suecia años 60	pág. 16
Fig 3.1 Lancia HF Fulvia 1972	pág. 17
Fig 4.1 Lancia HF Stratos Rally San Remo	pág. 18
Fig 5.1 Audi Quattro S1E2	pág. 18
Fig 6.1 Lancia 037 Attilo Bettega	pág. 19
Fig 7.1 Lancia Delta S4 Henri Toivonen	pág. 19
Fig 8.1 Accidente Attilo Bettega	pág. 19
Fig 9.1 Accidente Henti Toivonen	pág. 19
Fig 10.1 Audi S1 (Grupo S)	pág. 20
Fig 11.1 Lancia Delta Carlos Sainz Rally Tour de Corse	pág. 21
Fig 12.1 BMW M3 E30 Pep Bassas Grupo A	pág- 21
Fig 13.1 Peugeot 309 Oriol Gomez Grupo N	pág. 21
Fig 14.1 Seat Córdoba WRC	pág. 22
Fig 15.1 Renault Megane Luis Climent	pág. 22
Fig 16.1 Suzuki Swift S1600 Santi Cañizares	pág. 23
Fig 17.1 Punto Abarth S2000 Miguel Fuster	pág. 23
Fig 18.1 Toyota Yaris 2010	pág. 24
Fig 19.1 Toyota Yaris 2019	pág. 24
Fig 20.1 Ford Fiesta R5 MKI Santiago Carnicer	pág. 25
Fig 21.1 Ford Fiesta R5 MKII	pág. 25
Fig 22.1 Skoda Fabia R5 Oficial	pág. 25
Fig 23.1 Peugeot 208 R2 Efrén Llanera	pág. 26
Fig 24.1 Renault Clio R3T J.J. Pérez	pág. 27
Fig 25.1 Ford Fiesta R2T Nil Solans	pág. 27
Fig 26.1 Cupra Leon ETCR	pág. 28
Fig 1.2 Equipación de seguridad	pág. 29
Fig 2.2 HANS	pág. 29
Fig 3.2 Casco Estilo WRC	pág. 29

Fig 4.2 Cortacorrientes interiores	pág. 30
Fig 5.2 Cristal laminado delantero	pág. 30
Fig 6.2 Baquet	pág. 31
Fig 7.2 Arnés 6 puntos	pág. 31
Fig 8.2 Extinción vehículo	pág. 31
Fig 9.2 Jaula de seguridad	pág. 31
Fig 1.3 Arco trasero, jaula antigua	pág. 33
Fig 2.3 Jaula seguridad actual	pág. 33
Fig 1.6 Disposición espesores barra	pág. 36
Fig 2.6 Estructura base 1	pág. 37
Fig 3.6 Estructura base 2	pág. 37
Fig 4.6 Estructura base 3	pág. 38
Fig 5.6 Tirantes laterales	pág. 39
Fig 6.6 Refuerzo arco principal en cruz	pág. 39
Fig 7.6 Refuerzo arco trasero	pág. 39
Fig 8.6 Refuerzo techo	pág. 40
Fig 9.6 Refuerzo pilar parabrisas	pág. 40
Fig 1.7 Jaula de seguridad	pág. 41
Fig 2.7 Refuerzos barra entre puertas	pág. 41
Fig 3.7 Refuerzo arco principal	pág. 42
Fig 4.7 Refuerzo tirantes traseros	pág. 42
Fig 5.7 Refuerzo techo	pág. 43
Fig 1.9 Disposición carga vertical	pág. 48
Fig 2.9 Disposición carga lateral	pág. 49
Fig 3.9 Sujeciones estructura	pág. 50
Fig 1.10 Ejemplo barras	pág. 50
Fig 2.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 51
Fig 3.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 51
Fig 4.10 Factor seguridad fuerza vertical	pág. 52
Fig 5.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 52
Fig 6.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 52

Fig 7.10 Factor seguridad fuerza lateral	pág. 53
Fig 8.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 53
Fig 9.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 54
Fig 10.10 Factor seguridad fuerza vertical	pág. 54
Fig 11.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 55
Fig 12.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 55
Fig 13.10 Factor seguridad fuerza lateral	pág. 55
Fig 14.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 56
Fig 15.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 57
Fig 16.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 57
Fig 17.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 58
Fig 18.10 Seguridad tension máxima	pág. 58
Fig 19.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 58
Fig 20.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 59
Fig 21.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 59
Fig 22.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 60
Fig 23.10 Seguridad tension máxima	pág. 60
Fig 24.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 61
Fig 25.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 61
Fig 26.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 62
Fig 27.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 62
Fig 28.10 Seguridad tension máxima	pág. 62
Fig 29.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 63
Fig 30.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 63
Fig 31.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 64
Fig 32.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 64
Fig 33.10 Seguridad tension máxima	pág. 64
Fig 34.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 65
Fig 35.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 66
Fig 36.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 66
Fig 37.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 66

Fig 38.10 Seguridad tension máxima	pág. 67
Fig 39.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 67
Fig 40.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 67
Fig 41.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 68
Fig 42.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 68
Fig 43.10 Seguridad tension máxima	pág. 68
Fig 44.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 69
Fig 45.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 70
Fig 46.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 70
Fig 47.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 70
Fig 48.10 Seguridad tension máxima	pág. 71
Fig 49.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 71
Fig 50.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 72
Fig 51.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 72
Fig 52.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 72
Fig 53.10 Seguridad tension máxima	pág. 73
Fig 54.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 74
Fig 55.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 74
Fig 56.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 75
Fig 57.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 75
Fig 58.10 Seguridad tension máxima	pág. 75
Fig 59.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 76
Fig 60.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 76
Fig 61.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 76
Fig 62.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 77
Fig 63.10 Seguridad tension máxima	pág. 77
Fig 64.10 Tensiones fuerza vertical	pág. 78
Fig 65.10 Desplazamientos fuerza vertical	pág. 78
Fig 66.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 79
Fig 67.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 79
Fig 68.10 Seguridad tension máxima	pág. 79

Fig 69.10 Tensiones fuerza lateral	pág. 80
Fig 70.10 Desplazamientos fuerza lateral	pág. 80
Fig 71.10 Seguridad Tsai-Hill	pág. 81
Fig 72.10 Seguridad Tsai-Wu	pág. 81
Fig 73.10 Seguridad tension máxima	pág. 81
Fig 1.11 Sierra corte tubería acero	pág. 83
Fig 2.11 Soldadura arco eléctrico	pág. 84
Fig 3.11 Ángulo Nivel	pág. 84
Fig 4.11 Mordaza para tubos	pág. 85
Fig 5.11 Cortatubos	pág. 85
Fig 6.11 Aplicación Resina Epoxi	pág. 86
Fig 7.11 Aplicación Fibra	pág. 86

Listado de Tablas

Tabla 1.8 Exigencias composición acero normative RFEDA	pág. 45
Tabla 2.8 Composición 20MoCr4	pág. 45
Tabla 3.8 Características acero	pág. 45
Tabla 4.8 Propiedades Fibra de Carbono	pág. 46
Tabla 5.8 Propiedades Fibra de Yute	pág. 47
Tabla 6.8 Propiedades Fibra de Bambú	pág. 47
Tabla 1.10 Dimensiones mínimas	pág. 50
Tabla 2.10 Resumen resultados	pág. 82
Tabla 1.11 Pesos	pág. 87
Tabla 2.11 Precio fibras	pág. 87
Tabla 3.11 Precio resina	pág. 87
Tabla 4.11 Precio materiales final	pág. 88
Tabla 5.11 Precio final estructura	pág. 88
Tabla 6.11 Cálculo ahorro combustible	pág. 88
Tabla 7.11 Cálculo ahorro de tiempo	pág. 89
Tabla 8.11 Ahorro combustible rally	pág. 89
Tabla 9.11 Ahorro tiempo rally	pág. 89
Tabla 10.11 Kilómetros necesarios	pág. 90
Tabla 11.11 Rallys necesarios	pág. 90

Índice

I-Introducción	14
1. Introducción histórica	15
1.1- Década de los 50	15
1.2- Década de los 60	16
1.3- Década de los 70	17
1.3-1. <i>Grupo 4</i>	17
1.4- Década de los 80	18
1.4-1. <i>Grupo B</i>	18
1.4-2. <i>Grupo S</i>	20
1.4-3. <i>Grupo A</i>	20
1.5- Década de los 90	21
1.5-1. <i>Vehículos Word Rally Cars</i>	21
1.5-2. <i>Vehículos Kit Car</i>	22
1.6- Años 2000	22
1.6-1. <i>S1600</i>	23
1.6-2. <i>S2000</i>	23
1.7- Años 2010	23
1.7-1. <i>Categoría WRC</i>	24
1.7-2. <i>Categoría WRC 2</i>	24
1.7-3. <i>WRC 2 PRO</i>	26
1.7-4. <i>Categoría JWRC</i>	26
1.7-5. <i>Vehículos R2</i>	26
1.7-6. <i>Vehículos R3T</i>	27
1.7-7. <i>Vehículos R2T</i>	27
1.8- Futuro de los Rallys	27
2. Medidas de seguridad	28
2.1- Seguridad pasajeros	28
2.1-1. <i>Ropa Ignifuga</i>	29
2.1-2. <i>HANS</i>	29
2.1-3. <i>Casco</i>	29
2.2- Seguridad integrada en el vehículo	30
2.2-1. <i>Corta corriente</i>	30
2.2-2. <i>Cristales laminados</i>	30
2.2-3. <i>Sistemas de sujeción</i>	30
2.2-4. <i>Extinción</i>	31
2.2-5. <i>Jaula de seguridad</i>	31
3. Jaula de seguridad	32
3.1- Forma	32
3.2- Uso	33
4. Problemas	33
5. Objetivos	34

II-Diseño	35
6. Diseño	36
6.1- Especificaciones técnicas	36
6.2- Estructuras base	37
6.2-1. <i>Estructura base 1</i>	37
6.2-2. <i>Estructura base 2</i>	37
6.2-3. <i>Estructura base 3</i>	37
6.2-4. <i>Condiciones adicionales</i>	38
6.3- Tirantes y refuerzos obligatorios	38
6.3-1. <i>Refuerzo barra entre puertas</i>	38
6.3-2. <i>Refuerzo arco principal</i>	39
6.3-3. <i>Refuerzo de los tirantes traseros</i>	39
6.4- Tirantes y refuerzos opcionales	39
6.4-1. <i>Refuerzos del techo</i>	39
6.4-2. <i>Refuerzo pilar del parabrisas</i>	40
7. Construcción de la jaula	40
III- Cálculos	44
8. Materiales a emplear	45
8.1- Acero 20CrMo4	45
8.2- Fibra de Carbono	45
8.3- Fibras Naturales	46
8.3-1. <i>Fibra de Yute</i>	46
8.3-2. <i>Fibra de Bambú</i>	47
9. Cargas	48
9.1- Carga Vertical	48
9.1-1. <i>Disposición de la carga</i>	48
9.1-2. <i>Cálculo valor de la carga</i>	48
9.2- Carga Lateral	48
9.2-1. <i>Disposición de la carga</i>	49
9.2-2. <i>Cálculo valor de la carga</i>	49
9.3- Sujeciones	49
9.4- Restricciones	50
10. Estudio	50
10.1- Acero	50
10.1-1. <i>Primer ensayo</i>	51
10.1-2. <i>Segundo ensayo</i>	53
10.2- Fibra de carbono	56
10.2-1. <i>Primer ensayo</i>	56
10.2-2. <i>Segundo ensayo</i>	60
10.3- Fibra de Yute	65
10.3-1. <i>Primer ensayo</i>	65
10.3-2. <i>Segundo ensayo</i>	69

10.4-	Fibra de bambú	73
	10.4-1. <i>Primer ensayo</i>	73
	10.4-2. <i>Segundo ensayo</i>	77
10.5-	Resumen estudio	82
11.	Presupuesto	82
11.1-	Técnicas de fabricación	82
	11.1-1. Técnica de fabricación acero	82
	11.1-2. Técnica de fabricación fibra	85
11.2-	Cálculo precio estructura	86
	11.2-1. Cálculo estructura acero	86
	11.2-2. Cálculo estructuras fibra	87
11.3-	Cálculo ahorro combustible	88
11.4-	Cálculo ahorro tiempo	88
11.5-	Cálculo Rally Ciutat de Gandia	89
11.6-	Cálculo rentabilidad	89
12.	Conclusión	90
13.	Trabajos futuros	91
IV-	Bibliografía	93
14.	Bibliografía	94
V-	Anexos	95
1-	Simulación estructura acero fuerza vertical	96
2-	Simulación estructura acero fuerza lateral	114
3-	Simulación estructura carbono fuerza lateral	126
4-	Simulación estructura carbono fuerza vertical	144
5-	Simulación estructura yute fuerza lateral	162
6-	Simulación estructura yute fuerza vertical	190
7-	Simulación estructura bambú fuerza lateral	208
8-	Simulación estructura bambú fuerza vertical	226
9-	Normativa	244



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

I- Introducción

1- Introducción histórica

En este primer apartado, se va a realizar una introducción a los Rallys desde su aparición hasta su actualidad, la importancia de estos en el mundo automovilístico; y así, conseguir una aproximación hacia el conocimiento de la importancia que representan las jaulas de seguridad en un vehículo de competición.

APARICION Y EXPLICACION COCHE

A principios del siglo XIX, empezaron a aparecer los primeros coches propulsados por motor; pero no fue hasta 1860 con la invención del motor de dos tiempos por parte de Etienne Lenoir y 1876 cuando Nikolaus Otto realizó un motor de cuatro tiempos más práctico. Con ambos motores, la industria automovilística empezó a desarrollarse de manera significativa. Aparecieron constructores como Karl Benz (*Fig 1.0*), Gottlieb Daimler, Wilhelm Maybach o Louis Renault, entre muchos otros.



Fig 1.0. Vehículo patentado por Karl Benz, 1886.

Este auge, en la industria propicio que, a principios del siglo XX, se empieza a utilizar el concepto de "Rally", un concepto muy diferente al de ahora. En aquellos primeros años, se conocían como Rally unas concentraciones de vehículos completamente de serie con una finalidad, meramente turística y de marketing. Ya que, realizaban largas distancias de trayecto a la velocidad marcada por las vías. Las condiciones de las vías, las pocas medidas de seguridad de los vehículos y las prestaciones de dichos, hacían imposible la realización de estos tramos a gran velocidad.

El concepto de Rally ha ido evolucionando con el paso de los años, hasta convertirse en una competición de gran importancia para la industria automovilística; ya que, han encontrado un banco de pruebas donde poder desarrollar piezas que serán utilizadas en los vehículos de serie. Esto ha propiciado una mejora en la durabilidad y rendimiento de los vehículos destinados al uso habitual.

1.1- Década de los 50

A partir de la década de los años 50, tras los acontecimientos de la II Guerra Mundial, en Europa se realiza un proceso de mejora de las carreteras, llegándose a asfaltar una gran parte de ellas. Este hecho, junto a las mejoras tecnológicas producidas en la Industria del Automóvil propiciaron la aparición de la búsqueda de la velocidad más que de la regularidad en los Rallys.

Los vehículos, estéticamente, carecían de elementos que les diferenciaran de los vehículos que circulaban por la calle, como se puede observar en la *Fig 1.1*.

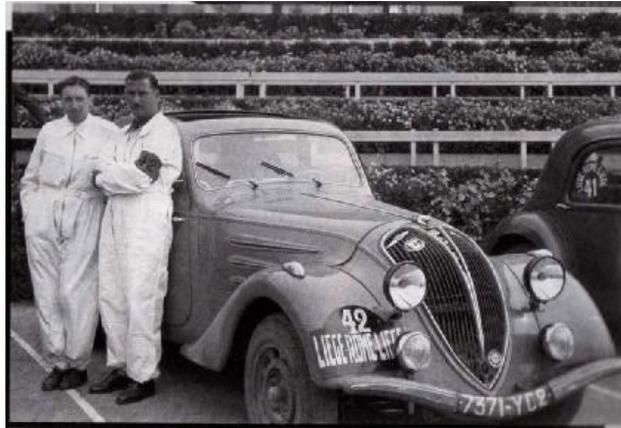


Fig 1.1 – Vehículo participante Rallye Liege-Rome de los años 50

Así, se originó el primer Campeonato de Rallys Internacional, el Campeonato Europeo. Esta aparición provocó tres hechos importantes: los rallys pasarían a ser de velocidad, siendo el lugar idóneo para la prueba de piezas para los coches de calle; se profesionalizó el mundo de la competición apareciendo equipos privados de preparadores al mismo tiempo que fábricas oficiales y por último, se estableció un reglamento donde se estipulaba la normativa base para realizar los campeonatos (limitación de los vehículos según categoría o la aparición de los elementos de seguridad como la jaula antivuelco).

1.2- Década de los 60

En los años 60, el número de rallys cronometrados superaba en gran medida a los rallys convencionales de regularidad. Esto hizo que aparecieran un gran número de carreras, puesto que no se necesitaba unir largas distancias entre dos ciudades, si no que se podía realizar el recorrido por los alrededores de una ciudad o de una montaña.



Fig 2.1 Vehículo disputando el Rallye de Suecia años 60

En cuanto a los vehículos que participaban en los rallys estos años, estos eran estrictamente de serie, como se puede observar en la *Fig 2.1*. Por lo que, no contaban con las medidas de seguridad que en años posteriores empezaron a implementarse.

1.3- Década de los 70

En los primeros años de la década de los 70 se creó el Campeonato Internacional de Marcas, el primer campeonato de Rallys que se disputaba en diferentes continentes y que sirvió, junto a la creación de la Copa FIA para pilotos, de preámbulo para la creación del Campeonato Mundial de Rallys en 1979. Esto hizo que marcas oficiales como Renault, Lancia o Fiat participaran en dichos campeonatos.



Fig 3.1 Lancia HF Fulvia 1972

Sin embargo, a principios de los años 70, los vehículos que participaban en los rallys, *Fig 3.1*, empezaron a distanciarse de sus homólogos de serie. Este hecho obtuvo su momento culmen con la creación de la clase de vehículos, denominada "Grupo 4".

1.3.1- Grupo 4

En esta categoría, precursora de los famosos Grupo B, empezaron a realizarse modificaciones tanto de carrocería como de motor en los vehículos participantes. En la *Fig 4.1*, se puede observar un vehículo característico de la época, el Lancia HF Stratos. En cuanto a la reglamentación para estos vehículos existían las siguientes premisas:

- Debían producirse en un principio 500 vehículos de serie, aunque, después este número fue reducido a 400.
- La potencia de los vehículos estaba establecida en 280CV.
- Debían contar con una jaula de seguridad dentro de los vehículos.



Fig 4.1 Lancia HF Stratos Rally San Remo

1.4- Década de los 80

En la década de los años 80, los rallies cobraron un alto nivel de importancia en el mundo del motor y de la competición con la creación, de los famosos Grupo B, el posterior intento de desarrollo de los Grupo S y, finalmente con la creación de los Grupo A.

1.4.1- Grupo B

Este grupo de vehículos se caracterizaba por ser vehículos con pocas limitaciones de modificaciones tanto en el apartado del motor como en la carrocería, pero existía la condición de que se hubiesen construido, al menos, 200 unidades de este vehículo de serie.



Fig 5.1 Audi Quattro S1E2

La premisa en estos vehículos era básica, conseguir ser más rápidos sin tener en consideración nada más; por este motivo, estos vehículos fueron muy peligrosos. Se llegaron a conseguir relaciones de peso potencia muy elevadas, desde 1CV por cada 3Kg, como los Lancia 037 Rally o los Lancia Delta S4, entre otros; y 1CV por cada 2Kg, o incluso menos, en los vehículos Audi Quattro S1E2, Fig 5.1 o el Peugeot 205 T16 Evo 2, entre otros.

Cabe destacar, al Audi Quattro, el cual, fue el primer vehículo de uso civil en contar con la tracción a las cuatro ruedas, y gracias a esto, consiguieron múltiples victorias en el campeonato del mundo.

La tracción a las cuatro ruedas supuso una enorme ventaja técnica, sobre aquellos que utilizaban la tracción trasera. La tracción trasera era óptima en superficies poco deslizantes, como el asfalto; pero sobre esta superficie, se realizaban muy pocas pruebas. Mientras que, en superficies como la tierra o la nieve, los vehículos se volvían incontrolables, con tanta potencia y tan poco control. Por este motivo, la implantación de la tracción a las cuatro ruedas, supuso un gran avance técnico; aportando, una gran ventaja sobre sus competidores. Esta ventaja, se obtuvo, en mayor medida, en las superficies donde la adherencia era menor; ya que la tracción a las cuatro ruedas otorga, en todo momento, tracción al vehículo.

Estas altas relaciones, se consiguieron en muchos casos, dejando de lado la importancia de los elementos de seguridad; siendo así, y en tan elevado grado, que se llegaron a sustituir las barras de seguridad por tubos de cartón pintados. Y tras varias muertes, la FIA aumentó las medidas de seguridad exigidas en los vehículos, aumentando las estructuras de seguridad en los coches.



Fig 6.1 Lancia 037 Attilio Bettega



Fig 7.1 Lancia Delta S4 Henri Toivonen

A pesar de ello, los fabricantes seguían en la búsqueda de las máximas prestaciones, como el caso de los últimos Audi Quattro S1 con 600CV por 1000Kg. Y no fue hasta que llegaron dos fatídicos momentos:

- La muerte de *Attilio Bettega* a los mandos de un Lancia 037 en 1985, *Fig 6.1* y *Fig 8.1*.
- La muerte de *Henri Toivonen* a los mandos de un Lancia Delta S4 en 1986, *Fig 7.1* y *Fig 9.1*.

Estos hechos, propiciaron que la FIA, tomara la decisión de prohibir los “Grupo B” para el campeonato de la temporada siguiente.



Fig 8.1 Accidente Attilio Bettega



Fig 9.1 Accidente Henri Toivonen

Tras sendos fatídicos accidentes y la prohibición de los “Grupo B”; la FIA decretó dos medidas para los años venideros: la prohibición del desarrollo de los “Grupo S” y la creación de los “Grupo A”.

1.4.2- Grupo S

Seguían la esencia de los “Grupo B”:

- Prototipos de coches de serie, como se observa en la *Fig 10.1*, destinados a los rally.
- Pero con limitaciones de potencia (300CV frente a los 500CV que lograban los Grupo B).
- La implementación de fuertes medidas de seguridad.

Aunque los primeros prototipos de estos vehículos arrojaron que tendrían un rendimiento y una velocidad mucho mayor que los Grupo B.



Fig 10.1 Audi S1 (Grupo S)

1.4.3- Grupo A

Este grupo de vehículos contaron con altas restricciones de rendimiento en el momento de su creación y con altas exigencias de seguridad, tras los hechos sucedidos con los Grupo B. Estos vehículos contaron, con motores turbo y tracción a las cuatro ruedas, como el Lancia Delta Integrale, *Fig 11.1*. Aunque también, existieron vehículos con tracción trasera como el BMW M3 E30, *Fig 12.1.*, o con tracción delantera como el Peugeot 205.

Las fábricas de vehículos, tenían la obligación de fabricar un mínimo de 5.000 unidades de un modelo para que pudiera ser homologado en esta categoría. Esta categoría cogió gran protagonismo en los rallys, tanto fue así que crearon diferentes subgrupos, organizados por cilindrada del vehículo; donde quedaba limitada su potencia máxima, peso mínimo, la incorporación de turbo y el tipo de tracción. Estos subgrupos, animaron a que más marcas de coches se involucraran en el Campeonato Mundial de Rallys, y que surgieran diferentes especificaciones de vehículos, como veremos a continuación.



Fig 11.1 Lancia Delta Carlos Sainz Rally Tour de Corse

1.5- Década de los 90

En los años 90, tras la creación de los Grupo A (coches modificados a partir del vehículo de serie), *Fig 12.1*. y a su vez los Grupo N (coches completamente de serie, donde se le añadían las medidas de seguridad exigidas por la FIA), *Fig 13.1*, los campeonatos se volvieron menos espectaculares, pero más seguros.

Los Grupo N, eran vehículos prácticamente de serie. En estos vehículos, tan solo se permitía el cambio de las pastillas de freno de serie, los amortiguadores de serie y los neumáticos de serie; todos ellos, a su versión de competición. Además, era obligatorio implementar la jaula de seguridad, asientos estilo baquet y arneses de seguridad, tanto para piloto como para copiloto y medidas de extinción. Eso sí, elementos como, los asientos traseros, bandeja del maletero, paneles interiores del vehículo, debían de continuar estando. Esto propició, que se convirtiera en un grupo de coches muy asequibles para la iniciación en la competición.

A mitades de los años 90, la FIA creó dos nuevas categorías: los Word Rally Cars (WRC) y la Copa de Producción de 2 litros.

Grupo A



Fig 12.1 BMW M3 E30 Pep Bassas Grupo A

Grupo N



Fig 13.1 Peugeot 309 Oriol Gómez Grupo N

1.5.1- Vehículos Word Rally Cars

En cuanto a la categoría de los Word Rally Cars, su reglamentación fue un híbrido entre los actuales Grupo A y los antiguo Grupo B. Ya que, cogieron como base los actuales Grupo A, pero permitieron las modificaciones de carrocería, la implantación del turbo, aumento de potencia y la introducción de la tracción a las cuatro ruedas; como ocurría en los vehículos del Grupo B.

Esta categoría de vehículos se estableció como la gran dominadora durante muchos años.

En la *Fig 14.1*, se puede observar el Seat Córdoba WRC con el que la marca española participó en el WRC.



Fig 14.1 Seat Córdoba WRC

1.5.2- Vehículos Kit Car

Por otro lado, la aparición de la Copa de Producción de 2 litros, hizo que aparecieran los denominados “Kit Car”, *Fig 15.1*. Estos vehículos, con 1000Kg de peso y 280 CV hicieron vibrar al público que se agolpaba en las cunetas. Estos vehículos contaban con dos peculiaridades: su atronador sonido y su inconfundible diseño exterior (con unos Kit de ensanche, para buscar una mayor estabilidad y una mejora del rendimiento).



Fig 15.1 Renault Megane - Luis Climent

1.6- Años 2000

Con el cambio de siglo, aparecieron nuevas reglamentaciones. Estas vinieron, mayoritariamente, por el alto nivel mostrado por los “Grupo A”, y especialmente por los “Kit Car”, que en muchas pruebas ganaban a la categoría reina, los WRC. Estas reglamentaciones llevaron, por una parte, a la prohibición de los Kit Car. Por otro lado, la FIA sentó las bases de la estructura actual del WRC, creando las categorías S1600 y S2000.

1.6.1- S1600

Los vehículos que regían el campeonato de S1600, *Fig 16.1*, posteriormente llamado Campeonato Mundial de Rally Junior, eran vehículos derivados de serie, con tracción a las dos ruedas delanteras, con un motor atmosférico de cuatro válvulas por cilindro y de 1600cc con 230CV y un límite de peso de 980kg (pudiendo ser de 920kg si el motor contaba con dos válvulas por cilindro). Unos vehículos muy competitivos que sirvieron como categoría de formación del mundial para los jóvenes pilotos.



Fig 16.1 Suzuki Swift S1600 – Santi Cañizares

1.6.2- S2000

Al mismo tiempo que se crearon los S1600 aparecieron los S2000, *Fig 17.1*. Los S2000 formaron un campeonato en el que buscaron abaratar los costes de los extremadamente caros WRC y así, favorecer la aparición tanto de equipos privados, como de nuevos fabricantes. Además, sirvieron como antesala de los WRC modernos. Estos debían de venir de un modelo de 4 plazas y las especificaciones en cuanto a prestaciones eran de un motor atmosférico de 2.000cc con 280CV de potencia, junto a una tracción integral a las 4 ruedas y un cambio secuencial de 6 velocidades. En cuanto al peso se establecía un mínimo de 1150kg.



Fig 17.1 Punto Abarth S2000 Miguel Fuster

1.7- Años 2010

En la última década, el Campeonato del Mundo de Rallys ha ido sufriendo cambios constantes. Estos han sido propiciados por la falta de apoyo económico en este deporte al mismo tiempo que la aparición y desaparición de muchos constructores. Las modificaciones han sido las siguientes:

1.7.1- Categoría WRC

Normativa WRC 2010-2016

En el año 2011, ante la falta de constructores y el descenso de interés en este campeonato, se creó la nueva generación de los WRC. Estos WRC estarán basados en los antiguos S2000 pero contaron con un motor de 1.600cc sobrealimentado con un turbo. A su vez, contaron con la tracción a las 4 ruedas y una reducción en el largo de los vehículos, pero un aumento del ancho, propiciado un incremento en la estabilidad en los tramos sinuosos.



Fig 18.1 Toyota Yaris 2010

Normativa WRC 2017-2021

A partir del año 2017, los nuevo WRC tuvieron un cambio muy apreciable en sus apariencias pudiendose observar en ellos notorios elementos aerodinámicos. Además de los cambios aerodinámicos, estos modelos cuentan con las siguientes especificaciones: motores de 1.600cc turboalimentados con una potencia de 380CV, una caja secuencial de 6 velocidades con tracción a las cuatro ruedas, ruedas de 18 pulgadas para asfalto y 15 pulgadas para tierra y un peso mínimo de 1190kg; Estas característica hacen que estos vehículos superen los 200km/h de velocidad punta y una aceleración de 0-100/km/h en menos de 4 segundos.



Fig 19.1 Toyota Yaris 2019

Se puede observar, la evolución que ha mostrado el Toyota Yaris desde la normativa 2010-2016 la imagen de la izquierda, *Fig 18.1.*; al de la normativa 2017-2021 de la imagen derecha, *Fig 19.1.*

A su vez, la FIA ha creado dos campeonatos paralelos: el WRC2 y el JWRC.

1.7.2- Categoría WRC 2

Desde su creación en el 2010 hasta el 2013, los vehículos participantes en este campeonato fueron los S2000. Desde el 2013, este campeonato sufrió un cambio de normativa, cambiando los vehículos aceptados en esta categoría que en principio fueron los N o R4 (como los Mitsubishi Lancer EVO IX o X y los Subaru Impreza) y los R5.

Los vehículos denominado N o R4 eran vehículos con unas características especiales en su versión de serie: contaban con tracción a las cuatro ruedas, turbo y pertenecían al segmento C.

Además, contaban con una pequeña evolución sobre los vehículos del Grupo N; pero, que dada sus características originarias, les otorgaban unas grandes prestaciones. Estas modificaciones fueron: establecer un peso mínimo de 1.300 kg, un diámetro de brida del turbo de 33 mm y cambios tanto en el chasis como en la carrocería. Tal fue su rendimiento que se convirtieron en serios rivales de los S2000.

Pero desde 2017, solamente pueden competir en esta categoría los vehículos R5, *Fig 20.1*. Estos vehículos, vulgarmente, son denominados los hermanos pequeños de los WRC; esta denominación nos puede hacer una idea de las características de dichos.



Fig 20.1 Ford Fiesta R5 MKI – Santiago Carnicer

Estos vehículos cuentan con las siguientes especificaciones: motores de 1.600cc turboalimentados con una potencia de 285CV, una caja secuencial de 5 velocidades con tracción a las cuatro ruedas, ruedas de 18 pulgadas para asfalto y 15 pulgadas para tierra y un peso mínimo de 1230kg; hacen que superen los 200km/h de velocidad punta y una aceleración de 0-100/km/h en menos de 4 segundos. Aerodinámicamente, estos vehículos son más simples que los WRC, pareciéndose a los S2000; aunque, en las últimas evoluciones, *Fig 21.1*, los vehículos van teniendo más elementos aerodinámicos.



Fig 21.1 Ford Fiesta R5 MKII

1.7.3- WRC 2 PRO

Desde el 2019, se ha creado una subcategoría dentro del WRC2, denominada WRC2 Pro, *Fig 22.1*. Esta categoría, se diferencia de la categoría donde va englobada, puesto que los equipos que lo forman, son equipos de fábricas oficiales, mientras que la otra categoría la forman equipos privados.



Fig 22.1 Skoda Fabia R5 Oficial

1.7.4- Categoría JWRC

Por otro lado, encontramos el campeonato de JWRC, anteriormente llamado academia WRC entre los años 2011 y 2013. Desde el cambio de denominación a WRC3 en 2013, este campeonato ha sido destinado a vehículos con tracción a las 2 ruedas delanteras. En esta categoría, frente a las otras dos nombradas anteriormente, encontramos menos prestaciones en los vehículos. Esta situación, ayuda a que se convierta en una categoría de “formación” para que jóvenes pilotos puedan dar el salto a las categorías superiores, tanto es así que a partir de la Temporada 2019 el WRC 3 ha pasado a llamarse JWRC.

1.7.5- Vehículos R2

En cuanto a los vehículos que componen esta clase son varios. En un principio entre los años 2011 y 2013, la categoría estaba destinada a los vehículos denominados R2, *Fig 23.1*. Vehículos de tracción delantera, que ofrecían un alto espectáculo, con tan solo 185CV y un motor atmosférico de 1.600cc.



Fig 23.1 Peugeot 208 R2 – Efrén Llanera

1.7.6- Vehículos R3T

A partir del año 2014 hasta el año 2016, se suplantaron los antiguos R3 atmosféricos por los nuevos R3T, *Fig 24.1*. Vehículos más potentes pero que contaban con una novedad, su motor pasó de ser atmosférico a ser turbo. Estos coches, estaban alimentados con un motor de 1.600cc con turbo que ofrecía 210CV. Pero en 2016 dado su alto coste, tanto de compra como de mantenimiento, y su bajo rendimiento, se propició a que estos vehículos fueran cambiados por los modelos actuales R2T.



Fig 24.1 Renault Clio R3T – J.J. Pérez

1.7.7- Vehículos R2T

A partir del 2016, los nuevos vehículos, los R2T en especial el Fiesta R2T, *Fig 25.1*, han sido los vehículos de formación de los jóvenes pilotos a nivel mundial. Estos vehículos cuentan con los nuevos motores de 1.000cc turboalimentados de tres cilindros, con una potencia de 200CV. Los R2T destacan por el alto rendimiento que ofrecen en las carreras. Este rendimiento, comparado con sus “hermanos medianos” los R5, es menor; pero con unos costes mucho menores. Lo que provoca que sea una categoría muy atractiva.



Fig 25.1 Ford Fiesta R2T – Nil Solans

1.8- El Futuro de los Rallys

A partir de este año, aparece una nueva normativa en el Campeonato del Mundo de Rallyes, la normativa híbrida. Los vehículos contarán con motores híbridos, en los cuales, el apartado de combustión con ayuda eléctrica, se utilizarán en los tramos cronometrados; mientras que, el

apartado eléctrico, será utilizado en los parques de asistencia, dentro de las ciudades y en los tramos de enlaces.

Con esta medida, la FIA busca acercar los vehículos de Rally a las nuevas tecnologías y así poder reducir el impacto medioambiental de estos coches. También, se contempla la introducción de los chasis tubulares, junto a los vehículos del segmento C para la competición frente a los del segmento B actuales. Estas reglamentaciones se aplican después de que en otras categorías como la Formula E y el Mundial De Turismos Eléctrico (ETCR) tengan motores eléctricos y, en el caso del mundial de turismos, participen vehículos del segmento C, *Fig 26.1*.



Fig 26.1 Cupra Leon ETCR

2- Medidas de seguridad

En cuanto a las medidas de seguridad, encontramos, una progresión similar, a la sufrida en materia de rendimiento. Estas medidas, evitan, en el mayor de los casos, que cualquier accidente o hecho que ocurra, sea de consecuencias fatales. Estas medidas, han ido adquiriendo un mayor grado de importancia; sobre todo, después de la muerte de Henri Toivonen en el año 1986. Este hecho, como se ha comentado anteriormente, propició una serie de medidas drásticas en los vehículos; y en especial, un aumento de la seguridad.

En cuanto a la seguridad en los vehículos de competición, se pueden diferenciar, dos grandes grupos: seguridad portada por los pasajeros del vehículo y seguridad integrada en el vehículo.

2.1- Seguridad portada por los pasajeros del vehículo

En este apartado, podemos observar, las medidas de seguridad obligatorias que deben portar los integrantes del vehículo. Estas medidas, ayudan a reducir la gravedad y las consecuencias que pueda tener un accidente o un incendio del vehículo.

Se pueden diferenciar 3 subgrupos: ropa ignífuga, HANS y casco.

2.1.1- Ropa Ignifuga

Protege a los tripulantes del vehículo, de que se produzcan quemaduras, en caso de incendio. No era obligatorio su uso hasta mediados de los años 80.

A partir del año 2000, se reglamentó una nueva norma (FIA 8856-2000) la cual regulaba el material que debía ser utilizado, así como los elementos esenciales necesarios, *Fig 1.2*, (mono, guantes, botines, calcetines y ropa interior ignifuga). Estas prendas, caducarán a final del año 2028.

Anteriormente, no existía caducidad, pero se ha descubierto que los materiales con los que están fabricadas las prendas, pierden sus propiedades. Por ello, tras la creación de la nueva normativa (FIA 8856-2018), la ropa caducará a los 10 años de su fabricación.



Fig 1.2 – Equipación de seguridad

2.1.2- HANS (Head and Neck Support Device)

El HANS, *Fig 2.2*, es un elemento de seguridad, relativamente nuevo, a pesar de su creación y obligatoriedad a partir del año 2001 en el Campeonato del Mundo de Rallys; y a partir de 2008 en España.

Su función es limitar el movimiento de la cabeza en caso de choque, para evitar que la espalda, cuello y cabeza, puedan sufrir una lesión grave como el latigazo cervical o incluso una rotura de cuello.



1. HANS.
2. Tirantes (uno a cada lado).
3. Enganches del caso (clips).
4. Soporte de hombros.

Fig 2.2- HANS

2.1.3- Casco

El casco, *Fig 3.2*, sistema de protección con más años en funcionamiento, desde la década de los años 60.

Pero durante estos años, ha ido evolucionando tanto en su composición (de cuero a materiales de fibra de carbono o kevlar) hasta la forma (desde muy similares a una gorra, hasta cascos integrales o semi-integrales).

Este elemento de seguridad aporta protección frente a impactos y ayuda al



Fig 3.2- Casco Estilo WRC

correcto funcionamiento del HANS mediante “clips” por donde se unen.

2.2- Seguridad integrada en el vehículo

Por otro lado, la FIA, con el paso del tiempo, ha ido redactando nuevas normas, donde se ven reflejadas la obligatoriedad de integrar ciertas medidas de seguridad en los vehículos. Estas medidas, son las que realizan una mayor protección, a los tripulantes del vehículo, en caso de accidente o incendio.

2.2.1- Corta corriente

Este elemento, *Fig 4.2*, es importante, ya que, ante un accidente, da la posibilidad de cortar la corriente eléctrica del circuito, evitando así cualquier tipo de incendio u otra situación peligrosa. Este elemento se encuentra tanto en el interior del vehículo, para que los miembros de la tripulación puedan accionarlo, como fuera del vehículo para que quien socorra el vehículo pueda cortar la corriente.



Fig 4.2- Cortacorrientes Interiores

2.2.2- Cristales laminados

Evita la proyección de fragmentos de cristal en caso de rotura de las lunas y/o las ventanas del vehículo, *Fig 5.2*. En los vehículos de serie, tan solo se encuentra laminado el cristal delantero; mientras que, para la competición, es obligatorio que todos los cristales lo estén.



Fig 5.2- Cristal laminado delantero

2.2.3- Sistemas de sujeción

Baquets

Se rigen mediante la normativa para los asientos tipo baquet, *Fig 6.2*, bajo la normativa Standard FIA 8862-2009, este tipo de baquet permiten que el tripulante este sujeto en él y no tenga la libertad de movimiento que existen en los asientos normales.



Fig 6.2- Baquet

Arnés

Realizan la función del cinturón, sujetando el cuerpo hacia el asiento, estos cuentan con 6 puntos de anclaje, *Fig 7.2*, regidos por la normativa (Standard FIA 8853-2016) en vez de los 3 puntos de anclaje de un cinturón convencional.



Fig 7.2- Arnés 6 puntos

2.2.4- Extinción

El vehículo cuenta con un sistema de extinción, *Fig 8.2*, regido por la normativa Standard FIA 8865-2015, y está compuesto por: un extintor automático de 4.25L que se acciona mediante un tirador y cuenta con un sistema de tuberías que reparten la carga por todo el vehículo; y un extintor de mano de 2L de capacidad, que se acciona manualmente como un extintor convencional.



Fig 8.2- Extinción vehículo

2.2.5- Jaula de Seguridad

Está formada por una estructura multi-tubular de barras cilíndricas y huecas, *Fig 9.2*. Estas barras son metálicas y están soldadas entre sí y, al chasis del vehículo. Además, para su unión al chasis deben ir debidamente atornilladas. En cuanto a la normativa, se rigen bajo el Anexo J de la Reglamentación FIA, concretamente en el Artículo 253-8; siendo, obligatorio, el uso de este sistema de seguridad.



Fig 9.2- Jaula de seguridad

El uso de las Jaulas de Seguridad, además de proporcionar un incremento en la seguridad de los tripulantes; añade, unas mejoras en el rendimiento del vehículo. Una de las mejoras más importantes es el aumento en la rigidez del chasis. Esta rigidez ayuda, a que el vehículo obtenga una mayor estabilidad tanto en línea recta como en curva.

El uso de este sistema de seguridad, tiene una mayor importancia en los vehículos de Rally frente a los vehículos de circuito. Esta importancia, viene incrementada ya que, en la mayoría de los circuitos existen las escapatorias acompañadas de elementos de protección que evitan los golpes directos contra vallas o muros.

En cambio, en los Rallys, no existen estos elementos de seguridad y en caso de una salida de carretera, el golpe que se produce es directo ya sea contra guardarraíles, árboles, muros o rocas; llegando incluso, a caer los vehículos por una ladera propiciando que, estos den vueltas de campana. Por ello, el uso de este elemento de seguridad, se hace de vital importancia, ya que es el que evita que el vehículo se deforme produciendo daños fatales a la tripulación del coche.

Todas estas medidas de seguridad, permiten, a los integrantes del vehículo, poder realizar las pruebas con un alto grado de seguridad. Ya que, estas medidas, protegen la integridad de los pilotos en caso de tener un accidente; sobre todo, a la velocidad a la que pueden llegar.

Pero en especial, existe una medida de seguridad que evita, en mayor medida, las lesiones que pudiese ocasionar un accidente con el vehículo, la Jaula de Seguridad, sobre la que tratará el trabajo.

3- Jaula de Seguridad

Se podría catalogar como el elemento de seguridad indispensable, para poder realizar carreras con turismos: ya sean, Rallys, Subidas de Montaña o para carreras en circuitos.

La Jaula de Seguridad o Arco de Seguridad, está formada por un entramado de tubos metálicos, que se entrelazan entre sí mediante soldaduras. Este entramado, otorga un incremento en el vehículo: tanto de rigidez en el chasis, como de seguridad para los tripulantes. Estas dos propiedades, ayudan, tanto a mejorar el rendimiento del vehículo, aumentando la estabilidad de este tanto en el paso por curva como en tramos rectos, como a que, en caso de un golpe, el vehículo no se deforme y así se eviten lesiones en los tripulantes del vehículo. Pero no siempre ha existido la Jaula de Seguridad, y tampoco ha tenido siempre el mismo modelo de forma.

Desde los inicios de los Rallyes hasta los años 50; no se había estipulado la idea de necesitar un elemento de seguridad que protegiera la estructura del vehículo frente a un golpe. Pero no fue, hasta los años 70 cuando la utilización de esta fue obligatoria para los vehículos de la categoría Grupo 4 (vehículos modificados tanto en prestaciones como en estética, respecto a los vehículos de serie).

3.1- Forma

Desde los años 70, hasta la actualidad, la normativa sobre las Jaulas de Seguridad ha ido sufriendo modificaciones, respecto que vehículos debían llevarla y la forma de esta. En un primer momento, los vehículos, solo debían contar con el arco trasero de seguridad. Pero con el cambio de década, y el aumento de prestaciones de los vehículos, se realizó un gran cambio en la forma de estas Jaulas de Seguridad. Pasaron de contar con un arco simple, *Fig 1.3*, en la parte trasera, a estar formadas por una red de barras que componen todo el interior del vehículo, *Fig 2.3*.



Fig 1.3- Arco trasero, Jaula antigua.

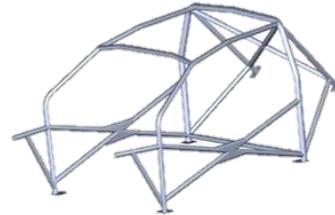


Fig 2.3- Jaula Seguridad actual

No obstante, la disposición de las barras, cantidad de dichas y método de anclaje, no son de libre elección. Todo ello, viene regulado por la normativa “Anexo J artículo 235” que establece las premisas necesarias que deberán de cumplir las Jaulas de Seguridad, para que estas sean reglamentarias.

3.2- Uso

Al principio del uso de las barras, estas eran obligatorias en los vehículos derivados de serie, puesto el alto rendimiento que ofrecían. Pero a finales de los años 80 el uso de las jaulas de seguridad, fue obligatorio para todas las categorías. Y adquirieron una gran importancia tras la muerte de Henri Toivonen, que supuso un antes y un después en cuanto a la seguridad en los vehículos.

4- Problemas

Este estudio, se ha basado en una serie de problemas, que se exponen a continuación.

Uno de ellos, la exclusividad de un material para la realización de la Jaula de Seguridad. Este hecho, es una situación que limita la búsqueda y mejora de materiales para su utilización. Otro problema, que se puede observar es, el incremento de peso que sufren los vehículos al implantarse la jaula de seguridad. Este incremento de peso, contribuye a un aumento en el tiempo que se imparte en el recorrido o un aumento en el consumo de combustible, por ejemplo. También, este incremento de peso hace que, dentro de los límites de peso establecidos según la categoría, los preparadores deban reducir espesores en ciertos objetos empeorando así la fiabilidad de dichos elementos.

Por último, ante la nueva situación de transición ecológica que se vive actualmente, la no incorporación de materiales naturales a la realización de la Jaula de Seguridad; condiciona, a que dentro del mundo de la automoción este cambio se lleve con más lentitud.

5- Objetivos

El objetivo, es poder realizar un cambio en el material de la jaula de seguridad. Buscando una optimización del peso. Esta optimización, ayudará a reducir el consumo de combustible y el tiempo empleado en realizar el recorrido.

Para realizar este cambio de material, se compararán los resultados obtenidos con el material utilizado en la actualidad con los materiales a estudiar.

Dichos materiales serán, desde algunos más utilizados actualmente en la industria como la Fibra de carbono o la Fibra de vidrio; a materiales más novedosos como las fibras naturales, que ayudarán a realizar la transición ecológica.

Todo este estudio puede favorecer, la aparición de nuevas empresas que favorezcan la producción, estudio y desarrollo de nuevos materiales para la industria de la automoción.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

II- Diseño

6- Diseño

Como se ha mencionado con anterioridad, la Jaula de Seguridad es un elemento muy importante en la protección de los tripulantes del vehículo. Por ello, está sometida, a una alta vigilancia para que no se incumplan las normas establecidas.

Estas normas, pueden diferenciarse en dos amplios grupos: normativa Internacional FIA para vehículos de categoría FIA y normativa FIA para vehículos de categoría nacional.

En cuanto a la normativa para vehículos internacionales de categoría FIA se refiere; es una normativa, muy restrictiva, donde especifica claramente qué tipo de jaula de seguridad debe de llevar cada vehículo según su categoría (WRC, R5, R4 R3T, R2T O R1).

Sin embargo, encontramos otra normativa FIA para los vehículos nacionales. Esta normativa, está regida por la normativa FIA pero en ella se permiten modificaciones en la estructura. En el caso español, podemos encontrar estas modificaciones en el apartado 8 del artículo 235 del Anexo J, publicado por la Real Federación Española de Automovilismo.

Por ello, para la realización de la estructura de seguridad, se utilizará como modelo esta última. Esta decisión, permite un diseño más libre con diferentes modificaciones, ayudando a conseguir los objetivos marcados. Dicho diseño, deberá cumplir con los diseños plasmados en el Anexo J, además de ser corroborado mediante los ensayos estipulados en él.

6.1- Especificaciones técnicas

Para que cualquier estructura de seguridad pueda ser aprobada y homologada bajo normativa FIA, debe de estar realizada bajo unas premisas mínimas, que se pueden observar a continuación.

- Material: La estructura de seguridad, debe estar realizada de Acero al carbono no aleado con un contenido máximo de carbono del 0,3%.
- Tubos: Deberán de tener como mínimo un espesor de 1mm, barras en rojo en la *Fig 1.6*; exceptuando las zonas que deban de tener 1,5mm como mínimo, barras en verde en la *Fig 1.6*.

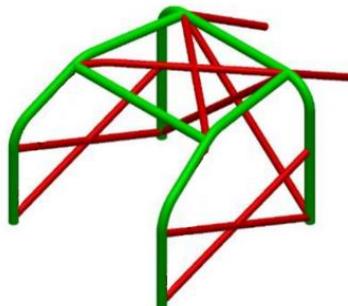


Fig 1.6 Disposición espesores barra

- Uniones: deben estar unidos entre sí mediante soldaduras que ocupen la totalidad del perímetro de unión.

Estos tubos junto a los elementos que se añadan de manera complementaria, deberán de cumplir una disposición establecida en el Anexo J y se puede observar a continuación.

6.2- Estructuras base

La estructura base de la jaula de seguridad, es aquella estructura que está formada por unas barras principales más gruesas, sobre las que se formará la jaula de seguridad. De normal, la estructura base que se utiliza es una combinación de ellas, para otorgar así una mayor resistencia a la jaula de seguridad; siempre y cuando cumplan una serie de limitaciones y tengan 6 puntos de anclaje al chasis.

6.2.1- Estructura base 1 (dibujo 253-1 Anexo J)

- 1 arco principal
- 1 arco frontal
- 2 miembros longitudinales
- 2 tirantes longitudinales traseros
- 6 puntos de anclaje

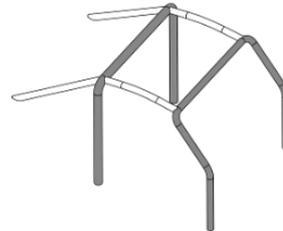


Fig 2.6- Estructura base 1

Esta estructura cuenta con un arco principal, que se situaría justo detrás de los asientos delanteros del vehículo y un arco frontal, que se situaría en los pilares que soportan el parabrisas delantero, como se puede observar en la Fig 2.6 en color más oscuro. Para unir ambos arcos, se emplean dos tubos longitudinales. Además, desde el arco principal, hacia la parte trasera, se añaden dos tubos longitudinales con inclinación, para reforzar la parte trasera.

6.2.2- Estructura base 2 (dibujo 253-2 Anexo J)

- 2 arcos laterales
- 2 miembros transversales
- 2 tirantes longitudinales traseros
- 6 puntos de anclaje

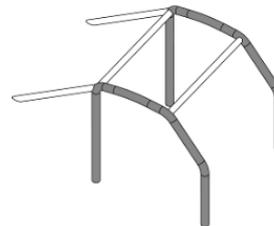


Fig 3.6- Estructura base 2

La parte principal de esta estructura son los arcos laterales, como se puede observar en la Fig 3.6 en un color más oscuro. Estos arcos, se sitúan envolviendo las puertas delanteras del vehículo y para unir ambos, se emplean dos tubos transversales. Además, desde la parte superior trasera de los arcos laterales, se incorporan dos tubos longitudinales con inclinación, para reforzar la parte trasera.

6.2.3- Estructura base 3 (dibujo 253-3 Anexo J)

- 1 arco principal
- 2 lateral half-rollbars
- 1 miembro transversal
- 2 tirantes longitudinales traseros
- 6 puntos de anclaje

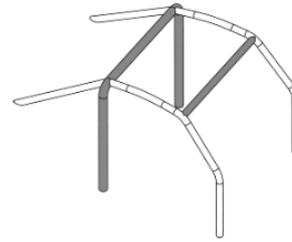


Fig 4.6- Estructura base 3

En esta estructura, encontramos el arco principal situado detrás de los asientos y una barra transversal que une los arcos laterales, como se puede observar en la Fig 4.6 en color más oscuro. Además, cuenta con dos barras longitudinales desde el arco principal para reforzar la parte trasera del vehículo y las barras que finalizarían los arcos laterales.

6.2.4- Condiciones adicionales

Además de cumplir estos diseños, las estructuras bases deben de cumplir una serie de condiciones, que se muestran a continuación.

- Los tubos que forman la parte vertical del arco principal deben de situarse lo más próximo como sea posible de los paneles verticales interiores de la carrocería.
- El pilar de un arco delantero, se situará lo más cercano posible al parabrisas.
- Se deberán situar a nivel de techo las siguientes conexiones:
 - Uniones longitudinales entre el arco principal y delantero.
 - Uniones transversales entre los arcos laterales.
 - Unión de semiarcos laterales con el arco principal.
- Los tirantes longitudinales traseros deben anclarse a nivel del techo y cerca de los ángulos superiores exteriores del arco principal.
- Deberán formar un ángulo mínimo de 30° con la vertical, estar dirigidos hacia atrás y ser rectos y tan cercanos como sea posible a los paneles interiores de la carrocería.

Además, para que dicha estructura cuente con la aprobación del órgano delegado de la FIA, se deben añadir unos tirantes y refuerzos obligatorios. Esto se pueden complementar con refuerzos opcionales.

6.3- Tirantes y refuerzos obligatorios

6.3.1- Refuerzo barra entre puertas

Se deben incorporar miembros longitudinales que unan el arco frontal con el principal. Estos deberán de ser iguales a ambos lados. A continuación, se observan las posibles opciones, *Fig 5.6*. En el caso de utilizar la segunda opción, una de las barras será entera y la otra se compondrá de dos mitades.

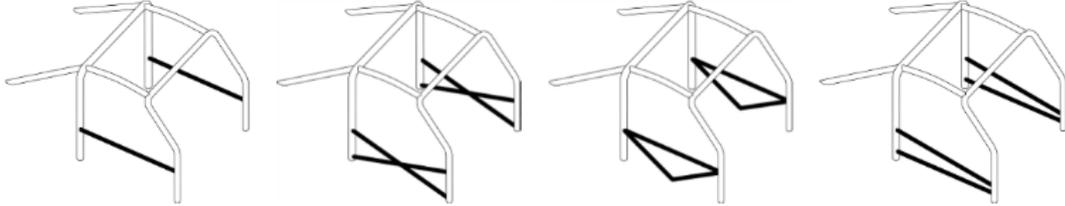


Fig 5.6- Tirantes laterales

6.3.2- Refuerzo arco principal

Se deben añadir dos miembros diagonales de manera obligatoria, *Fig 6.6*. Estos deberán situarse a una distancia, como máximo, tanto en la parte inferior (pies de anclaje) y parte superior (zona unión tirantes traseros), de 100mm.

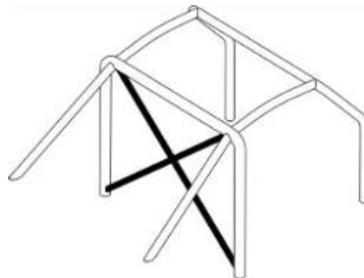


Fig 6.6- Refuerzo arco principal en cruz

6.3.3- Refuerzos de los tirantes traseros

Es obligatorio la incorporación de al menos un miembro de manera diagonal entre el arco principal y uno de los tirantes traseros, *Fig 7.6*.

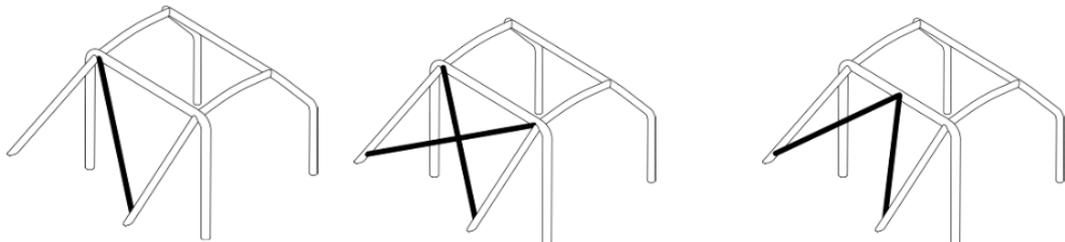


Fig 7.6- Refuerzo arco trasero

6.4- Tirantes y refuerzos opcionales

6.4.1- Refuerzos del techo

Estos son opcionales y pueden seguir la curvatura del techo. Encontramos dos disposiciones, en X o en V, como se observa en la *Fig 8.6*. Para la disposición en X uno de los miembros deberá de ser completo y los extremos no podrán situarse a más de 100mm de la unión entre arcos. En cambio, para la disposición en V encontramos dos situaciones, que se una o que quede una distancia entre los extremos que forman el pico; esta distancia no deberá de superar los 100mm, la misma distancia que deben respetar los extremos de esta con las uniones.

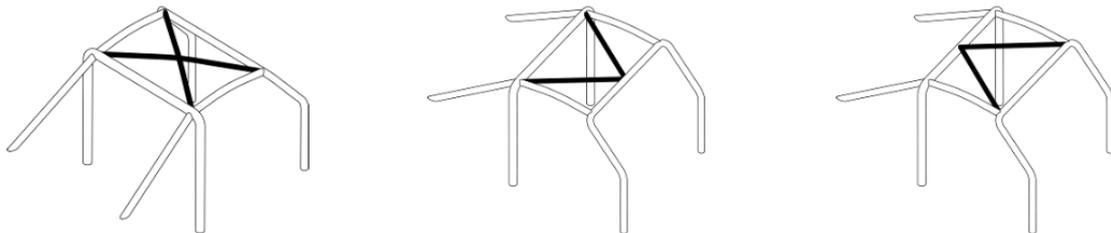


Fig 8.6- Refuerzo techo

6.4.2- Refuerzo pilar del parabrisas

Deben estar montados a cada lado del arco delantero si la dimensión de "A" es superior a 200mm, como se observa en la *Fig 9.6*. Este refuerzo puede tener una curvatura de radio menor de 20° y siempre que en la vista lateral se conciba este miembro de manera rectilínea. Los extremos deberán situarse a una distancia inferior de 100mm de las uniones entre el arco delantero y el miembro longitudinal (parte superior) y del pie de anclaje del arco (parte inferior).

Si este refuerzo cortara algún refuerzo obligatorio se deberá de instalar por secciones.

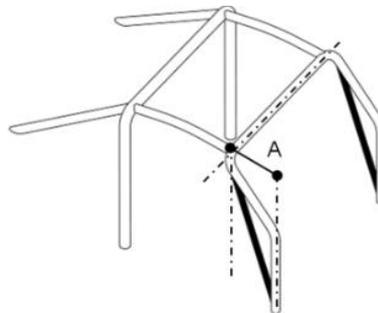


Fig 9.6- Refuerzo pilar parabrisas

7- Construcción de la jaula

Para la construcción de la jaula de seguridad a estudiar, se ha elegido la Estructura base 1, expuesta con anterioridad, *Fig 2.6*, y se ha realizado unas modificaciones. Se ha realizado la construcción de esta, eligiendo tanto el arco principal, el frontal, los miembros que unen ambos

arcos y los tubos traseros con un grosor mayor, a los elementos de refuerzo de la estructura. A continuación, se puede observar, en la *Fig 1.7.*, el resultado final de la jaula de seguridad.

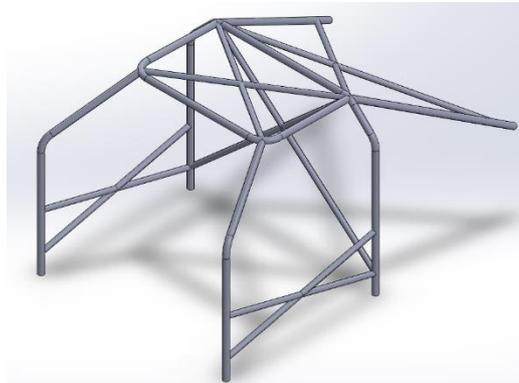


Fig 1.7 Jaula de seguridad

En cuanto a los elementos de refuerzo obligatorio que se han empleado son los siguientes.

- En el refuerzo de la barra entre puertas se ha seleccionado la disposición en X, *Fig 2.7*, donde uno de los miembros es una pieza completa y el otro son dos mitades. El extremo inferior de ambas se ha situado a 12cm de la parte inferior tanto del arco principal como del arco frontal. La diferencia entre el extremo inferior de uno de los tubos y el extremo superior del otro es de 24cm.

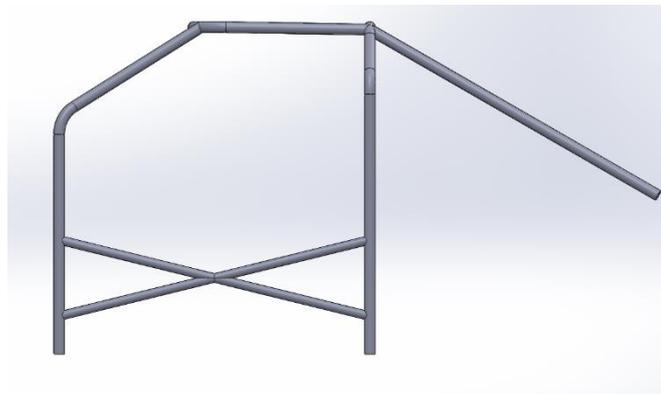


Fig 2.7 Refuerzos barra entre puertas

- Para el refuerzo del arco principal, se ha seleccionado una disposición en cruz. La cual va unida desde los extremos superiores hasta la misma altura que se encuentran unidos las barras de refuerzo laterales. Se puede observar a continuación en la *Fig 3.7*.

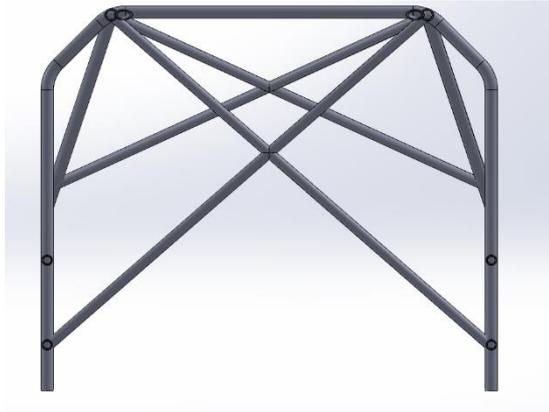


Fig 3.7 Refuerzo arco principal

- Para reforzar los tirantes traseros se han instalado dos tubos a modo de X. Estos otorgarán un mayor grado de rigidez y estabilidad a la parte trasera, así como una mayor seguridad en caso de golpe lateral. El extremo inferior de las barras de refuerzo se ha situado a 12cm del extremo del tirante trasero. Se puede observar este refuerzo en la Fig 4.7.

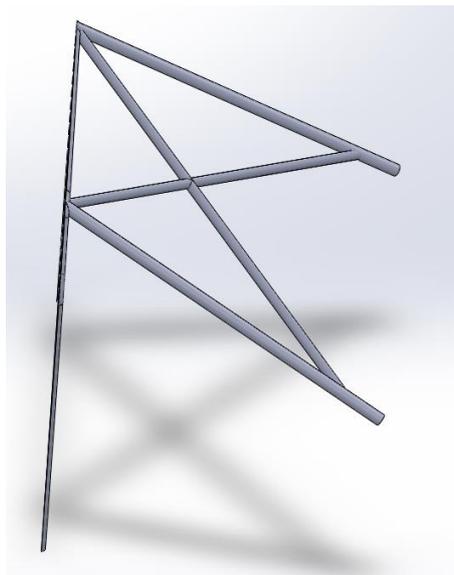


Fig 4.7 Refuerzo tirantes traseros.

Además, se han añadido unos refuerzos opcionales a la jaula de seguridad. Estos han sido unos tubos en forma de X para reforzar la estructura del techo, y así proporcionar mayor seguridad en caso de golpe lateral. Este refuerzo lo podemos observar en la *Fig 5.7*.

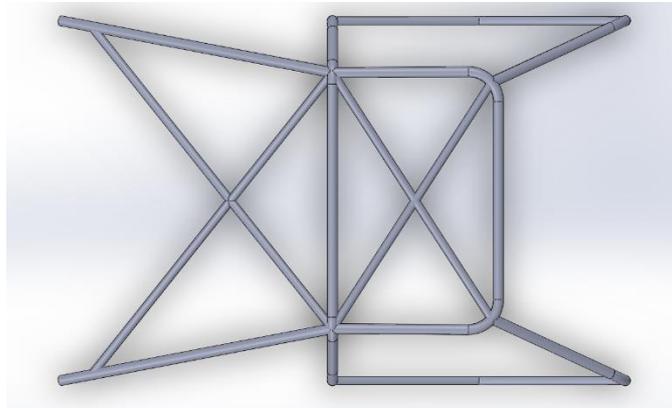


Fig 5.7 Refuerzo del techo

En cuanto a las dimensiones del diseño, se han utilizado una jaula introducida en Suzuki Swift GTi de 1991. Por otro lado, el diámetro y el espesor del tubo variará en función del material empleado para que cumpla con las exigencias establecidas.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

III- Cálculos

8- Materiales a emplear

Para realizar el estudio se van a emplear cuatro materiales diferentes. Estos materiales se podrían agrupar en tres familias diferentes: acero, fibra de carbono y fibras naturales.

8.1- Acero 20MoCr4

El primer material, que vamos a emplear es un acero, concretamente el 20MoCr4. Un acero que cumpliría la actual normativa establecida sobre las jaulas de seguridad. Esta normativa establece las siguientes premisas:

- La resistencia a tracción no podrá ser inferior a 355MPa.
- Los contenidos de su composición no podrán superar los siguientes valores, *Tabla 1.8*:

Elemento	Contenido	Elemento	Contenido	Elemento	Contenido
Aluminio	0,1	Novio	0,05	Manganeso	1,6
Bismuto	0,1	Níquel	0,3	Molibdeno	0,8
Boro	0,0008	Plomo	0,4	Wolframio	0,1
Cobalto	0,1	Silicio	0,6	Lantánidos	0,05
Cobre	0,4	Titanio	0,05	Otros (Excepto P, C, N y O)	0,05
Cromo	0,3	Vanadio	0,1		

Tabla 1.8: Exigencias composición acero normativa RFEDA

Ya que, el acero 20CrMo4 tiene la siguiente composición, *Tabla 2.8*:

Elemento	Contenido	Elemento	Contenido
C ≤	0,17-0,23	P ≤	0,02
Si ≤	0,4	Cr	0,3-0,6
Mn ≤	0,7-1	Mo	0,4-0,5

Tabla 2.8 Composición 20MoCr4

Por otro lado, podemos observar las características, extraídas de la base de datos de Solidworks que presenta este material, *Tabla 3.8*:

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico	2,10E+09	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0,28	N/D
Módulo cortante	79000	N/mm ²
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	900	N/mm ²
Límite elástico	650	N/mm ²

Tabla 3.8 Características acero

8.2 Fibra de carbono

El siguiente material que se ha utilizado en el estudio ha sido la Fibra de Carbono con Resina Epoxi, siguiendo un modelo Ortotrópico elástico lineal. Se ha empleado este material, ya que, es un material utilizado habitualmente en la competición y tiene unas muy buenas propiedades.

El mayor limitante que se encuentran en las fibras es la resina, la cual disminuye las propiedades aportadas por las fibras. Las propiedades se pueden observar en la *Tabla 4.8*. Los datos han sido aportados por el departamento de materiales de la EPSA UPV.

Propiedad	Valor	Unidad
Módulo elástico en X	247713	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Y	14629	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Z	14629	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0,25	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0,25	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0,22	N/D
Módulo cortante en XY	6246	N/mm ²
Módulo cortante en YZ	6246	N/mm ²
Módulo cortante en XZ	6017	N/mm ²
Densidad de masa	1600	kg/m ³
Límite de tracción en X	1625	N/mm ²
Límite de tracción en Y	47	N/mm ²
Límite de compresión en X	975	N/mm ²
Límite de compresión en Y	88	N/mm ²
Límite cortante en XY	47	N/mm ²
Límite elástico	1463	N/mm ²

Tabla 4.8 Propiedades Fibra de carbono

Con este material, cumplimos la exigencia de que el límite elástico del material debe ser superior a 355MPa, mientras que el material utilizado tiene un límite elástico de 1462,5MPa.

8.3 Fibras naturales

En este apartado, ante la metamorfosis, que el mundo del automovilismo está sufriendo, hacia un mundo más eco-sostenible, se ha querido dar un paso adelante y potenciar el uso de materiales respetuosos con el medio ambiente en la creación de estructuras de seguridad de los vehículos de competición.

Para este estudio, se han utilizado dos fibras naturales: la fibra de bambú y la fibra de yute, siguiendo un modelo Ortotrópico elástico lineal.

8.3.1 Fibra de Yute

La primera fibra natural empleada ha sido la Fibra de Yute con Resina epoxi. Una fibra natural de altas propiedades, pero se ve limitada por la resina Epoxi de igual manera que en la fibra de carbono. En la siguiente tabla, *Tabla 5.8*, podemos observar sus propiedades:

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Módulo elástico en X	18450	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Y	6820	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Z	6820	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0,4	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0,4	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0,1	N/D
Módulo cortante en XY	5382	N/mm ²
Módulo cortante en YZ	5382	N/mm ²
Módulo cortante en XZ	3079	N/mm ²
Densidad de masa	1300	kg/m ³
Límite de tracción en X	650	N/mm ²
Límite de tracción en Y	50	N/mm ²
Límite de compresión en X	650	N/mm ²
Límite de compresión en Y	93	N/mm ²
Límite cortante en XY	47	N/mm ²
Límite elástico	585	N/mm ²

Tabla 5.8 Propiedades Fibra de Yute

Se puede observar en la tabla, que el límite elástico de 585MPa supera al límite establecido en la normativa 355MPa.

8.3.2 Fibra de Bambú

Por último, se ha empleado la Fibra de Bambú con Resina Epoxi. Este material, tiene un mayor nivel de propiedades, *Tabla 6.8*, frente a la fibra de Yute. A pesar de ello, se ha querido realizar el modelado con esta fibra para una comparación.

<i>Propiedad</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidad</i>
Módulo elástico en X	14225	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Y	2181	N/mm ²
Módulo de elasticidad en Z	2181	N/mm ²
Coefficiente de Poisson en XY	0,4	N/D
Coefficiente de Poisson en YZ	0,4	N/D
Coefficiente de Poisson en XZ	0,9	N/D
Módulo cortante en XY	319	N/mm ²
Módulo cortante en YZ	319	N/mm ²
Módulo cortante en XZ	319	N/mm ²
Densidad de masa	1600	kg/m ³
Límite de tracción en X	104	N/mm ²
Límite de tracción en Y	61	N/mm ²
Límite de compresión en X	65	N/mm ²
Límite de compresión en Y	115	N/mm ²
Límite cortante en XY	55	N/mm ²
Límite elástico	94	N/mm ²

Tabla 6.8 Propiedades Fibra de Bambú

Se observa, que el límite elástico de este material 93,6MPa, no supera el límite elástico establecido en la normativa 355MPa. A pesar de ello, se realizará el diseño para comprobar resultados.

9- Cargas

Para realizar el estudio estático de la Jaula de Seguridad, se ha utilizado las exigencias que establece la Real Federación Española de Automovilismo. Estas exigencias, se deben, principalmente, a salvaguardar la integridad de los pilotos en el caso de que el vehículo vuelque.

9.1- Carga Vertical

Esta carga, se encarga de evaluar si la estructura soporta el peso del vehículo y del impacto en caso de estar completamente volcado.

9.1.1- Disposición de la carga

Este ensayo se tiene que hacer con una carga vertical repartida en la barra del arco principal. Esta, se puede observar en la Fig 1.9.

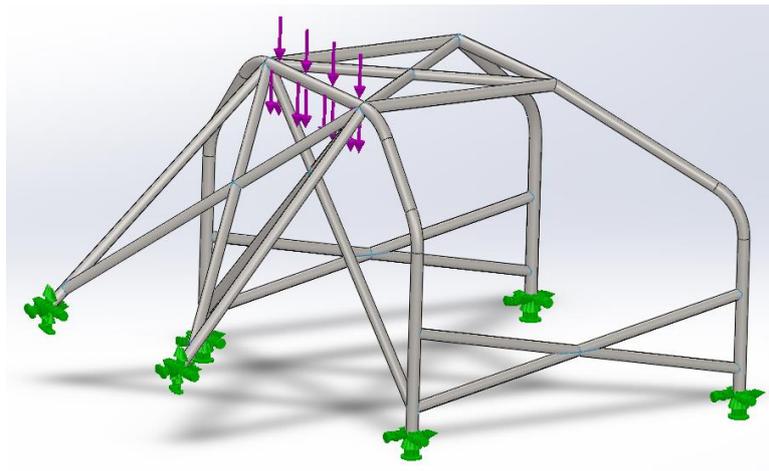


Fig 1.9. Disposición Carga vertical

9.1.2- Cálculo valor de la carga

Esta carga viene establecida por la siguiente operación:

$$\text{Fuerza Vertical} = (\text{Masa del Vehículo} + 160) * 7,5 * 10$$

En nuestro caso, el vehículo para el que hemos realizado el diseño, mencionado anteriormente, tiene una masa de 700 Kg. Por lo tanto, el cálculo de la fuerza vertical, quedará de la siguiente manera:

$$\text{Fuerza Vertical} = (700 + 160) * 7,5 * 10 = 64.500 \text{ N} = 64,5 \text{ kN}$$

9.2- Carga Lateral

Este ensayo, se debe realizar para confirmar que la estructura soporta la fuerza en el supuesto momento de vuelco.

9.2.1- Disposición de la carga

Este ensayo se realizará con una carga establecida a lo largo de la barra superior lateral, con una inclinación de 25º apuntando hacia el interior del vehículo, como se observa en la Fig 2.9.

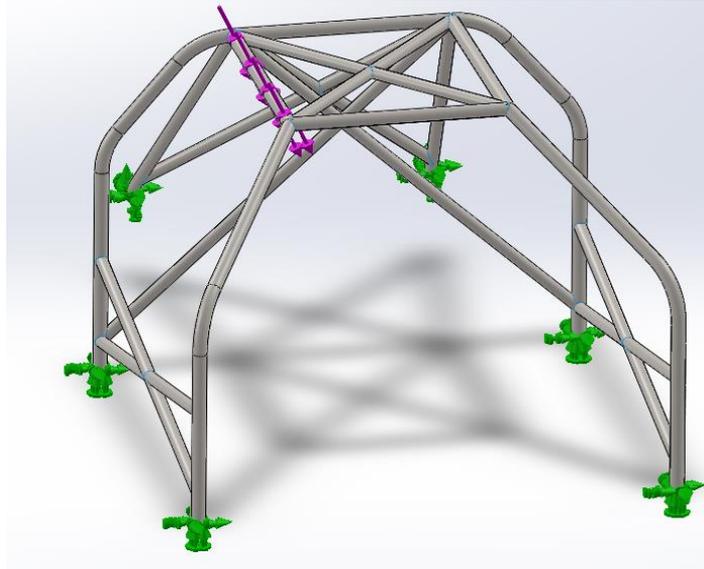


Fig 2.9 Disposición carga lateral

9.2.2 Cálculo valor de la carga

Para calcular el valor de la carga se debe realizar el siguiente cálculo:

$$\text{Fuerza Lateral} = (\text{Masa del Vehículo} + 160) * 3,5 * 10$$

Estableciendo un valor de la masa del vehículo de 700 Kg, Por ello, el valor de la fuerza lateral será el siguiente:

$$\text{Fuerza Lateral} = (700 + 160) * 3,5 * 10 = 30.100 \text{ N} = 30,1\text{kN}$$

9.3- Sujeciones

A la estructura se le han implementado 6 sujeciones de tipo fijo (limitando su movimiento en todas las direcciones), como se puede observar en la Fig 3.9. Estas sujeciones harán la función de la unión al chasis de la estructura.

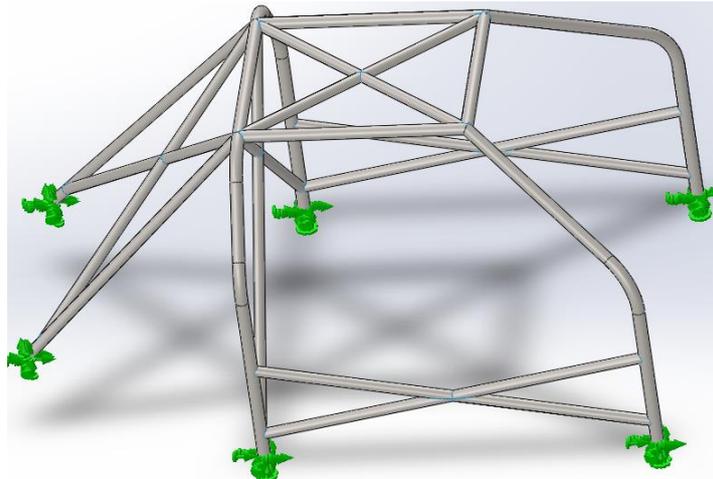


Fig 3.9 Sujeciones estructura

9.4- Restricciones

El material que se utilice para la realización de la Jaula de seguridad deberá superar estos dos ensayos. Para superarlos, el ensayo deberá cumplir lo siguiente:

- No se superará el límite elástico del material a analizar.
- La deformación no podrá superar los 50mm.
- La estructura obtenga como mínimo un factor de seguridad de 1.

10- Estudio

Tras la selección del material y preparar los ensayos que se deben realizar, se ha dispuesto a la realización de las diferentes hipótesis. Como referencia, para comparar los resultados de los estudios, se tomará el acero, ya que es el que se utiliza actualmente.

10.1- Acero

En un primer lugar, se ha realizado el estudio con el acero 20CrMo4. Para realizar este ensayo, se ha basado en los diámetros y espesores mínimos establecidos en la normativa. Estos valores mínimos establecen lo siguiente, *Tabla 1.10*:

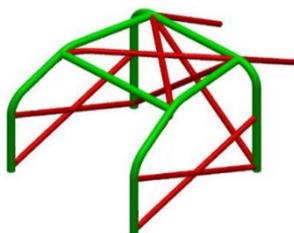


Fig 1.10 Ejemplo Barras

	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	Ø50 x 1,5 o Ø40 x 2
Tubo Rojo	Ø35 x 1,5
Resto Tubos	Ø35 x 1,5

Tabla 1.10 Dimensiones mínimas

10.1.1 Primer ensayo

Establecidas estas dimensiones, la jaula de seguridad contará con un peso de 33.10kg . Y al aplicarle las fuerzas se han obtenido los siguientes resultados:

Ensayo Vertical

a) Tensiones

En cuanto a las tensiones se observa, en la Fig 2.10 que supera el límite elástico del material, 650MPa. Se acumula el mayor número de tensiones, 1421MPa, en la cruz debajo de donde se aplica la fuerza. La imagen se observa con una escala de 11, en la deformación.

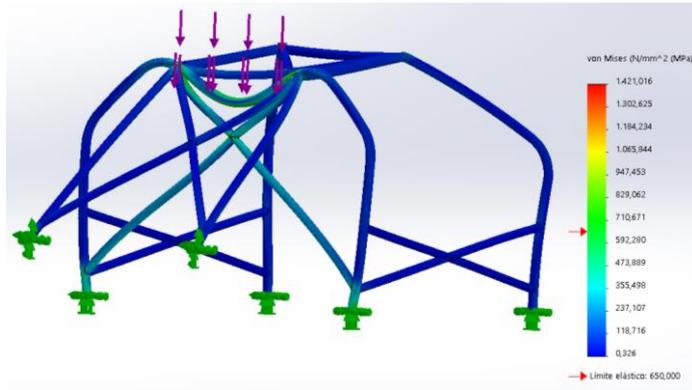


Fig 2.10 Tensiones fuerza vertical

b) Desplazamientos

Los desplazamientos que ocurren en nuestra jaula de seguridad son aptos. Estos están por debajo de 50mm que es lo que nos establece la normativa. El máximo al que se llega es de 12,429mm. Pudiéndose observar en la Fig 3.10 con aumento de 11 en la deformación para que pueda apreciarse con facilidad.

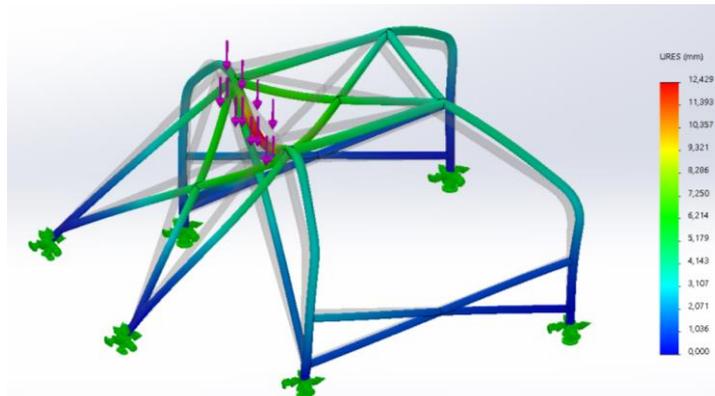


Fig 3.10 Desplazamiento fuerza vertical

c) Factor de Seguridad

Se observa, en la Fig 4.10, que el factor de seguridad mínimo es de 0,457. Este valor se encuentra tanto en la barra donde se aplica la fuerza como en la cruceta inferior a esta. Además se observa, valores críticos en la parte de unión al chasis.

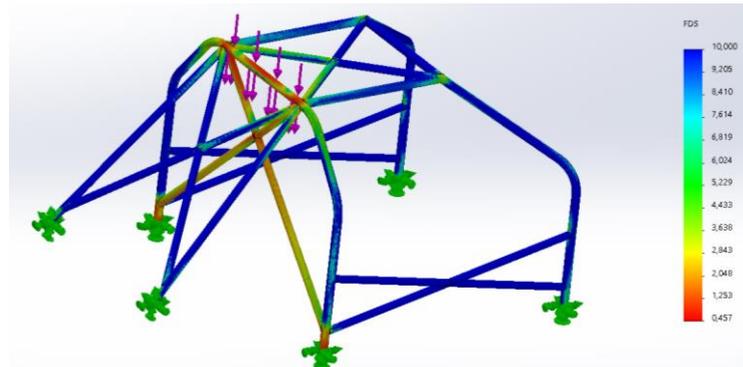


Fig 4.10 Factor de seguridad fuerza vertical

Ensayo Lateral

a) Tensiones

Al aplicar la carga lateral, se puede observar, en la Fig 5.10, que las tensiones máximas obtenidas 1.625MPa son muy superiores a las del límite elástico 650MPa. Estas se observan en el arco lateral donde se aplica la fuerza. Aumento de 13, en la deformación.

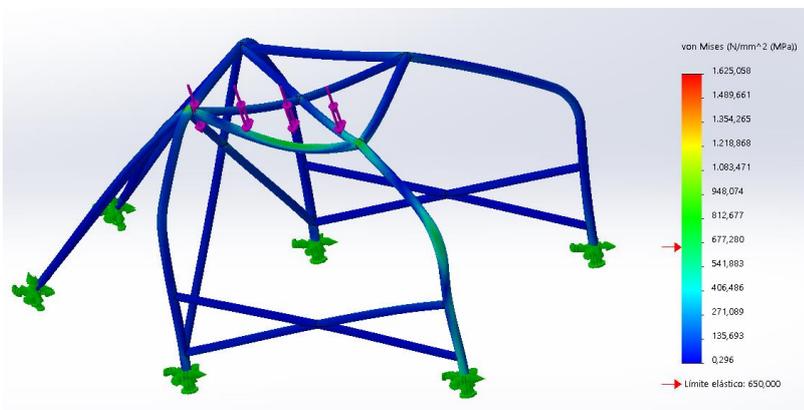


Fig. 5.10 Tensiones fuerza lateral

b) Desplazamientos

Se puede observar, en la Fig 6.10 (donde se aplica un aumento de 13), que el desplazamiento máximo ocurre en la barra donde se aplica la fuerza. Siendo este de 19,374mm, inferior al límite establecido. Cumpliendo así con la normativa.

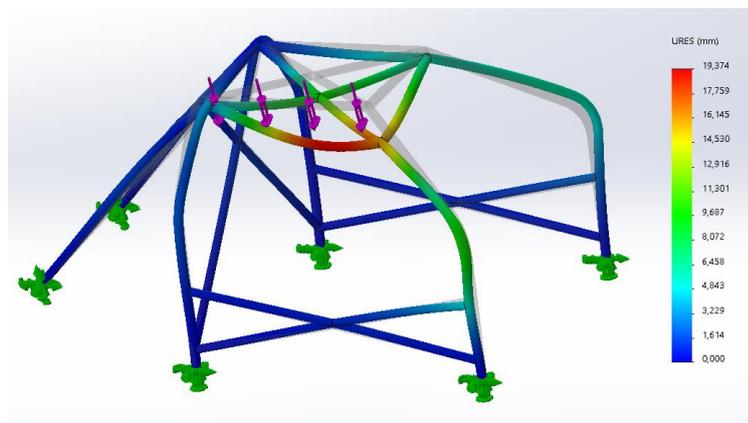


Fig 6.10 Desplazamientos fuerza lateral

c) Factor de Seguridad

En cuanto al factor de seguridad, se puede analizar, en la Fig 7.10, que la zona más desfavorable, es donde se aplica la fuerza; ya que, no llega a un valor mínimo de 1.

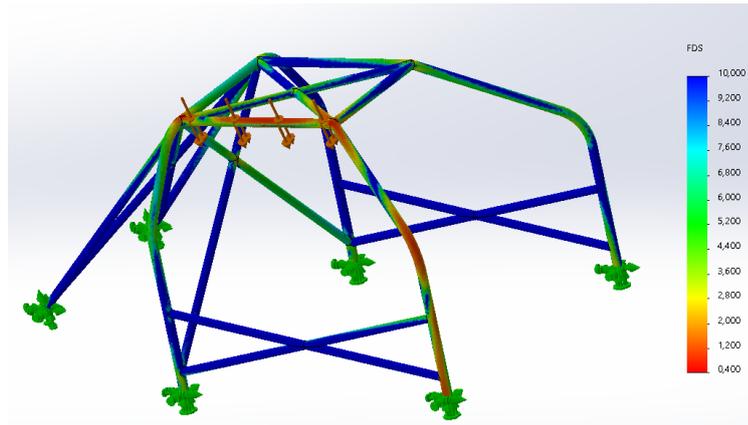


Fig 7.10 Factor seguridad fuerza lateral

Tras este ensayo, se puede concluir que, será necesario un rediseño de la estructura para que cumpla con las exigencias demandadas.

10.1.2 Segundo ensayo

En este segundo ensayo, se ha procedido a aumentar tanto el diámetro como el espesor de los elementos. En primer lugar, se ha aumentado el diámetro de la estructura principal, barras en verde en la Fig 1.10, hasta un diámetro de 6cm. En segundo lugar, las barras de refuerzo, en rojo en la Fig 1.10, se han aumentado hasta un diámetro de 4cm. Todas las barras pasarán a tener un espesor de 2mm; haciendo que, el peso de la estructura sea de 64,79kg.

Ensayo Vertical

a) Tensiones

Se observa, en la Fig 8.10, que tras la modificación las tensiones máximas que son de 570MPa son inferiores al límite elástico del material, 650MPa.

Para apreciar con claridad las tensiones, se ha aplicado una escala de aumento de 71,5 para apreciar su deformación con claridad.

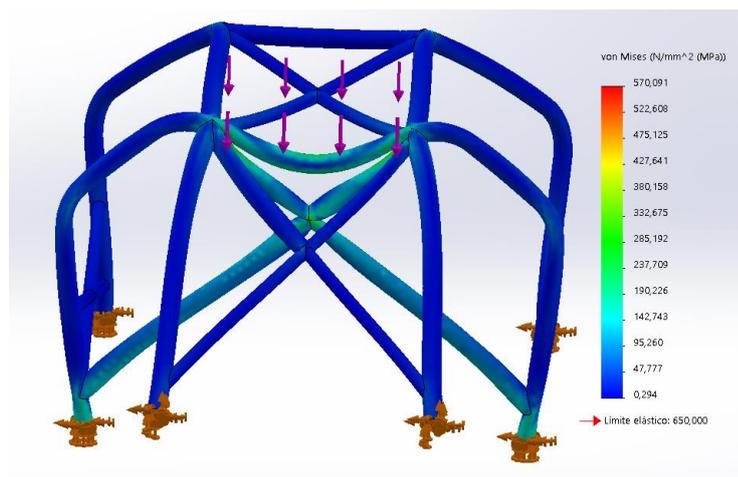


Fig 8.10 Tensiones fuerza vertical

b) Desplazamientos

En cuanto a los desplazamientos, en la Fig 9.10, se puede apreciar que el desplazamiento máximo es de 3,154mm muy por debajo del máximo establecido de 50mm. Para poder observar el desplazamiento se ha aplicado una escala de aumento de 71 en las deformaciones, para poder observarlas con facilidad.

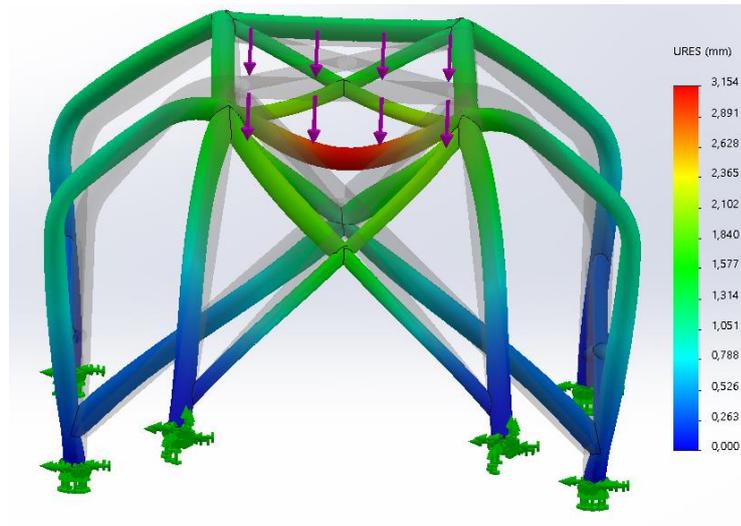


Fig 9.10 Desplazamientos fuerza vertical

c) Factor de Seguridad

Se puede observar en la Fig 10.10, como el factor de seguridad mínimo obtenido es de 1,140, apreciable en las barras que soportan la fuerza vertical.

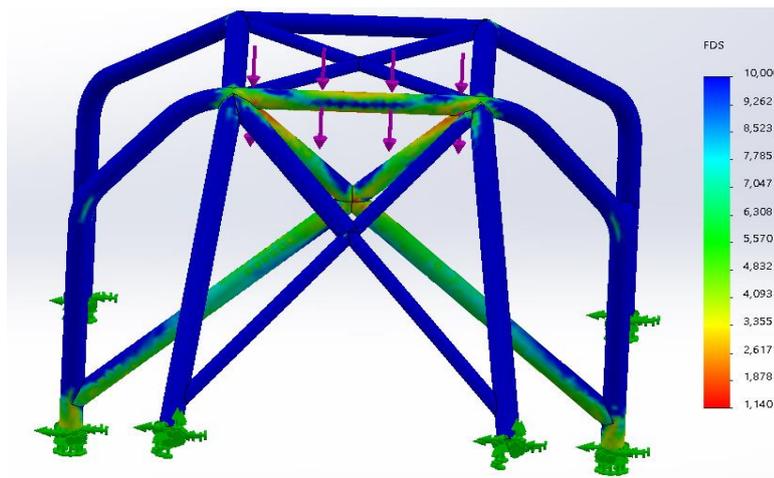


Fig 10.10 Factor de seguridad fuerza vertical

Ensayo Lateral

a) Tensiones

Se puede observar en la Fig 11.10, que las tensiones máximas obtenidas se encuentran en el arco lateral, donde se aplica la fuerza. Estas tensiones, son de 401MPa inferiores al límite elástico del material, 650MPa. Se aplica una escala de 44 para apreciar su efecto.

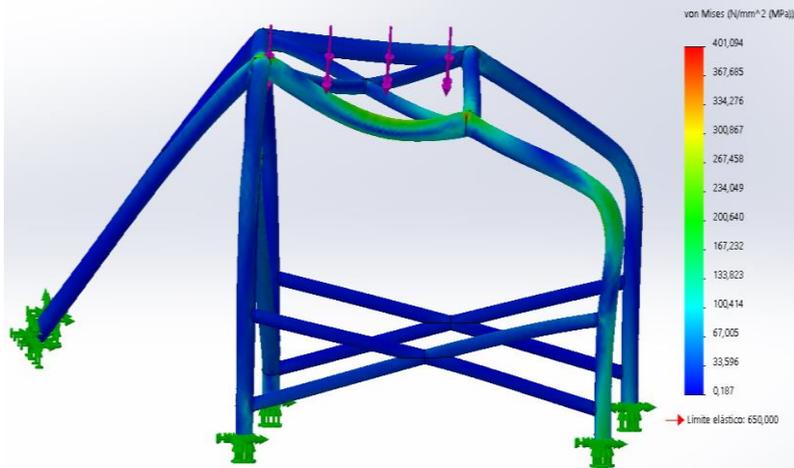


Fig 11.10 Tensiones fuerza lateral

b) Desplazamientos

En la Fig 12.10 se pueden observar los desplazamientos tras aplicar la fuerza. Estos no superan el máximo de 50mm ya que el valor crítico obtenido es de 4,835mm. Se aplica una escala de aumento de 44 para poder apreciar estos con claridad.

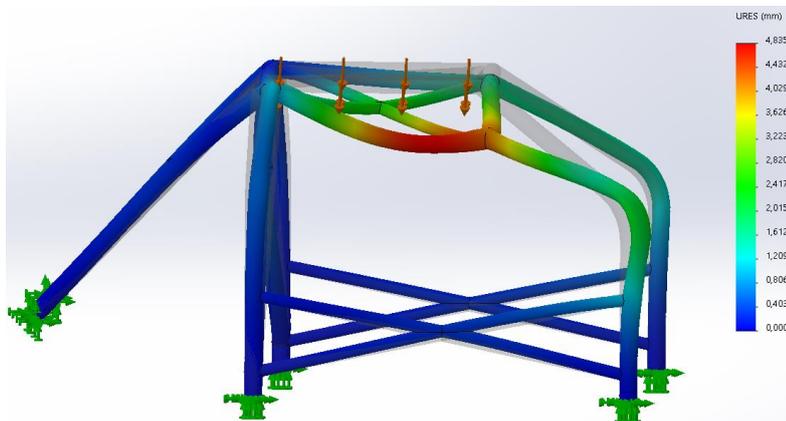


Fig 12.10 Desplazamientos fuerza lateral

c) Factor de Seguridad

El factor de seguridad crítico de este ensayo es de 1,621, superando nuestro mínimo establecido. Este, se encuentra en la barra de aplicación de la fuerza, como se observa en la Fig 13.10.

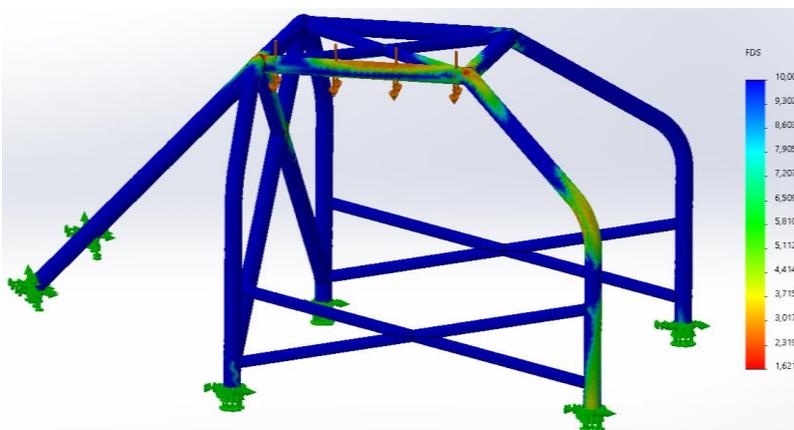


Fig 13.10 Factor de seguridad fuerza lateral

Se observa que este diseño cumple con las exigencias de la normativa. A pesar de que, en el ensayo lateral, el factor de seguridad es elevado 1,621; en el ensayo vertical el factor de seguridad es próximo a 1, con un valor de 1,141, siendo este el ensayo limitante en nuestro diseño.

10.2 Fibra de Carbono

En este apartado, se han realizado los ensayos con Fibra de Carbono con Resina Epoxi. Se han realizado dos ensayos, un primer ensayo con los diámetros y espesores mínimos que expone la normativa; y un segundo ensayo, con los espesores y diámetros para que cumplan las condiciones establecidas.

10.2.1 Primer ensayo

Para realizar este primer ensayo, los diámetros y espesores mínimos se han basado en los establecidos en la normativa, *Tabla 1.10*. Pero, para simplificar la aplicación de la fibra de carbono se ha utilizado un espesor de capa de 0.25 utilizando 8 capas, haciendo un total de 2mm de espesor. La disposición de las capas a seguido un patrón simétrico con la siguiente orientación de las fibras: $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$ s.

Mediante esta composición se ha conseguido un peso de 8,14 kg en el total de la estructura.

Ensayo Vertical

a) Tensiones

En la *Fig 14.10* se puede apreciar las tensiones que sufre la estructura con una carga vertical. Las tensiones máximas que superan son de 1845,5MPa siendo estas superiores al límite elástico de 1462,5MPa. Se utiliza una escala de aumento de 8,7, para apreciar con claridad el efecto de estas tensiones.

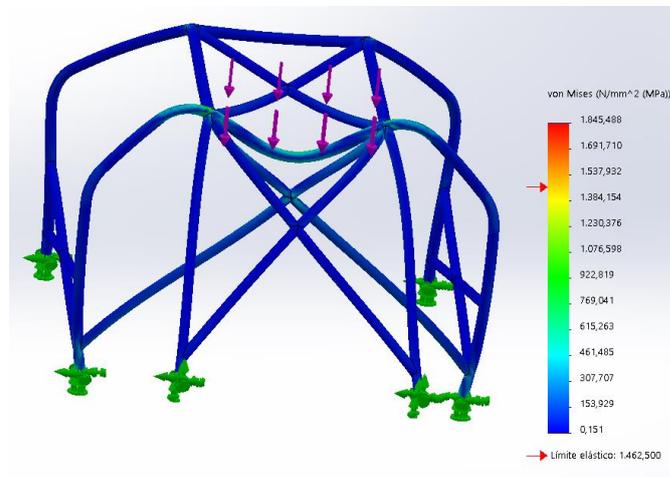


Fig 14.10 Tensiones fuerza vertical

b) Desplazamientos

Se puede apreciar, en la Fig 15.10, un desplazamiento máximo de la estructura de 24,33mm, en la barra en la que es aplicada la fuerza. Este desplazamiento está por debajo del desplazamiento máximo admitido en la normativa de 50mm.

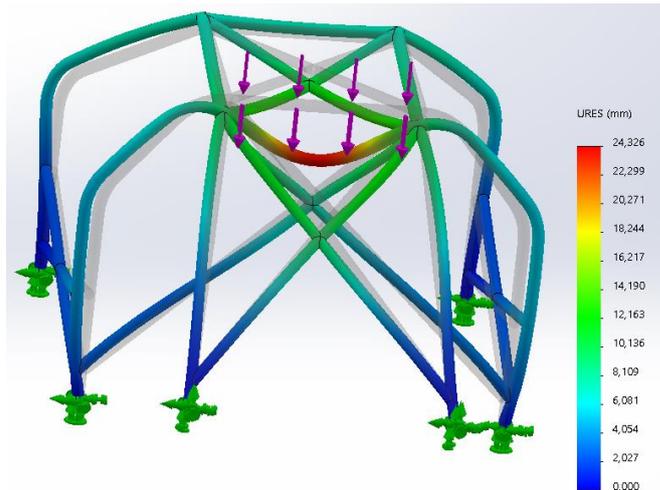


Fig 15.10 Desplazamiento fuerza vertical

El desplazamiento está aumentado 8,7 veces para poder apreciarlo con claridad.

c)Factor de Seguridad

1-Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 16.10, que, la barra donde soporta la fuerza, junto a la cruceta inferior no alcanza un mínimo de 1 en el factor de seguridad.

El valor mínimo obtenido mediante el método de Tsai-Hill ha sido de 0,030.

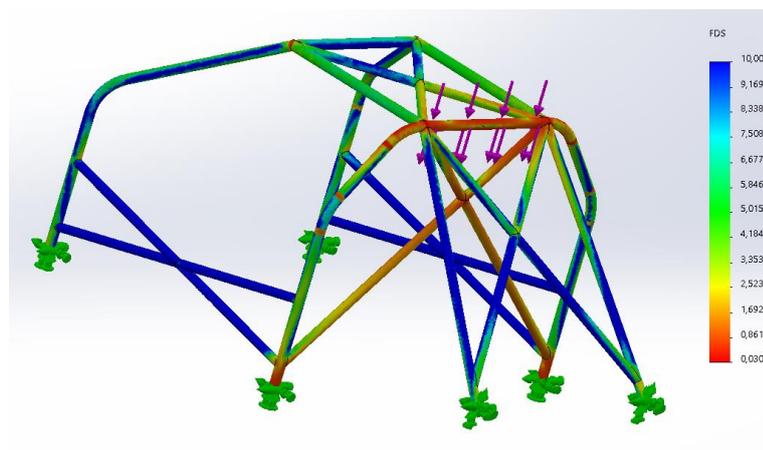


Fig 16.10 Seguridad Tsai-Hill

2)Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 17.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que anteriormente pero esta vez con un factor de seguridad de 0,033.

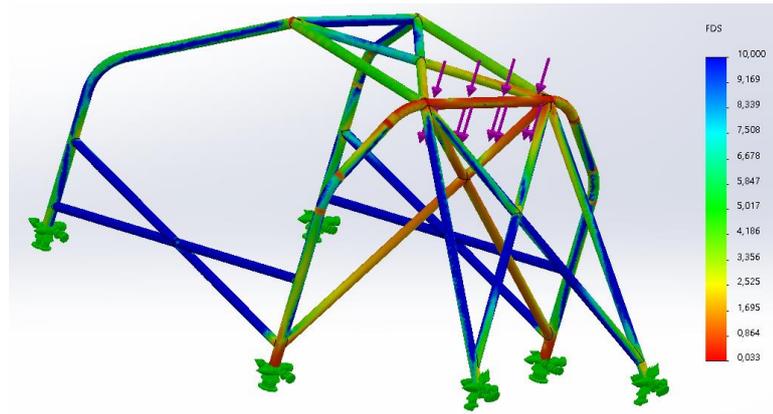


Fig 17.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa, en la Fig 18.10, un factor de seguridad mínimo parejo al calculado en el método de Tsai-Wu. Este es de 0,033.

Siendo la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores.

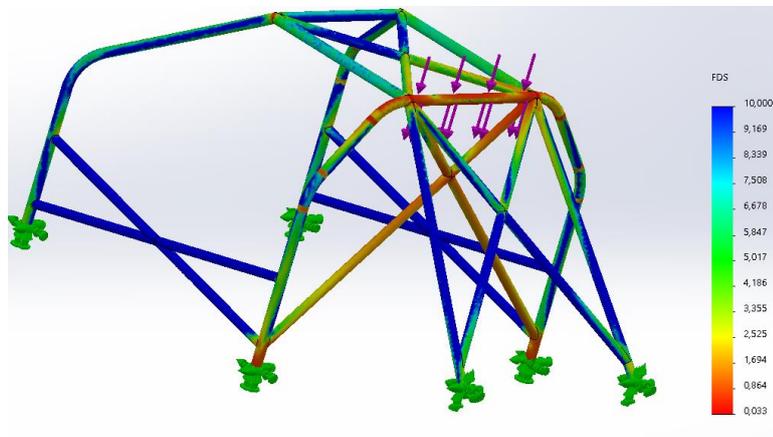


Fig 18.10 Seguridad Tsai-Wu

Ensayo Lateral

a) Tensiones

En este ensayo observamos, en la Fig 19.10 con un aumento de 5 en la escala de deformaciones para poder apreciarlas, como las tensiones máximas 1644MPa superan el límite elástico de 1462,5Mpa. Situándose, los puntos críticos en las uniones entre el arco lateral y el arco

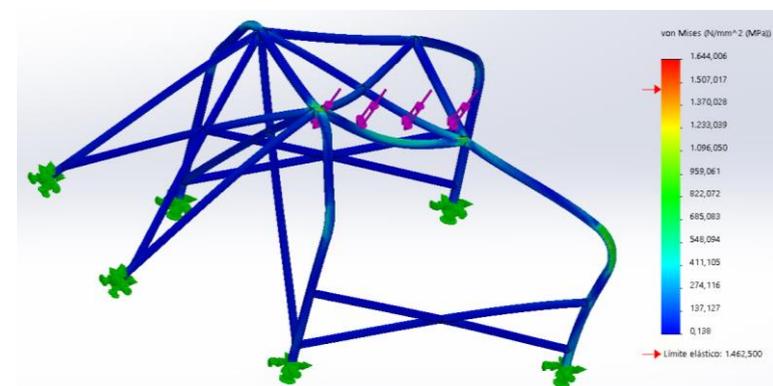


Fig 19.10 Tensiones fuerza lateral

principal, y el arco lateral con la barra transversal.

b) Desplazamientos

Se observa, en la Fig 20.10, un desplazamiento de 41mm en el punto de aplicación de la fuerza, muy próximo a 50mm que es nuestro valor límite.

Para poder observar el desplazamiento se ha realizado un aumento de 5 en dicho.

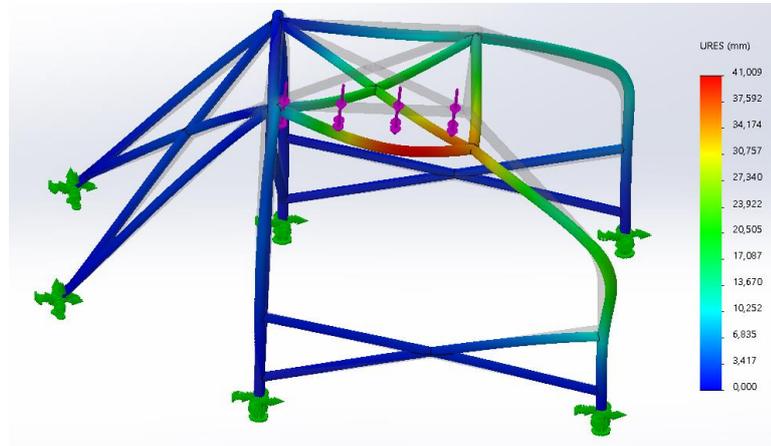


Fig 20.10 Desplazamientos fuerza lateral

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 21.10 que, la barra donde soporta la fuerza y el arco no alcanzan un mínimo de 1 en el factor de seguridad.

El valor mínimo obtenido mediante el método de Tsai-Hill ha sido de 0,026

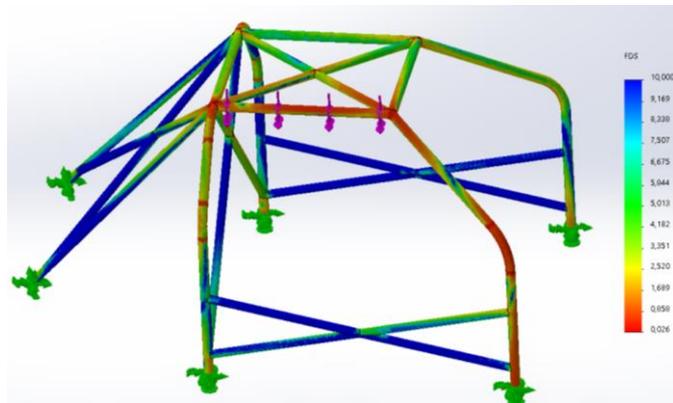


Fig 21.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu hemos obtenido un valor un poco menor en el factor de seguridad, siendo este de 0,025. La disposición, que se puede observar en la Fig 22.10, es similar a la mencionada en el método de Tsai-Hill.

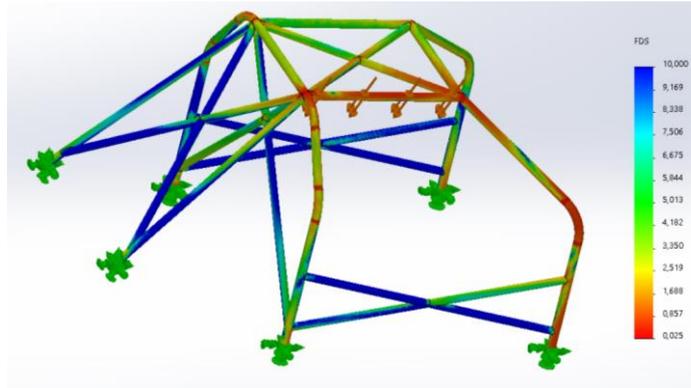


Fig 22.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensión Máxima

Por otro lado, mediante el método de Tensión Máxima hemos obtenido que, el valor crítico de factor de seguridad es de 0,035, observable en la Fig 23.10, siendo este, el menos desfavorable de los tres casos.

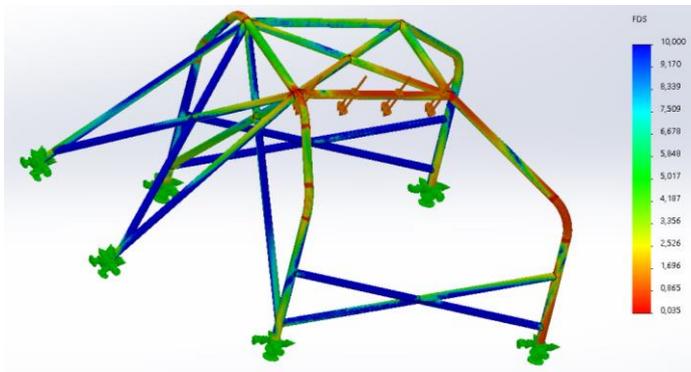


Fig 23.10 Seguridad Tensión Máxima

Tras este ensayo, se observa que las tensiones que soporta la estructura, en ambos ensayos, son superiores al límite elástico del material. Además, se obtiene un factor de seguridad inferior a la unidad con cualquier de los tres ensayos.

10.2.2. Segundo ensayo

Para este segundo ensayo se han realizado cambios tanto en los diámetros como el número de capas y espesor de estas. En cuanto al diámetro, los arcos laterales cuentan con un diámetro de 12cm, mientras que el arco principal es de 14cm, la cruceta de refuerzo del arco principal cuenta con un diámetro de 8cm. Por otro lado, la cruceta trasera y la cruz del techo cuentan con un diámetro de 6cm; las crucetas laterales cuentan con un diámetro de 4 cm y los tirantes traseros de 10cm.

Por otro lado, en el tema de capas de las fibras existen diferentes tipos. El primer tipo, formada por 16 capas con la disposición siguiente: $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]_s$ formando el arco principal, los arcos laterales y la cruceta central. Y el segundo tipo, están formadas por 8 capas con la disposición $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]_s$, que son las demás barras. Todas estas con un espesor de capa de 0,3mm

Esto hace que la estructura tenga un peso total de 42,83 kg.

Ensayo Lateral

a) Tensiones

En la Fig 24.10 se puede apreciar las tensiones que sufre la estructura con una carga vertical. Las tensiones máximas son de 250MPa siendo estas inferiores al límite elástico de 1462,5MPa. Se utiliza una escala de aumento de 112, para apreciar con claridad el efecto de estas tensiones.

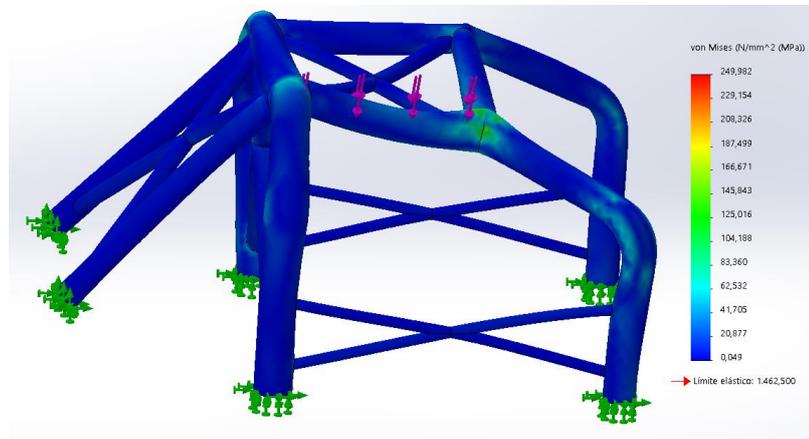


Fig 24.10 Tensiones fuerza lateral

b) Desplazamientos

Se puede apreciar, en la Fig 25.10, un desplazamiento máximo de la estructura de 2,203mm, en la barra en la que es aplicada la fuerza. Este desplazamiento está por debajo del desplazamiento máximo admitido en la normativa de 50mm.

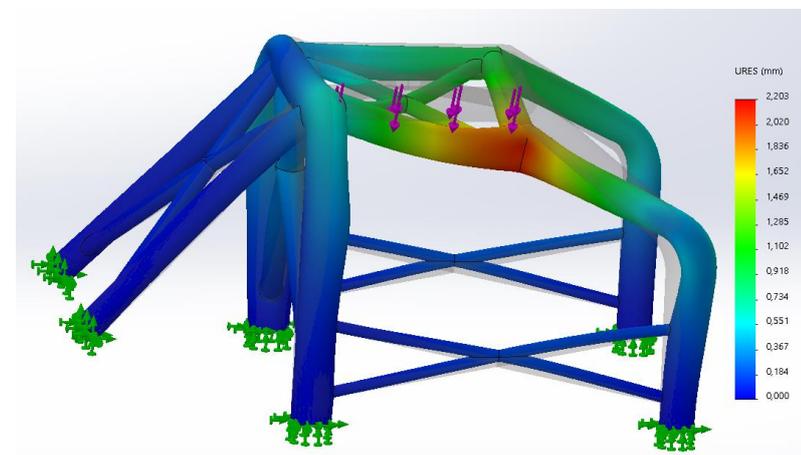


Fig 25.10 Desplazamientos fuerza lateral

El desplazamiento está aumentado 112 veces para poder apreciarlo con claridad.

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 26.10, que la barra donde soporta la fuerza, junto a la cruceta, alcanzando un mínimo de 1,045.

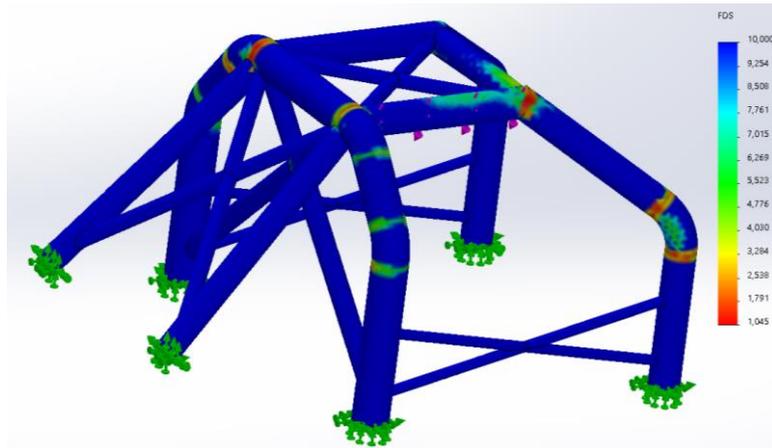


Fig 26.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 27.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que anteriormente pero esta vez con un factor de seguridad de 1,05.

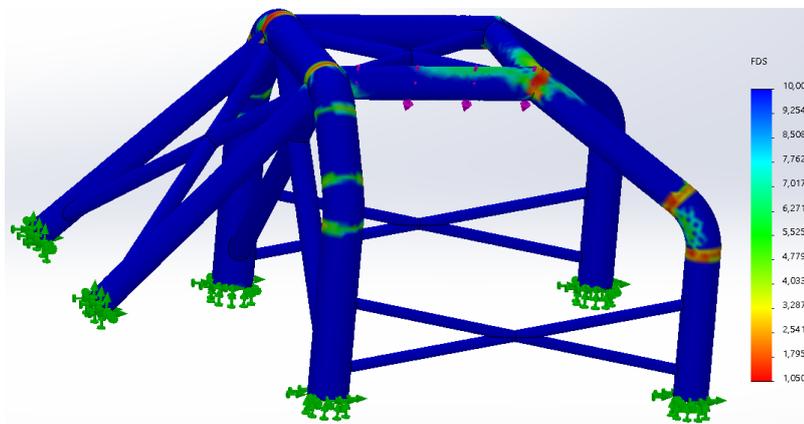


Fig 27.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa, en la Fig 28.10, un factor de seguridad mínimo de 1,087.

Siendo la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores.

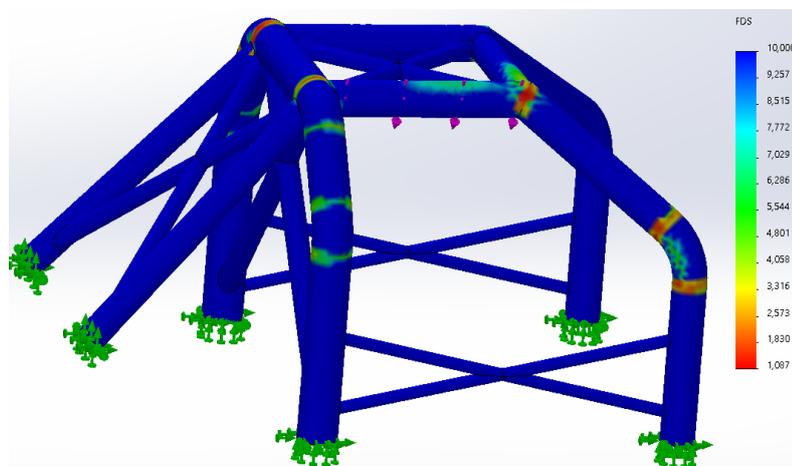


Fig 28.10 Seguridad Tensiones máximas

Ensayo Vertical

a) Tensiones

En la Fig 29.10 se puede apreciar las tensiones que sufre la estructura con una carga vertical. Las tensiones máximas son de 171MPa siendo estas inferiores al límite elástico de 1462,5MPa. Se utiliza una escala de aumento de 173, para apreciar con claridad.

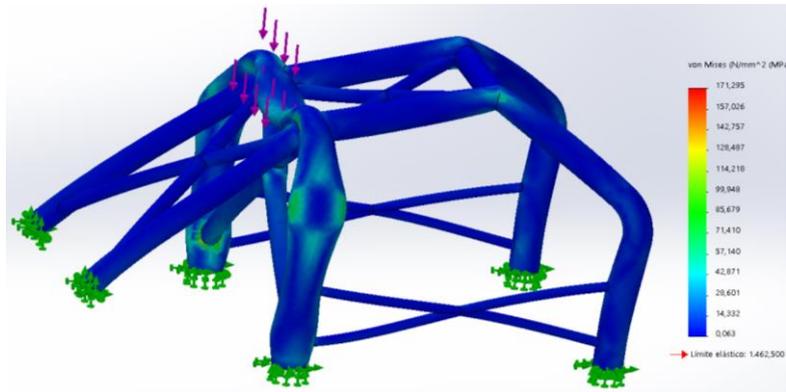


Fig 29.10 Tensiones fuerza vertical

b) Desplazamientos

Se puede apreciar, en la Fig 30.10, un desplazamiento máximo de la estructura de 1,34mm, en la barra en la que es aplicada la fuerza. Este desplazamiento está por debajo del desplazamiento máximo admitido en la normativa de 50mm.

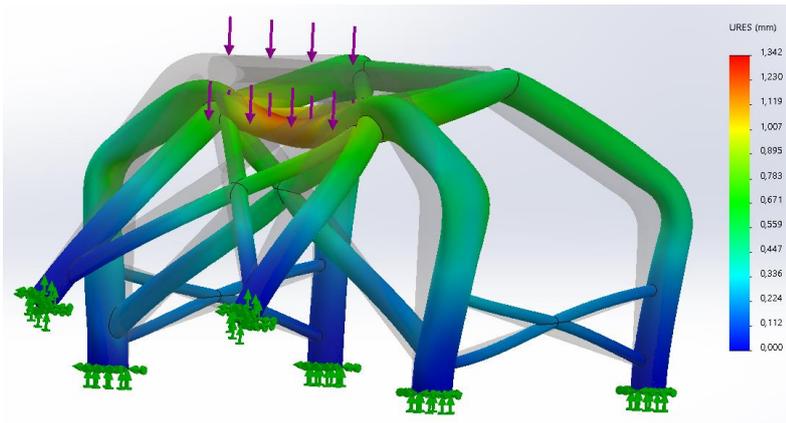


Fig 30.10 Desplazamientos fuerza vertical

El desplazamiento está aumentado 24 veces para poder apreciarlo con claridad.

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 31.10 que, la barra donde soporta la fuerza, junto a la cruceta es el lugar crítico, donde el valor obtenido ha sido de 1,098.

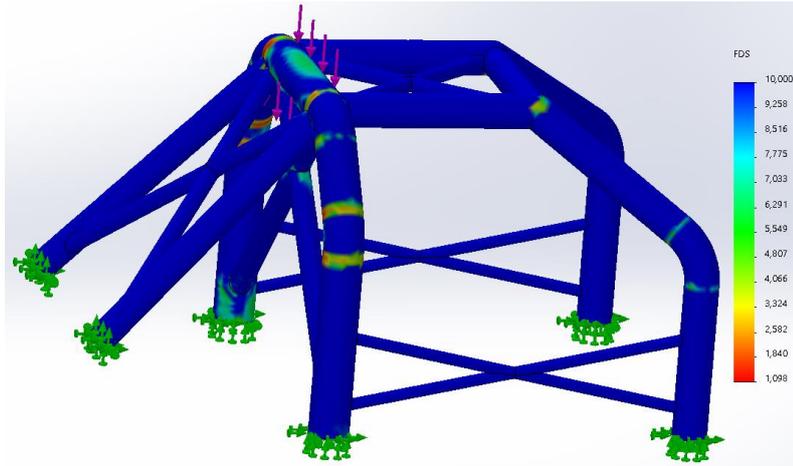


Fig 31.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 32.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que anteriormente pero esta vez con un factor de seguridad de 1,093.

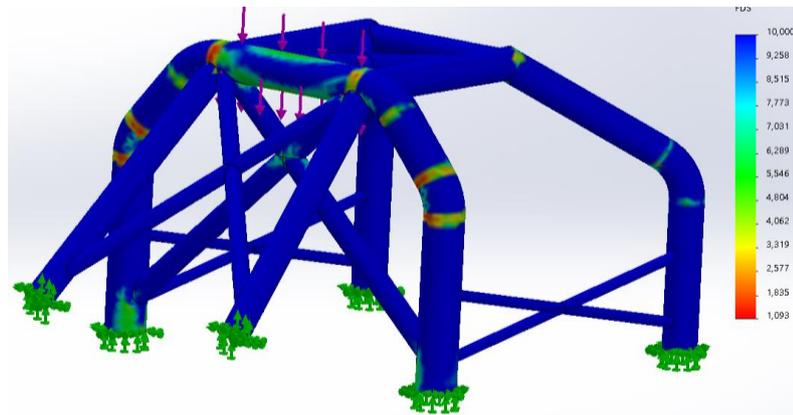


Fig 32.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa, en la Fig 33.10, un factor de seguridad mínimo de 1,157.

Siendo la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores.

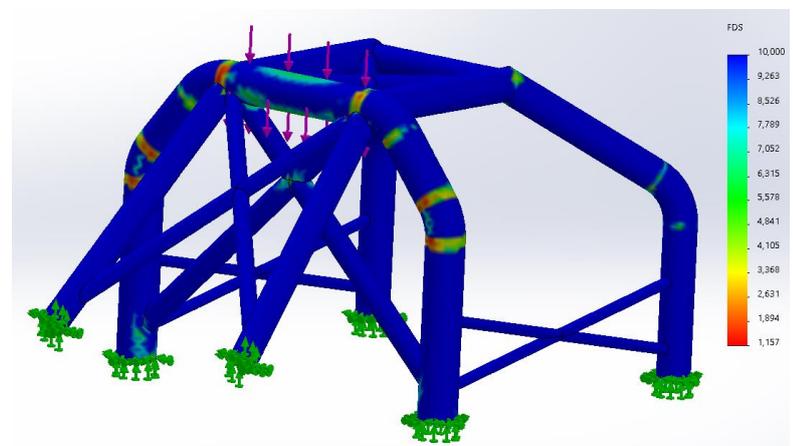


Fig 33.10 Seguridad Tensión Máxima

Tras la realización de este ensayo, se puede dar como aceptable el diseño de la jaula de seguridad, ya que cumple con las exigencias establecidas. En ambos ensayos las tensiones máximas que recorren la estructura son muy inferiores al límite elástico del material. También, se observa que los desplazamientos que sufre no superan los 3 mm quedando estos muy por debajo del límite que marca la normativa establecido en 50mm. Por otro lado, en cuanto al factor de seguridad, se observa que con los tres métodos los resultados son muy parejos, pero con diferencias entre sí. Por ello, en el ensayo de fuerza vertical se seleccionaría en el método de Tsai-Wu, puesto que es el más desfavorable con un valor de 1,093; mientras que, en el ensayo de fuerza lateral, se escogería el método de Tsai-Hill con un valor de 1,045.

Entre ambos valores, se debe elegir el más desfavorable, en este caso se selecciona el método de Tsai-Hill de la fuerza lateral.

10.3 Fibra de Yute

Para este tercer análisis se ha empleado Fibra de Yute con Resina Epoxi. Se trata del primer caso a analizar con fibras naturales. Se han realizado dos ensayos, un primer ensayo siguiendo las especificaciones establecidas en la *Tabla 1.10*; y un segundo ensayo optimizando la estructura para que cumpla con las exigencias establecidas.

10.3.1 Primer Ensayo

En este primer ensayo, se han establecido los diámetros indicados en la *Tabla 1.10*. Para el espesor, se ha decidido simplificar la utilización de la fibra y se han dispuesto 8 capas simétricas de 0,25mm de espesor cada una, consiguiendo un total de 2mm de espesor. La disposición de esta ha seguido un patrón $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$ s.

Con estas especificaciones se ha conseguido un peso de 6,61kg en el cómputo general de la estructura. A continuación, analizaremos los dos ensayos que se deben realizar: ensayo vertical y ensayo lateral.

Ensayo Vertical

a) Tensiones

Se observa, en la *Fig 34.10*, que las tensiones máximas se encuentran tanto en la barra donde se aplica la fuerza como en los puntos de unión al chasis. Estas tensiones son de 1577MPa superando el límite elástico de nuestro material de 585MPa. Se ha utilizado una escala

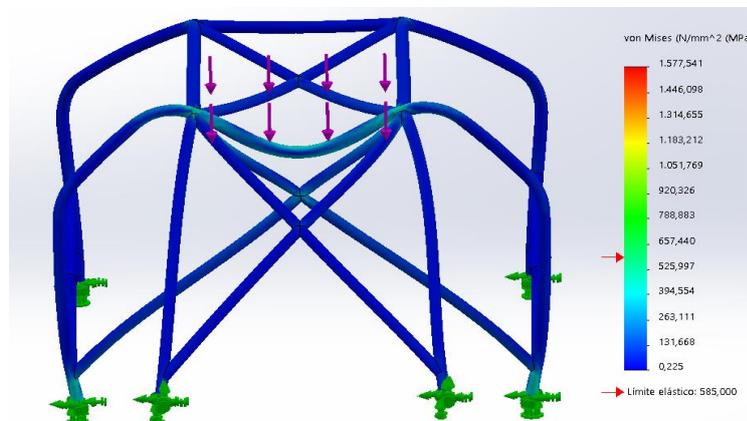


Fig 34.10 Tensiones fuerza vertical

de aumento de 1,2, en las deformaciones.

b) Desplazamientos

Se puede observar, en la Fig 35.10, con una escala de 1,2 en los desplazamientos, que los desplazamientos máximos producidos son de 169mm en la barra de aplicación de la fuerza, superando el límite establecido de 50mm.

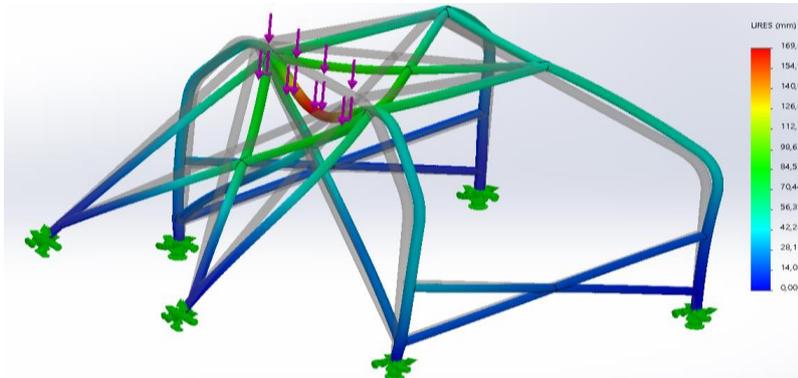


Fig 35.10 Desplazamientos fuerza vertical

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa que, en la Fig 36.10, la barra donde soporta la fuerza, junto a la cruceta inferior no alcanza un mínimo de 1 en el factor de seguridad.

El valor mínimo obtenido mediante el método de Tsai-Hill ha sido de 0,054.

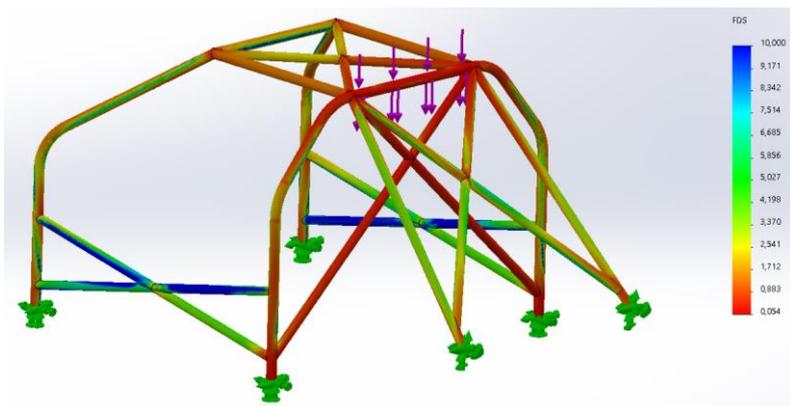


Fig 36.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 37.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que anteriormente pero esta vez con un factor de seguridad de 0,059.

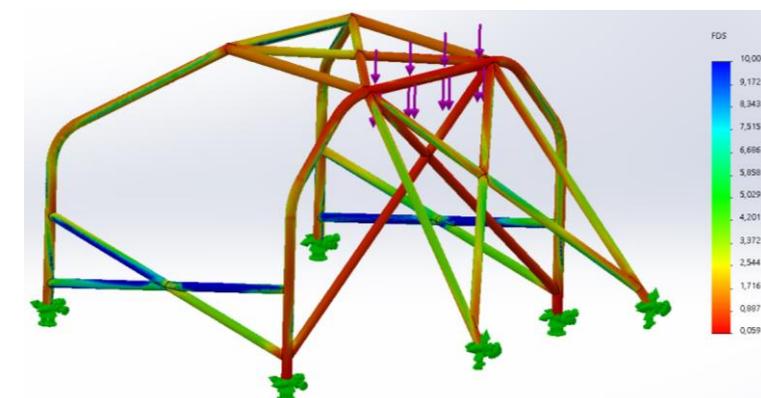


Fig 37.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa, en la Fig 38.10, un factor de seguridad mínimo parejo al calculado en el método de Tsai-Wu. Este es de 0,059.

Siendo la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores.

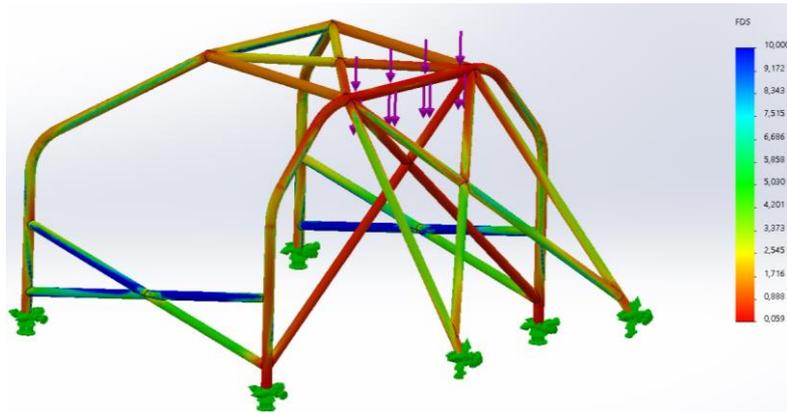


Fig 38.10 Seguridad Tensiones Máximas

Ensayo Lateral

a) Tensiones

En este ensayo se observa, en la Fig 39.10, como las tensiones máximas 1476MPa superan el límite elástico de 585MPa. Situándose, los puntos críticos en las uniones entre el arco lateral y los miembros transversales. Se ha utilizado una escala de reducción de 0,77, para apreciar las deformaciones.

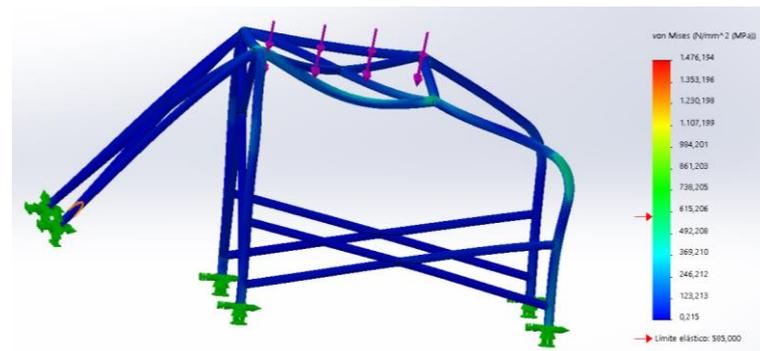


Fig 39.10 Tensiones Fuerza Lateral

b) Desplazamientos

Se observa, en la Fig 40.10, un desplazamiento de 280mm en el punto de aplicación de la fuerza, por encima del límite de 50mm que es nuestro valor límite. Se utiliza una escala de reducción de 0,77 en las deformaciones.

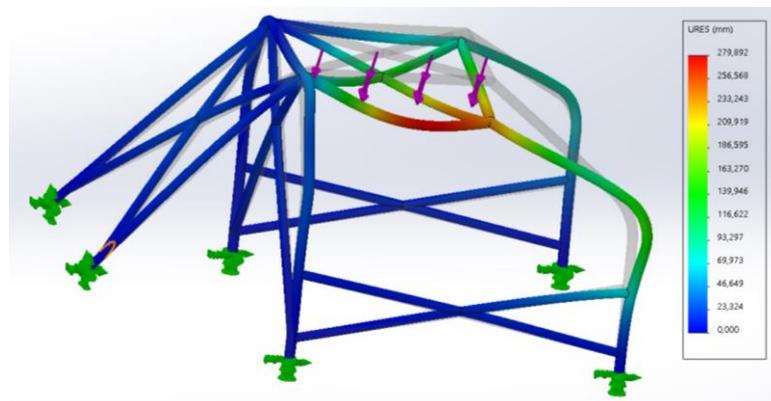


Fig 40.10 Desplazamientos Fuerza Lateral

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 41.10, que, prácticamente en la totalidad de la jaula no supera el 1. El valor mínimo obtenido ha sido de 0,037.

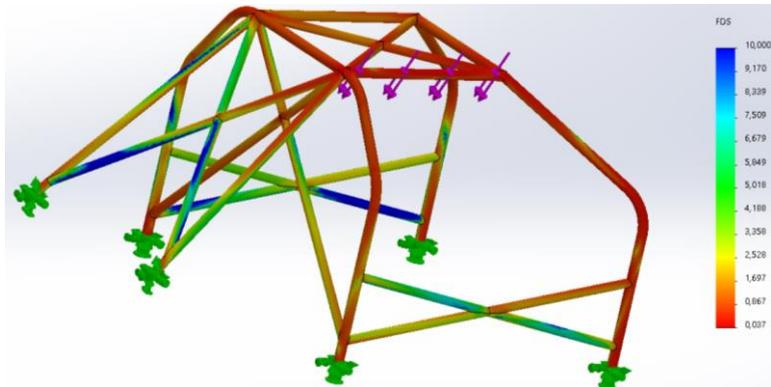


Fig 41.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se ha obtenido un valor un poco menor en el factor de seguridad, siendo este de 0,036. La disposición, que se observa en la Fig 43.10, es similar a la mencionada en el método de Tsai-Hill.

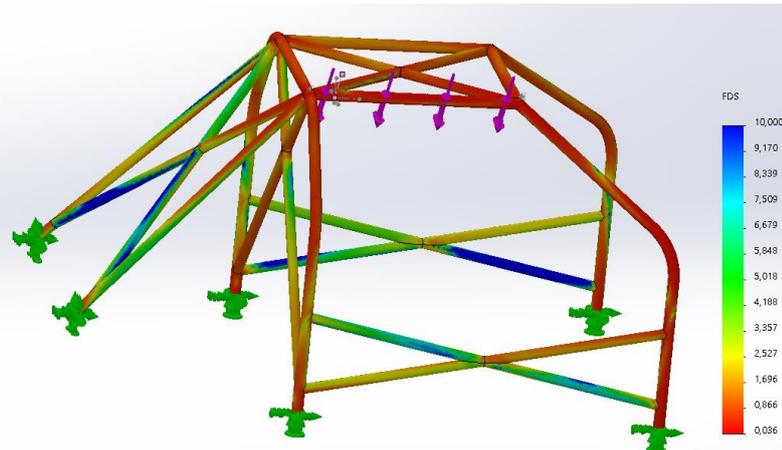


Fig 42.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensión Máxima

Por otro lado, mediante el método de Tensión Máxima se ha obtenido que el valor crítico de factor de seguridad es de 0,043, siendo este, el menos desfavorable de los tres casos. Pudiéndose observar en la Fig 43.10.

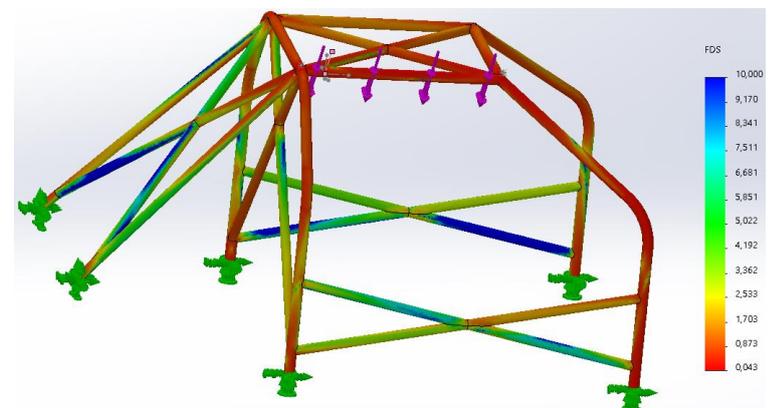


Fig 43.10 Seguridad Tensión Máxima

Tras este ensayo se observa que con las dimensiones establecidas la estructura no cumple con la normativa, ya que el resultado de los ensayos es desfavorable. Es necesario realizar un rediseño de la estructura.

10.3.2 Segundo ensayo

Para este segundo ensayo se han modificado diferentes medidas respecto al primer ensayo. La primera modificación que se ha realizado ha sido en los diámetros. Se han establecido diámetros de 12 cm en los tirantes laterales, cruceta central y arco principal; diámetros de 10 cm en los arcos laterales; diámetros de 8 cm en la cruceta del techo y la barra transversal del techo y diámetros de 6 cm en las crucetas laterales y la trasera.

Por otro lado, se ha modificado el número de capas y el espesor de esta en alguno de los elementos. Se han establecido 16 capas de 0,3mm de espesor con una disposición de $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$ s en el arco principal como en la cruceta central y en los arcos laterales y por último, se han dejado las demás barras con 8 capas, con una disposición $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$ s y un espesor de cada capa de 0,3mm.

Todo ello, hace que el conjunto de la estructura sea de 52,91kg.

Ensayo Vertical

a) Tensiones

Se observa que las tensiones máximas se encuentran tanto en la barra donde se aplica la fuerza como en los puntos de unión al chasis. Estas tensiones son de 75,95MPa inferior al límite elástico de nuestro material de 585MPa.

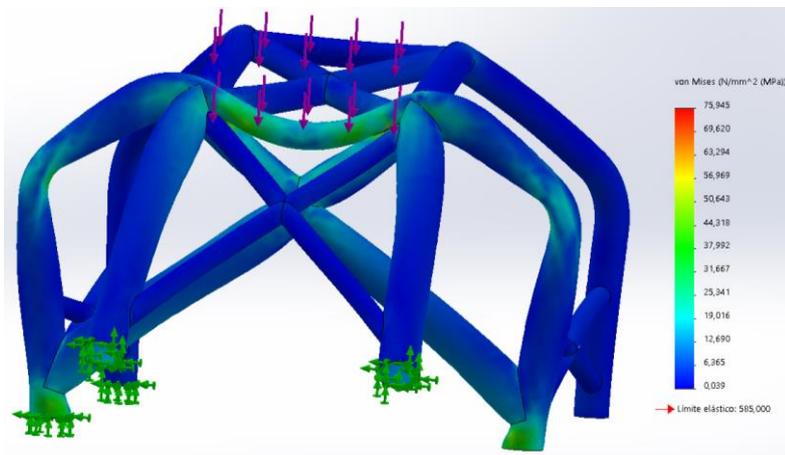


Fig 44.10 Tensiones Fuerza Vertical

La Fig 44.10 está con una escala de aumento de 35, en las deformaciones para una mejor percepción de estas.

b) Desplazamientos

Se puede observar, en la Fig 45.10, con un aumento de 35, en las deformaciones; y así se observa que los desplazamientos máximos producidos son de 6,25mm en la barra de aplicación de la fuerza, muy por debajo del límite establecido de 50mm.

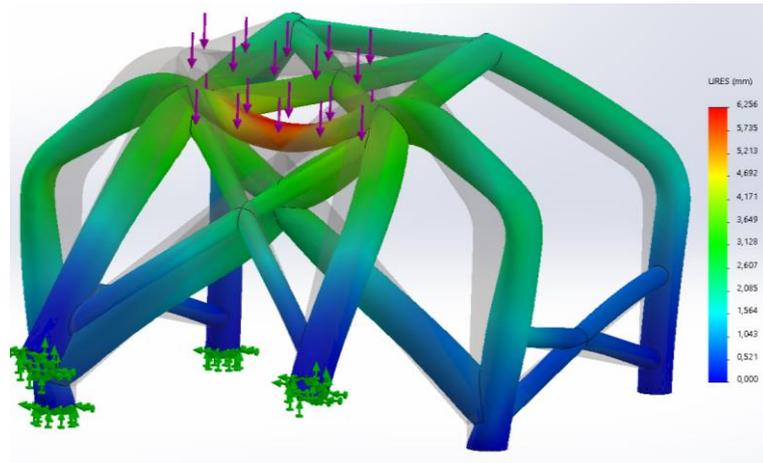


Fig 45.10 Desplazamientos Fuerza Vertical

c)Factor de Seguridad

1)Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 46.10 que, la barra donde soporta la fuerza, junto a las uniones con el chasis, son los puntos más críticos con un factor de seguridad de 1,113.

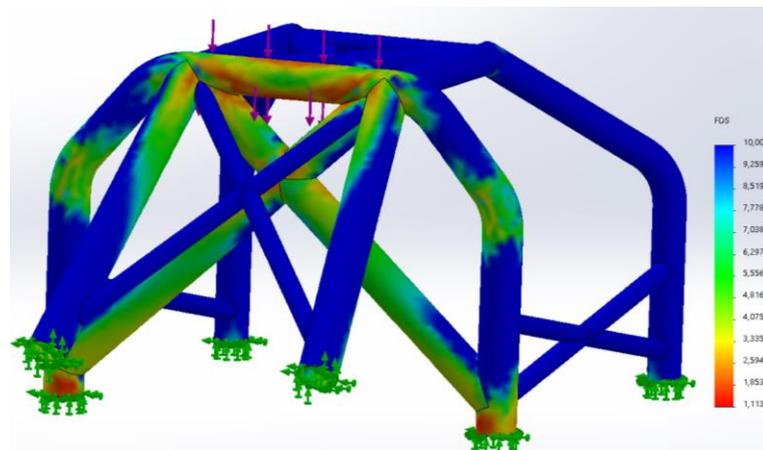


Fig 46.10 Seguridad Tsai-Hill

2)Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 47.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que los mencionados anteriormente pero esta vez con un factor de seguridad de 1,120.

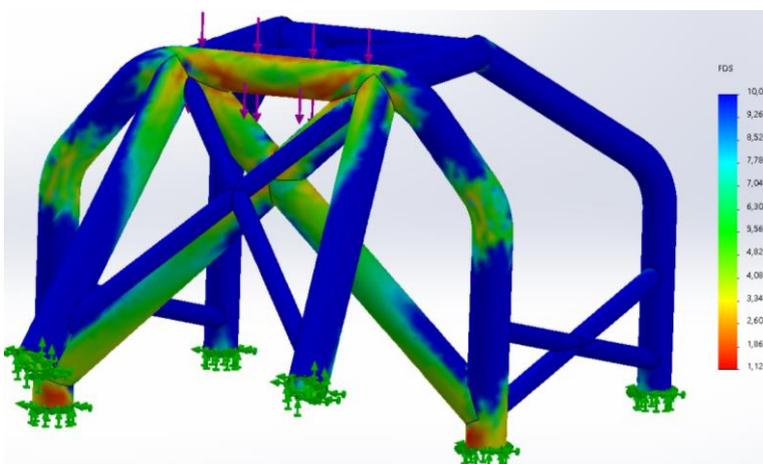


Fig 47.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa, en la Fig 48.10, un factor de seguridad mínimo parejo al calculado en el método de Tsai-Wu. Este es de 1,119.

Siendo la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores.

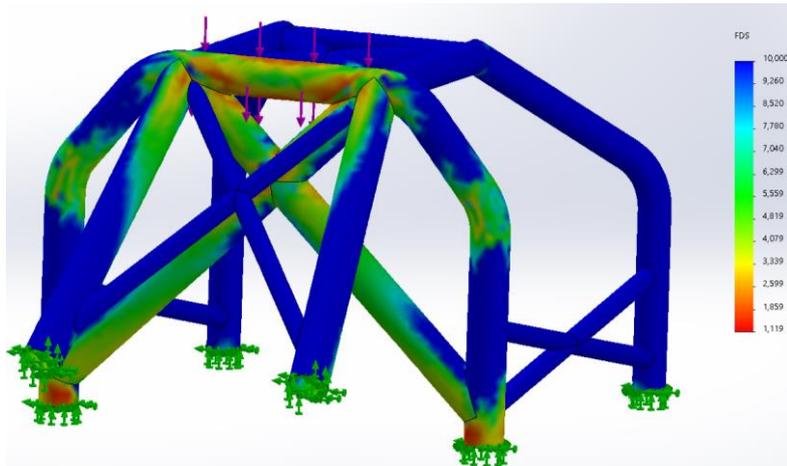


Fig 48.10 Seguridad Tensiones Máximas

Ensayo Lateral

a) Tensiones

En este ensayo observamos, en la Fig 49.10, como las tensiones máximas 66,25MPa no superan el límite elástico de 585MPa. Situándose, los puntos críticos en la cruceta central y en la parte superior de la jaula. Se ha utilizado una escala de aumento en las deformaciones de 48, para apreciar sus deformaciones.

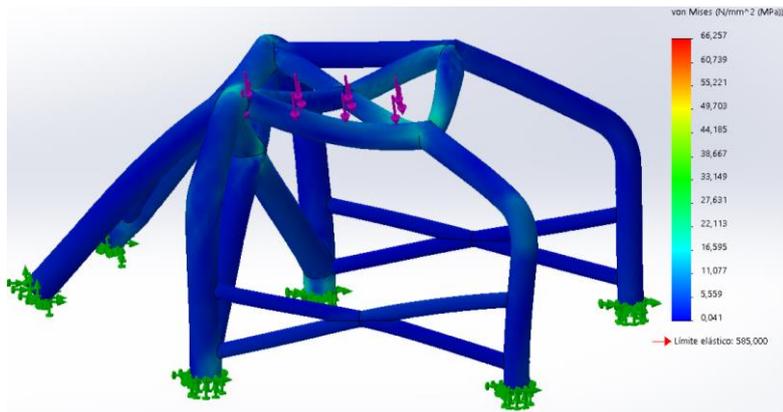


Fig 49.10 Tensiones Fuerza Lateral

b) Desplazamientos

Se observa, en la Fig 50.10 un desplazamiento de 5,53mm en el punto de aplicación de la fuerza, por debajo del límite de 50mm que es nuestro valor límite. Se utiliza una escala de aumento de 48 para apreciar el desplazamiento.

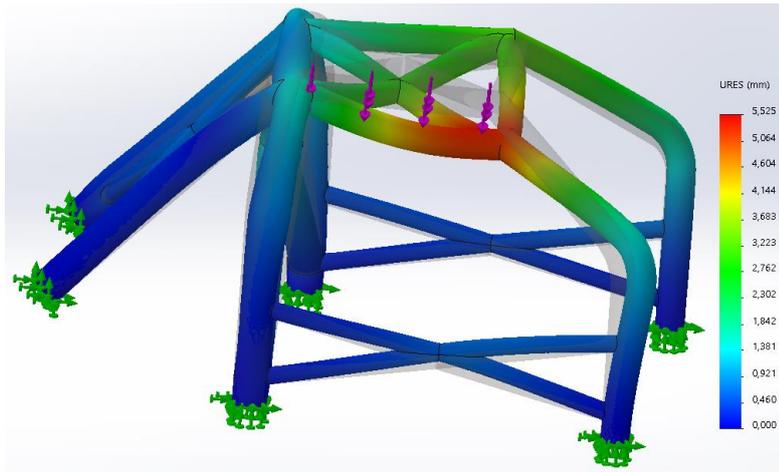


Fig 50.10 Desplazamientos Fuerza Lateral

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 51.10, que, los puntos críticos se encuentran tanto en la cruceta central como en la parte superior de la jaula; siendo, el valor crítico de 1,26.

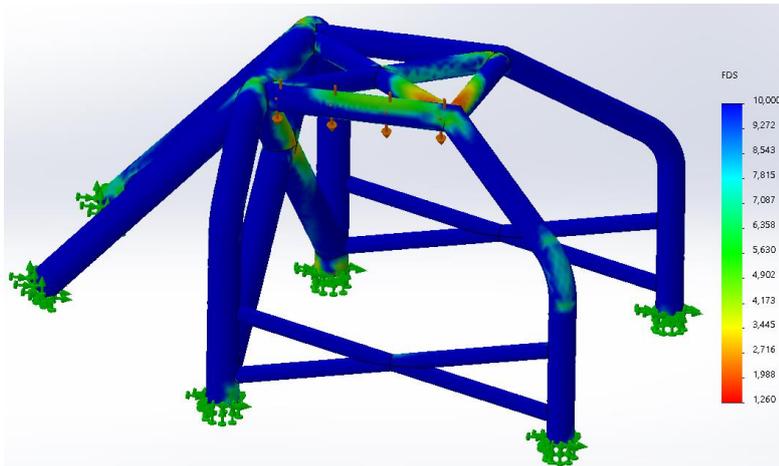


Fig 51.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se ha obtenido un valor un poco menor en el factor de seguridad, siendo este de 1,339. La disposición, se puede observar en la Fig 52.10, es similar a la mencionada en el método de Tsai-Hill.

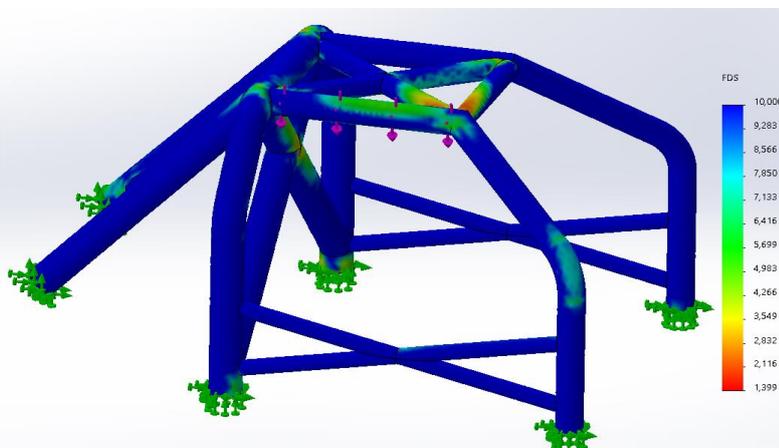


Fig 52.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensión Máxima

Por otro lado, mediante el método de Tensión Máxima se ha obtenido que el valor crítico de factor de seguridad es de 1,324.

La disposición, que se observa en la Fig 53.10, es parecida a los dos métodos anteriores.

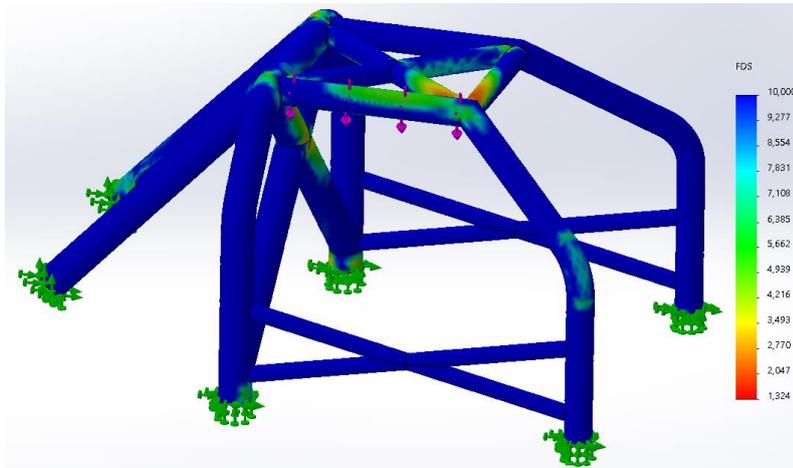


Fig 53.10 Seguridad Tensión Máxima

Tras este ensayo, se ha obtenido un resultado favorable, ya que, con este diseño, la estructura cumple con las exigencias establecidas. En ambos ensayos, las tensiones y deformaciones que soporta la estructura son muy inferiores a los límites establecidos. El mayor problema ha sido obtener un factor de seguridad superior a la unidad. En el ensayo con fuerza vertical, se tendrá en cuenta el valor obtenido mediante el método de Tsai-Hill que ha sido de 1,113 ya que es el más restrictivo de los tres métodos. Por otro lado, en el ensayo con fuerza lateral se ha tenido en cuenta el valor calculado mediante el método de Tsai-Hill que su valor ha sido de 1,26. Por ello, para las modificaciones se ha tenido en cuenta el método de Tsai-Hill en la fuerza vertical, ya que ha sido el más restrictivo.

10.4 Fibra de Bambú

En este último ensayo, se ha empleado la Fibra de Bambú con Resina Epoxi. En este caso, las propiedades de la fibra de bambú no son tan superiores, pero se quiere comprobar que resultados se obtienen. Por ello, se han realizado dos ensayos, un primer ensayo con las medidas establecidas en la Tabla 1.10 y otro ensayo con modificaciones tanto de diámetro como de espesor.

10.4.1 Primer ensayo

En este primer ensayo, se han establecido los diámetros indicados en la Tabla 1.10. Para el espesor, se ha decidido simplificar la utilización de la fibra y se han dispuesto 8 capas simétricas de 0,25mm de espesor cada una, consiguiendo un total de 2mm de espesor. La disposición de esta ha seguido un patrón $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]_s$.

Con estas especificaciones se ha conseguido un peso de 8,14kg en el cómputo general de la estructura. A continuación, analizaremos los dos ensayos que se deben realizar: ensayo vertical y ensayo lateral.

Ensayo Vertical

a) Tensiones

Se observa, en la Fig 54.10, que las tensiones máximas se encuentran tanto en la barra donde se aplica la fuerza como en los puntos de unión al chasis. Estas tensiones son de 1547MPa muy superiores al límite elástico de nuestro material de 93,6MPa. La imagen se observa con una reducción de 0,5 en las deformaciones.

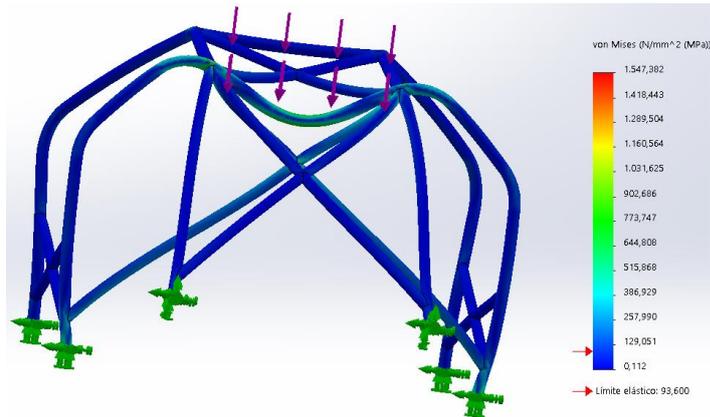


Fig 54.10 Tensiones Fuerza vertical

b) Desplazamientos

Se puede observar, en la Fig 55.10, que los desplazamientos máximos producidos son de 399mm en la barra de aplicación de la fuerza, superando el límite establecido de 50mm.

Se aplica una reducción de 0,5, en ñas deformaciones.

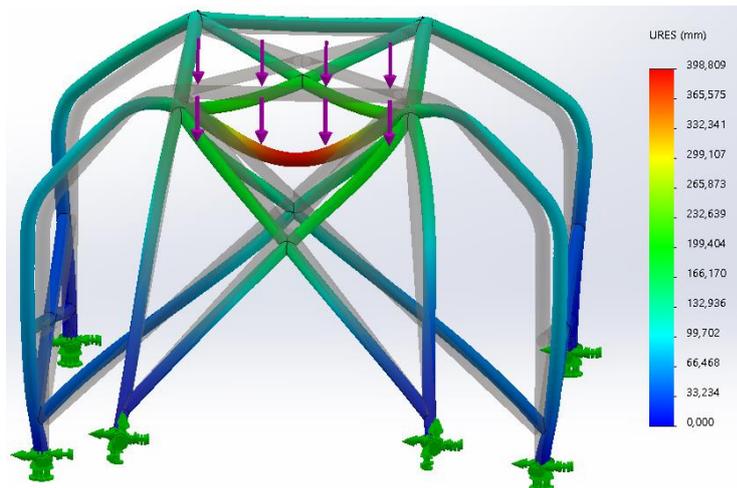


Fig 55.10 Desplazamientos Fuerza Vertical

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

Se puede ver, en la Fig 56.10, que el factor de seguridad, es inferior a 1 en la mayor parte de la estructura, siendo el valor mínimo de 0,023.

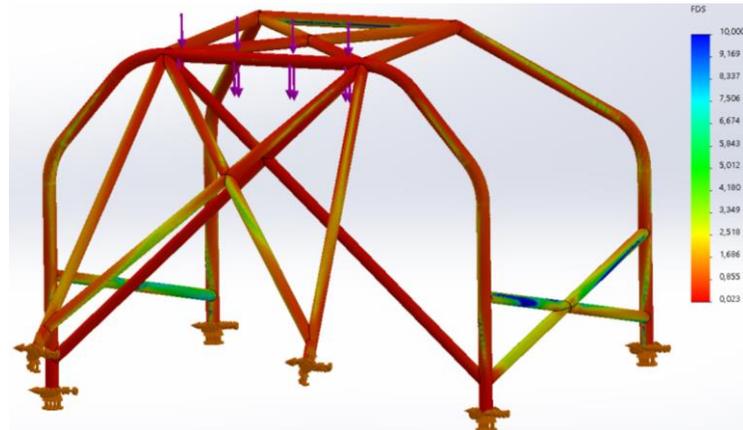


Fig 56.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 57.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que anteriormente, pero esta vez con un factor de seguridad, un poco superior de 0,024.

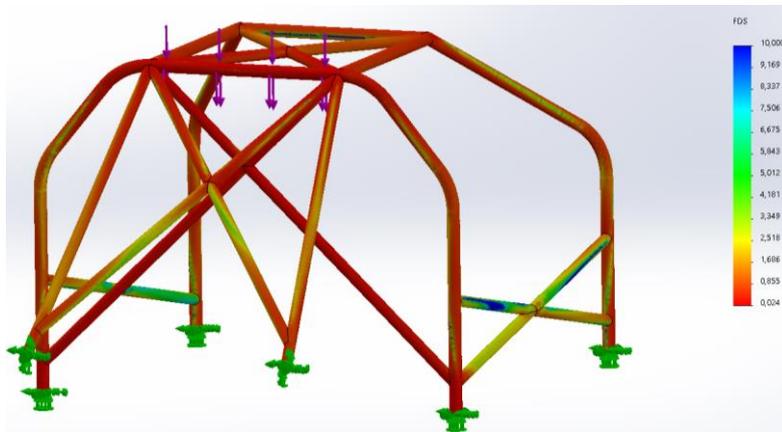


Fig 57.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa un factor de seguridad mínimo inferior a los anteriores. Este es de 0,022.

Siendo, apreciable en la Fig 58.10, la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores.

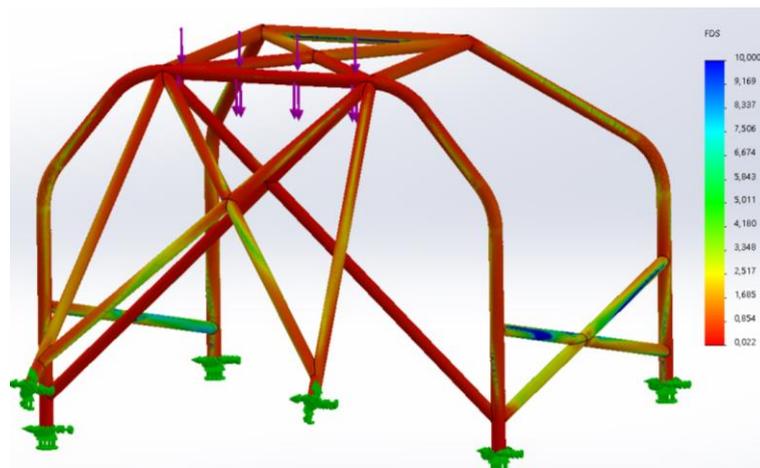


Fig 58.10 Seguridad Tensión Máxima

Ensayo Lateral

a) Tensiones

En este ensayo, Fig 59.10, se puede observar como las tensiones máximas 1532MPa superan el límite elástico de 93,6MPa. Se ha utilizado una escala de reducción de 0,25, en las deformaciones.

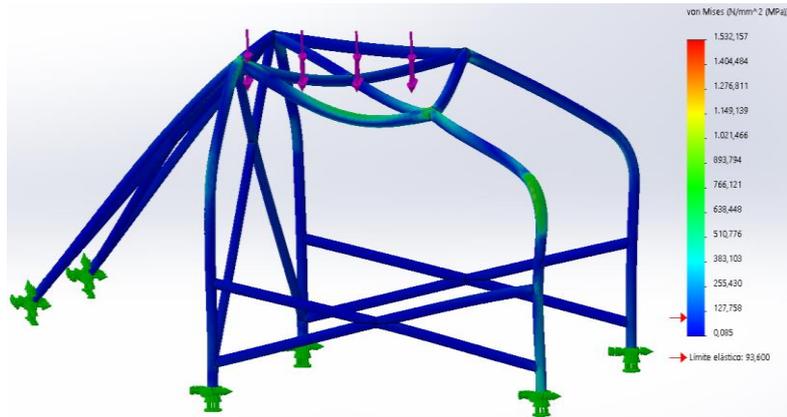


Fig 59.10 Tensiones Fuerza Lateral

b) Desplazamientos

Se observa, en la Fig 60.10, un desplazamiento de 669mm en el punto de aplicación de la fuerza, por encima del límite de 50mm que es nuestro valor límite.

Se utiliza una escala de reducción de 0.36, en las deformaciones.

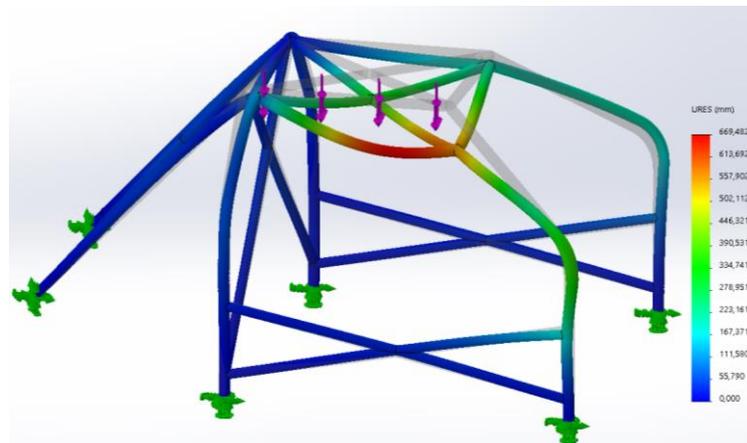


Fig 60.10 Desplazamientos Fuerza Lateral

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 61.10 que, casi en la totalidad de la jaula, no supera el 1.

El valor mínimo obtenido mediante el método de Tsai-Hill ha sido de 0,030.

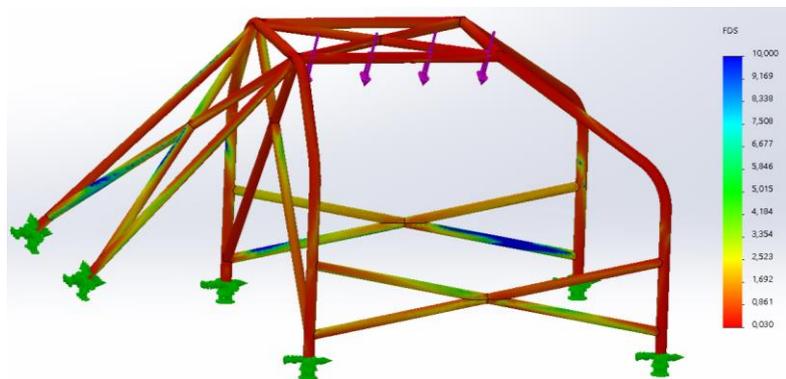


Fig 61.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu, Fig 62.10, se ha obtenido un valor similar al obtenido con anterioridad, siendo este de 0,030. La disposición es similar a la mencionada en el método de Tsai-Hill.

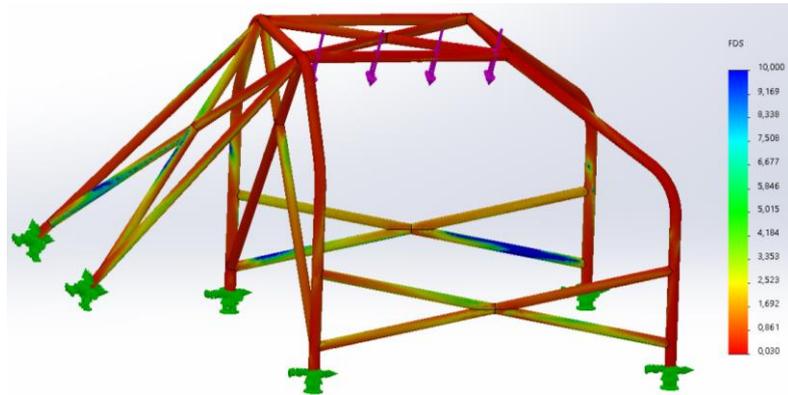


Fig 62.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensión Máxima

Por otro lado, mediante el método de Tensión Máxima, Fig 63.10, se ha obtenido que el valor crítico de factor de seguridad es de 0,030.

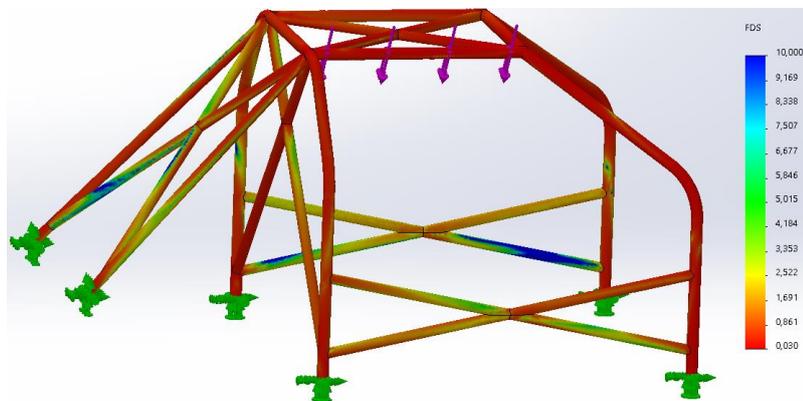


Fig 63.10 Seguridad Tensión Máxima

Tras la realización de este estudio se ha observado que las tensiones y las deformaciones que soporta la estructura son muy superiores a los límites establecidos. Además, el factor de seguridad mínimo no llega a la unidad. Por ello, se ha de realizar un rediseño de la estructura, modificando diámetros y espesores.

10.4.2 Segundo ensayo

Para que la jaula de seguridad cumpliera con las exigencias establecidas, se ha procedido a una modificación de los diámetros, y espesores en los tubos.

En cuanto a los diámetros que se han modificado se encuentra las siguientes modificaciones: se han realizado con un diámetro de 14 cm el arco principal, los arcos laterales, la cruceta central, los tirantes traseros y la barra superior transversal; con diámetro 12 cm se ha realizado la cruceta superior y con diámetro de 6 cm las crucetas laterales y la cruceta trasera.

Por otro lado, se han modificado los siguientes espesores: en el arco principal con la cruceta central se ha establecido un espesor de 32 capas con una disposición de $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ]$; en los arcos laterales y la barra transversal superior se han establecido 24 capas con la disposición siguiente $[0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -45^\circ, 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ,$

-45°, 0°, 45°, 90°, -45°]s y por último, el resto de barras cuentan con 8 capas con una disposición [0°, 45°, 90°, -45°]s. Todas cuentan con un espeso de capa de 0,3mm.

Con estas especificaciones el peso de la jaula es de 70,60kg.

Ensayo Vertical

a) Tensiones

Se observa, en la Fig 64.10, que las tensiones máximas se encuentran tanto en la barra donde se aplica la fuerza como en los puntos de unión al chasis. Estas tensiones son de 38,75MPa. La imagen se observa con un aumento de 50, en las deformaciones para poder apreciarlas con facilidad.

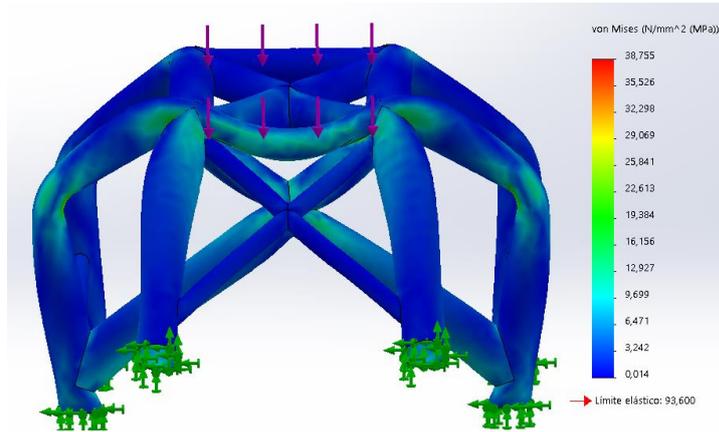


Fig 64.10 Tensiones Fuerza Vertical

b) Desplazamientos

Se puede observar, en la Fig 65.10, que los desplazamientos máximos producidos son de 4,48mm en la barra de aplicación de la fuerza. Se aplica un aumento de 50 en las deformaciones, para apreciar el desplazamiento.

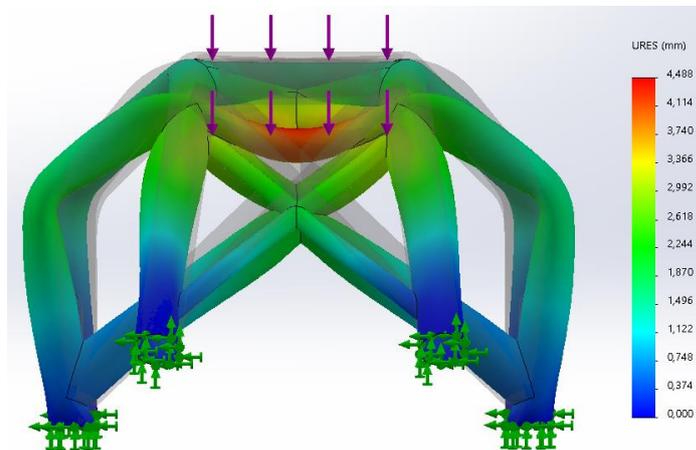


Fig 65.10 Desplazamientos fuerza vertical

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

Se puede ver, que el factor de seguridad, es mínimo en la cruceta central y en el arco principal, como se observa en la Fig 66.10. El valor mínimo que se obtiene es de 1,074.

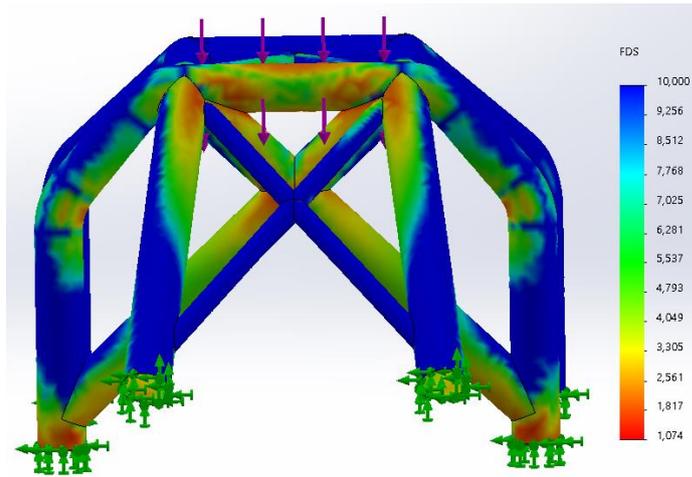


Fig 66.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se observa, en la Fig 67.10, que el lugar de aparición de los factores de seguridad críticos son los mismos que anteriormente pero esta vez con un factor de seguridad de 1,067.

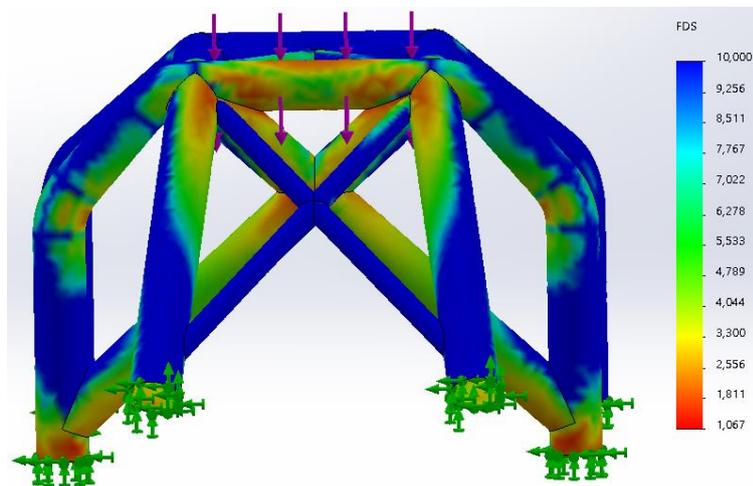


Fig 67.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensiones máximas

Mediante este método se observa un factor de seguridad de 1,094.

Siendo la disposición del factor de seguridad similar al de los métodos anteriores, como se puede comprobar en la Fig 68.10.

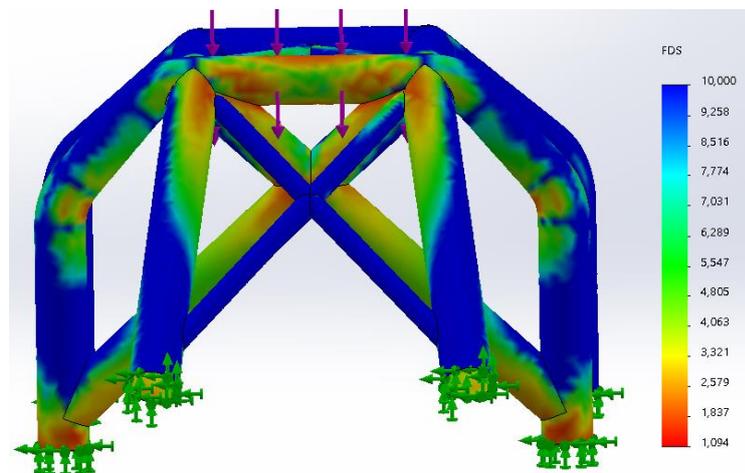


Fig 68.10 Seguridad Tensión Máxima

Ensayo Lateral

a) Tensiones

Se observa, en la Fig 69.10, como las tensiones máximas 46,733MPa son inferiores al límite elástico de 93,6MPa. Se ha utilizado una escala de aumento de 28,1, en las deformaciones, para poder apreciar con claridad las tensiones.

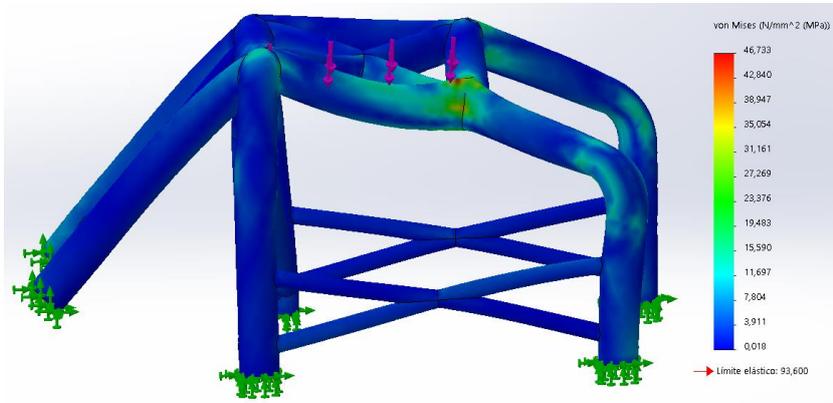


Fig 69.10 Tensiones Fuerza Lateral

b) Desplazamientos

Se observa un desplazamiento de 8,59mm en el punto de aplicación de la fuerza, como se observa en la Fig 70.10. Se utiliza una escala de 28,1, en las deformaciones para poder apreciar los desplazamientos con facilidad.

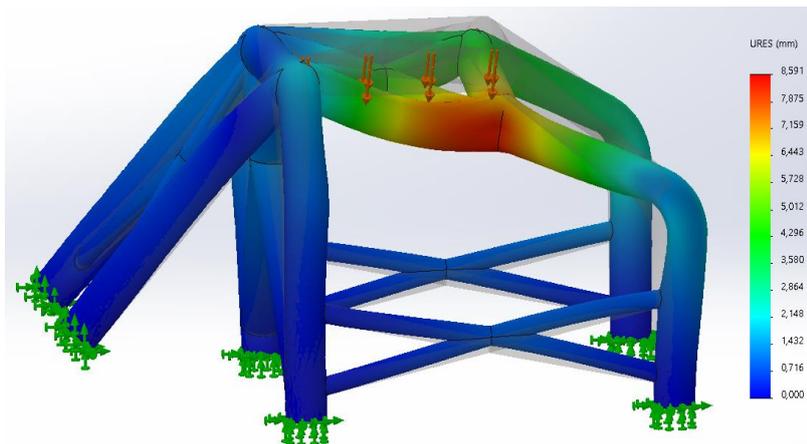


Fig 70.10 Desplazamientos Fuerza Lateral

c) Factor de Seguridad

1) Método de Tsai-Hill

En cuanto al factor de seguridad se observa, en la Fig 71.10, que, en la barra donde se aplica la fuerza junto a la cruceta central es donde aparece el peor factor de seguridad de 1,149.

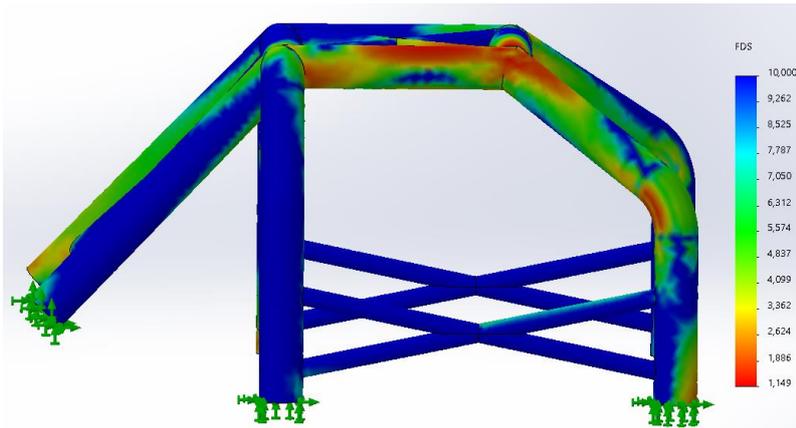


Fig 71.10 Seguridad Tsai-Hill

2) Método de Tsai-Wu

Mediante el método de Tsai-Wu se ha obtenido un valor de 1,158. La disposición es similar a la mencionada en el método de Tsai-Hill, la cual se puede comprobar en la Fig 72.10.

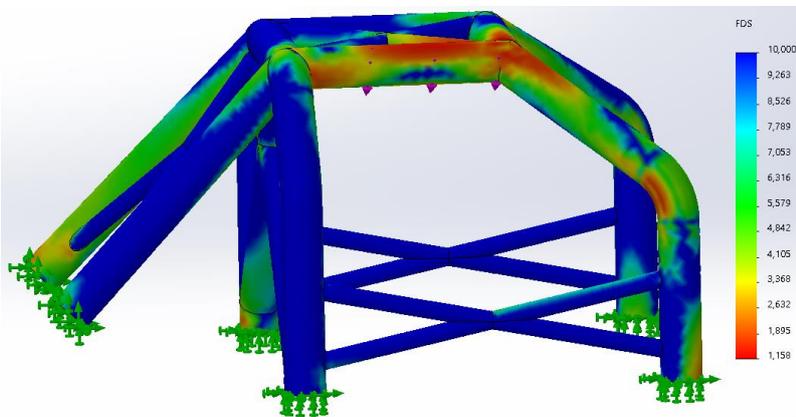


Fig 72.10 Seguridad Tsai-Wu

3) Método de Tensión Máxima

Por otro lado, mediante el método de Tensión Máxima hemos obtenido que el valor crítico de factor de seguridad es de 1,123, valor que se puede observar en la Fig 73.10.

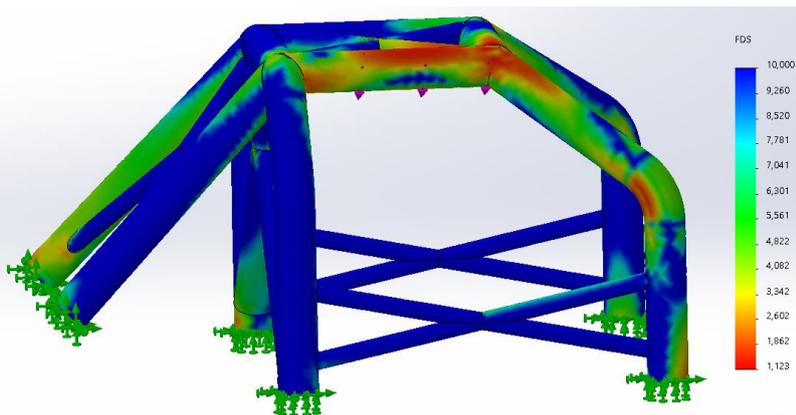


Fig 73.10 Seguridad Tensión Máxima

Tras este ensayo, se ha observado que tras la modificación la estructura cumple con todas las exigencias demandadas. Se observa que las tensiones en ambos ensayos están cercanas a la mitad del límite elástico. La estructura sufre poca deformación en ambos ensayos. Por último,

el factor más restrictivo a la hora del diseño, ha sido el factor de seguridad. Dicho factor cuenta con un valor mínimo de 1,067 mediante el método de Tsai-Wu en el ensayo con carga vertical; y un valor mínimo de 1,123 mediante el método de Tensión máxima. De esta manera, se tendrá en consideración el valor de 1,067 obtenido en el ensayo con carga vertical ante futuras modificaciones.

10.5 Resumen estudio

Tras realizar los diferentes ensayos, se han obtenido diferentes resultados, dependiendo del material empleado. Estos resultados, se pueden observar a continuación, en la *Tabla 2.10*.

Material	Peso (kg)	Desplazamiento (mm)		Factor seguridad	
		F. Vertical	F. Lateral	F.Vertical	F. Lateral
Acero	64,79	3,15	4,84	1,141	1,621
Fibra de Carbono	42,83	1,34	2,21	1,093	1,045
Fibra de Yute	52,91	6,25	5,53	1,113	1,261
Fibra de Bambú	70,61	4,48	8,59	1,067	1,123

Tabla 2.10 Resumen resultados

En la tabla, se observa como se ha conseguido reducir el peso con la utilización tanto de la Fibra de Carbono como con la Fibra de Yute. Además, se han reducido los desplazamientos con la utilización de la Fibra de Carbono. Para poder realizar una selección del material, se debe realizar un estudio económico.

11- Presupuesto

Una vez se han realizado los ensayos y se ha comprobado que cada estructura cumple con la normativa establecida, se ha dispuesto a calcular una estimación del precio de cada una, sin contar las horas de diseño, ya que se han realizado 4 posibles casos similares, y entre ellas no existiría gran diferencia en el diseño. Pero si, a la hora de las técnicas de fabricación.

11.1- Técnicas de fabricación

A pesar de las similitudes en el diseño, existen gran diferencia entre las técnicas de fabricación entre el acero y las fibras. Estas diferencias harán que el precio de las estructuras aumento su coste.

11.1.1- Técnica de fabricación estructura de acero

Para la fabricación de la estructura de acero, en un primer lugar se adquirirán los tubos con las dimensiones previamente especificadas. Una vez adquiridos se procederá al montaje de la estructura. Este montaje, se basa en el corte de los tubos y la soldadura de cordón entre estos. En este montaje, realizándolo un profesional, se estima que el tiempo empleado son entre 5 horas y 7 horas. Para calcular el precio se cogerá un valor medio de 6 horas.

Detalladamente este proceso empieza con la adquisición de las tuberías con el espesor y diámetro especificado. Una vez adquiridos, se dispone a realizar el marcaje de los tubos según

la dimensión que se ha calculado previamente. Tras este marcaje, y como se observa en la *Fig 1.11*, se realiza el corte de los tubos. Para el corte existen diferentes métodos. Corte mediante la aplicación de un chorro de agua a alta presión, corte mediante plasma el cual funde el metal hasta cortarlo, o por la aplicación de láser; el cual, mediante la gran temperatura que se crea, consigue cortar el acero con gran exactitud. Pero, para la construcción de la estructura, se va a realizar con un método tradicional, como es el uso de la radial o sierra eléctrica. Al ser elementos de pequeño tamaño y de cortes puntuales, el uso de este método agilizará el proceso, y nos dará una precisión en caso de necesitar un pequeño retoque. Los cortes, se realizarán de manera transversal a este, añadiendo cortes diagonales en aquellos tubos que lo precisen. Este corte se realizará mediante una radial, ya sea fija o móvil.



Fig 1.11 Sierra corte tubería acero

Una vez se tienen cortados, se procede a realizar el proceso de unión de los elementos de la estructura. Este proceso, se denomina soldadura, donde se aplica una alta temperatura en la zona de unión entre las partes, provocando la fundición de estas y propiciando su unión. Existen diferentes métodos de soldadura como las soldaduras heterogéneas donde se aporta un material diferente al que se tiene; soldaduras homogéneas donde se puede aplicar el mismo material que se va a unir, pero habitualmente no se aplica material, la cual se va a seleccionar en este proyecto. Dentro de las soldaduras homogéneas, se encuentran diferentes tipos; uno de ellos, se trata de la soldadura oxiacetilénica, la cual, utiliza la combustión del acetileno con el oxígeno para aportar la temperatura necesaria para la fusión, esta es muy habitual, siempre y cuando no haya un punto de electricidad para realizar el tipo de soldadura que se va a elegir en el proyecto. El tipo de soldadura seleccionada es, la Soldadura por Arco eléctrico. Esta soldadura crea una corriente eléctrica entre dos electrodos, los cuales, producen un incremento de la temperatura en la zona deseada, consiguiendo el proceso de fusión del material. Este tipo, evita el peligro que produce la combustión de un gas, pudiendo llegar a explotar si se tiene una mala combustión de este. Por ello, como se puede apreciar en la *Fig 2.11*, se tiene el proceso de soldadura mediante Arco Eléctrico.



Fig 2.11 Soldadura arco elèctrico

Por normativa, esta soldadura debe de formar un cord3n uniforme en el cual no deben de sobresalir ning3n punto y no debe de quedar ning3n hueco, por peque1o que sea.

Para poder realizar la soldadura sin que esta afecte a la disposici3n de las tuberías; estas, previamente, habr3n sido situadas con la inclinaci3n que se precise mediante un ángulo nivel como el de la Fig 3.11.



Fig 3.11 Ángulo-nivel

Una vez fijado el ángulo, se utiliza una mordaza para tubos, como se observa en la Fig 4.11, para fijar estos, y así realizar un proceso de soldadura minimizando los errores y desplazamientos.

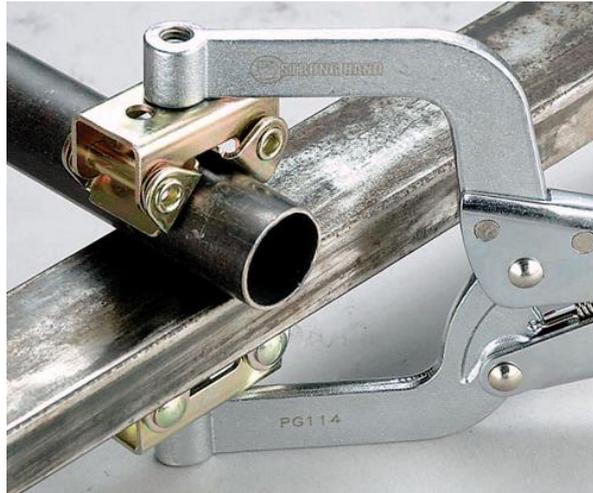


Fig 4.11 Mordaza para tubos

11.1.2- Técnica de fabricación estructura de fibra

En cuanto a la fabricación de la estructura de fibras, es más laboriosa que la fabricación de la estructura de acero. En un primer lugar se debe realizar un molde, donde se aplicarán tanto la fibra como la resina. Una vez realizado el molde, se le aplica la resina donde se irán aplicando las fibras una a una en la disposición previamente dicha. Este proceso, es más laborioso y lento que en la técnica de fabricación de la estructura en acero; por ello, el tiempo empleado, para su fabricación oscila entre las 12 y 14 horas. Para el cálculo, se cogerá el valor intermedio de 13h.

De manera detallada, para realizar esta estructura de fibra se ha realizado el siguiente proceso. En un primer momento se ha realizado un molde de la estructura. Este molde, debe de pesar lo menos posible, puesto que, por la complejidad de la estructura, se quedará dentro. Además, se debe realizar de un material, el cual, no absorba la Resina que se va a utilizar para la unión de las capas de fibra. Por ello, se ha seleccionado el PVC como el material. Una vez seleccionado, se ha procedido a la adquisición de las tuberías con el menos espesor posible y del diámetro necesario para nuestro diseño. Para poder ajustar, los tamaños de los tubos, se utilizará un cortatubo como se puede observar en la Fig 5.11.

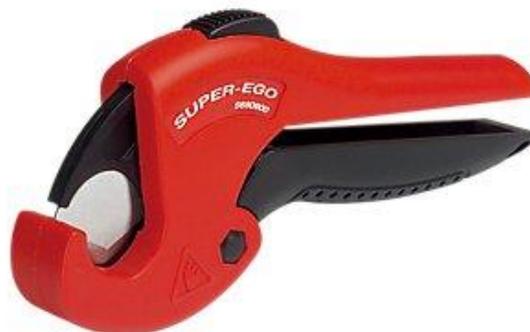


Fig 5.11 Cortatubos

Tras realizar los cortes se procederá al conformado de la estructura. Para ello, se utilizará el ángulo nivel de la Fig 3.11 para que los ángulos sean los correctos y se sujetarán mediante

abrazaderas. Una vez se fijan, se aplicará la resina epoxi mediante una brocha sobre toda la superficie, como se aprecia en la *Fig 6.11*.



Fig 6.11 Aplicación Resina Epoxi

Tras aplicar la resina sobre el molde se procede, a la aplicación de la fibra sobre la estructura, siguiendo el patrón establecido para cada barra. El proceso, se puede observar en la *Fig 7.11*.



Fig 7.11 Aplicación Fibra

Estos procesos, se deben de realizar hasta que se consiga la cantidad de capas y el espesor deseado de cada barra.

Cabe mencionar, que se debe de tener especial precaución en las zonas de unión entre barras, las cuales son los puntos críticos en el proceso de conformado.

11.2- Cálculo precio estructura

Se ha realizado el cálculo del precio de cada estructura. Para ello, se ha utilizado los datos obtenidos sobre el peso y dimensiones extraídos del Solidworks. Para el precio, se ha utilizado los valores que se ofrece en la base de datos del CES EduPack 2019.

11.2.1- Cálculo precio estructura acero

Para esta estructura, se ha utilizado el peso de la estructura con dicho material de 64,8Kg. Para saber el precio, se ha utilizado una media del precio de tuberías de nuestra dimensión con un precio estimado de 8€/kg. Que realizando la siguiente operación nos ha dado el precio de:

$$\text{Precio material} = \text{Kg} * \text{precio/Kg} = 64,8\text{Kg} * 8\text{€/Kg} = 518,40 \text{ €}$$

A este precio se le añadirá el precio de la mano de obra destinada a la fabricación de la estructura. En el caso del acero, como se ha mencionado anteriormente, la estimación en horas es de 6 horas, donde se incluyen los tiempos de adecuación del material para su instalación. El precio por hora, del especialista instalador, es de 35€/hora. En este precio, se incluye el precio de los fungibles utilizados en la soldadura. De aquí se obtiene el precio de mano de obra:

$$\text{Precio de mano de obra} = 6 \text{ horas} * 35\text{€/hora} = 210 \text{ €}$$

De aquí se saca que, el precio total de la estructura, se obtendría sumando el precio del material con el precio de la mano de obra, haciendo un total de:

$$\text{Precio total} = \text{precio material} + \text{precio mano de obra} = 518,40\text{€} + 210\text{€} = 728,40\text{€}$$

11.2.2- Cálculo precio estructuras de fibra

Para las estructuras en fibra se ha utilizado, por una parte, el peso de la estructura de cada uno de los casos. A posterior, este peso se ha dividido en porcentajes: un 70% para la fibra y un 30% para la resina Epoxi. De esta manera los cálculos quedan de la siguiente manera, Tabla 1.11:

	Peso estructura (Kg)	Peso Fibra (Kg)	Peso Resina (Kg)
Bambu	70,60	49,42	21,18
Yute	52,90	37,03	15,87
Carbono	42,83	29,98	12,85

Tabla 1.11 Tabla Pesos

Una vez realizada la separación por pesos se procede al cálculo del precio de cada fibra, *Tabla 2.11*:

	Peso Fibra (kg)	Precio Fibra (kg/€)	Precio Total (€)
Bambu	49,42	1,44 €	70,92 €
Yute	37,03	0,30 €	11,11 €
Carbono	29,98	25,00 €	749,53 €

Tabla 2.11 Precio Fibras

A continuación, se realiza el cálculo del coste, *Tabla 3.11*, de la Resina Epoxi en cada una de las estructuras de fibras. El precio obtenido de la Resina Epoxi ha sido extraído del suministrador *Resinpro*, con su Resina Epoxi transparente.

	Peso Resina (kg)	Precio Resina (kg/€)	Precio Total (€)
Bambu	21,18	30,00 €	635,40 €
Yute	15,87	30,00 €	476,10 €
Carbono	12,85	30,00 €	385,47 €

Tabla 3.11 Precio resina

Una vez calculado el precio de la fibra y el precio de la resina se procede a hacer un cálculo general del coste del material para la estructura, como se puede observar en la *Tabla 4.11*.

	Precio Resina (€)	Precio fibra (€)	Precio Final Material (€)
Bambu	70,92 €	635,40 €	706,32 €
Yute	11,11 €	476,10 €	487,21 €
Carbono	749,53 €	385,47 €	1.135,00 €

Tabla 4.11 Precios materiales final

Al cálculo realizado anteriormente se debe realizar el cálculo del coste de la mano de obra. Para la construcción de la estructura en fibra se va a destinar una estimación de 13 horas, como se ha mencionado anteriormente. El precio por hora del especialista sería el de 35€/hora.

$$\text{Precio de mano de obra} = 13 \text{ horas} * 35\text{€/hora} = 455 \text{ €}$$

A continuación, al precio calculado del material en la *Tabla 4.11*, se le va a añadir el precio de la mano de obra que se acaba de calcular. Tras este cálculo, el precio final de cada estructura de fibras queda de la siguiente manera, *Tabla 5.11*:

	Precio Material (€)	Precio Mano Obra (€)	Precio Estructura (€)
Bambu	706,32 €	455,00 €	1.161,32 €
Yute	487,21 €	455,00 €	942,21 €
Carbono	1.135,00 €	455,00 €	1.590,00 €

Tabla 5.11 Precio final estructura

El precio de la estructura, contiene el precio del molde, así como los elementos que han sido necesarios, para la sujeción de las tuberías del molde.

11.3- Cálculo ahorro combustible

Una vez realizado el cálculo del coste de cada estructura se realizará un cálculo del ahorro del combustible, *Tabla 6.11*. Este ahorro es de un 12% por cada kilogramo en tramo cronometrado y un 5% por cada kilogramo en tramo de enlace. Para ello se estipulará un consumo medio de combustible de 25litros/100km en tramo cronometrado y 13litros/100km en tramo de enlace. Para completar este cálculo se ha estipulado una gasolina de 102 octános utilizada en competición FIA de la marca Panta; con un precio de 4,67€/litro.

Estructura	Consumo Cronometrado/100km		Consumo Enlace/100km		Precio km Crono/100km		Precio km Enlace/100km	
	Consumo Inicial	Consumo Final	Consumo Inicial	Consumo Final	Precio Inicial	Precio Fin	Precio Inicial	Precio Fin
Bambu	25	23,27	13	12,15	1,17 €	1,09 €	0,61 €	0,57 €
Yute	25	21,15	13	11,11	1,17 €	0,99 €	0,61 €	0,52 €
Carbono	25	19,94	13	10,51	1,17 €	0,93 €	0,61 €	0,49 €
Acero	25	22,58	13	11,81	1,17 €	1,05 €	0,61 €	0,55 €

Tabla 6.11 Cálculo ahorro combustible

11.4- Cálculo ahorro tiempo

Tras calcular el ahorro de combustible tanto en cantidad de combustible como en precio, se ha realizado una estimación del ahorro de tiempo. Se ha utilizado una media previa del tiempo por kilómetro que emplea un vehículo de características similares al Suzuki Swift GTi, con la jaula de acero, y el tiempo es de 50,1s/km. Y se estima que el ahorro por kilogramo en un rally es de un

5%. Por ello, como se puede observar en la *Tabla 7.11*, el ahorro de tiempo quedaría de la siguiente manera.

Estructura	Tiempo por km (s)		
	Tiempo Inicial	Tiempo Final	Diferencia
Bambu	50,10	50,39	0,29
Yute	50,10	49,51	-0,59
Carbono	50,10	49,00	-1,10

Tabla 7.11 Cálculo ahorro de tiempo

11.5-Cálculo Rally Ciutat de Gandia

Tras calcular el ahorro tanto de combustible como de tiempo por kilómetro se procede a comparar cada caso con una estructura convencional la cual está realizada de acero, en nuestro caso el acero 20MoCr4. El estudio se realizará con los datos del XIV Rally Ciutat de Gandia 2020, donde se recorrieron 86 km de tramo cronometrado y 126,6 km de enlace.

En un primer momento se ha calculado el ahorro en combustible que hubiese supuesto la utilización de las estructuras estudiadas. *Tabla 8.11*.

Estructura	Consumo Gasolina (L)	Gasto Gasolina(€)	Diferencia Convencional (€)
Acero	34,36	90,61 €	- €
Bambu	35,40	93,40 €	2,79 €
Yute	32,25	84,87 €	- 5,73 €
Carbono	30,46	80,02 €	- 10,58 €

Tabla 8.11 Ahorro combustible rally

Para complementar este cálculo se ha realizado la estimación del ahorro en tiempo que hubiese supuesto un cambio en la estructura, *Tabla 9.11*.

Estructura	Tiempo Impartido(s)	Diferencia Tiempo(s)	Diferencia tiempo (min)
Acero	4221,74	0,00	0,00
Bambu	4246,68	24,94	0,42
Yute	4170,57	-51,17	-0,85
Carbono	4127,27	-94,47	-1,57

Tabla 9.11 Ahorro tiempo rally

11.6- Cálculo rentabilidad

Para calcular cuántos kilómetros, *Tabla 10.11*, serían necesarios recorrer para amortizar el sobrecoste que tendría realizar la estructura en fibras frente a hacerlas en acero, se tendrá en consideración tanto el precio total de las estructuras como el ahorro económico en

combustible por kilómetro cronometrado. Para tener un patrón se ha fijado el acero 20CrMo4 como material de base, el cual contaba con un coste de estructura de 728,40€ el cual, tiene un coste en gasolina por kilómetro de 1,05€.

Estructura	Precio estructura	Ahorro km crono	Total km
Acero	728,40 €	- €	0
Bambu	1.161,32 €	-0,03 €	0
Yute	942,21 €	0,07 €	3208,42
Carbono	1.590,00 €	0,12 €	7003,02

Tabla 10.11 Kilómetros necesarios

Tras realizar este cálculo se observa que la estructura en Fibra de Bambú no sería económicamente rentable. Además, para una precisión más amplia, tras el cálculo de los kilómetros necesarios se va a estimar cuantos rallyes serían necesarios, *Tabla 11.11*, para amortizar las estructuras en Fibra de Yute y en Fibra de Carbono. Para este cálculo, se han estimado el kilometraje de cada categoría de rally, eligiendo un valor intermedio a los datos.

- Rally regional: entre 85 kilómetros y 105 kilómetros cronometrados, se escoge un valor medio de 95 kilómetros cronometrados.
- Rally nacional: entre 140 y 160 kilómetros cronometrados. Se elige un valor medio de 150 kilómetros cronometrados.
- Rally Mundial: entre 300 kilómetros y 350 kilómetros cronometrados. Se calcula un valor medio de 325 kilómetros cronometrados.

Estructura	km necesarios	Número rallyes		
		Regional	Nacional	Mundial
Yute	3208	34	21	10
Carbono	7003	74	47	22

Tabla 11.11 Rallyes necesarios

12- Conclusión

Una vez se ha realizado el estudio, se extraen las siguientes conclusiones.

Tras elegir como base la estructura realizada en acero 20MoCr4, con un peso de 64,8kg, un costo de la estructura de 728,40€ y coste de combustible en kilómetro cronometrado de 1,05€, el cual se tarda en realizar 50,10s. A continuación, se ha procedido a compararla con los demás materiales.

En un primer lugar, la estructura se ha comparado con la realizada con Fibra de Bambú. El resultado de esta comparación ha sido desfavorable, ya que, para que cumpla con la normativa, se ha sobredimensionado la estructura. Con este sobredimensionamiento, el espacio libre resultante, en el interior del habitáculo, se ha visto reducido. Además, con esta estructura, no reducimos el peso, ya que pesa 70,60kg, lo que hace, que la mejora tanto en el consumo de combustible, este aumenta hasta 1,09€, como en rendimiento por kilómetro cronometrado,

umentando el tiempo impartido en 0,29s, que pudiera aportar una reducción de peso de la estructura, no se produzca. Además, el precio final de la estructura, 1.161,32 es, aproximadamente, 400€ más cara que la de acero, previamente mencionada. Todo esto, hace que esta estructura quede rechazada de nuestro proyecto.

En segundo lugar, se ha procedido a realizar la comparación con la estructura realizada en Fibra de Yute. Estructura que ha acabado con un peso final de 52,90kg; esta reducción hace que el costo por kilómetro cronometrado se reduzca a 0,99€; y a su vez, el tiempo impartido por kilómetro se reduzca 0,59s. Por el contra partida, cabe mencionar que se ha tenido que aumentar el tamaño de la estructura, siendo el tamaño de los diámetros intermedios entre el acero y el bambú, lo que no limita en exceso el espacio en el habitáculo. Otro dato negativo, respecto a la estructura, es el incremento del precio de esta. Esto se debe, de la misma manera que en las otras estructuras de fibra, por la complejidad en el proceso de construcción de la estructura; esta complejidad hace que el precio final suba hasta los 942,21€.

En tercer lugar, se ha realizado la comparación de la estructura de acero con la estructura realizada con Fibra de Carbono. Esta estructura, es la más favorable en cuanto a reducción de peso, llegando este a 42,83kg. Esta reducción de peso, aporta una reducción tanto del tiempo impartido por kilómetro de 1,10s, como una reducción del costo en gasolina por kilómetro cronometrado hasta los 0,93€. En cuanto al dimensionamiento de esta, no se ha sobredimensionado en exceso, facilitando el espacio interior del habitáculo. El dato negativo que encontramos el precio de la estructura, siendo esta de 1.590€, propiciada, por el coste de la fibra de carbono y la complejidad en el proceso de construcción.

Por último, cabe mencionar que las estructuras en Fibra de Yute y Fibra de Carbono cumplen con las exigencias establecidas además de conseguir una reducción de peso de la estructura. Esta reducción, ayuda a realizar una estimación para calcular cuantas carreras se deben realizar para amortizar la estructura. Para un coche parecido al Suzuki Swift GTi, se necesitarían 34 Rallyes del Regional, 21 del Nacional o 10 del Mundial si la estructura fuera hecha en Fibra de Yute; mientras que, si la estructura fuera realiza en Fibra de Carbono, se necesitarían 74 Rallyes del Regional, 47 del Nacional o 22 del Mundial. Por ello, dada las categorías del vehículo, se recomendaría un cambio de uso en la jaula de seguridad siempre y cuando se fuera a realizar un proyecto a largo plazo con este vehículo.

13- Trabajos futuros

Para poder optimizar tanto el peso de la estructura como el espesor y diámetros utilizados, se recomienda un estudio en la mejora de las propiedades de la resina. De esta manera, se mejorarían las propiedades del conjunto y podría llegar a reducirse las dimensiones de la estructura, mejorando el rendimiento de esta.

Por otro lado, sería recomendable, realizar los estudios realizado con la Fibra de Yute aplicando una resina natural, para conseguir una estructura 100% ecológica.

Además, se debería buscar una solución, al problema que aparece con el molde para la realización de la estructura en fibra. Puesto que, este debe quedarse en el interior de la estructura, y si no ocurriera, podría reducir el peso de esta. Conjuntamente, aparece el problema

de que se utilizaría un material no ecológico, por lo que, se recomienda el análisis de materiales naturales para cambiar el utilizado



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

IV- Bibliografía

IV- Bibliografía

14- Bibliografía

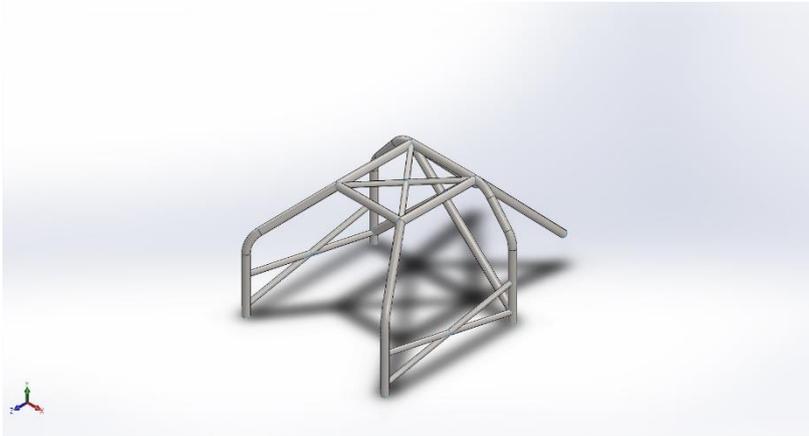
- [1] FIA. Anexo J, artículo 251. Clasificación y definiciones.
- [2] FIA. Anexo J, artículo 253. Equipamientos de seguridad.
- [3] FIA. Anexo J, artículo 255. Reglamento específico para Vehículo de Turismo.
- [4] <https://www.ecured.cu/Rally>
- [5] <https://rallymobil.emol.com/conoce-la-historia-y-curiosidades-de-las-competencias-de-rally/>
- [6] https://es.wikipedia.org/wiki/Rally_en_Espa%C3%B1a
- [7] <https://resinpro.es/product-category/resinas-epoxi-transparentes-multiuso/>
- [8] <https://es.wikipedia.org/wiki/Rally#:~:text=11%20Bibliograf%C3%ADa-,Etimolog%C3%ADa,de%201920%20fue%20poco%20usado.>
- [9] <http://motormania.info/MM/grupo-b-historia-y-listado-de-modelos-homologados/>



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

V- Anexos



1- Simulación estructura acero fuerza vertical

Diseñador: Javier Carmona Giner
Nombre de estudio: Vertical
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Descripción	96
Propiedades de estudio.....	97
Unidades	97
Propiedades de material	98
Cargas y sujeciones.....	100
Definiciones de conector	100
Información de contacto	101
Información de malla	107
Detalles del sensor	107
Fuerzas resultantes.....	108
Vigas	108
Resultados del estudio	109
Conclusión	113

Descripción

No hay datos

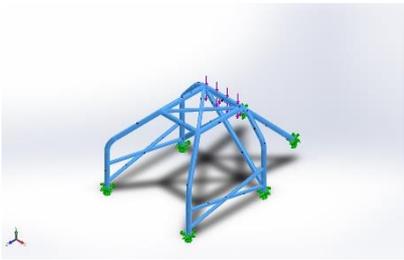
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Vertical
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\20CrMo4)

Unidades

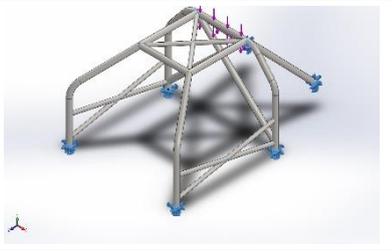
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

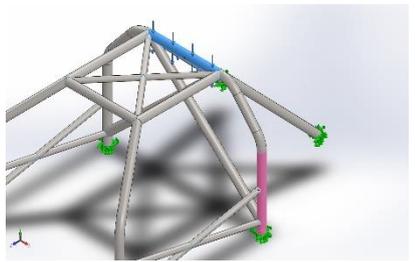
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1.7321 (20MoCr4) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 9e+08 N/m ² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.800 kg/m ³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m ² Coefficiente de dilatación térmica: 1,1e-05 /Kelvin	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[8])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok acero),

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 31(Superficie- Recortar14[5])(pieza 6.2_ok acero)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

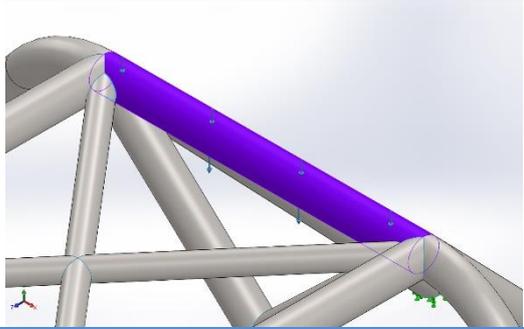
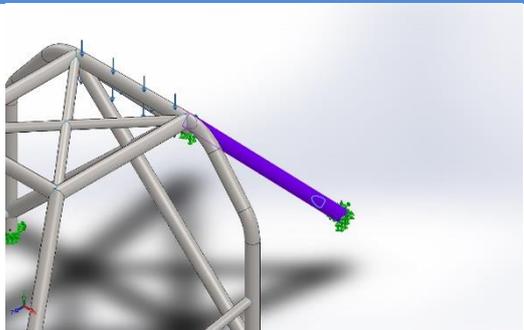
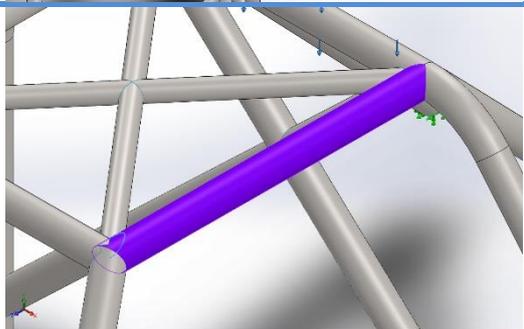
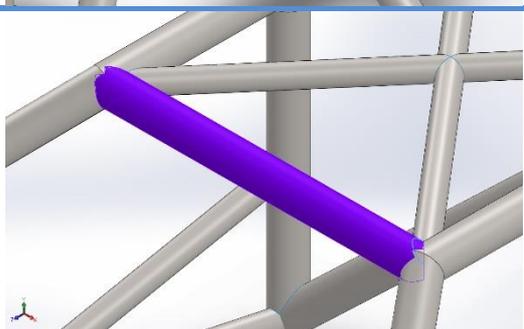
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	1,84922	64.502,8	-1,62504	64.502,8
Momento de reacción(N.m)	-6,18505	-1,78197	-3,36264	7,26207

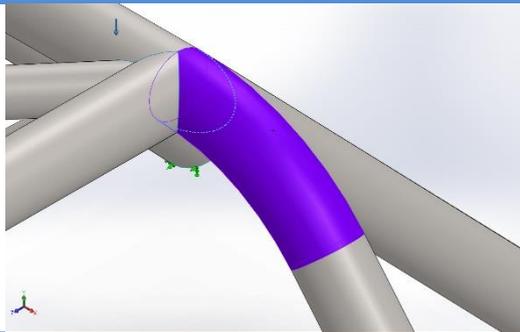
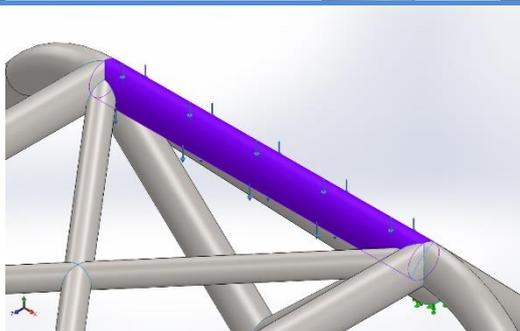
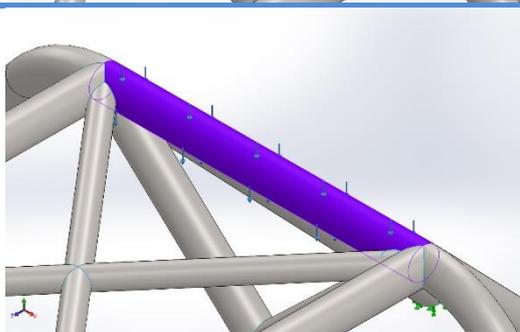
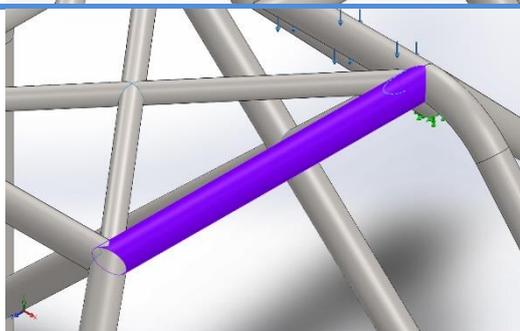
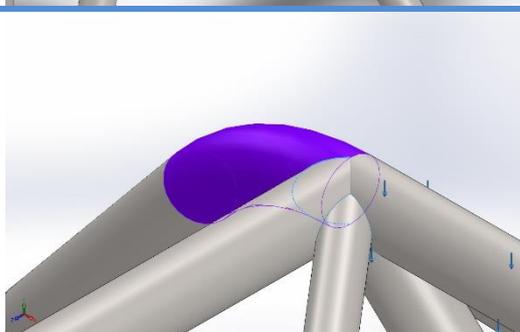
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; 64.500 N Momentos: ---; ---; --- N.m

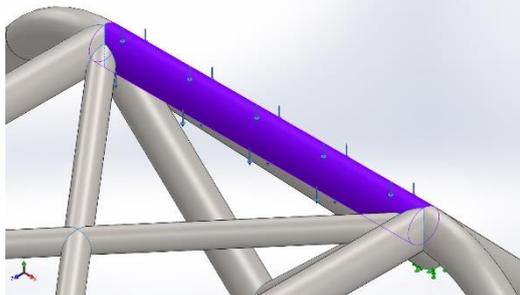
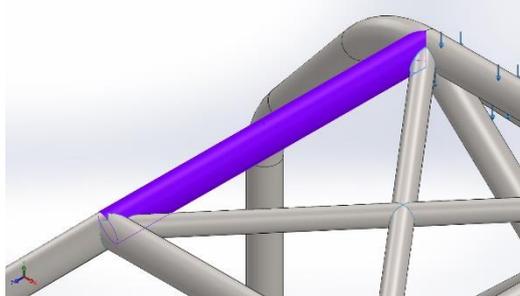
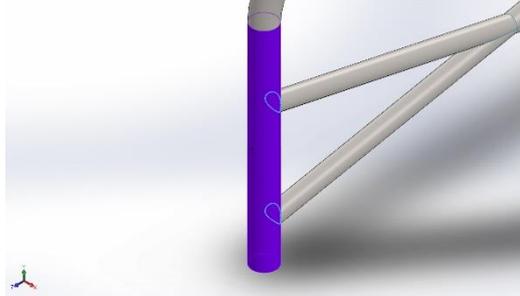
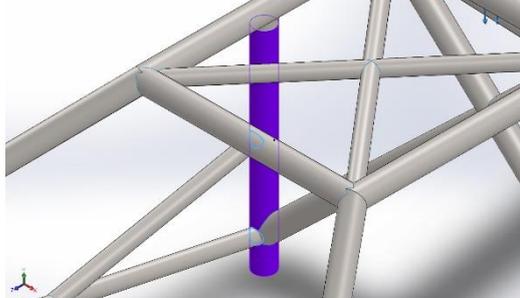
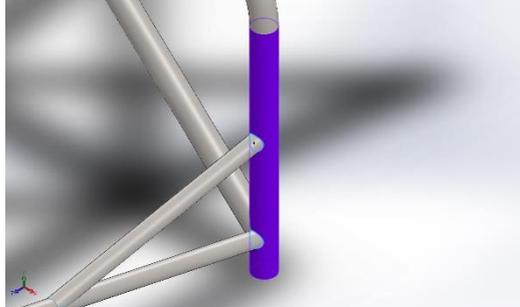
Definiciones de conector

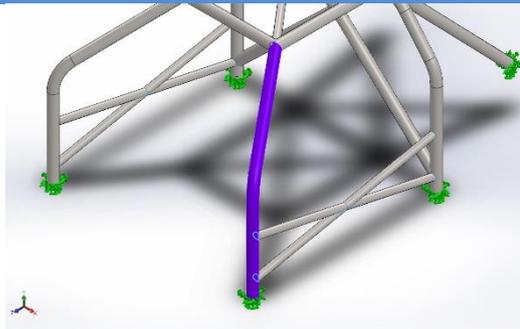
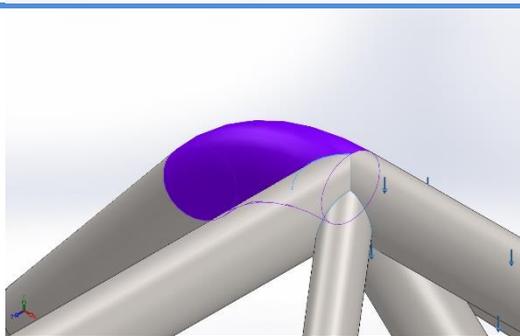
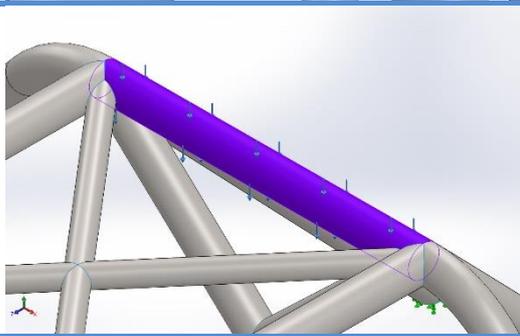
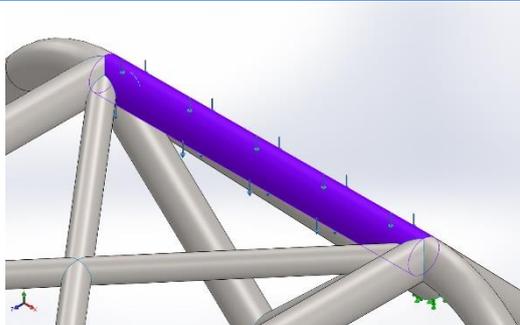
No hay datos

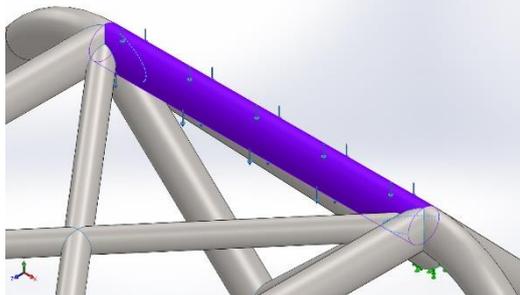
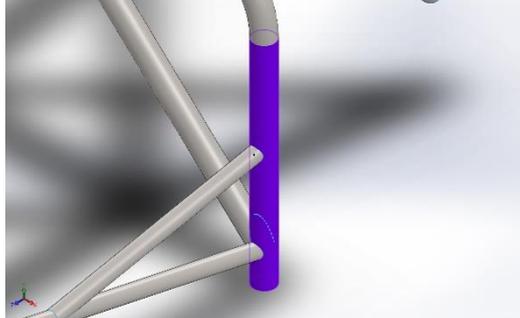
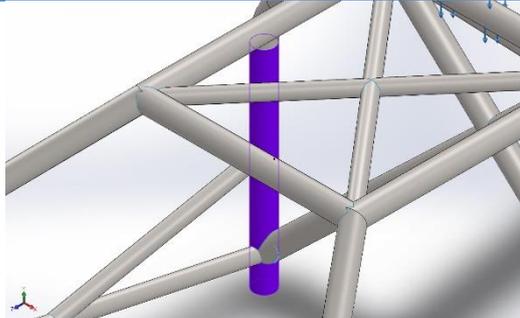
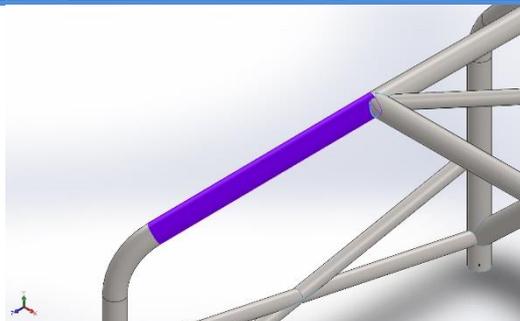
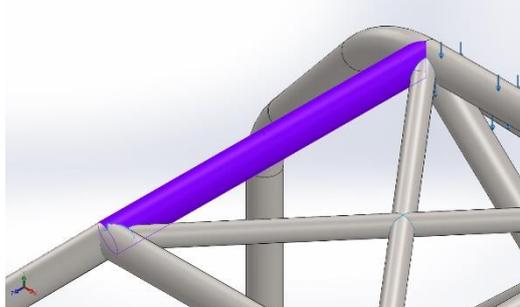
Información de contacto

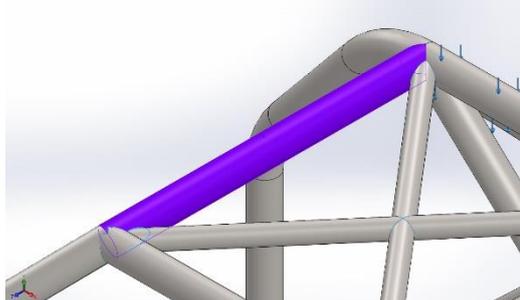
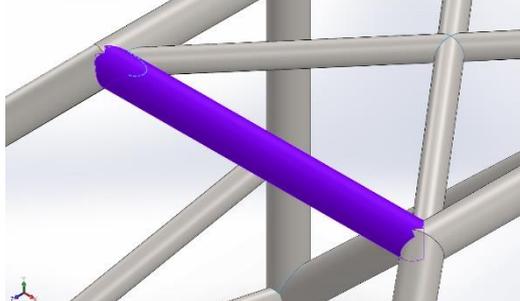
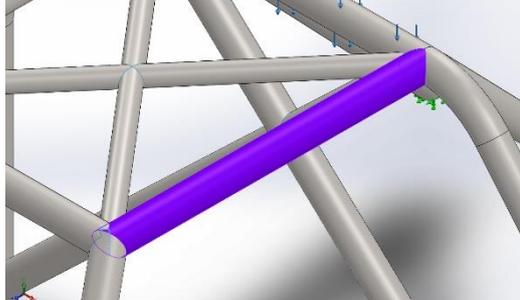
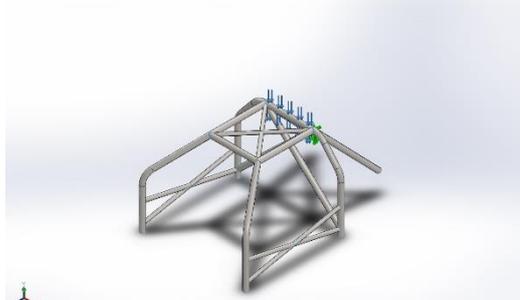
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1022		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1023		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1024		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1095		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1096		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1097</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1098</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1099</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1100</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1101</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	3,43721 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,14572 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	45272
Número total de elementos	22386
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:06
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok acero
Nombre de estudio: Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	1,84922	64.502,8	-1,62504	64.502,8

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-6,18505	-1,78197	-3,36264	7,26207

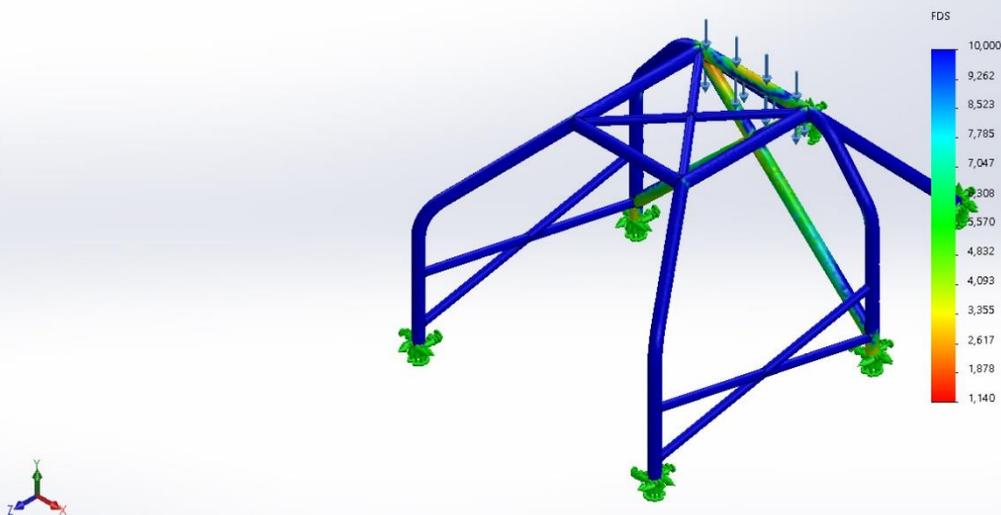
Vigas

No hay datos

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	1,140 Nodo: 31841	2.210,204 Nodo: 34881

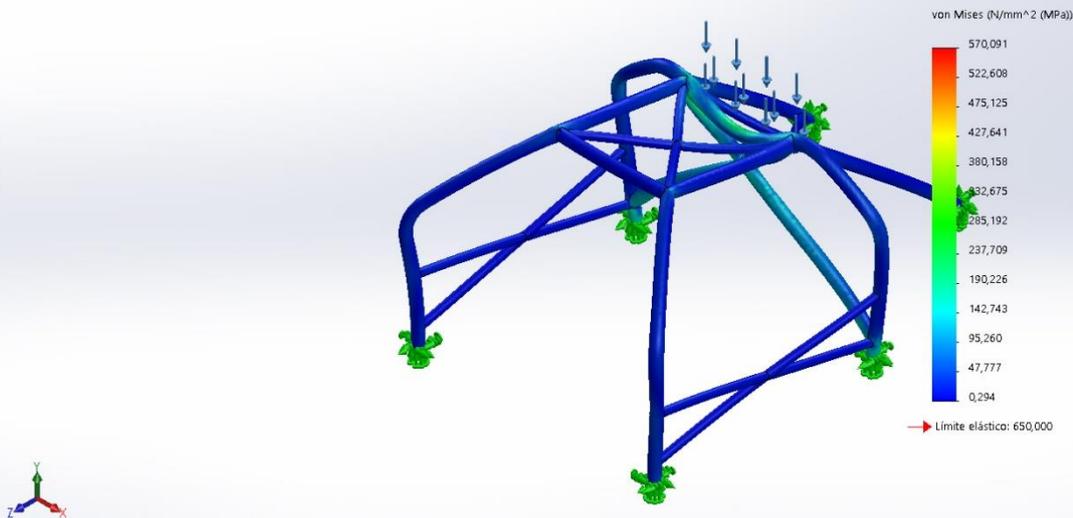
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok acero
Nombre de estudio: Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterio: Automático
Distribución de factor de seguridad: FDS min = 1,1



pieza 6.2_ok acero-Vertical-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,294 N/mm ² (MPa) Nodo: 34881	570,091 N/mm ² (MPa) Nodo: 31841

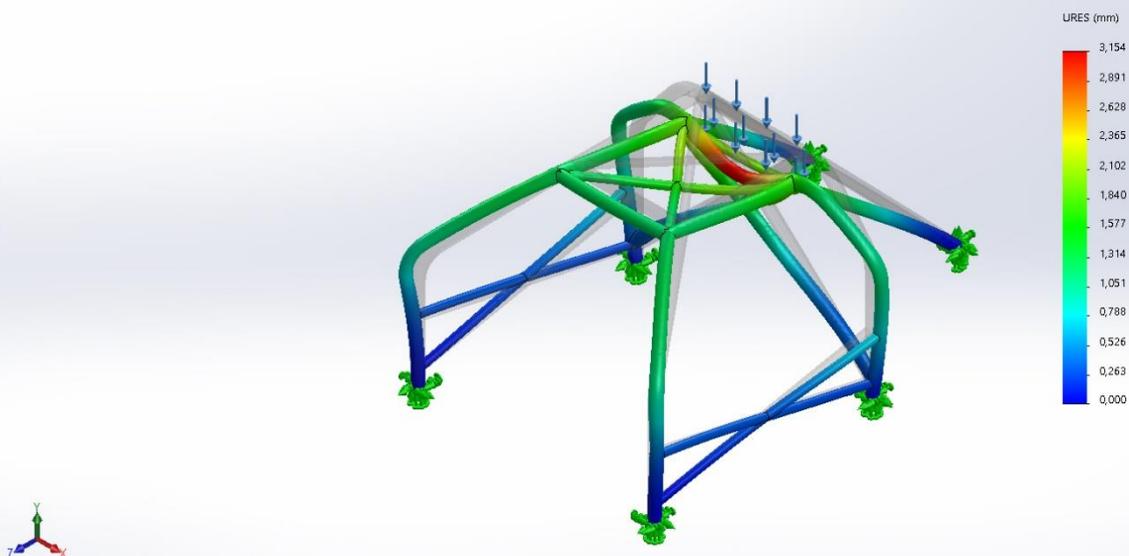
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok acero
Nombre de estudio:Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal (Superior) Tensiones1
Escala de deformación: 71,5927



pieza 6.2_ok acero-Vertical-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 2708	3,154 mm Nodo: 6090

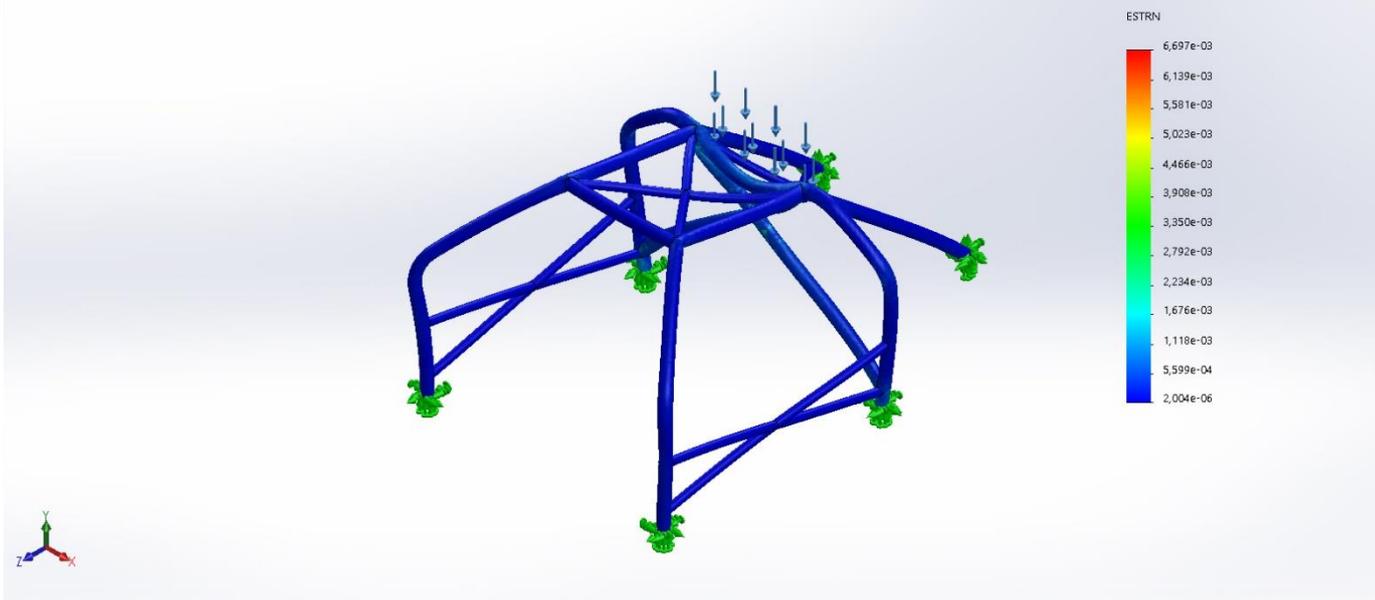
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok acero
Nombre de estudio:Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 71,5927



pieza 6.2_ok acero-Vertical-Desplazamientos-Desplazamientos1

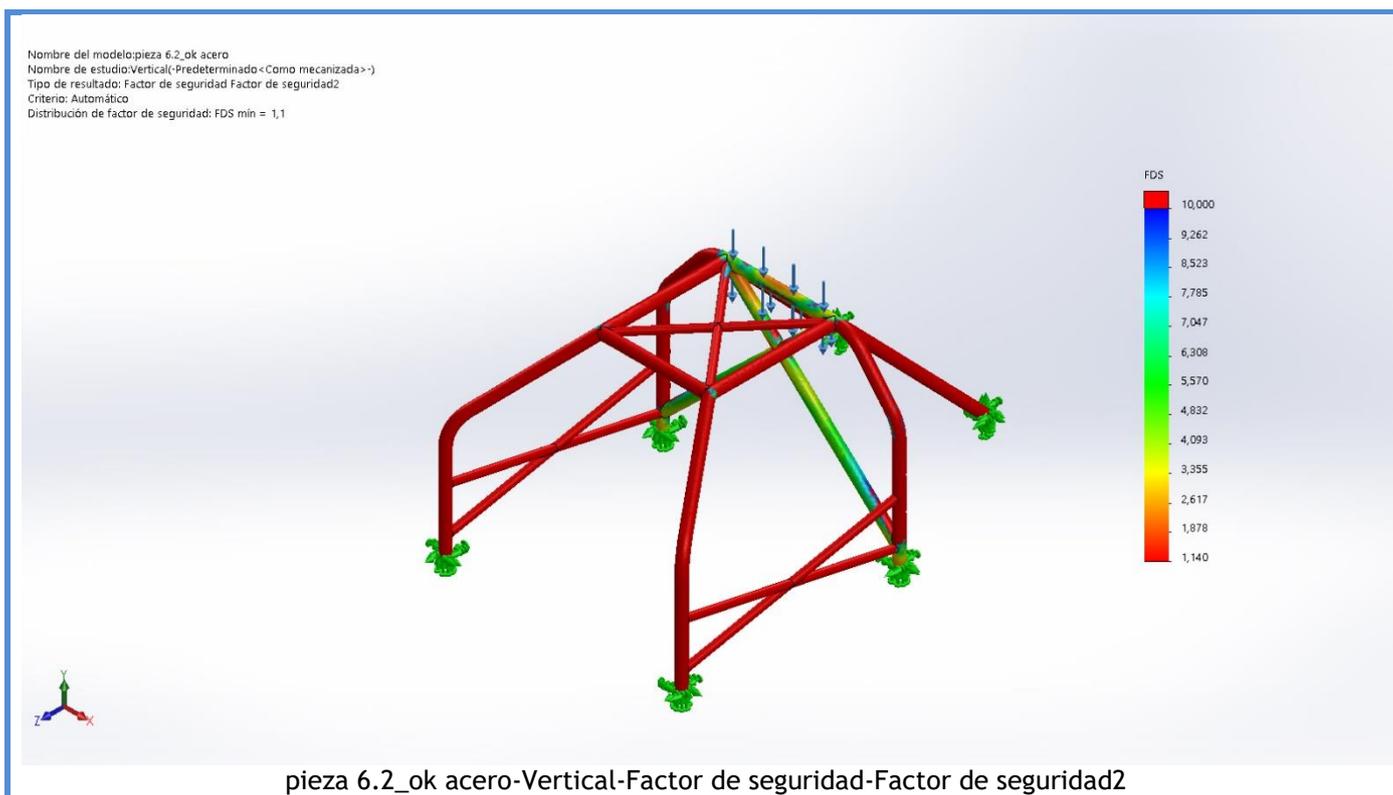
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,004e-06 Elemento: 17348	6,697e-03 Elemento: 16027

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok acero
Nombre de estudio: Vertical-(Predeterminado <Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 71,5927

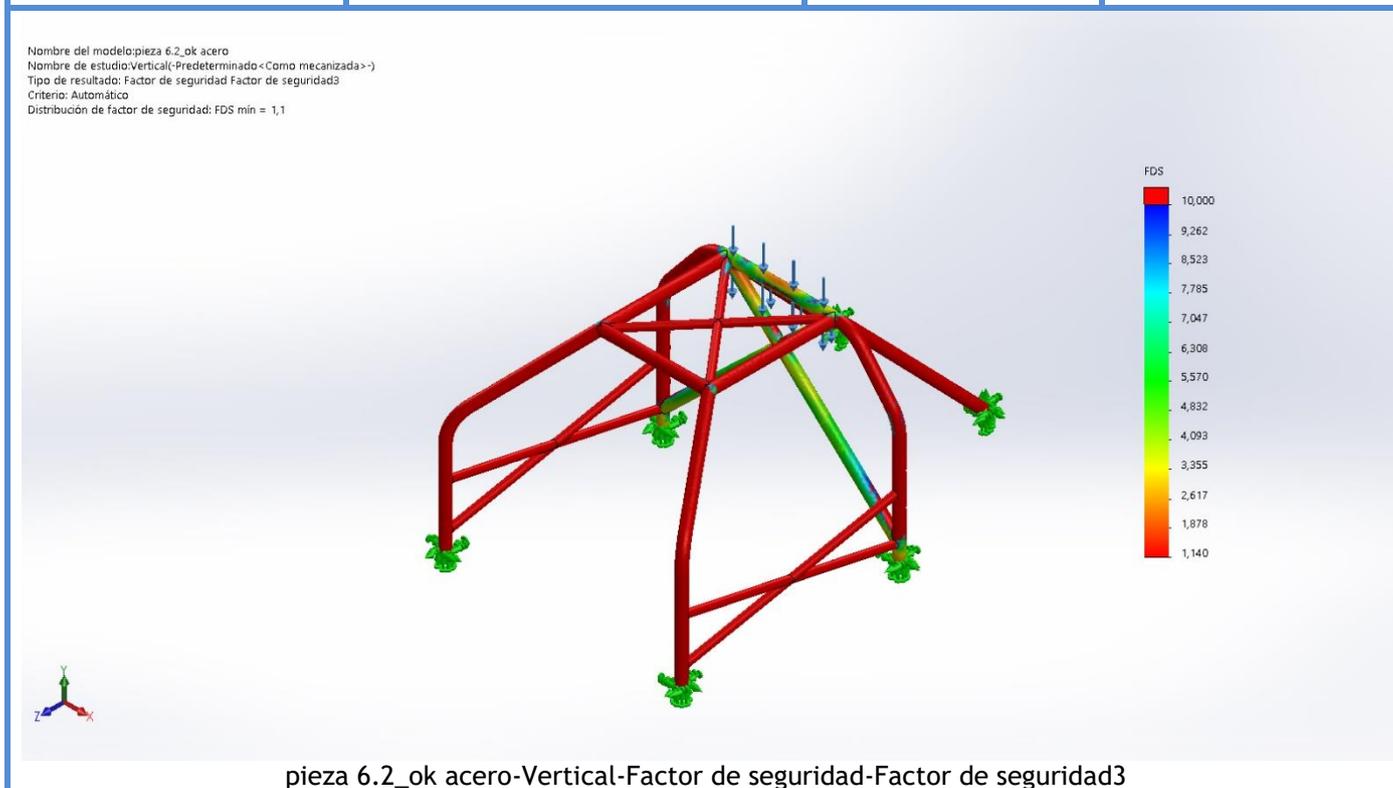


pieza 6.2_ok acero-Vertical-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,140 Nodo: 31841	2.210,204 Nodo: 34881



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,140 Nodo: 31841	2.210,204 Nodo: 34881



Conclusión

Simulación estructura acero fuerza lateral

Diseñador: Javier Carmona Giner
Nombre de estudio: Fuerza lateral
Tipo de análisis: Análisis estático

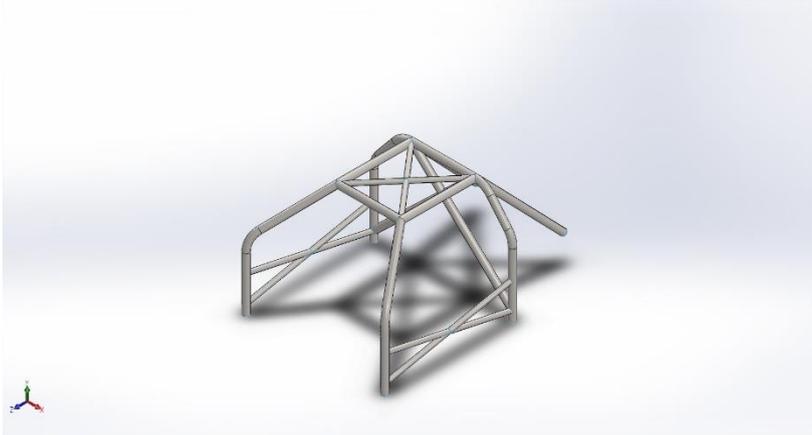


Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	115
Unidades	115
Propiedades de material	116
Cargas y sujeciones.....	118
Definiciones de conector	118
Información de contacto	119
Información de malla	125
Detalles del sensor	125
Fuerzas resultantes.....	125
Vigas	125
Resultados del estudio.....	125
Conclusión	125

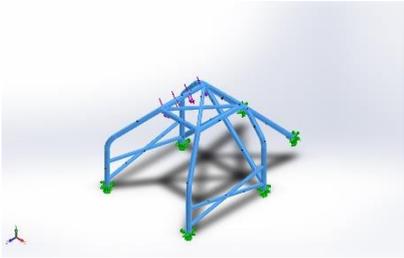
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Fuerza puntual
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\20CrMo4)

Unidades

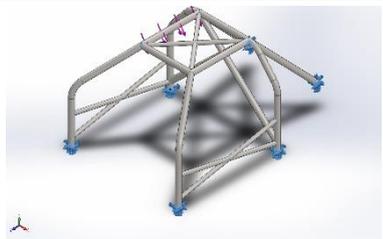
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: 1.7321 (20MoCr4) Tipo de modelo: Isotrópico elástico lineal Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx. Límite elástico: 6,5e+08 N/m ² Límite de tracción: 9e+08 N/m ² Módulo elástico: 2,1e+11 N/m ² Coefficiente de Poisson: 0,28 Densidad: 7.800 kg/m ³ Módulo cortante: 7,9e+10 N/m ² Coefficiente de dilatación térmica: 1,1e-05 /Kelvin	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[8])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok acero),

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[1])(pieza 6.2_ok acero), Conjuntodesuperficies 31(Superficie- Recortar14[5])(pieza 6.2_ok acero)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

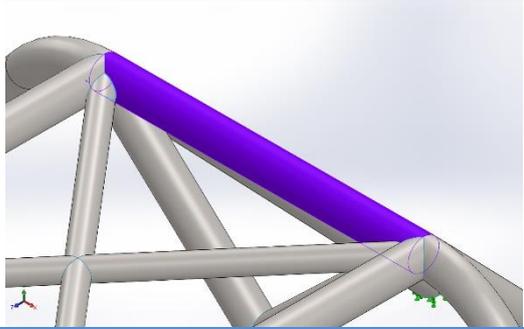
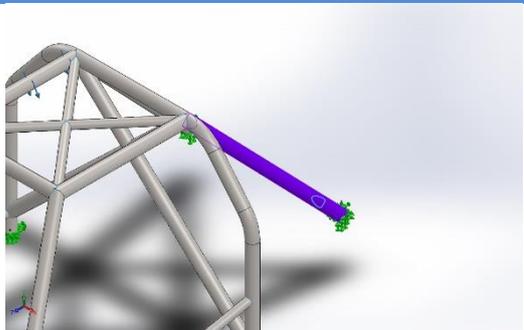
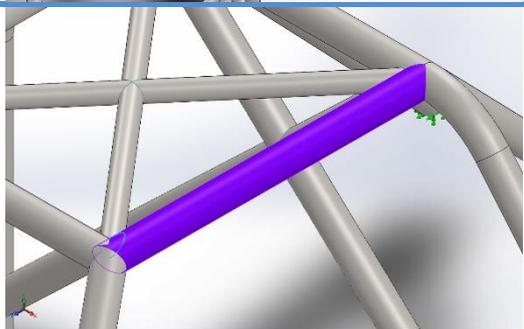
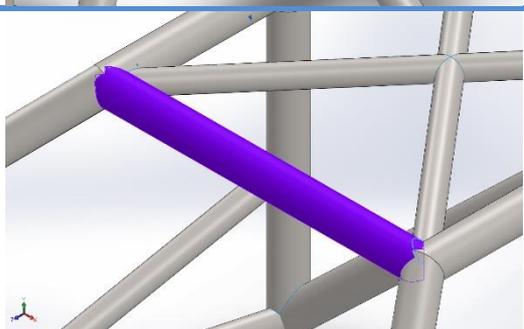
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción
Fijo-2		<p>Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija</p>

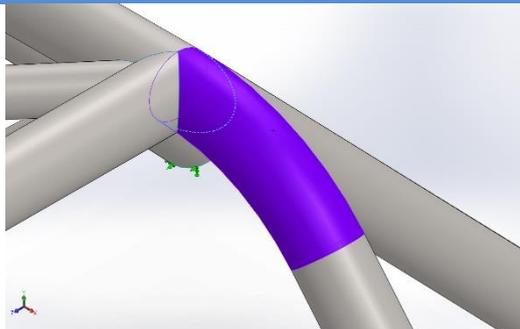
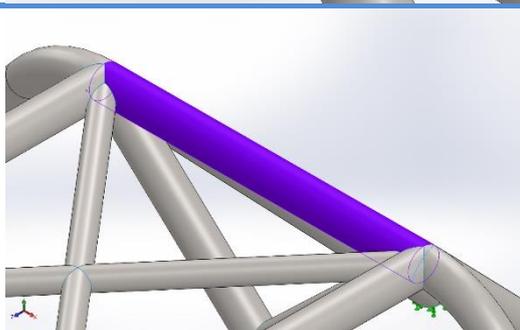
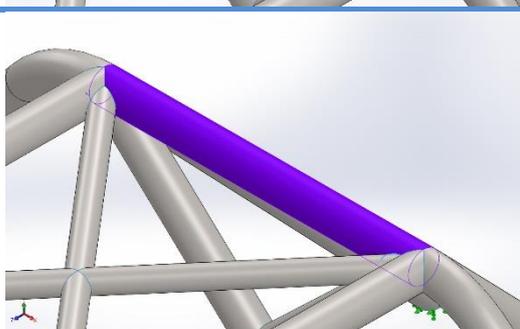
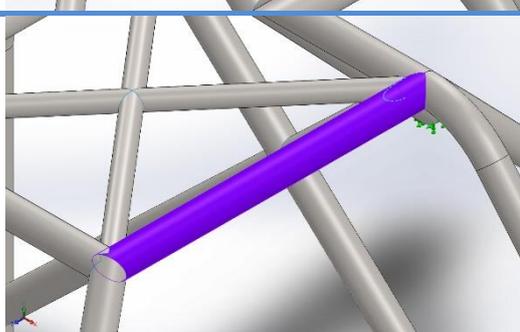
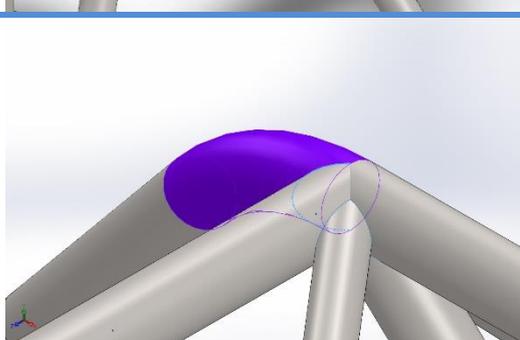
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -30.100 N Momentos: ---; ---; --- N.m</p>

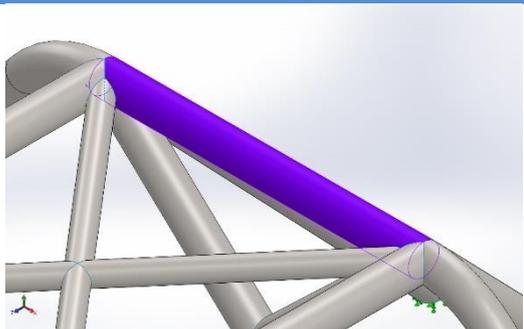
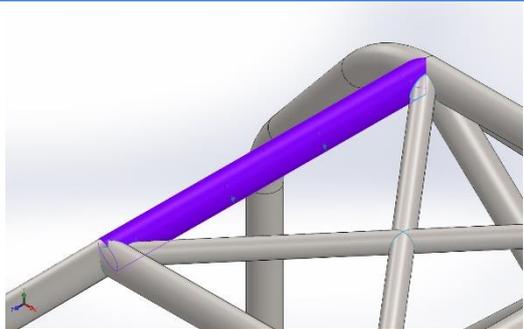
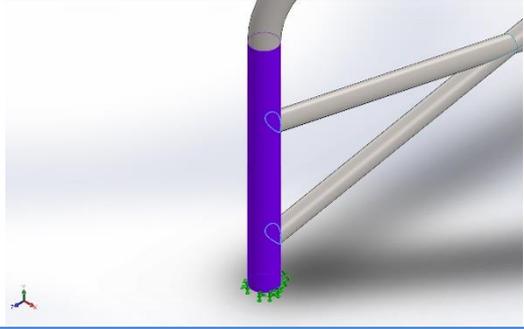
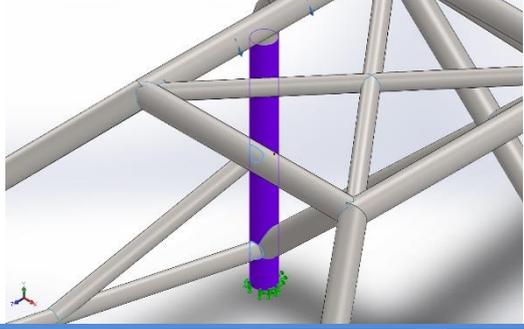
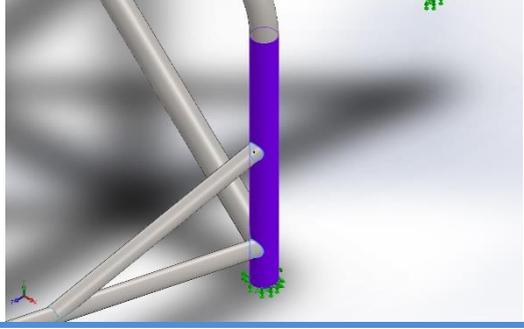
Definiciones de conector

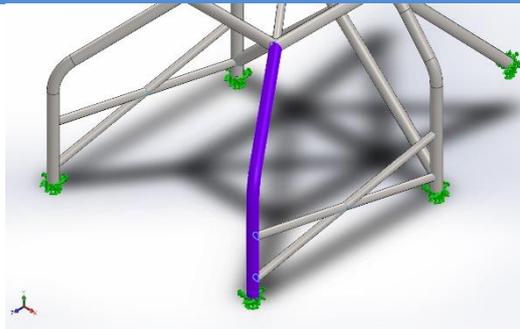
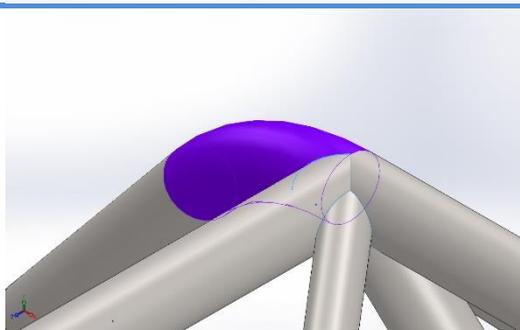
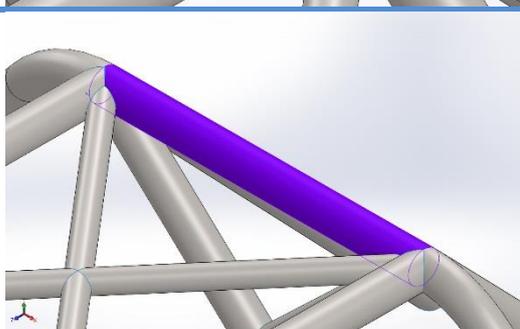
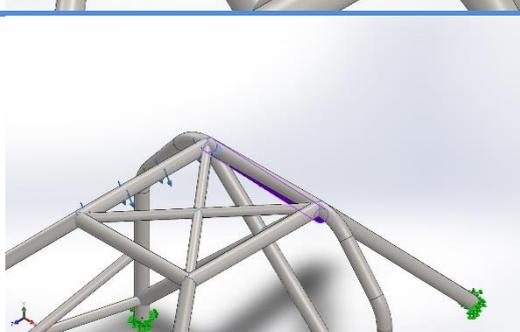
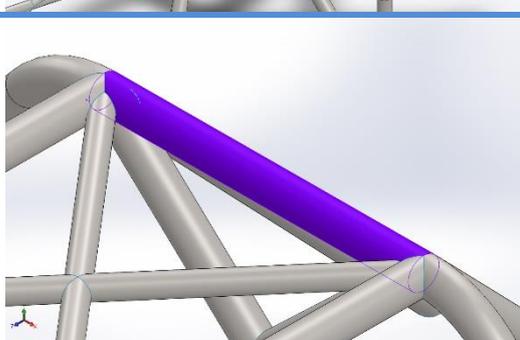
No hay datos

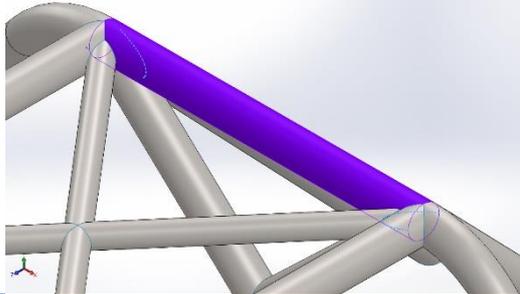
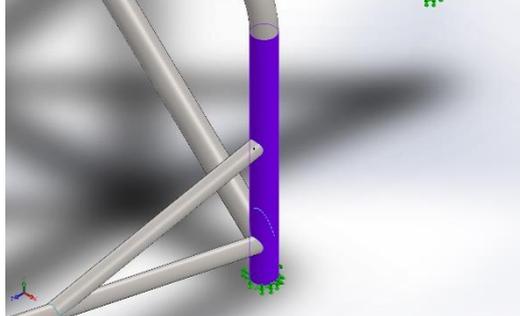
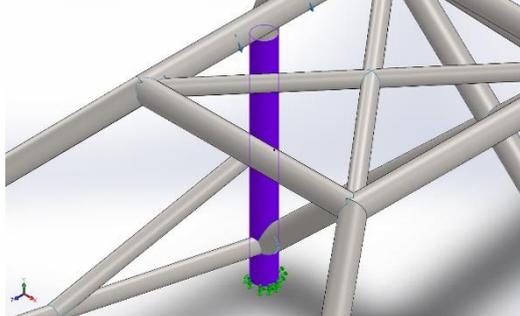
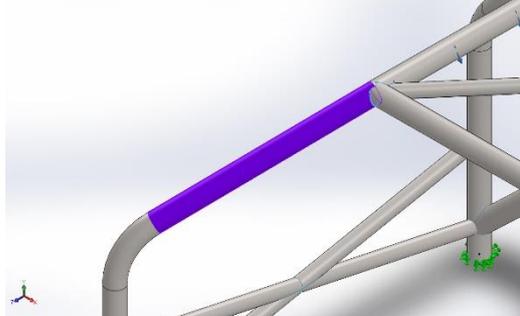
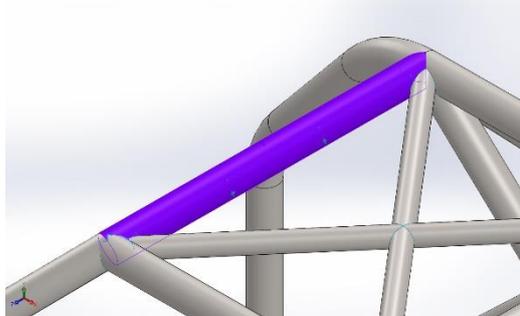
Información de contacto

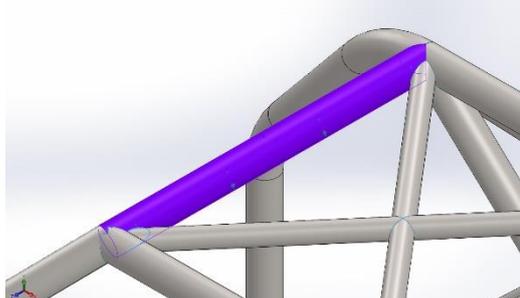
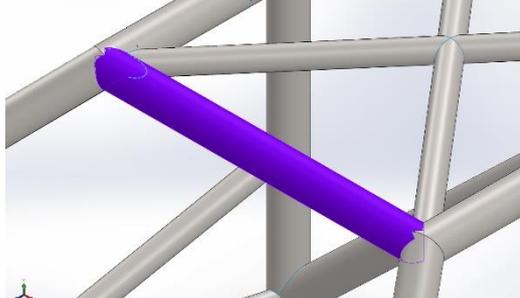
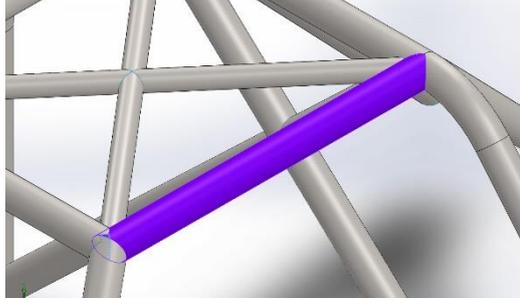
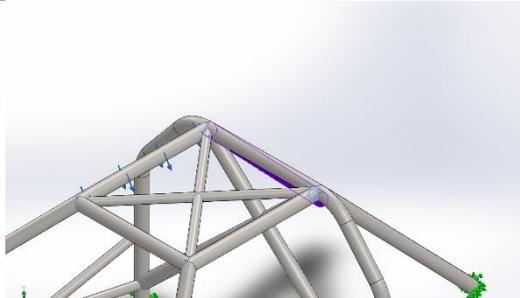
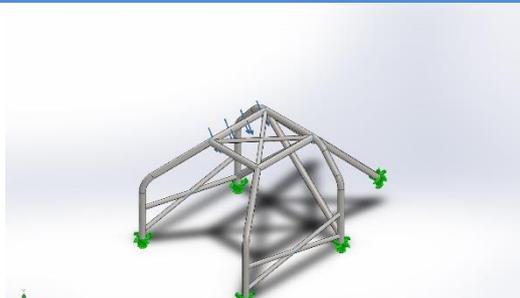
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1022		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1023		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1024		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1095		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1096		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1097		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1098		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1099		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1100		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1101		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	3,43721 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,14572 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

No hay datos

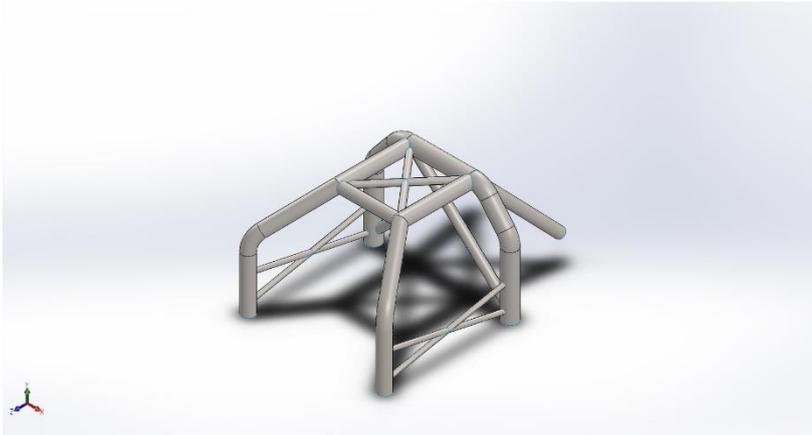
Vigas

No hay datos

Resultados del estudio

No hay datos

Conclusión



3-Simulación estructura carbono Fuerza Lateral

Diseñador: Javier Carmona Giner
Nombre de estudio: Fuerza lateral
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	123
Unidades	123
Propiedades de material	124
Cargas y sujeciones.....	126
Definiciones de conector	126
Información de contacto	127
Información de malla	133
Detalles del sensor	133
Fuerzas resultantes.....	134
Vigas	134
Resultados del estudio	135
Conclusión	138

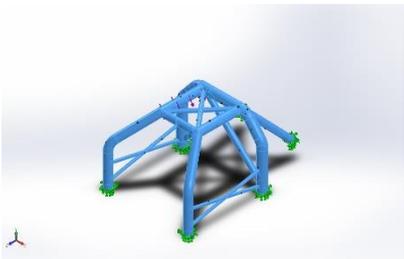
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Fuerza puntual
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\Carbono)

Unidades

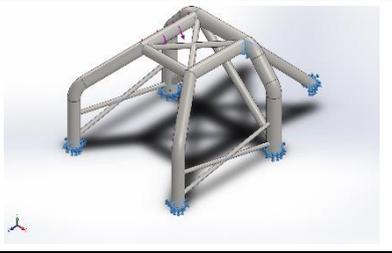
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

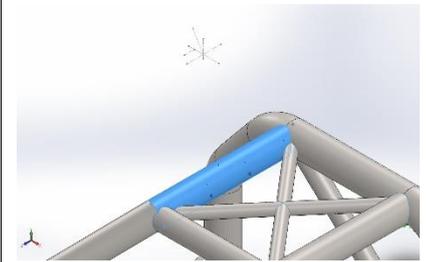
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Fibra de carbono y resina epoxi	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal	Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite elástico: 1,4625e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de tracción en x: 1,625e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de tracción en y: 4,69e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de compresión en x: 9,75e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de compresión en y: 8,78e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Módulo de elasticidad en x: 2,47713e+11 N/m ²	Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[8])(pieza 6.2_ok carbono),
	Módulo de elasticidad en y: 1,46292e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok carbono),
	Módulo de elasticidad en z: 1,46292e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Coefficiente de Poisson en xy: 0,2525	Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok carbono),
	Coefficiente de Poisson en yz: 0,2525	Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok carbono),
	Coefficiente de Poisson en xz: 0,215595	Conjuntodesuperficies
	Densidad: 1.600 kg/m ³	
	Módulo cortante en xy: 6,2456e+09 N/m ²	
	Módulo cortante en yz: 6,2456e+09 N/m ²	
	Módulo cortante en xz: 6,0173e+09 N/m ²	
	Límite cortante: 4,66e+07 N/m ²	

		15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[6])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 30(Superficie- Recortar14[2])(pieza 6.2_ok carbono)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

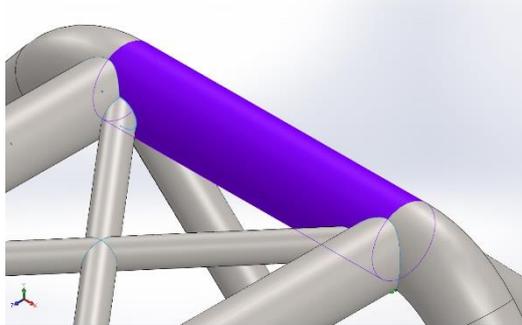
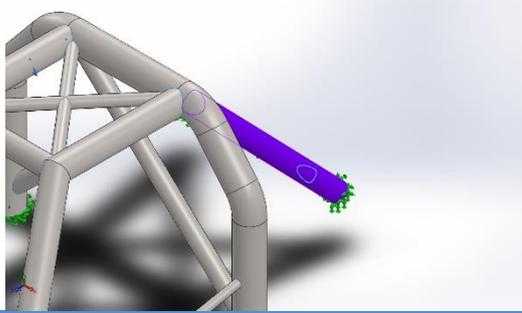
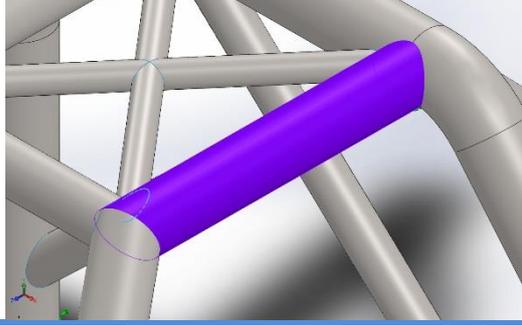
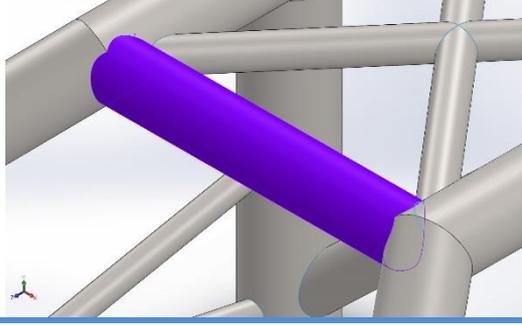
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-12.681,3	27.195,2	2.370,21	30.100
Momento de reacción(N.m)	-15,4407	-13,3439	17,8687	27,125

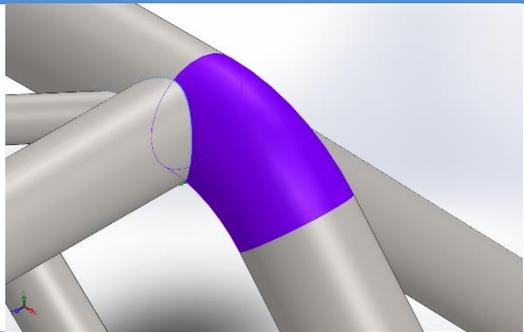
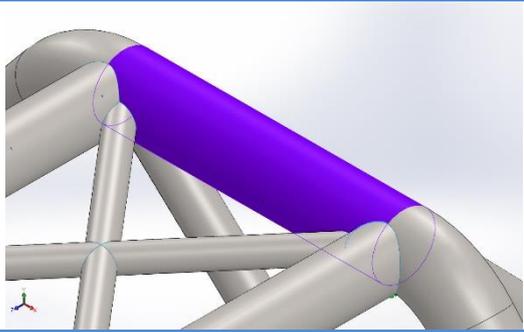
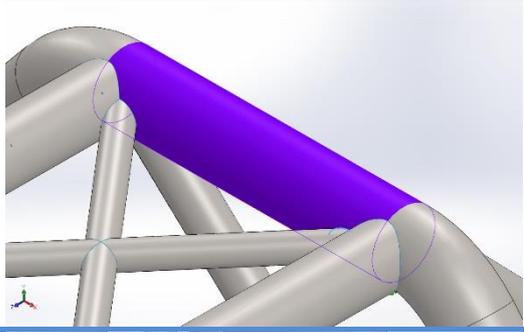
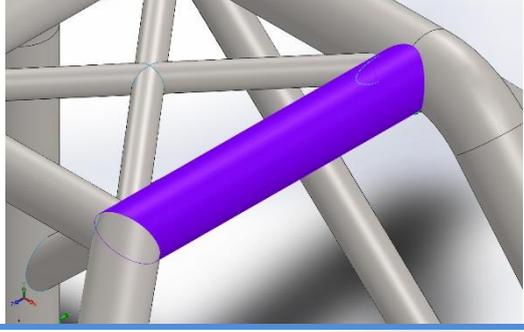
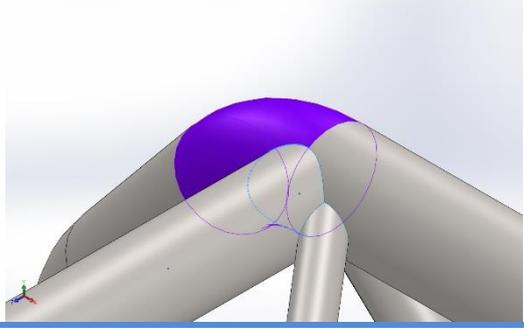
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-4		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -30.100 N Momentos: ---; ---; --- N.m		

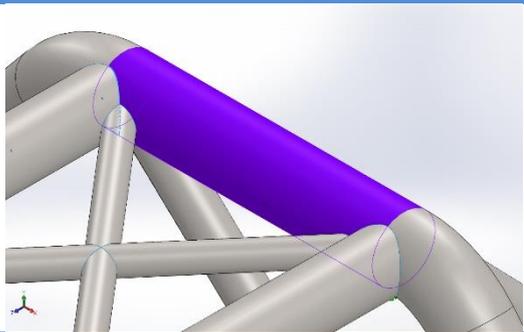
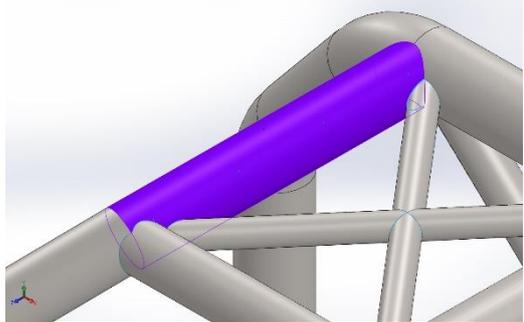
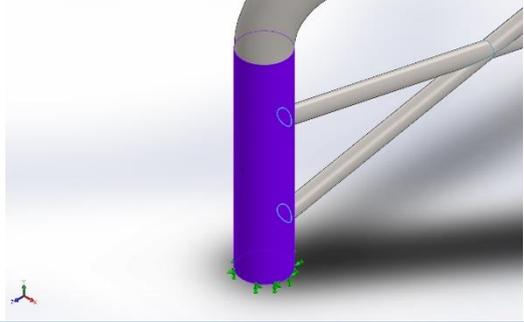
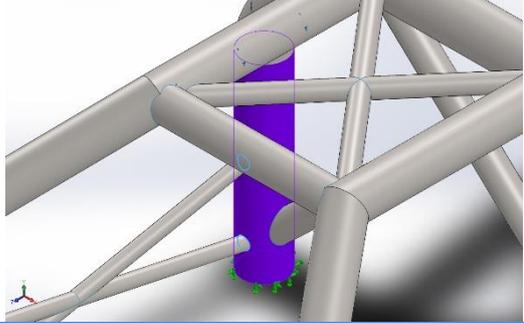
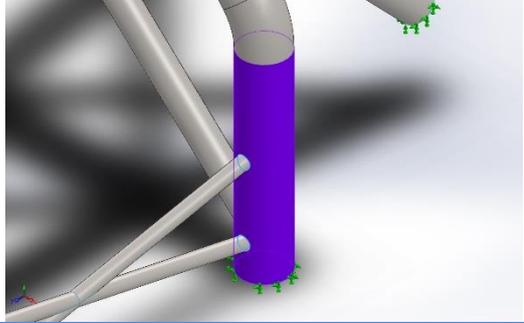
Definiciones de conector

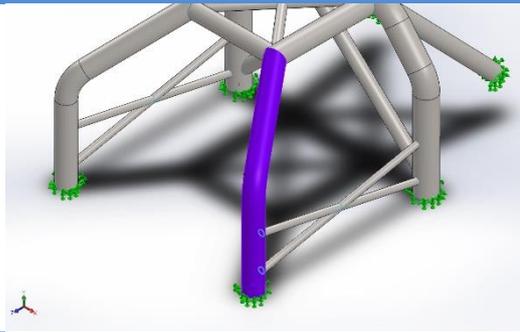
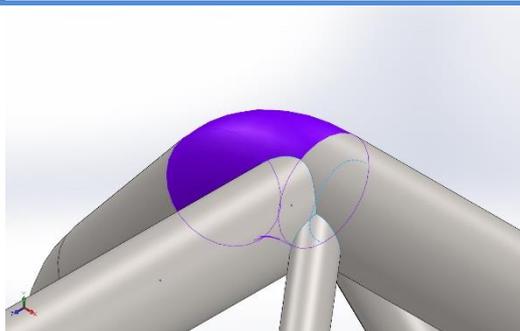
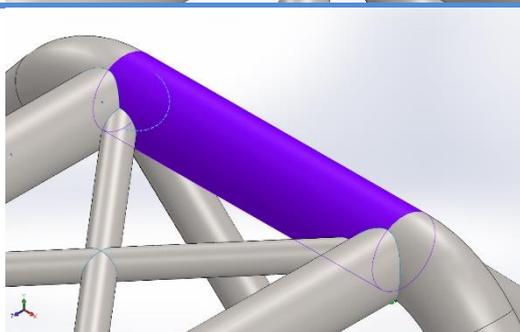
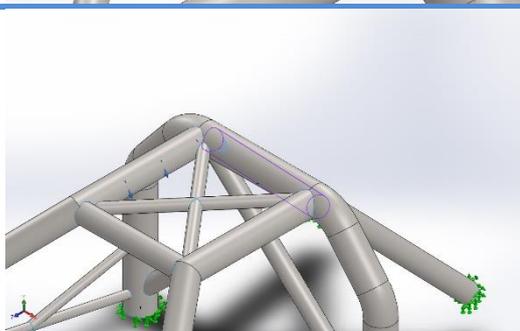
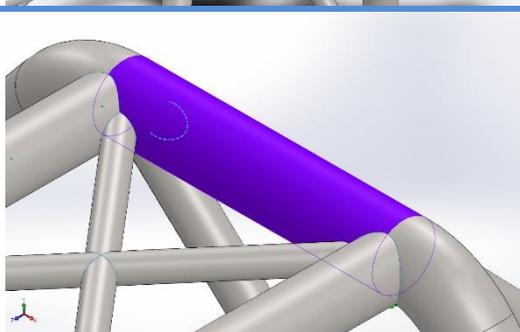
No hay datos

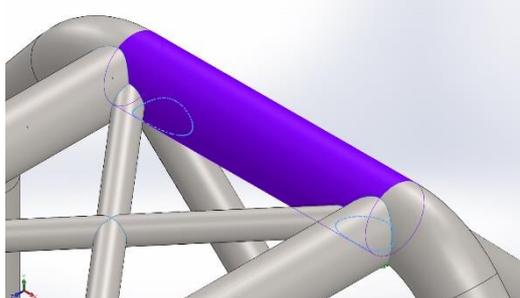
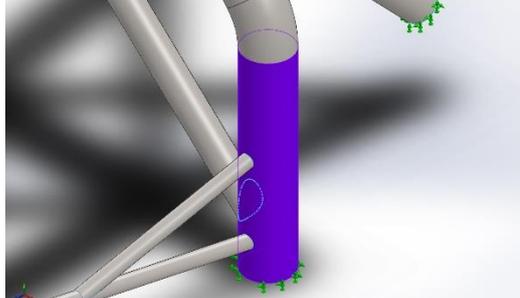
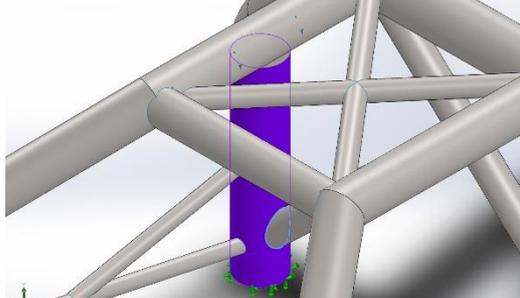
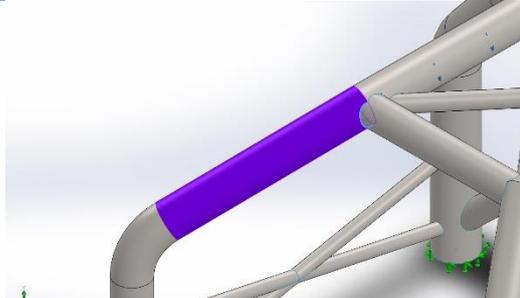
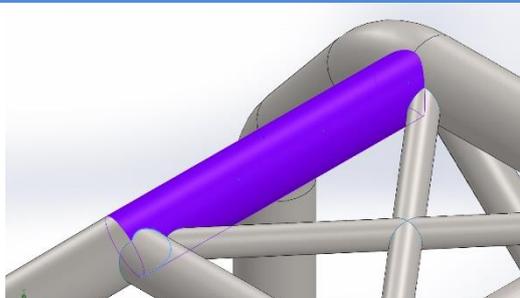
Información de contacto

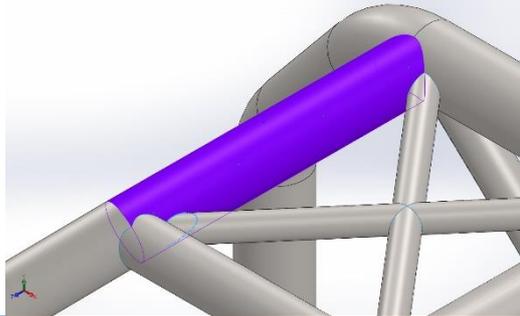
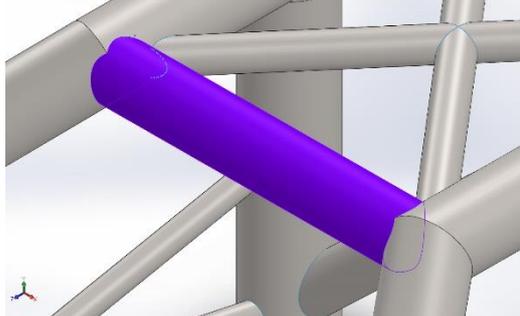
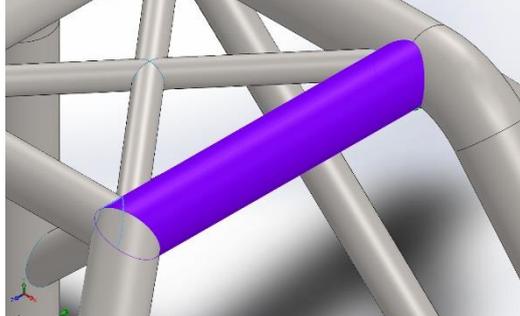
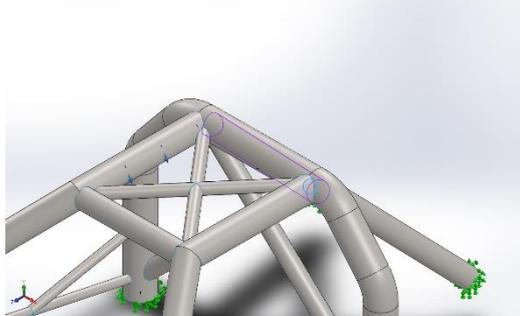
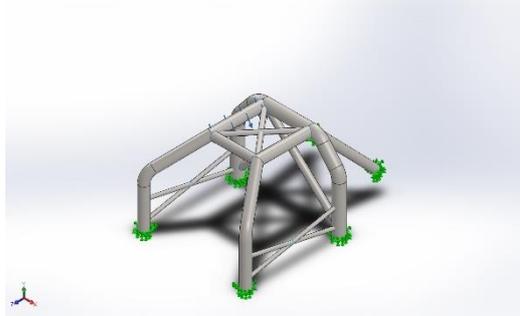
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1022		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1023		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1024		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1095		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1096		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1097		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1098		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1099		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1100		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1101		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

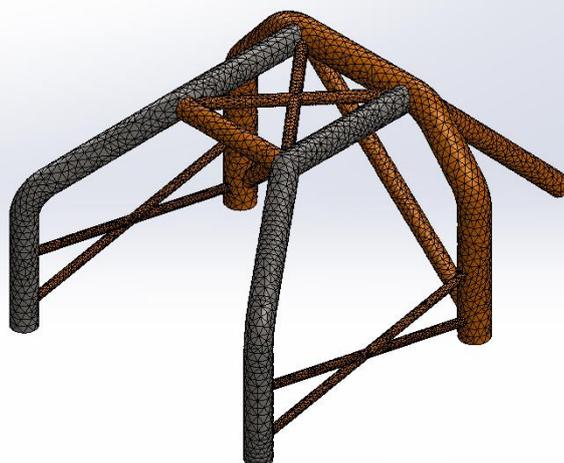
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	3,43721 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,14572 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	35669
Número total de elementos	17581
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok carbono
Nombre de estudio:Fuerza puntual(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-12.681,3	27.195,2	2.370,21	30.100

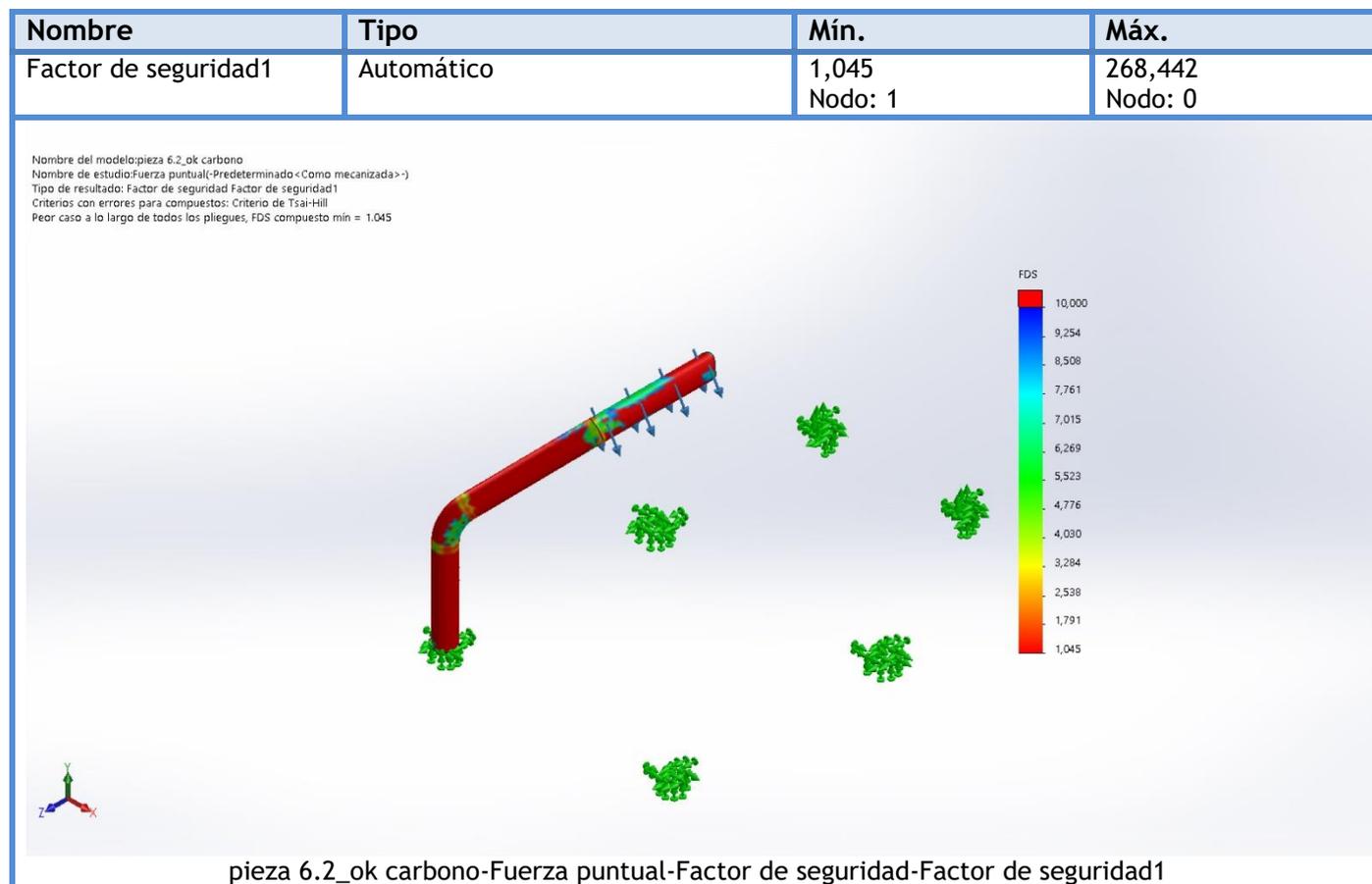
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-15,4407	-13,3439	17,8687	27,125

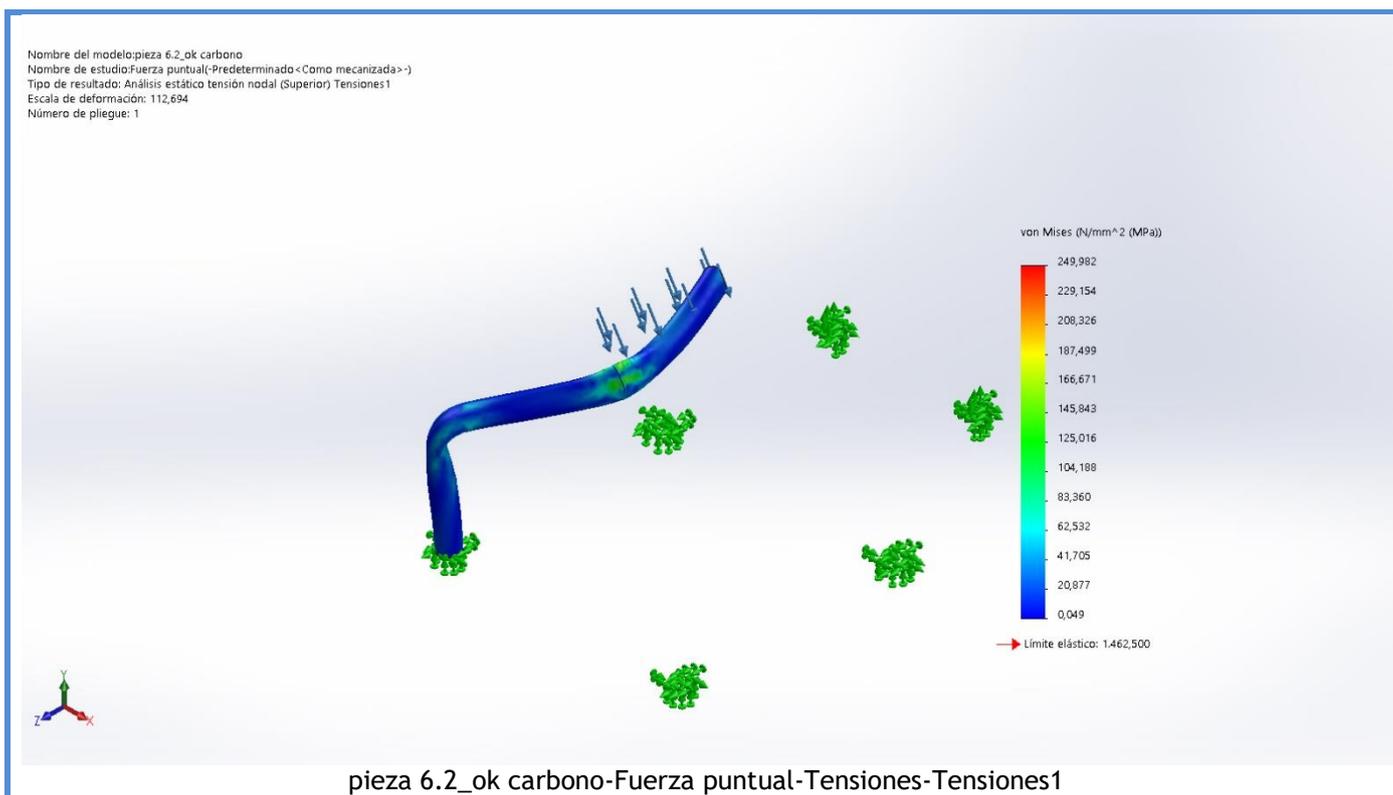
Vigas

No hay datos

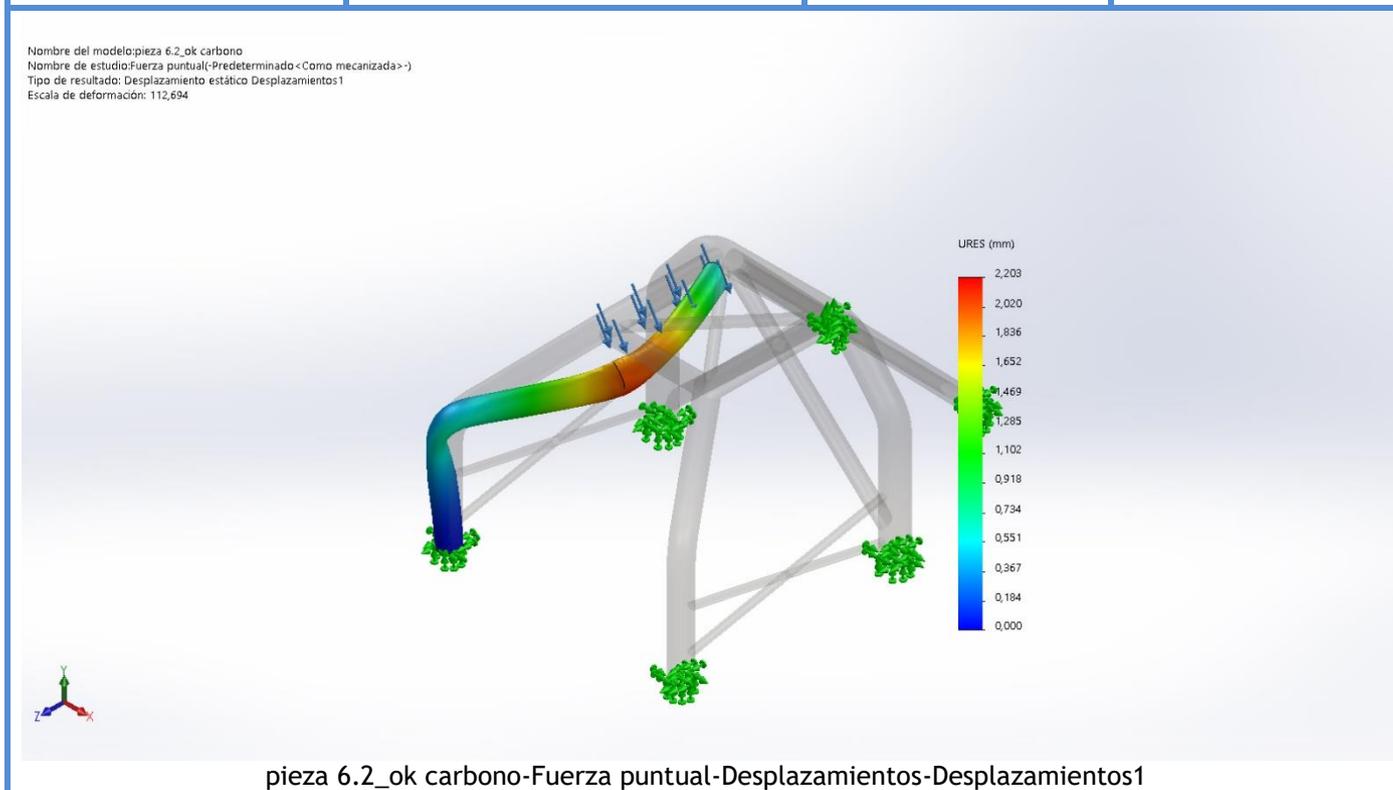
Resultados del estudio



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,049 N/mm ² (MPa) Nodo: 22728	249,982 N/mm ² (MPa) Nodo: 18500

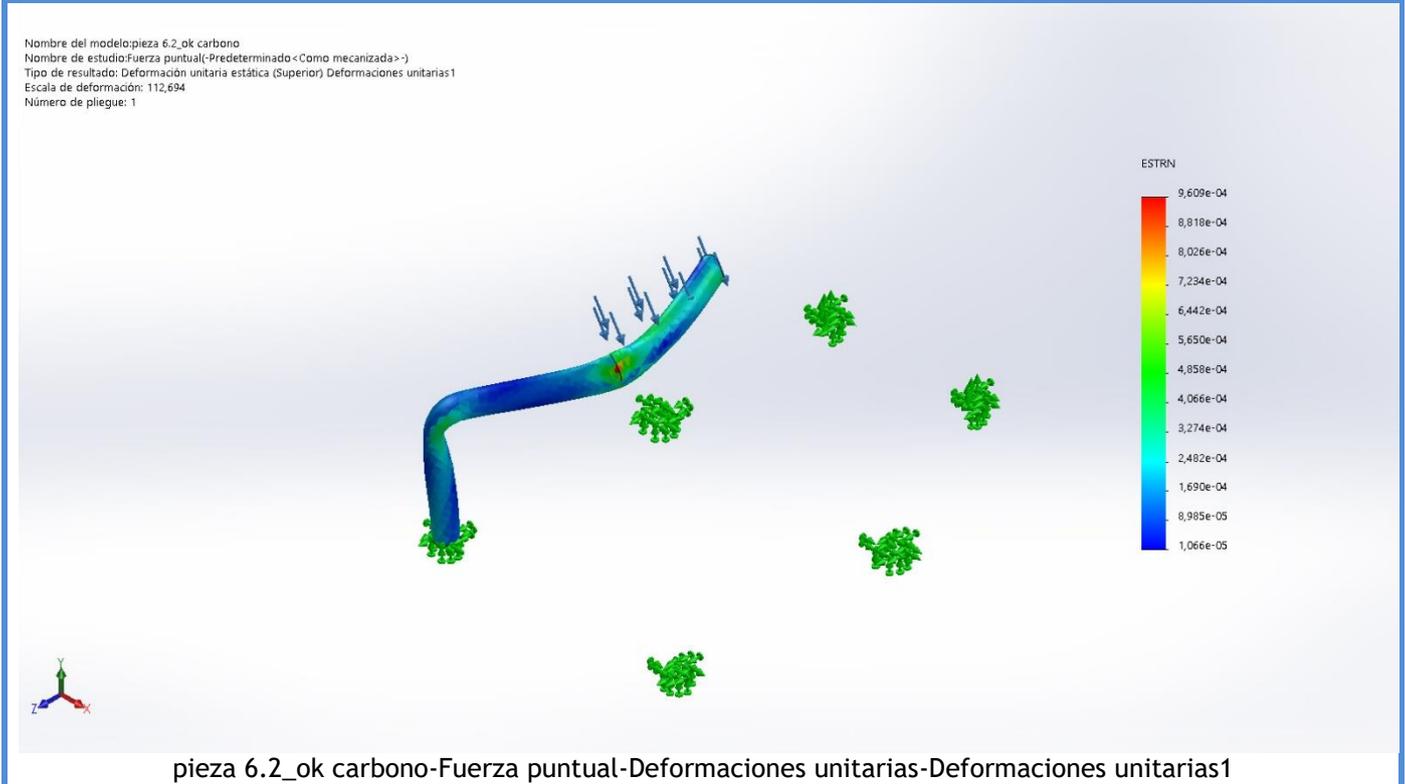


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 2141	2,203 mm Nodo: 32986

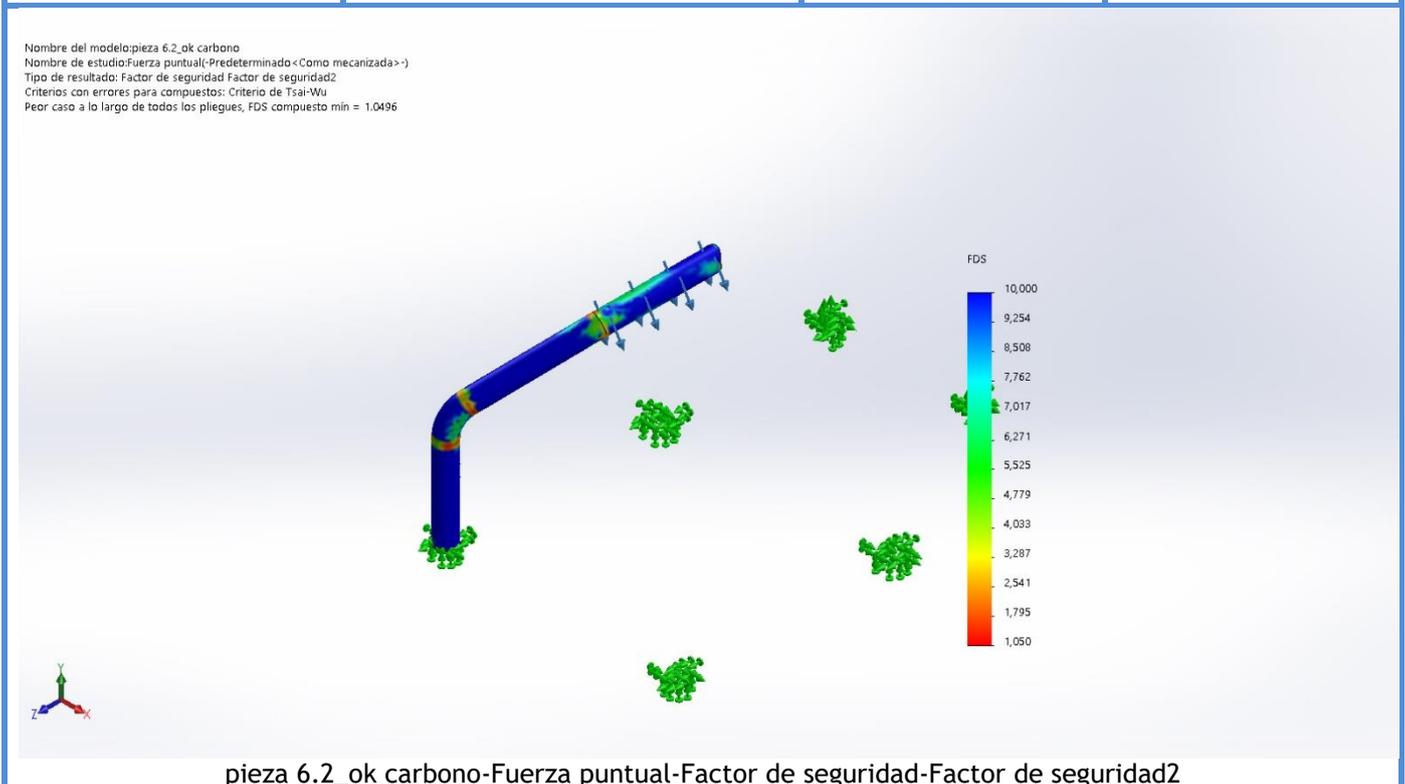


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
--------	------	------	------

Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,203e-07 Elemento: 8987	9,609e-04 Elemento: 16820
--------------------------	---	-----------------------------	------------------------------

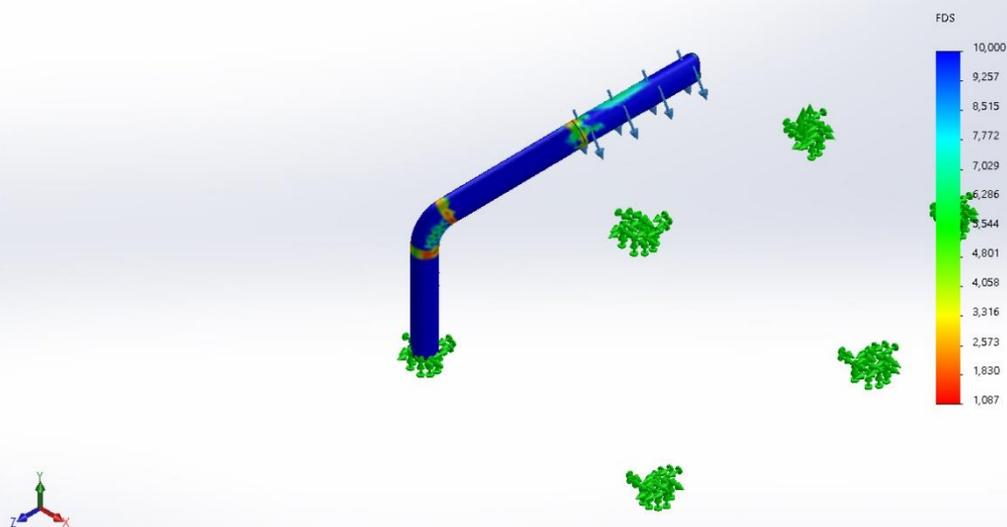


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,050 Nodo: 8987	222,482 Nodo: 16820



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,087 Nodo: 8987	375,737 Nodo: 16820

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok carbono
 Nombre de estudio: Fuerza puntual(-Predeterminado-<Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad3
 Criterios con errores para compuestos: Criterio de tensión máx.
 Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.0874



pieza 6.2_ok carbono-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad3

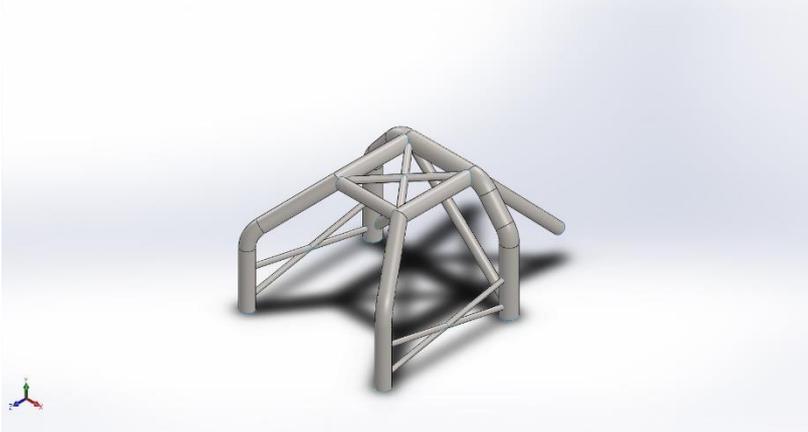
Conclusión

4- Simulación estructura carbon Fuerza Vertical

Diseñador: Javier Carmona Giner
Nombre de estudio: Vertical
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	145
Unidades	145
Propiedades de material	146
Cargas y sujeciones.....	148
Definiciones de conector	148
Información de contacto	149
Información de malla	155
Detalles del sensor	155
Fuerzas resultantes.....	156
Resultados del estudio	157
Conclusión	161



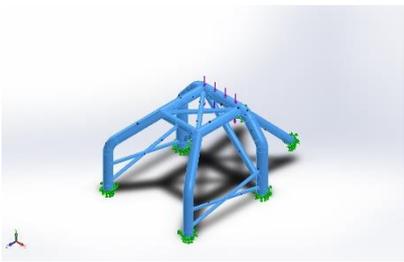
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Vertical
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\Carbono)

Unidades

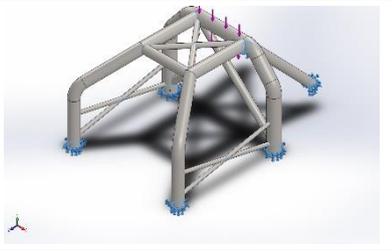
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

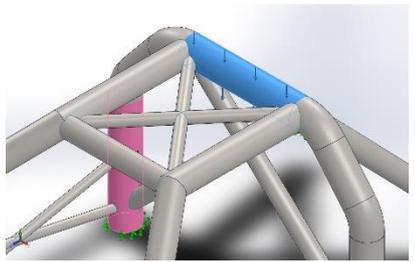
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Fibra de carbono y resina epoxi	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal	Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite elástico: 1,4625e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de tracción en x: 1,625e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de tracción en y: 4,69e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de tracción en z: 9,75e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de compresión en x: 8,78e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Límite de compresión en y: 2,47713e+11 N/m ²	Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[8])(pieza 6.2_ok carbono),
	Módulo de elasticidad en x: 1,46292e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok carbono),
	Módulo de elasticidad en y: 1,46292e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok carbono),
	Módulo de elasticidad en z: 1,46292e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok carbono),
	Coficiente de Poisson en xy: 0,2525	Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok carbono),
	Coficiente de Poisson en yz: 0,2525	
	Coficiente de Poisson en xz: 0,215595	
	Densidad: 1.600 kg/m ³	
	Módulo cortante en xy: 6,2456e+09 N/m ²	
	Módulo cortante en yz: 6,2456e+09 N/m ²	
	Módulo cortante en xz: 6,0173e+09 N/m ²	
	Límite cortante: 4,66e+07 N/m ²	

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[6])(pieza 6.2_ok carbono), Conjuntodesuperficies 30(Superficie- Recortar14[2])(pieza 6.2_ok carbono)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

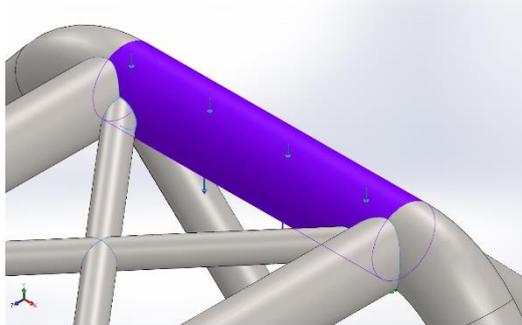
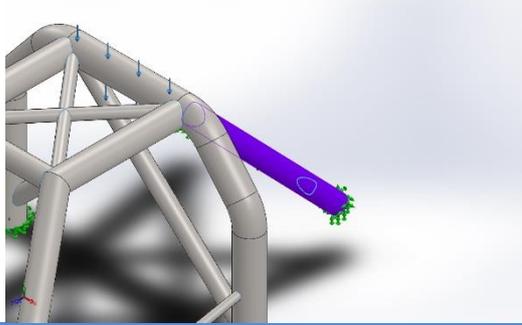
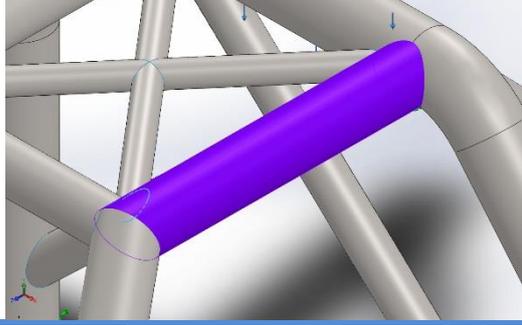
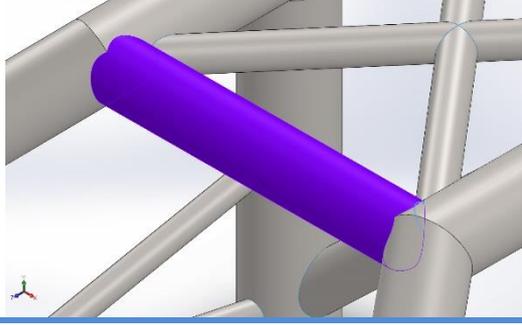
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,000457764	64.500	-0,000732422	64.500
Momento de reacción(N.m)	-47,787	-7,83242	-6,01831	48,7972

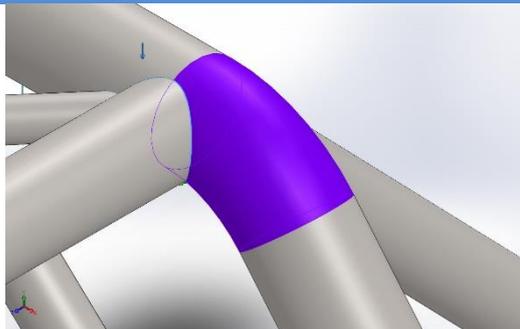
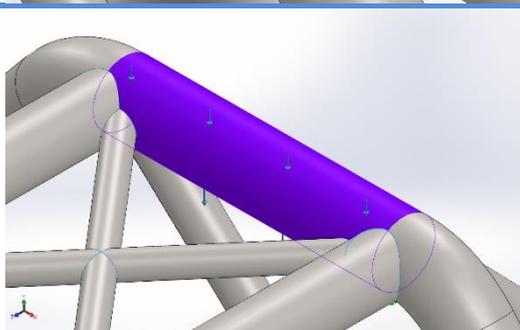
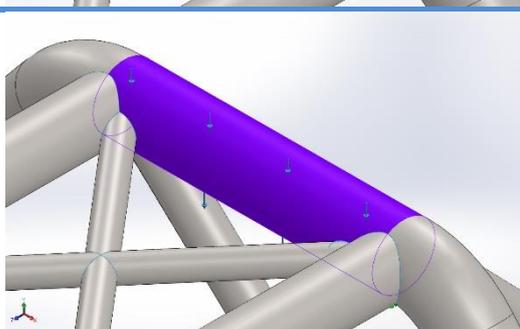
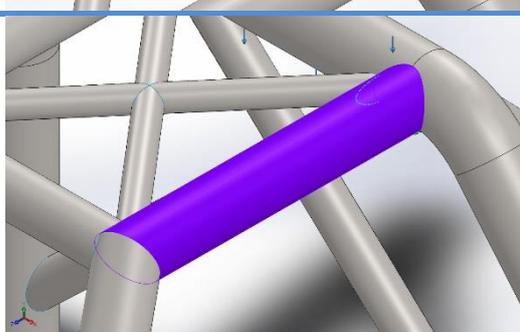
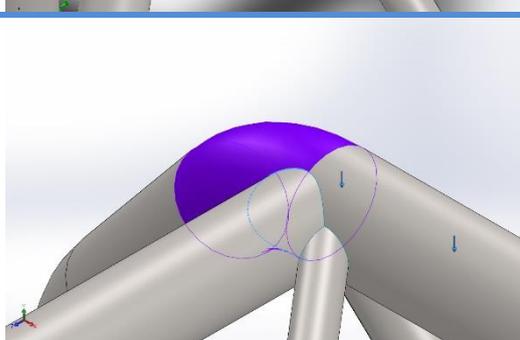
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga		
Fuerza-4		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -64.500 N Momentos: ---; ---; --- N.m		

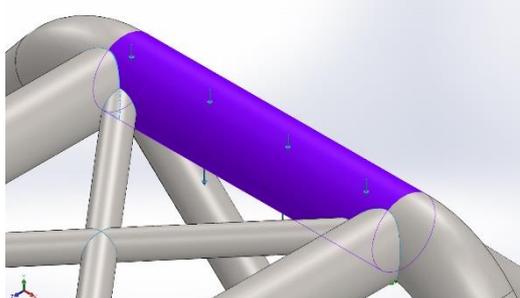
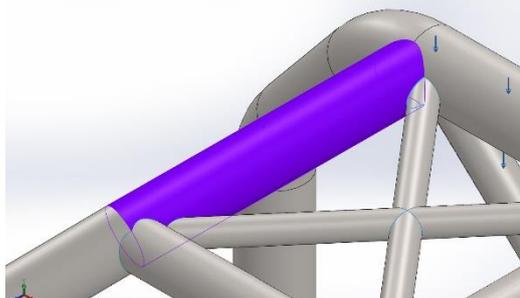
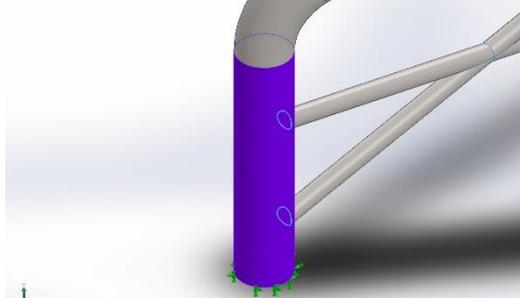
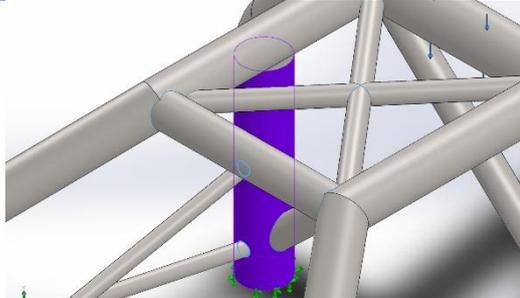
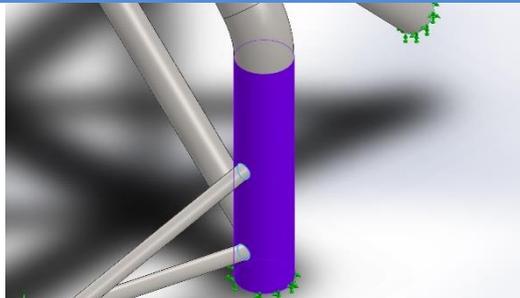
Definiciones de conector

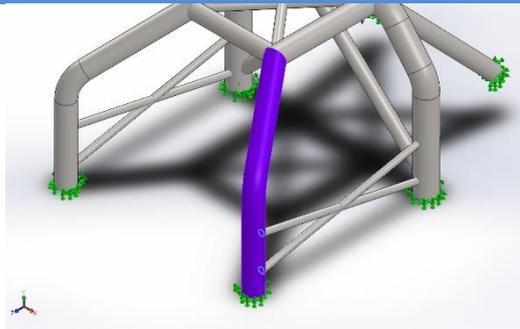
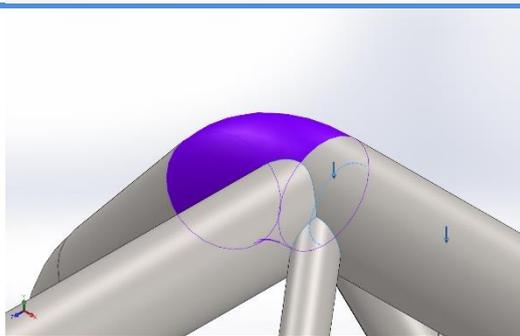
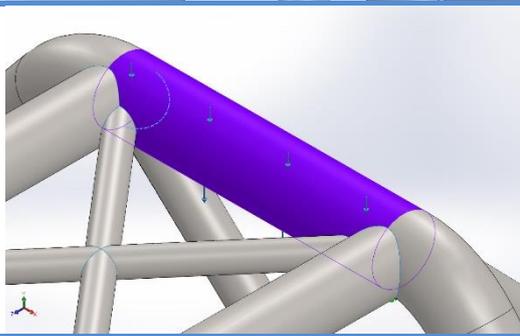
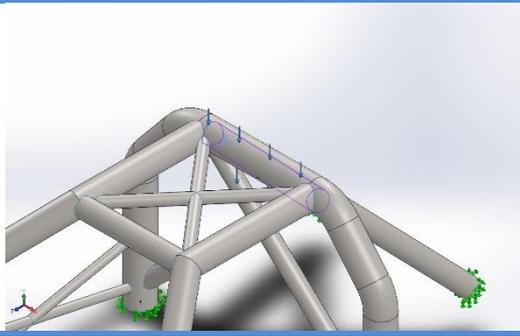
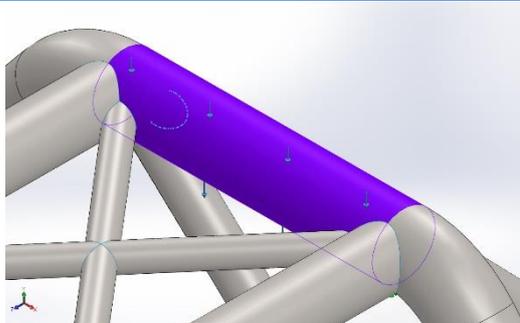
No hay datos

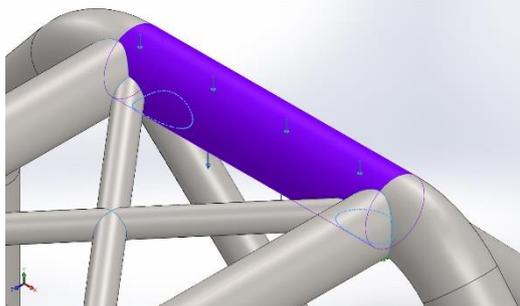
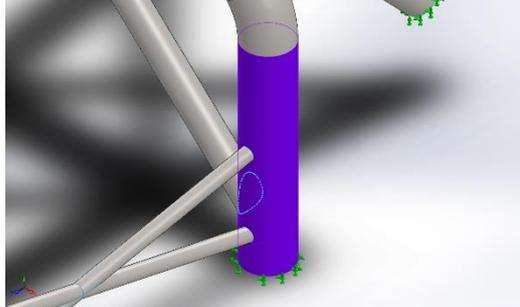
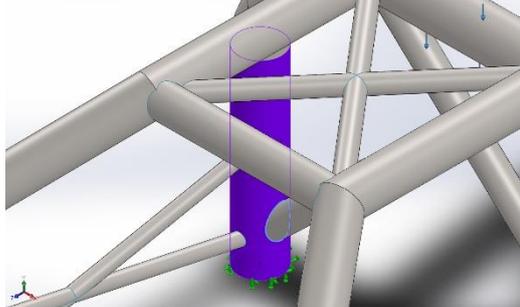
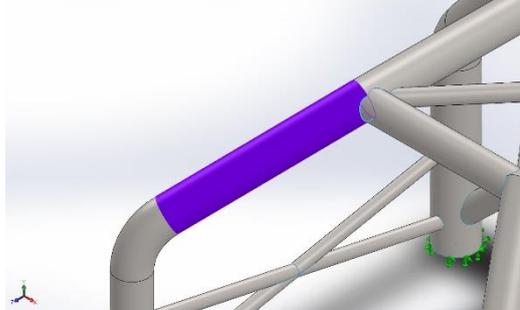
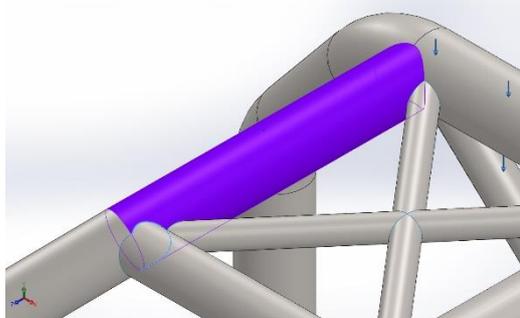
Información de contacto

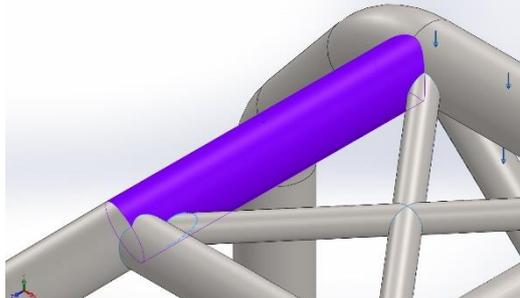
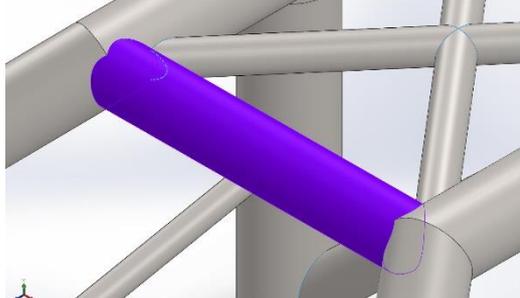
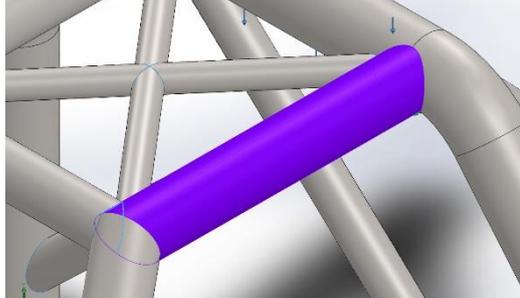
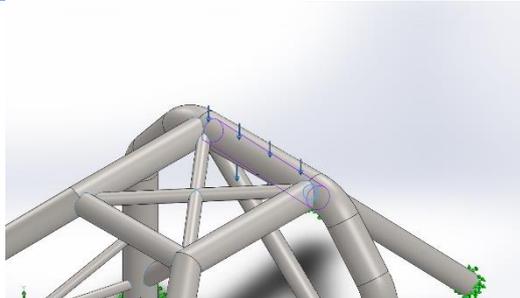
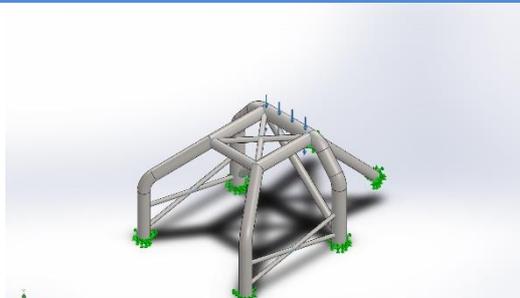
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1022</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1023</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1024</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1095</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1096</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1097</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1098</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1099</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1100</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1101</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

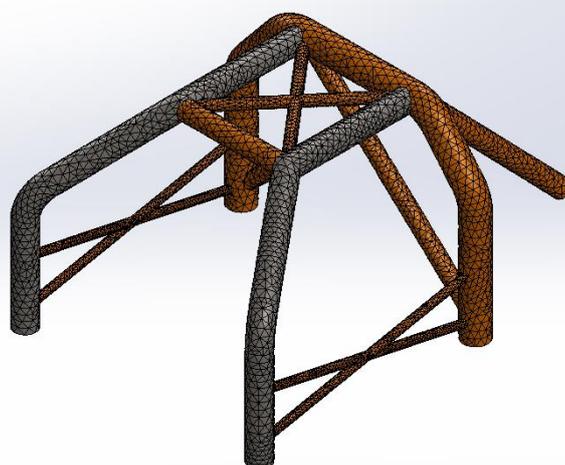
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	3,43721 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,14572 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	35669
Número total de elementos	17581
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:05
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok carbono
Nombre de estudio:Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,000457764	64.500	-0,000732422	64.500

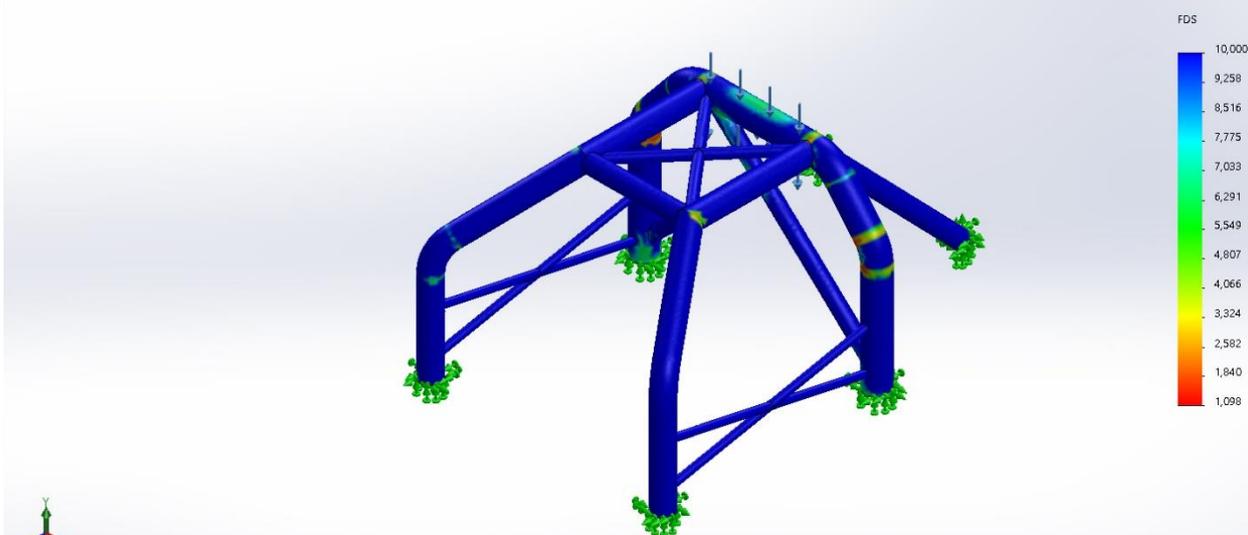
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-47,787	-7,83242	-6,01831	48,7972

Resultados del estudio

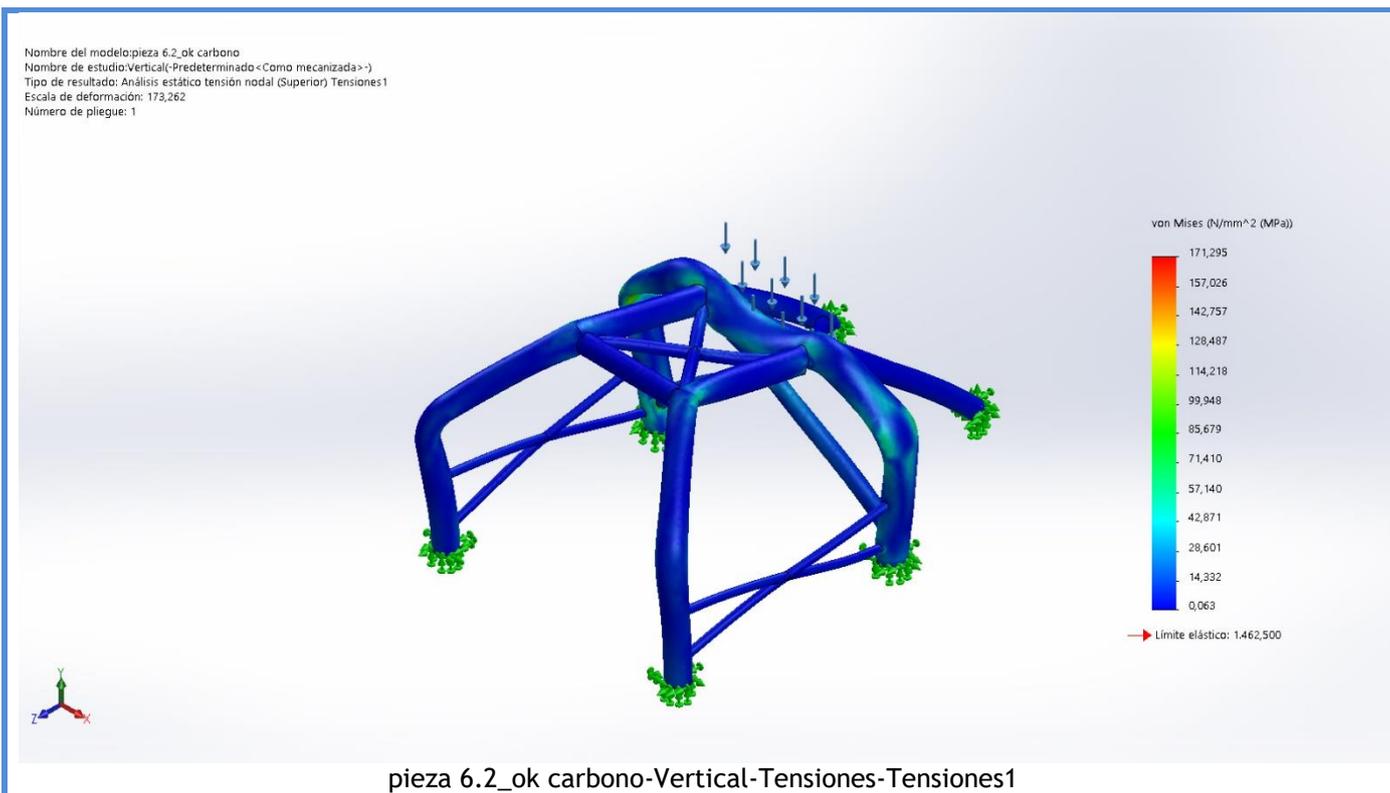
Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Factor de seguridad1	Automático	1,098 Nodo: 1	2.625,637 Nodo: 0

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok carbono
Nombre de estudio: Vertical-(Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Hill
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto min = 1.0983

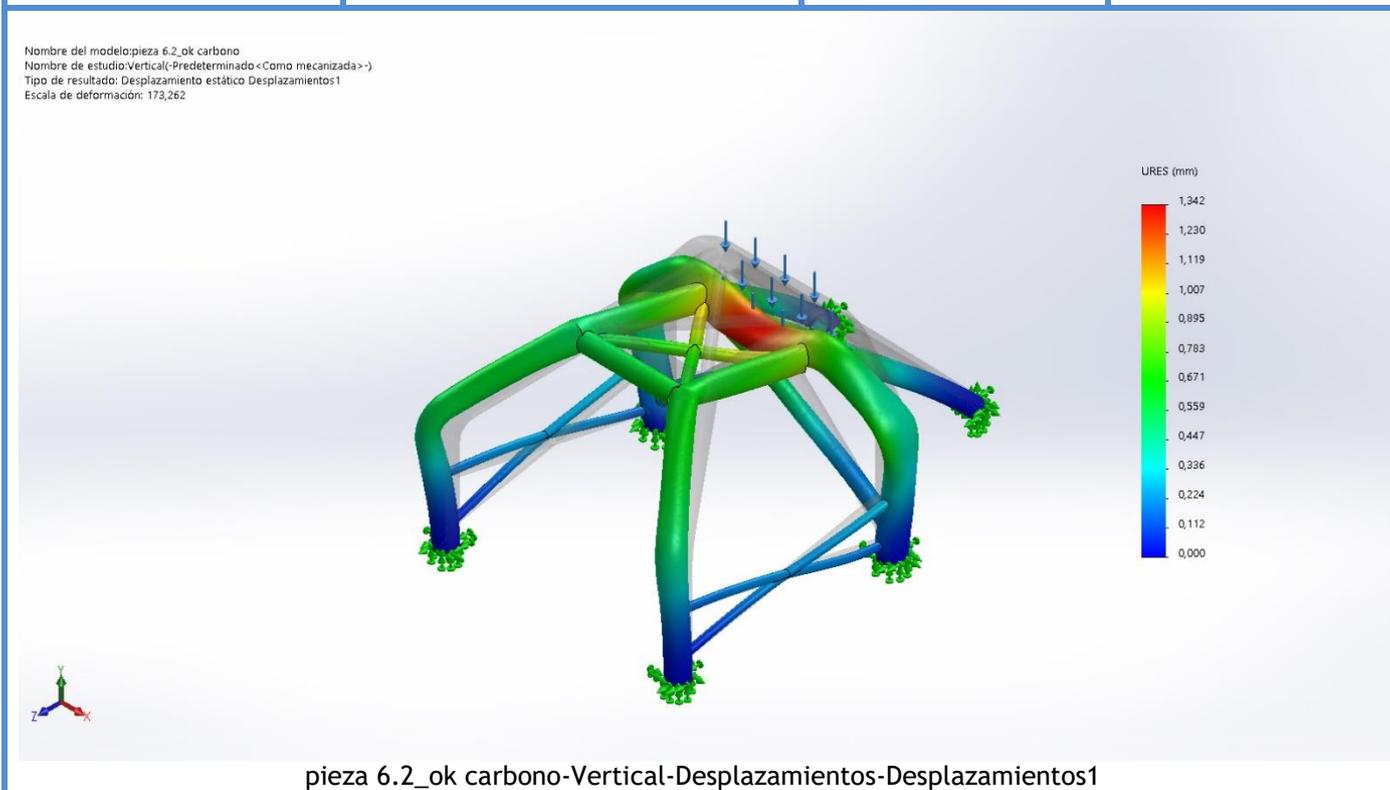


pieza 6.2_ok carbono-Vertical-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo	Mín.	Máy.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,063 N/mm ² (MPa) Nodo: 12499	171,295 N/mm ² (MPa) Nodo: 18500

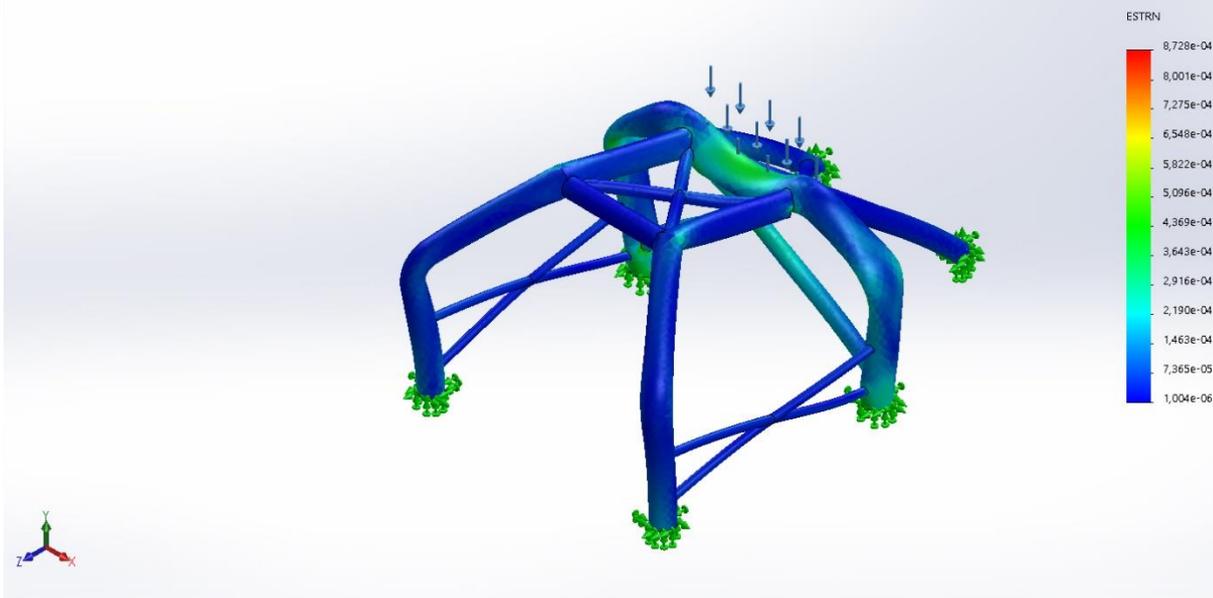


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 2141	1,342 mm Nodo: 5387



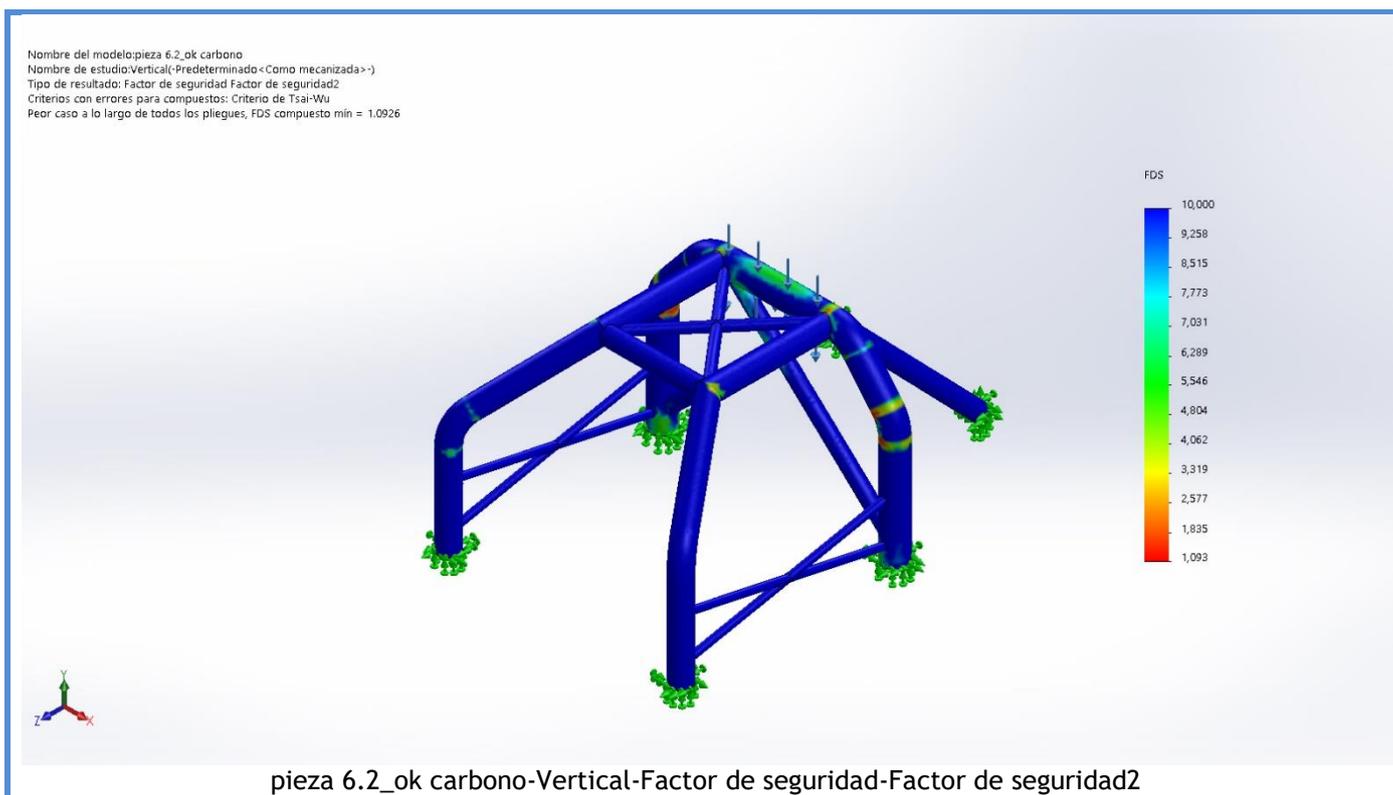
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	1,004e-06 Elemento: 5953	8,728e-04 Elemento: 2529

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok carbono
Nombre de estudio: Vertical-(Predeterminado <Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 173,262
Número de pliegue: 1

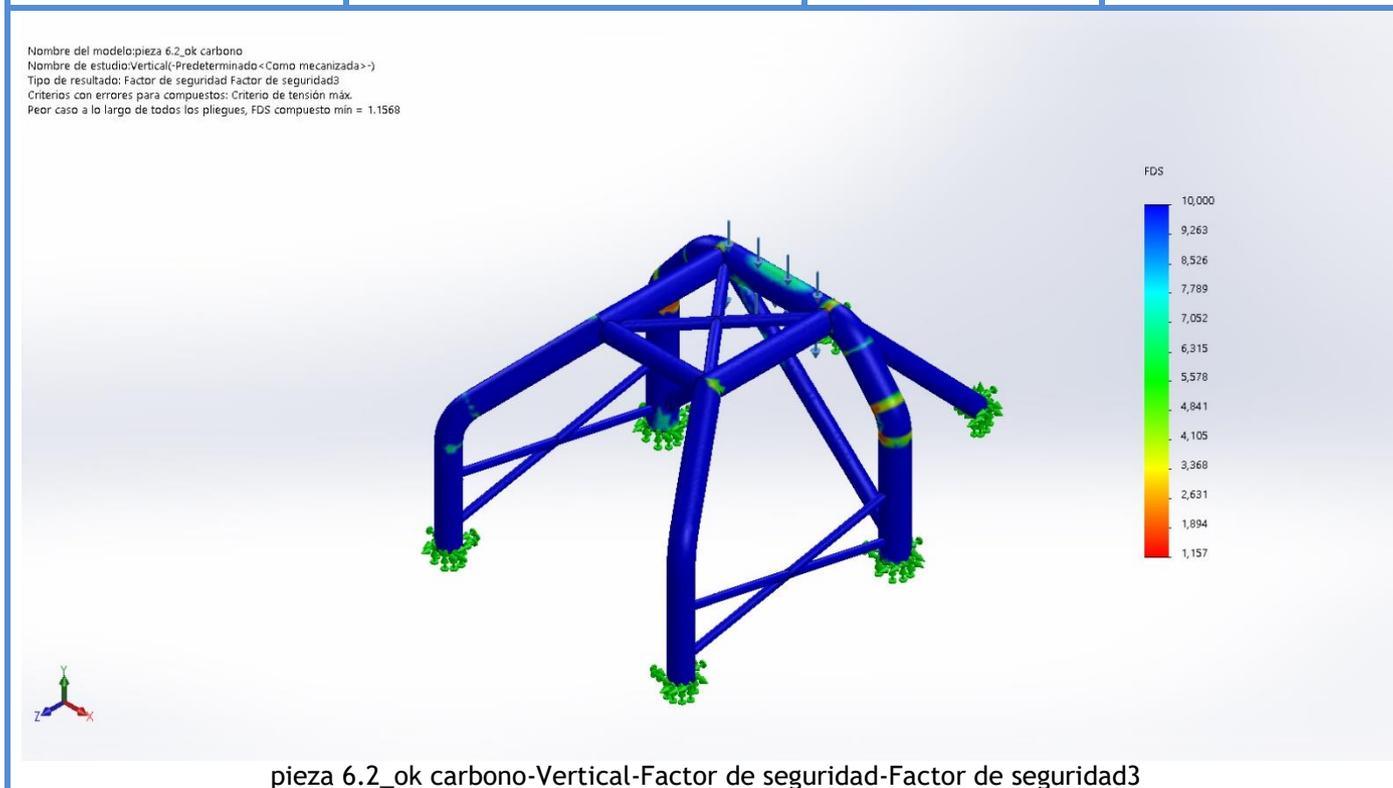


pieza 6.2_ok carbono-Vertical-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

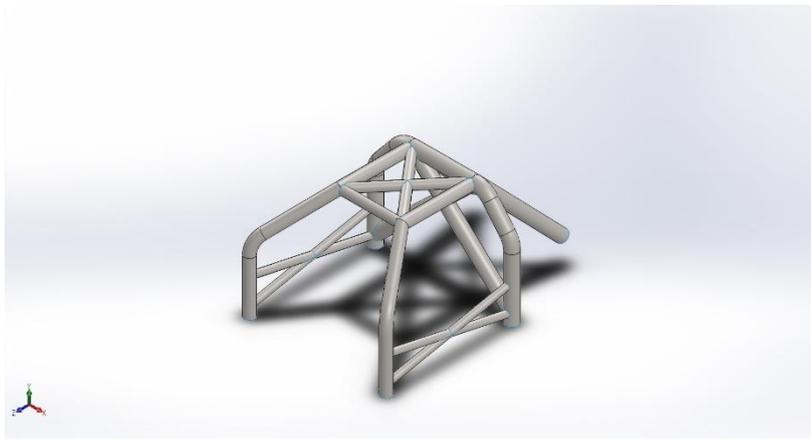
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,093 Nodo: 5953	2.224,939 Nodo: 2529



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,157 Nodo: 5953	3.508,576 Nodo: 2529



Conclusión



5- Simulación fuerza lateral estructura yute

Diseñador: Javier Carmona

Nombre de estudio: Fuerza lateral

Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Descripción	162
Suposiciones.....	163
Propiedades de estudio	163
Unidades	163
Propiedades de material.....	164
Cargas y sujeciones	166
Definiciones de conector	167
Información de contacto.....	168
Información de malla	183
Detalles del sensor	184
Fuerzas resultantes	184
Vigas	184
Resultados del estudio	185
Conclusión	189

Descripción

No hay datos

Suposiciones

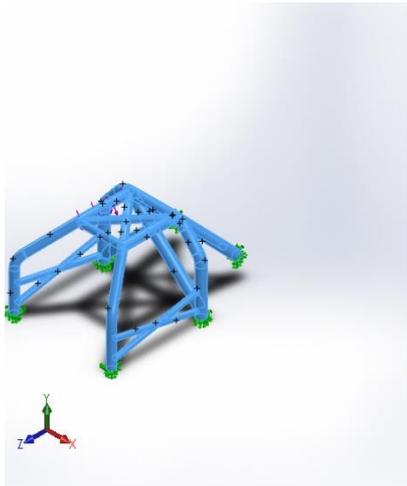
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Fuerza puntual
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\Yute)

Unidades

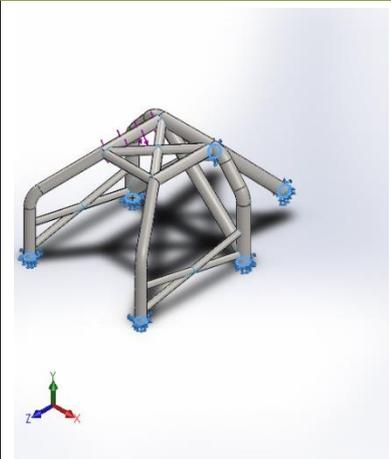
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

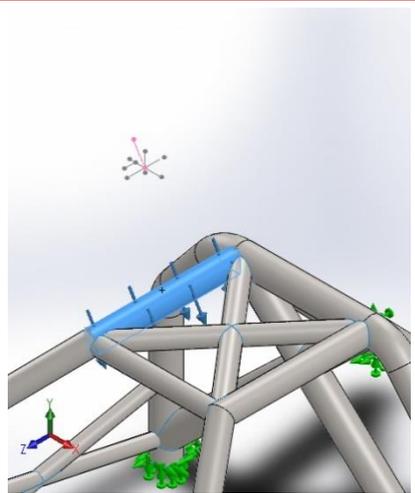
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	<p>Nombre: Fibra de yute con resina epoxi</p> <p>Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal</p> <p>Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.</p> <p>Límite elástico: 5,85e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción en x: 6,5e+08 N/m²</p> <p>Límite de tracción en y: 4,98e+07 N/m²</p> <p>Límite de compresión en x: 6,5e+08 N/m²</p> <p>Límite de compresión en y: 9,33e+07 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en x: 1,845e+10 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en y: 6,8197e+09 N/m²</p> <p>Módulo de elasticidad en z: 6,8197e+09 N/m²</p> <p>Coefficiente de Poisson en xy: 0,4</p> <p>Coefficiente de Poisson en yz: 0,4</p> <p>Coefficiente de Poisson en xz: 0,1</p> <p>Densidad: 1.300 kg/m³</p> <p>Módulo cortante en xy: 5,3821e+09 N/m²</p> <p>Módulo cortante en yz: 5,3821e+09 N/m²</p> <p>Módulo cortante en xz: 3,0793e+09 N/m²</p> <p>Límite cortante: 4,69e+07 N/m²</p>	<p>Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[12])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok yute),</p>

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 24(Superficie- Recortar14[5])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[1])(pieza 6.2_ok yute)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

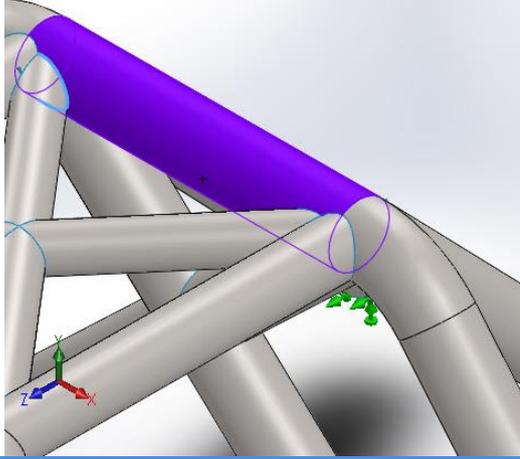
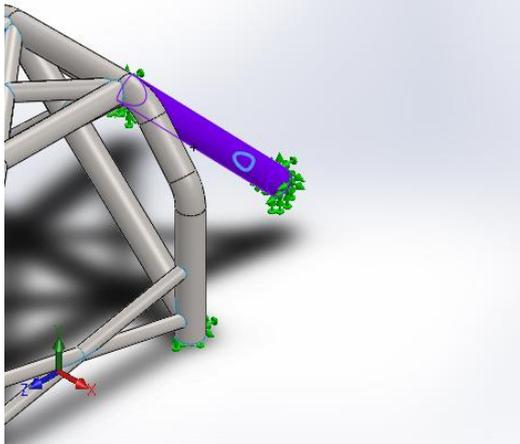
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		<p>Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija</p>		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-12.681,3	27.195,2	2.370,21	30.100
Momento de reacción(N.m)	-64,1305	12,405	18,3849	67,8573

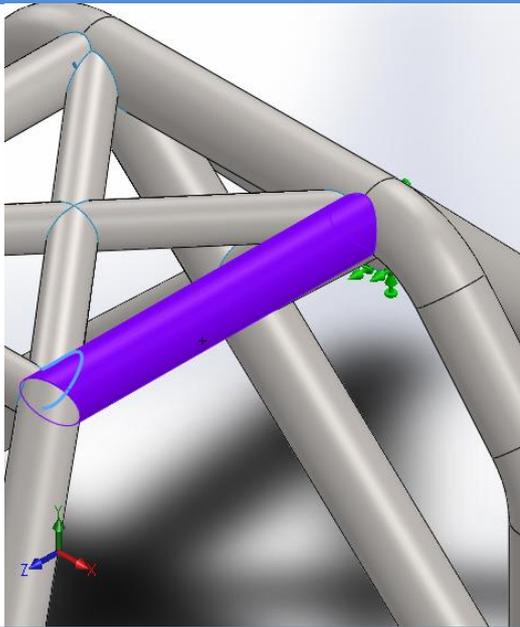
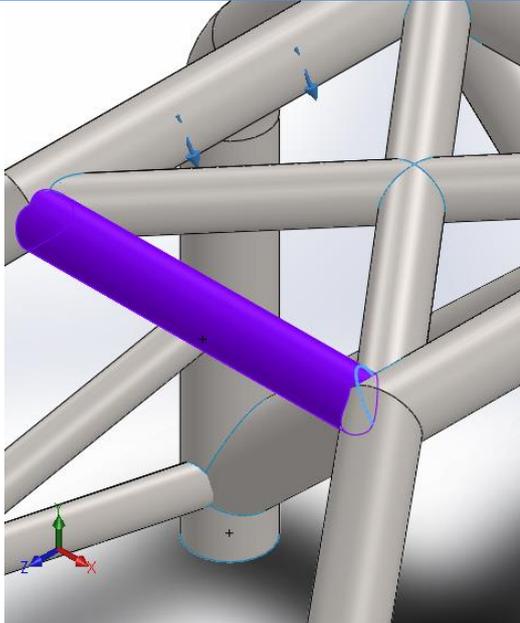
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		<p>Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -30.100 N Momentos: ---; ---; --- N.m</p>

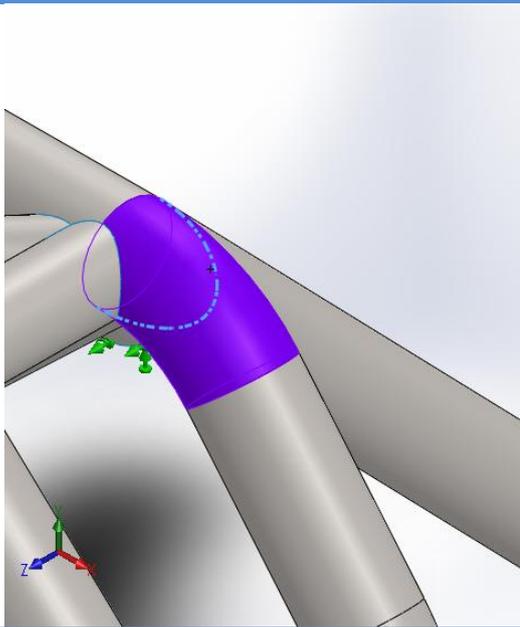
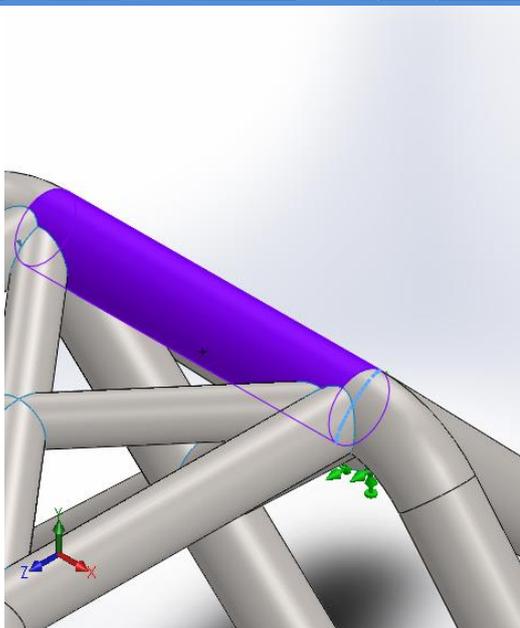
Definiciones de conector

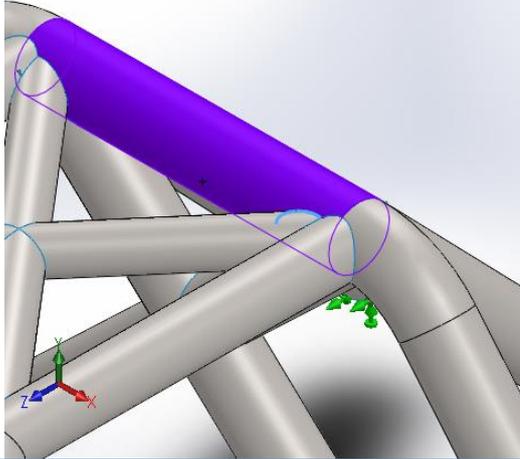
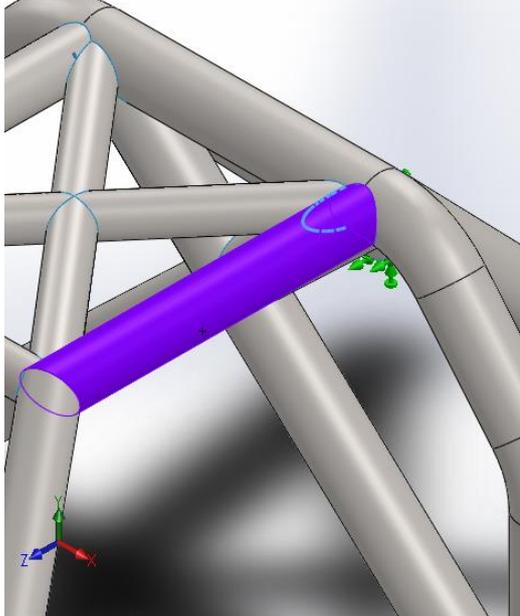
No hay datos

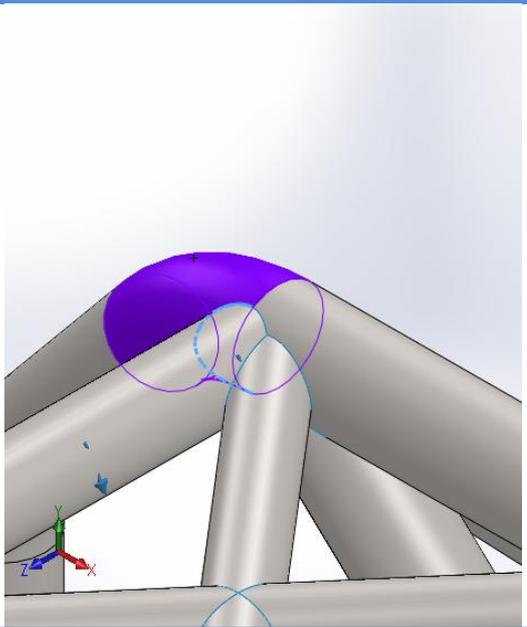
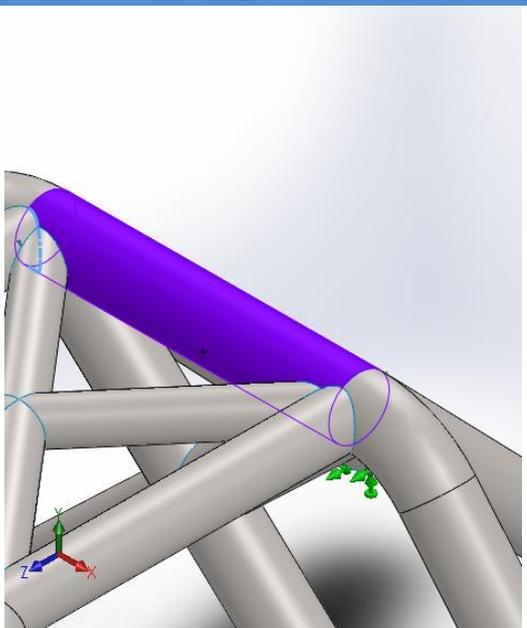
Información de contacto

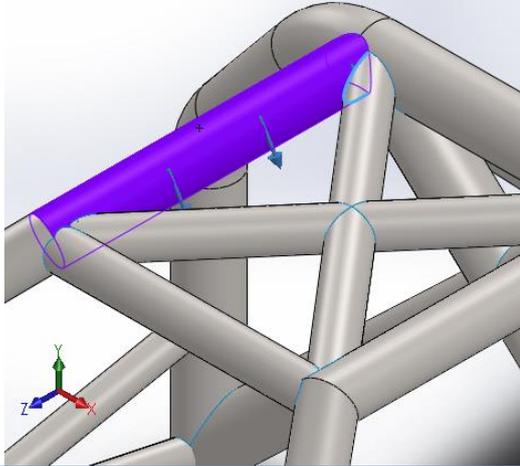
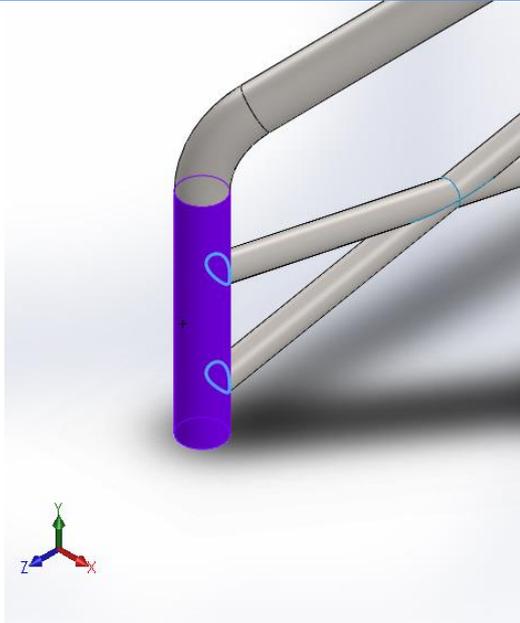
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

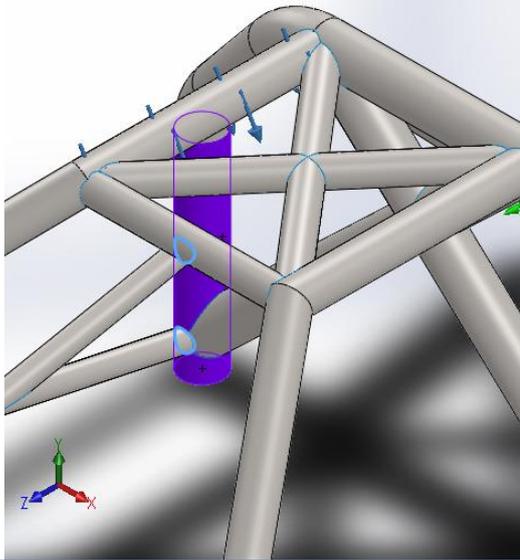
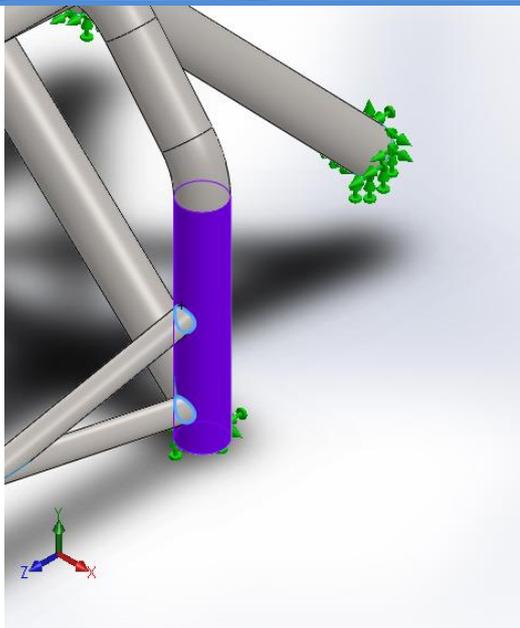
<p>Contacto-1015</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1016</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

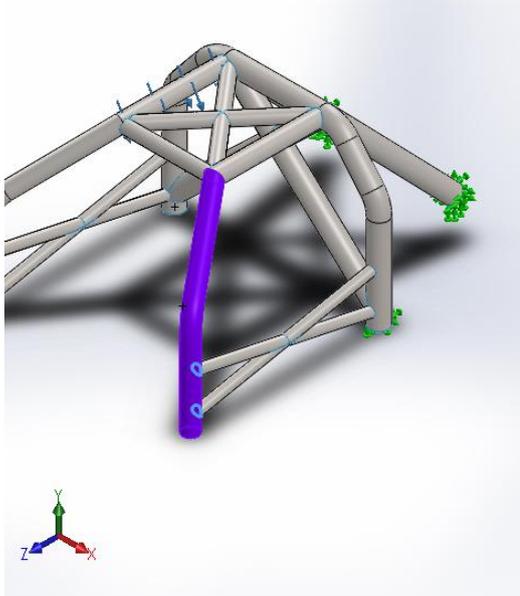
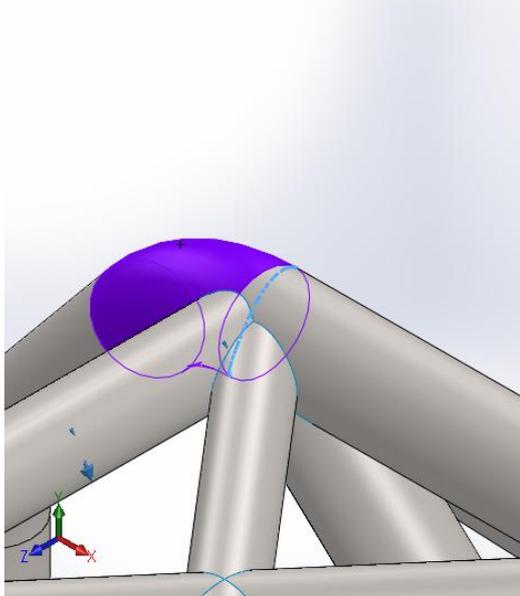
<p>Contacto-1017</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1018</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

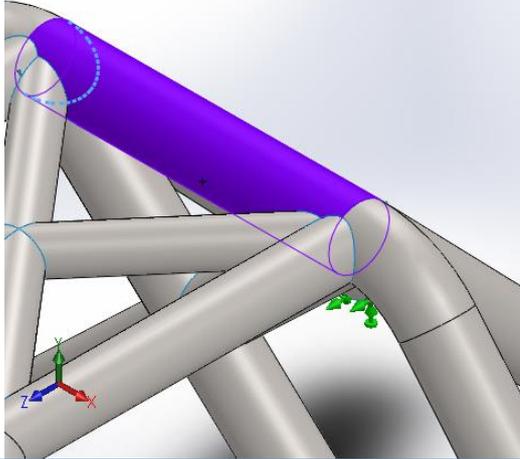
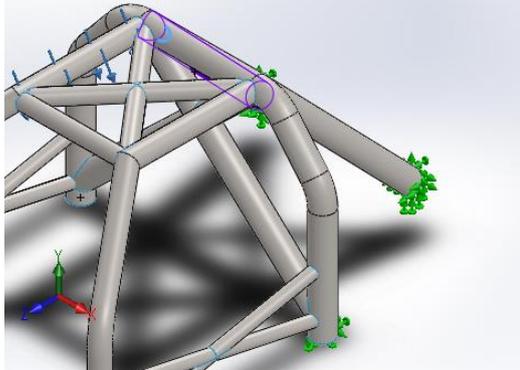
<p>Contacto-1019</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1020</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

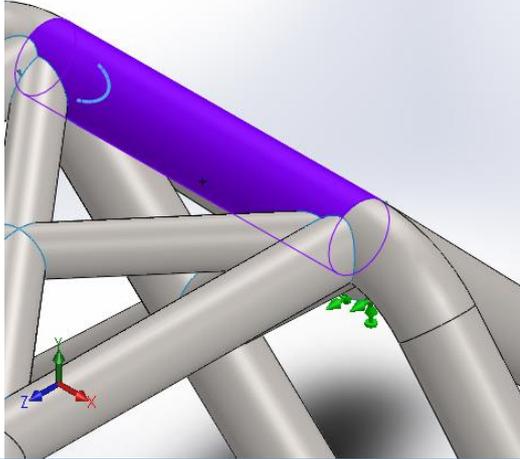
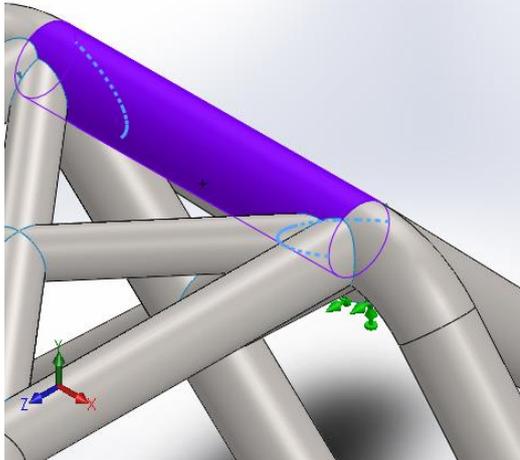
<p>Contacto-1021</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1022</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)</p>

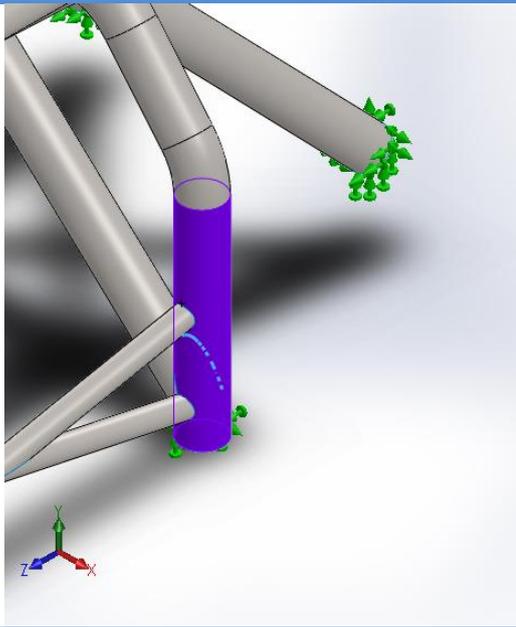
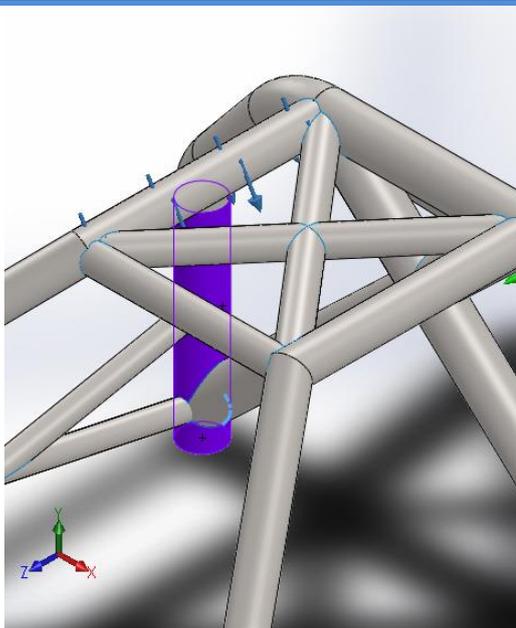
<p>Contacto-1023</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1024</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

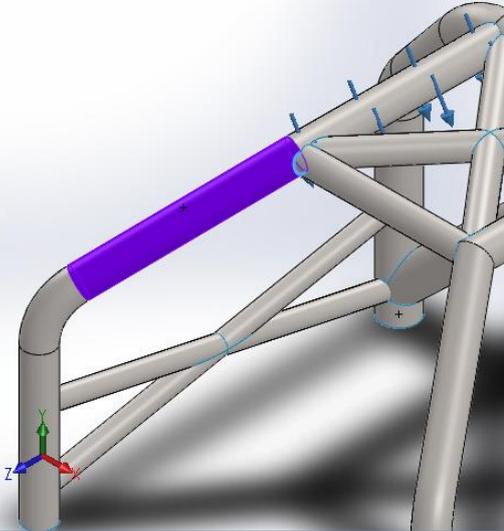
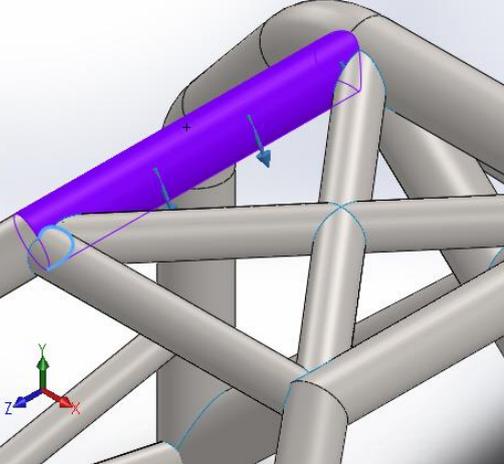
<p>Contacto-1095</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1096</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>

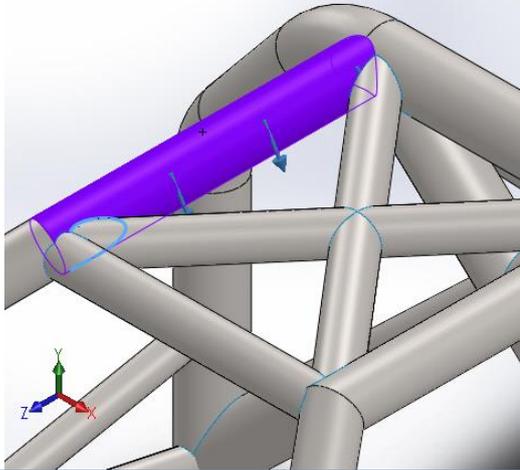
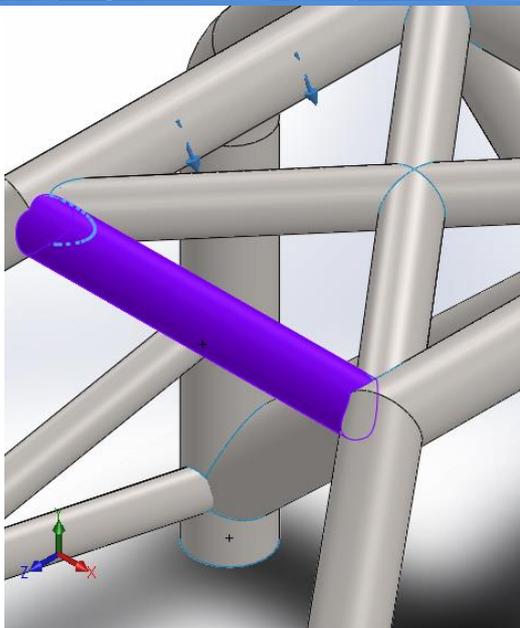
<p>Contacto-1097</p>	 <p>A 3D CAD model of a truss structure. A curved member at the bottom is highlighted in purple. A coordinate system with X, Y, and Z axes is visible in the bottom left corner.</p>	<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1098</p>	 <p>A close-up 3D CAD model of a joint in the truss structure. A purple semi-circular area is highlighted on one of the members, representing a contact pair. A coordinate system with X, Y, and Z axes is visible in the bottom left corner.</p>	<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

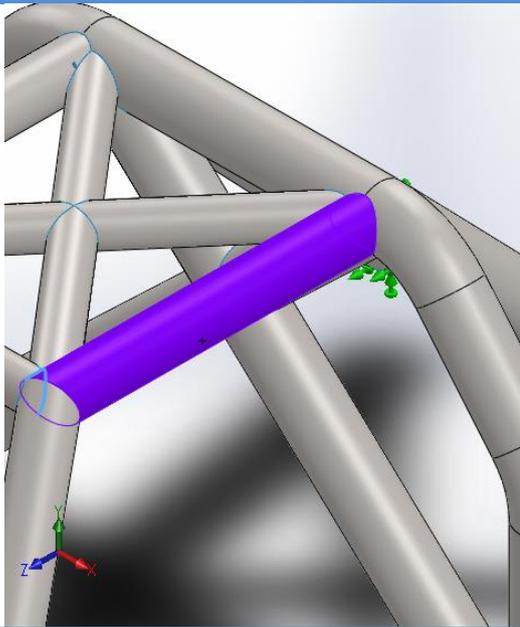
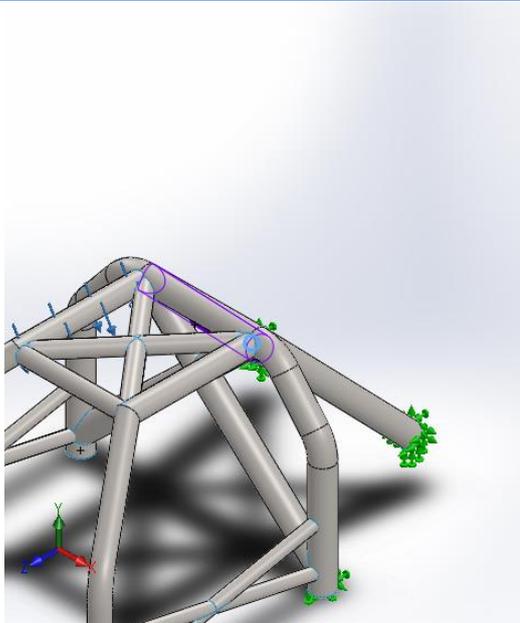
<p>Contacto-1099</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1100</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

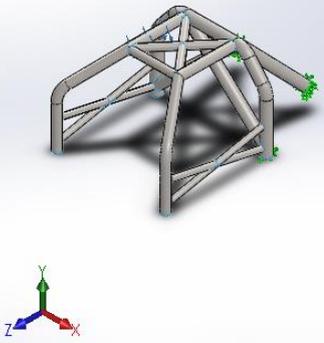
<p>Contacto-1101</p>	 A 3D CAD model of a mechanical assembly consisting of several grey cylindrical shafts. A purple cylindrical contact area is highlighted on one of the shafts. A coordinate system with red, green, and blue axes is visible in the bottom left corner.	<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1103</p>	 A 3D CAD model of a mechanical assembly, identical to the one above. A purple cylindrical contact area is highlighted on one of the shafts. A coordinate system with red, green, and blue axes is visible in the bottom left corner.	<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1173</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1174</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1437</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1717</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1720</p>	 A close-up 3D model of a contact pair. A purple cylinder is positioned against a grey pipe. The contact area is highlighted with green dots. A coordinate system with red, green, and blue axes is visible in the bottom left corner.	<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>	 A 3D model of a truss structure. A contact pair is highlighted with a purple cylinder and green dots. The structure is supported by a base. A coordinate system with red, green, and blue axes is visible in the bottom left corner.	<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto global</p>	 <p>A 3D CAD model of a truss structure, possibly a roof truss, rendered in a light gray color. The structure consists of several interconnected members forming a triangular and rectangular framework. A small green icon, representing a global contact point, is visible on one of the lower members. Below the main model, a small 3D coordinate system is shown with red, green, and blue axes labeled X, Y, and Z respectively.</p>	<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>
------------------------	---	--

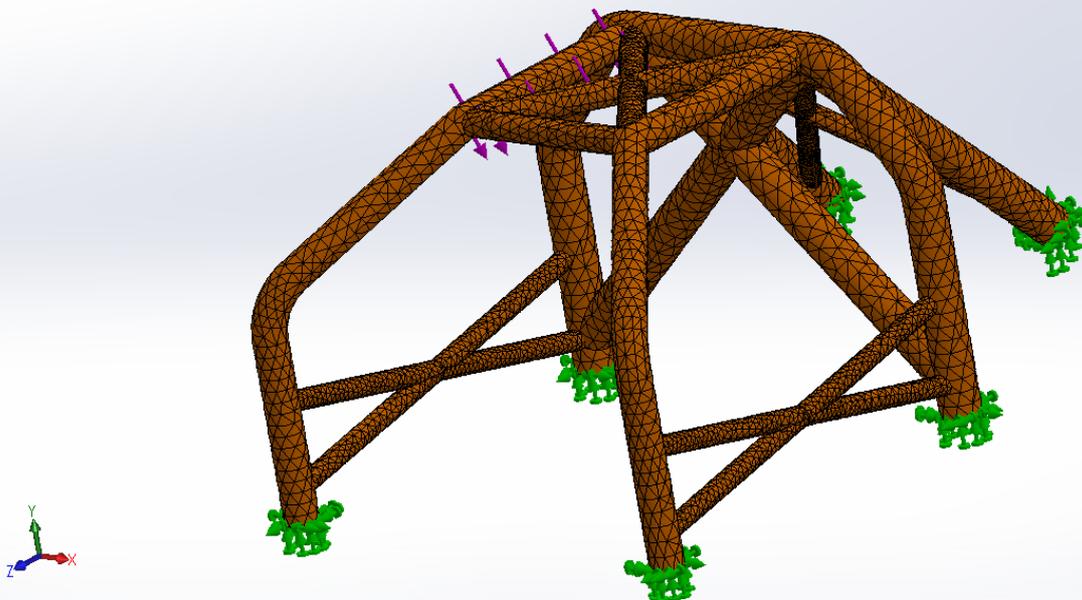
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	4,47005 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,49 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	27341
Número total de elementos	13403
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio: Fuerza puntual(-Predeterminado <Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-12.681,3	27.195,2	2.370,21	30.100

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-64,1305	12,405	18,3849	67,8573

Vigas

No hay datos

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,041 N/mm ² (MPa) Nodo: 21858	66,569 N/mm ² (MPa) Nodo: 20438

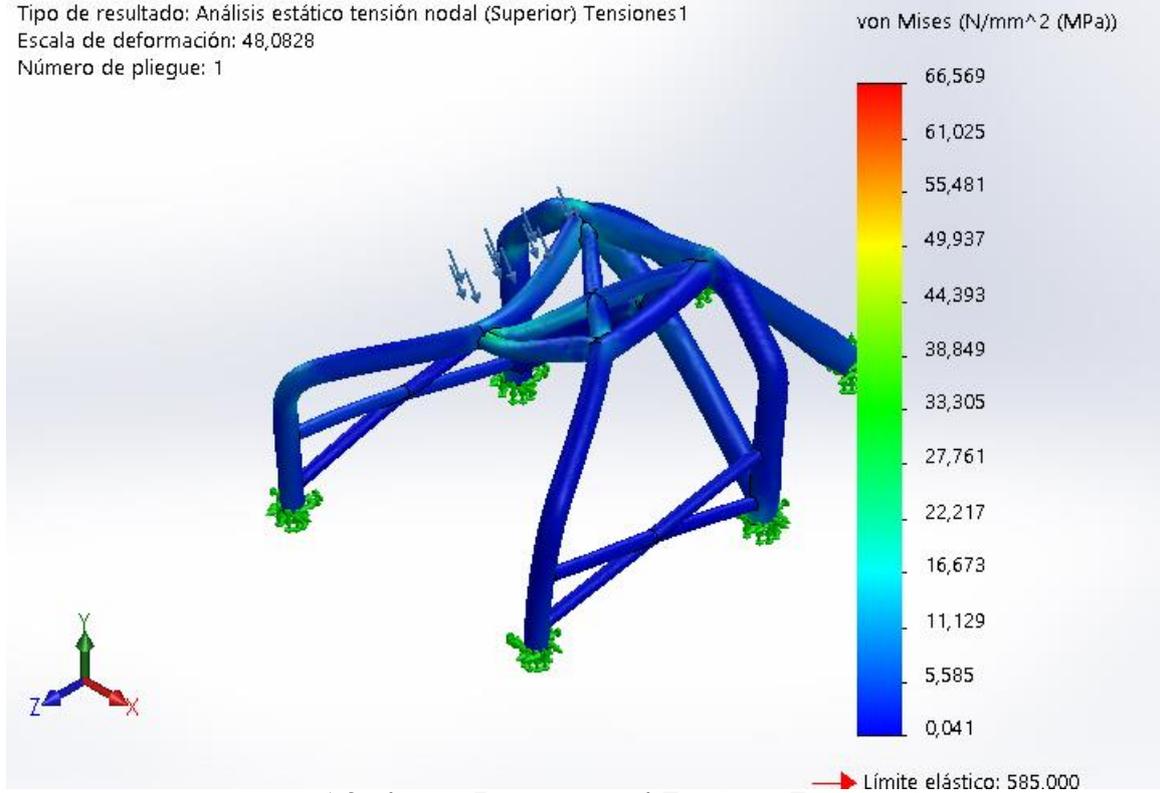
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute

Nombre de estudio: Fuerza puntual (-Predeterminado <Como mecanizada> -)

Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal (Superior) Tensiones1

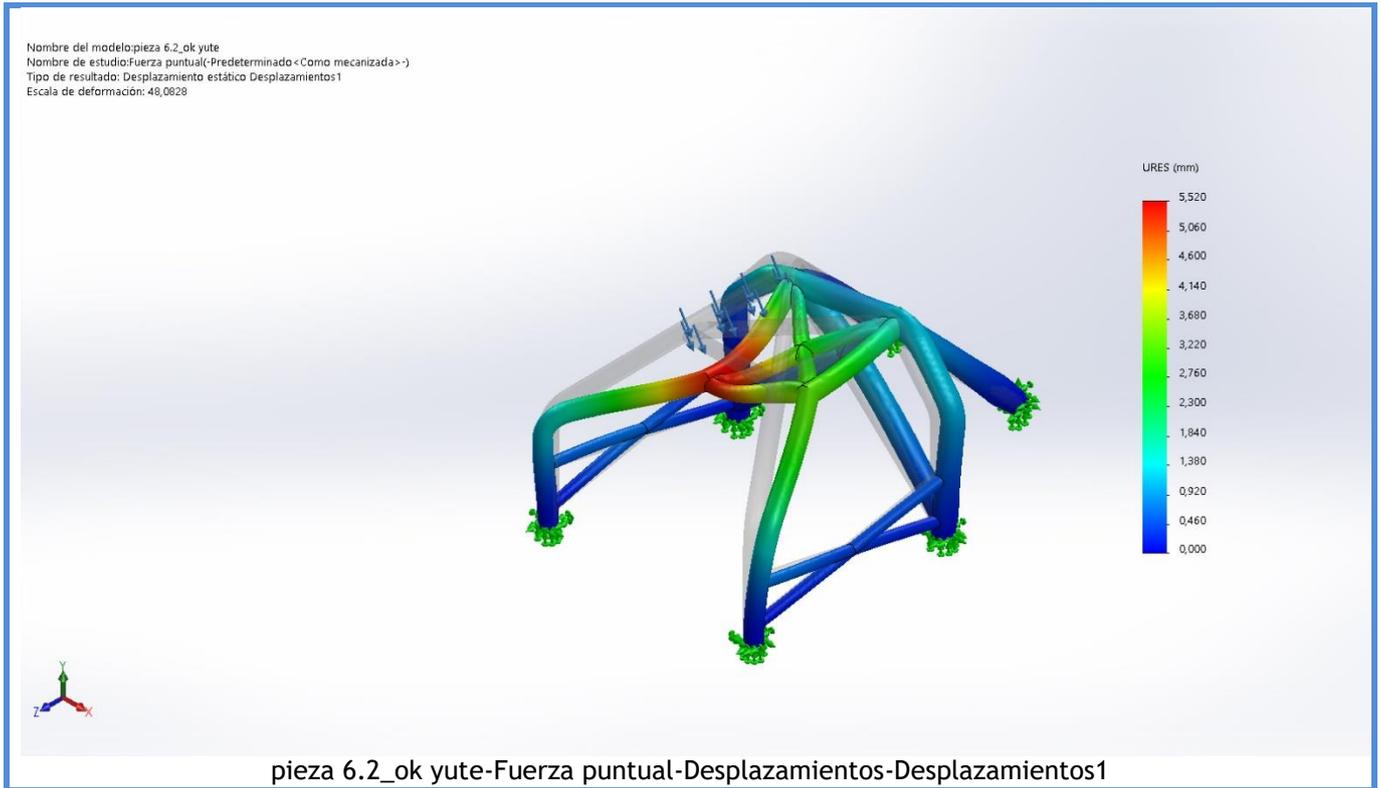
Escala de deformación: 48,0828

Número de pliegue: 1

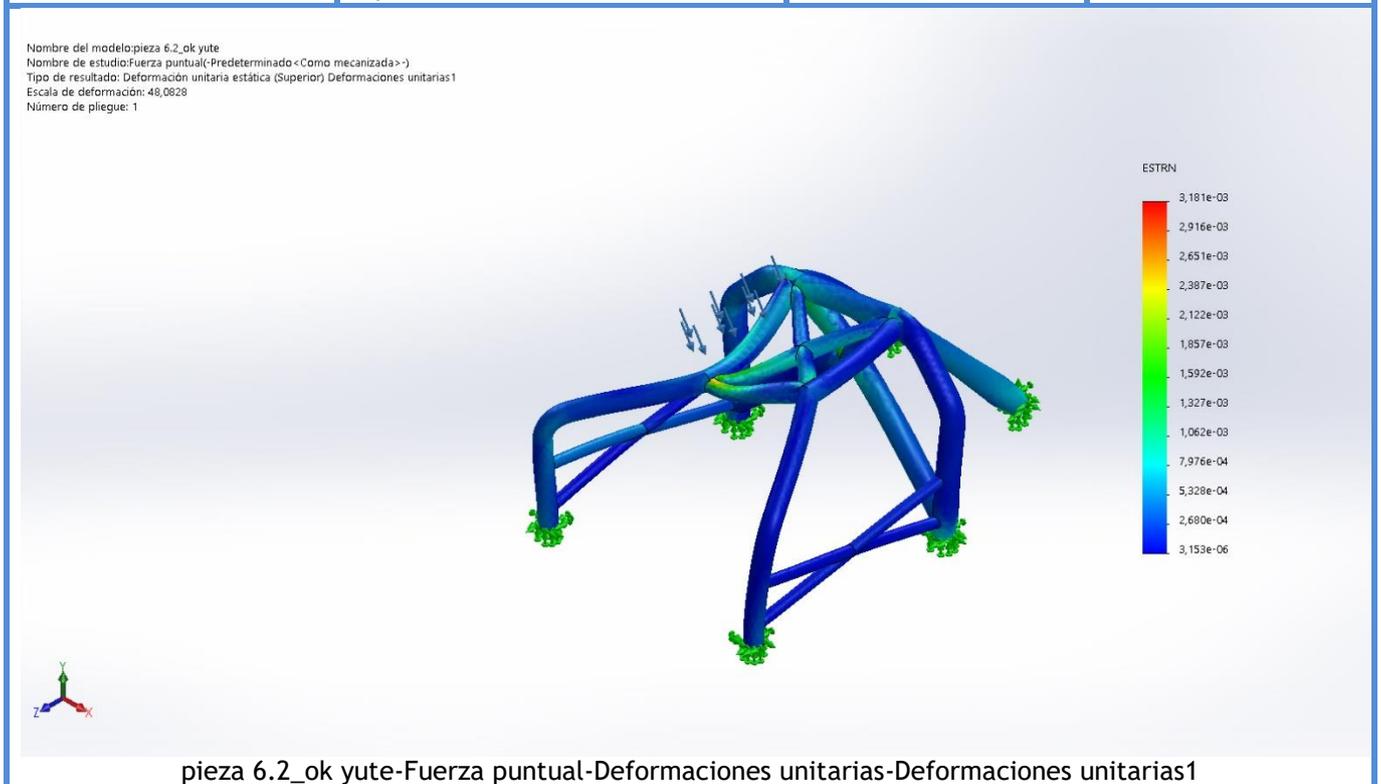


pieza 6.2_ok yute-Fuerza puntual-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 1608	5,520 mm Nodo: 12063

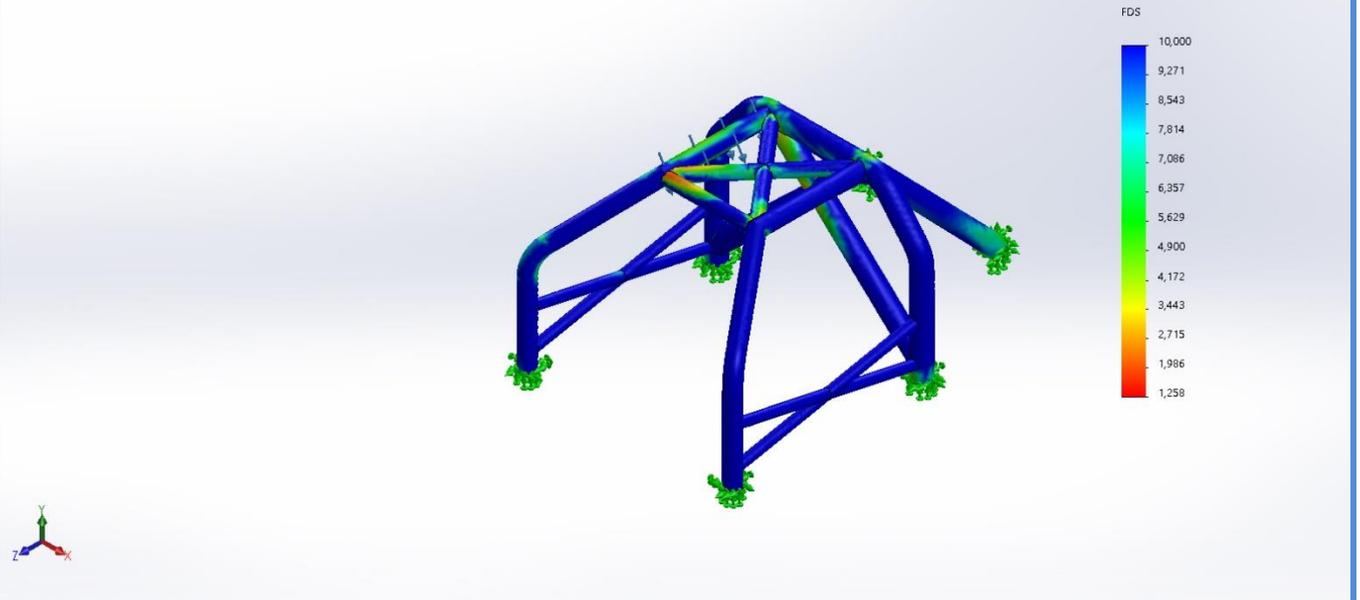


Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,153e-06 Elemento: 10668	3,181e-03 Elemento: 10277



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,258 Nodo: 10668	3.681,557 Nodo: 10277

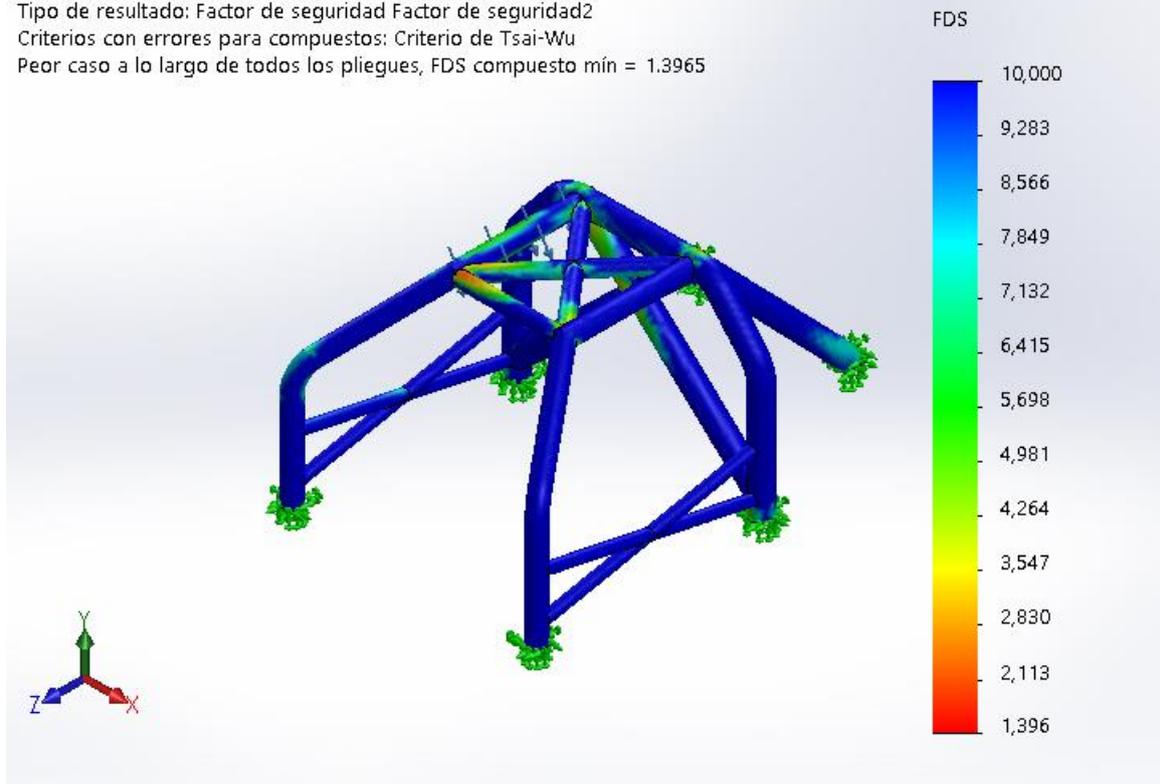
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute
 Nombre de estudio: Fuerza puntual(-Predeterminado < Como mecanizada > -)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
 Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Hill
 Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1,2576



pieza 6.2_ok yute-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,396 Nodo: 10668	3.679,265 Nodo: 10277

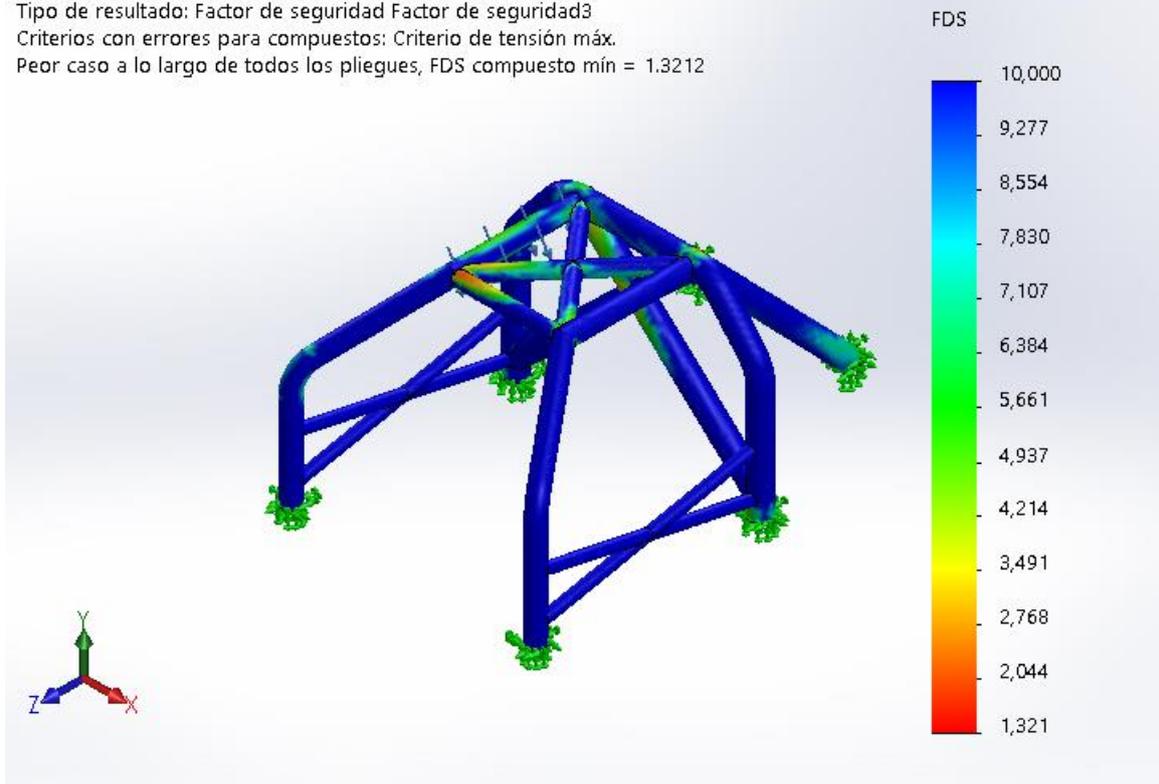
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute
 Nombre de estudio: Fuerza puntual(-Predeterminado <Como mecanizada>-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Wu
 Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.3965



pieza 6.2_ok yute-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,321 Nodo: 10668	4.415,225 Nodo: 10277

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio: Fuerza puntual (-Predeterminado <Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad3
Criterios con errores para compuestos: Criterio de tensión máx.
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.3212



pieza 6.2_ok yute-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad3

Conclusión

6- Simulación estructura de yute fuerza vertical

Diseñador: Javier Carmona Giner
Nombre de estudio: Carga vertical
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	191
Unidades	191
Propiedades de material	192
Cargas y sujeciones.....	194
Definiciones de conector	194
Información de contacto	195
Información de malla	201
Detalles del sensor	201
Fuerzas resultantes.....	202
Resultados del estudio	203
Conclusión	207



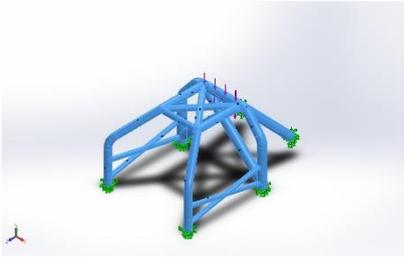
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Carga vertical
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\Yute)

Unidades

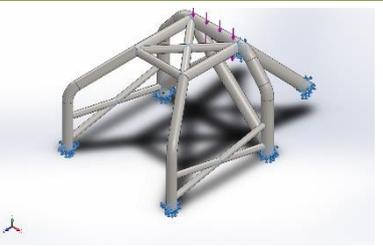
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

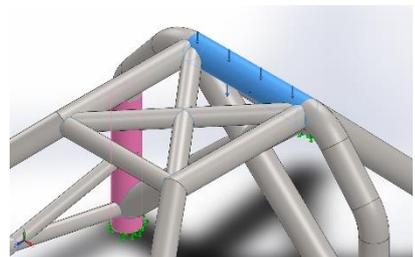
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Fibra de yute con resina epoxi	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal	Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok yute),
	Límite elástico: 5,85e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok yute),
	Límite de tracción en x: 6,5e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Límite de tracción en y: 4,98e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Límite de tracción en z: 6,5e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Límite de compresión en x: 9,33e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Límite de compresión en y: 1,845e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[12])(pieza 6.2_ok yute),
	Módulo de elasticidad en x: 6,8197e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok yute),
	Módulo de elasticidad en y: 6,8197e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok yute),
	Módulo de elasticidad en z: 6,8197e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok yute),
	Coefficiente de Poisson en xy: 0,4	Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok yute),
	Coefficiente de Poisson en yz: 0,4	
	Coefficiente de Poisson en xz: 0,1	
	Densidad: 1.300 kg/m ³	
	Módulo cortante en xy: 5,3821e+09 N/m ²	
	Módulo cortante en yz: 5,3821e+09 N/m ²	
	Módulo cortante en xz: 3,0793e+09 N/m ²	
	Límite cortante: 4,69e+07 N/m ²	

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 24(Superficie- Recortar14[5])(pieza 6.2_ok yute), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[1])(pieza 6.2_ok yute)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

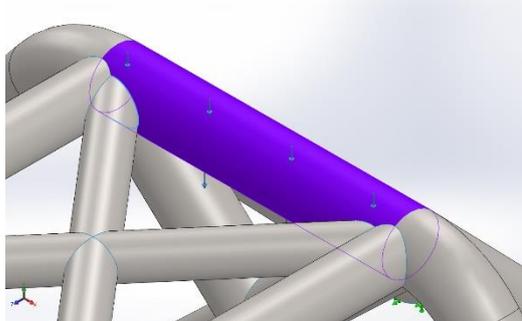
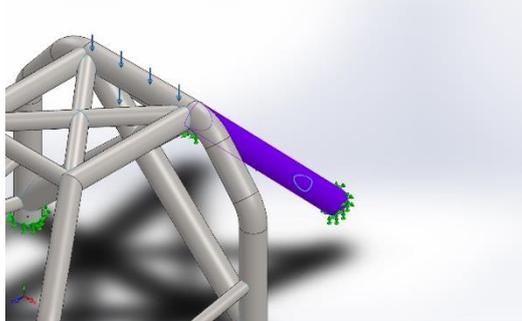
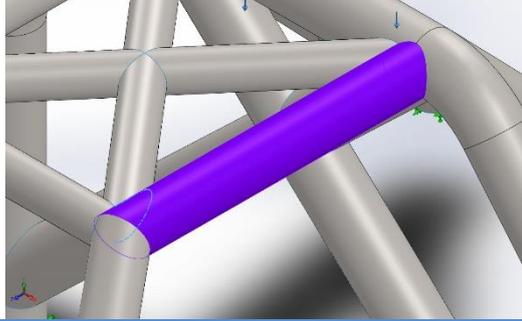
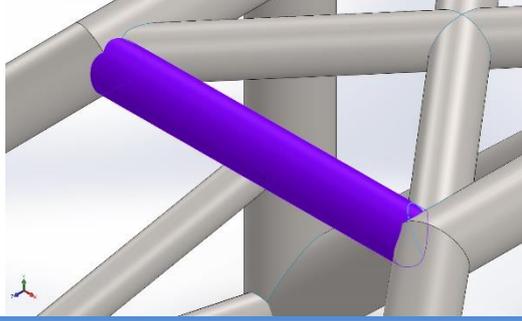
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-7,62939e-05	64.500	0,000183105	64.500
Momento de reacción(N.m)	-89,1784	-1,95476	-1,83174	89,2186

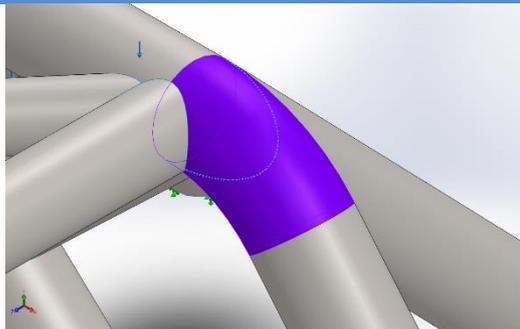
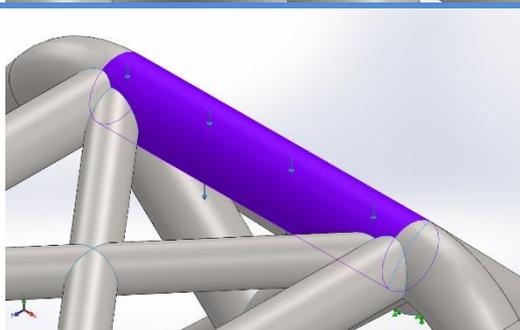
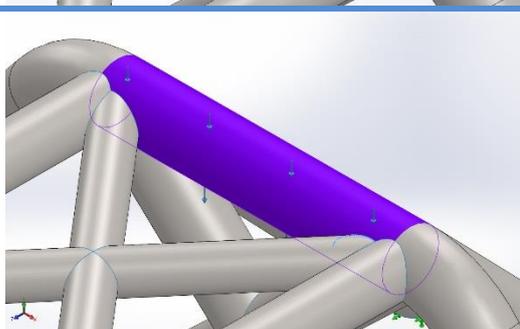
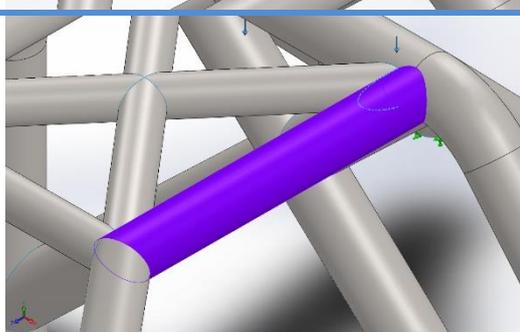
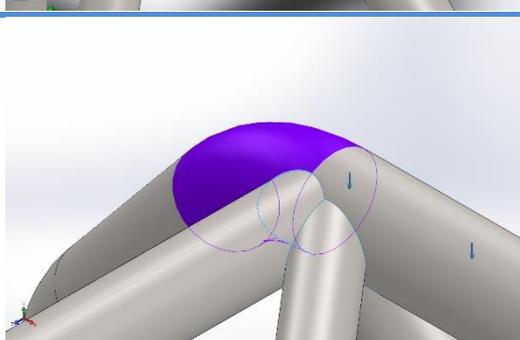
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -64.500 N Momentos: ---; ---; --- N.m

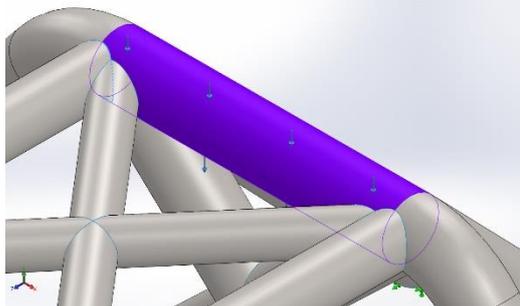
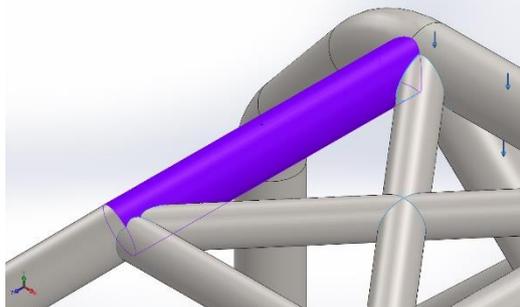
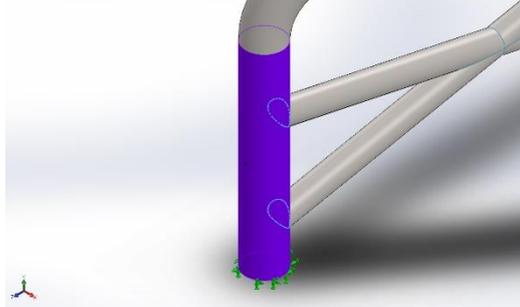
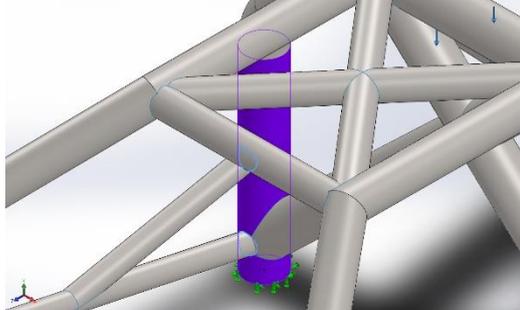
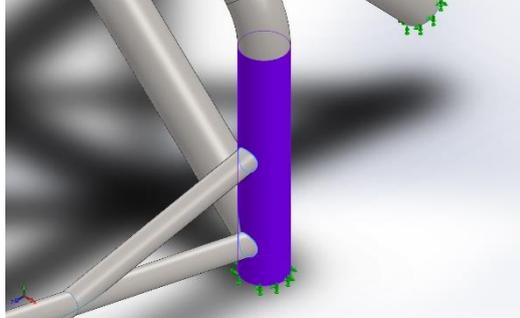
Definiciones de conector

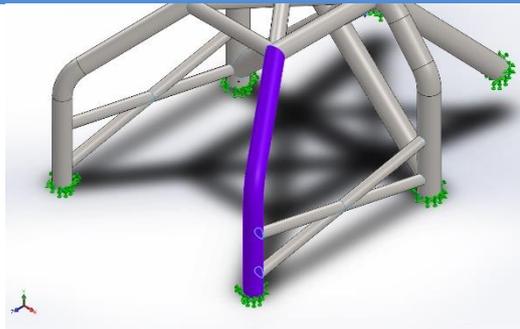
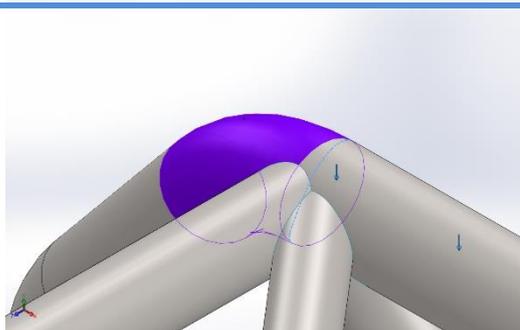
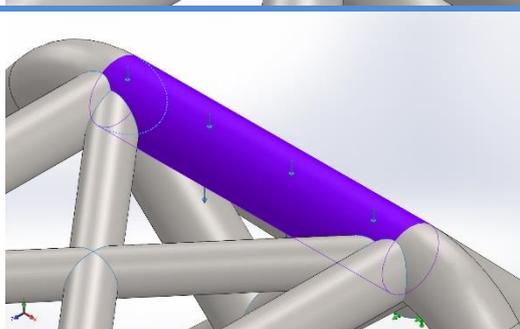
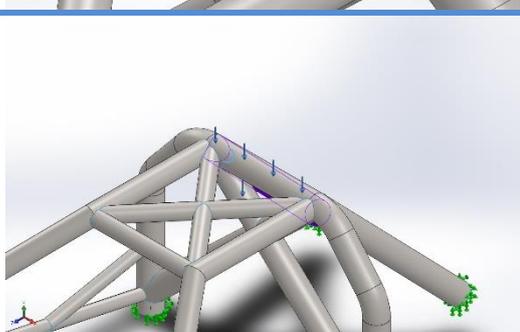
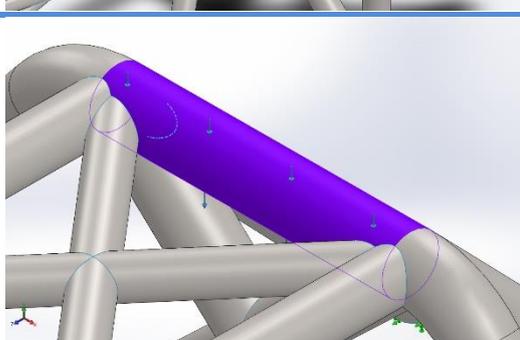
No hay datos

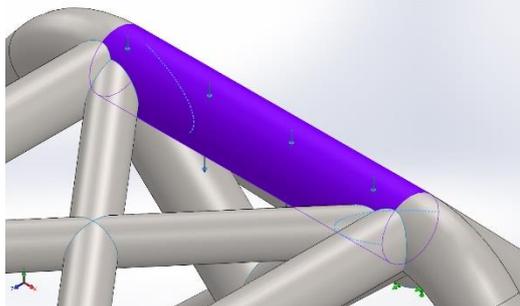
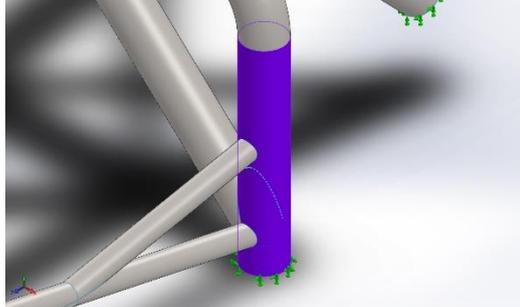
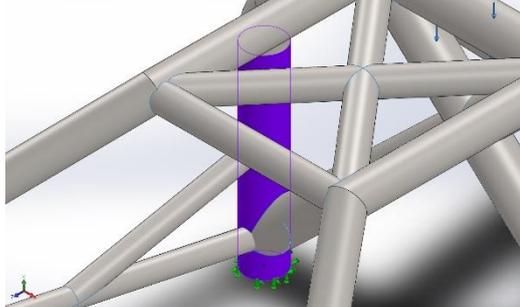
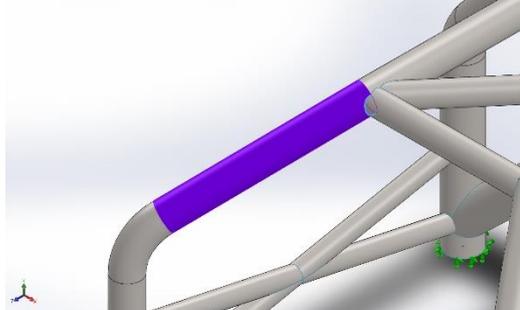
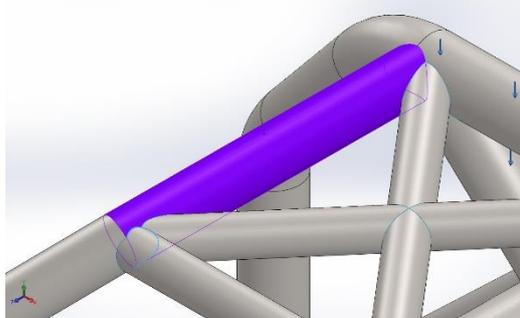
Información de contacto

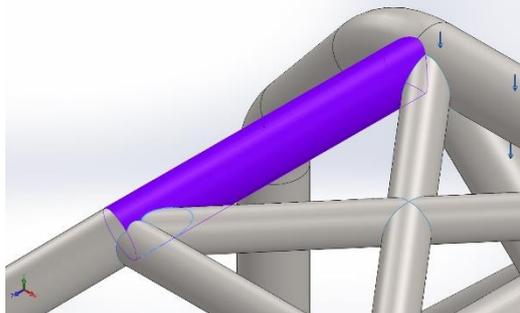
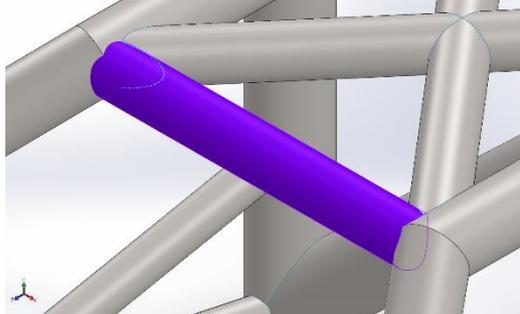
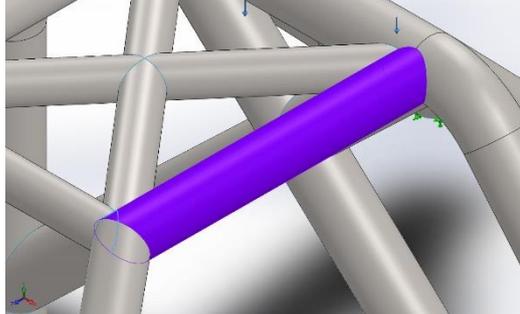
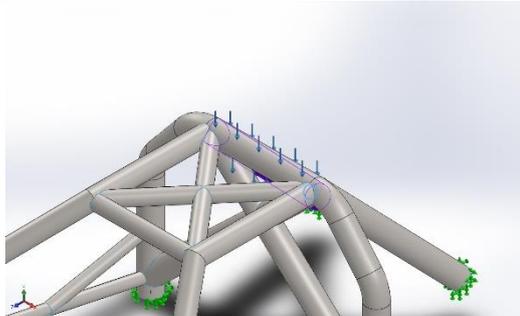
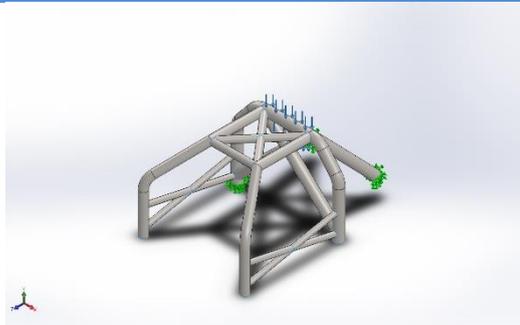
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1022</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1023</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1024</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1095</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1096</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1097</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1098</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1099</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1100</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1101</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	4,47005 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,49 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	27341
Número total de elementos	13403
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:03
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio:Carga vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-7,62939e-05	64.500	0,000183105	64.500

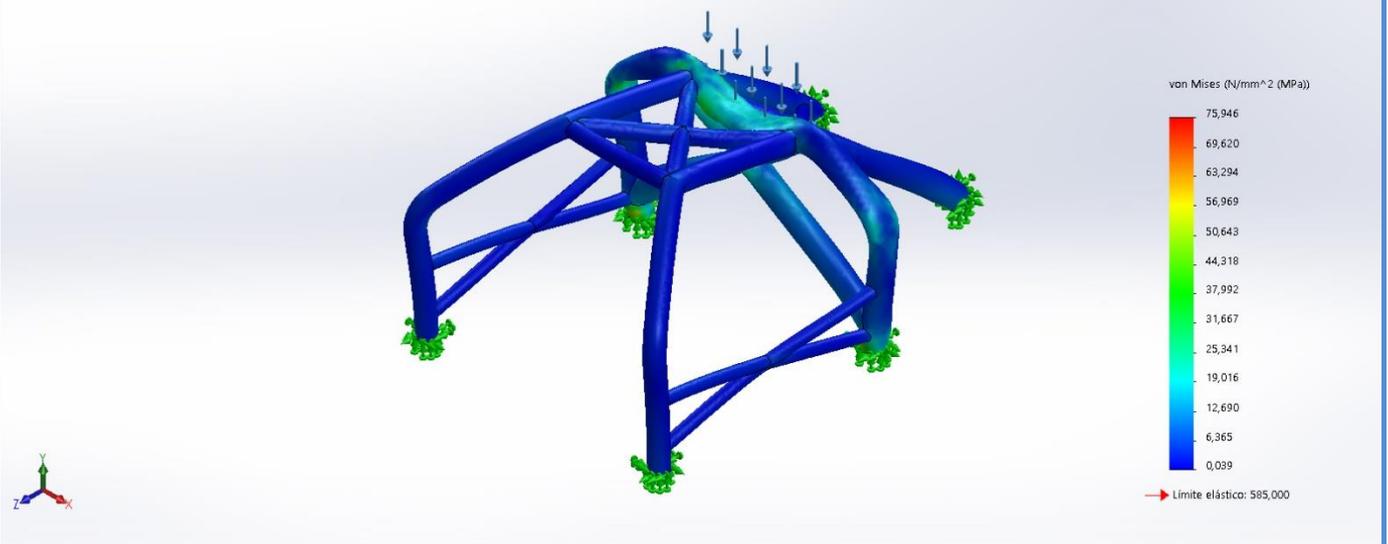
Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-89,1784	-1,95476	-1,83174	89,2186

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,039 N/mm ² (MPa) Nodo: 23290	75,946 N/mm ² (MPa) Nodo: 2051

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio: Carga vertical-(Predeterminado <Como mecanizada>)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal (Superior) Tensiones1
Escala de deformación: 35,2907
Número de pliegue: 1

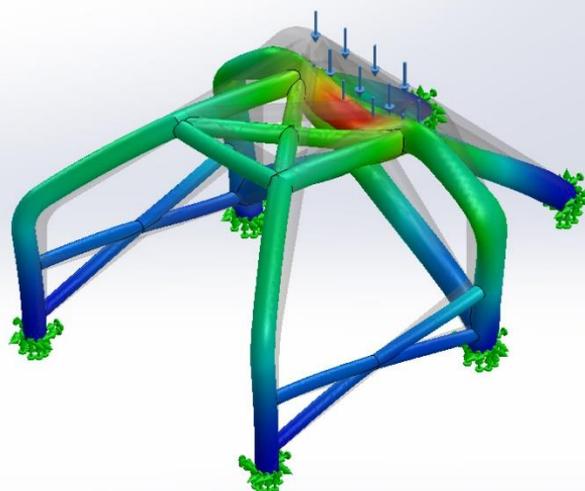
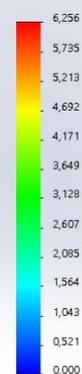


pieza 6.2_ok yute-Carga vertical-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 1608	6,256 mm Nodo: 1945

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio:Carga vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 35,2907

URES (mm)

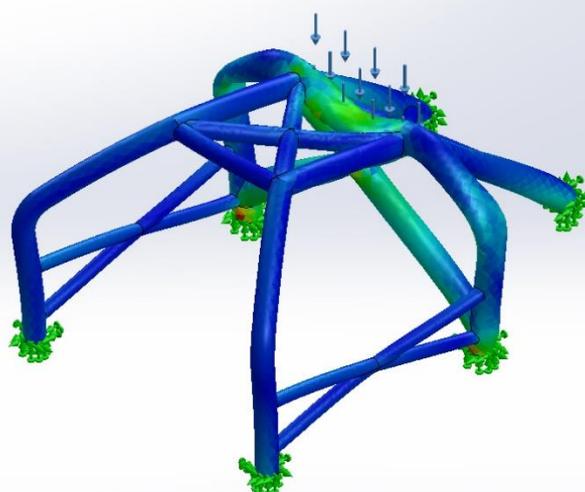
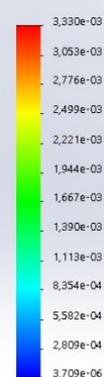


pieza 6.2_ok yute-Carga vertical-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	3,709e-06 Elemento: 11417	3,330e-03 Elemento: 1607

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio:Carga vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 35,2907
Número de pliegue: 1

ESTRN

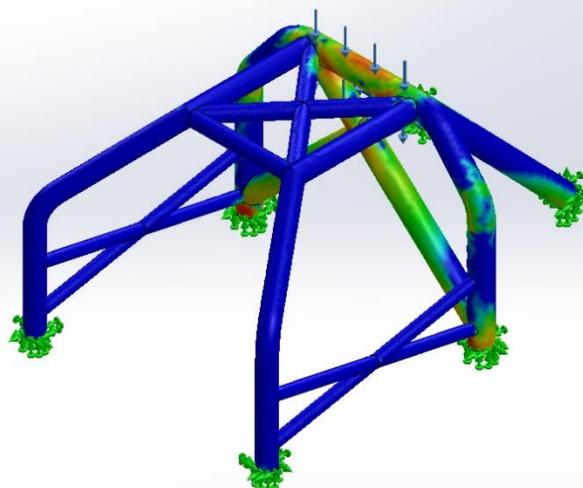
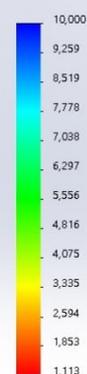


pieza 6.2_ok yute-Carga vertical-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,113 Nodo: 11417	2.681,806 Nodo: 1607

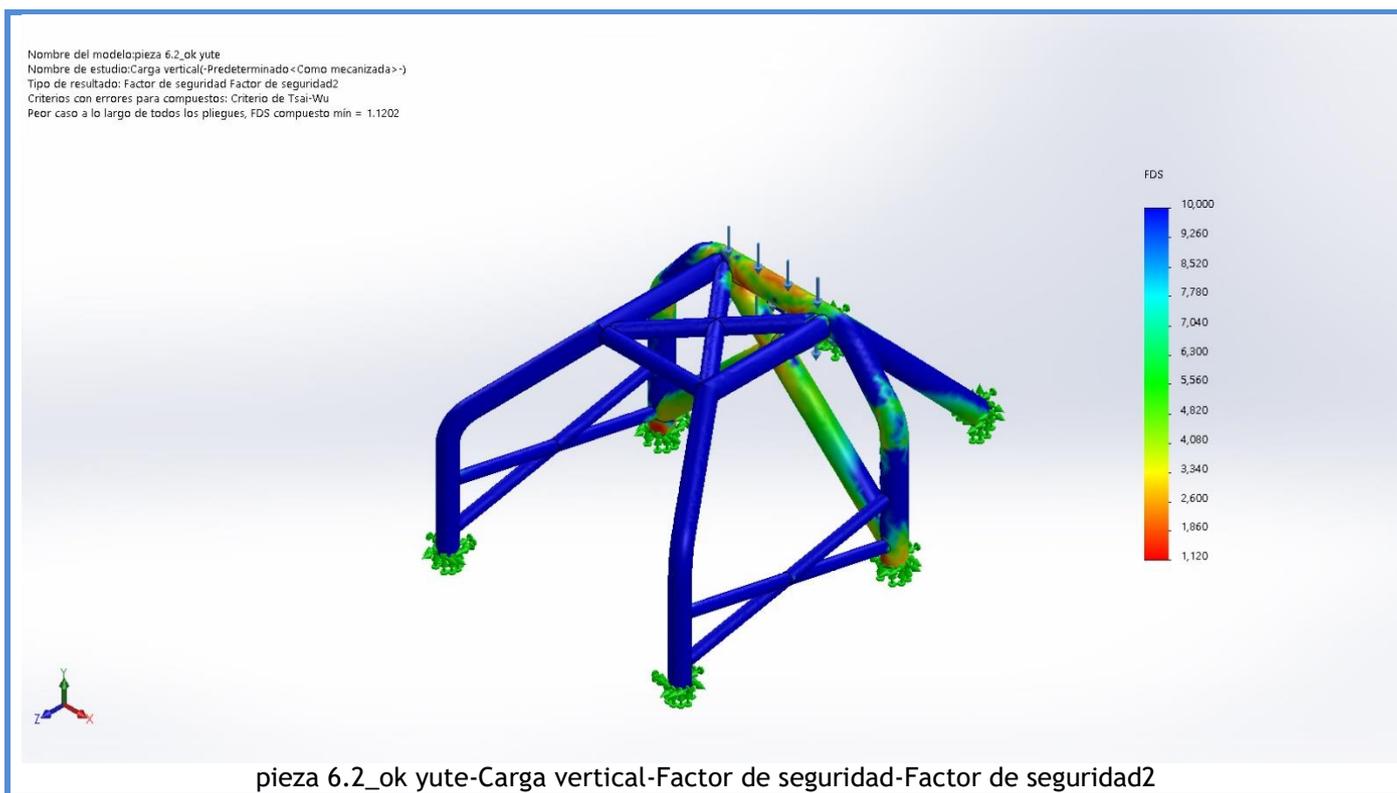
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok yute
Nombre de estudio: Carga vertical-(Predeterminado <Como mecanizada> -)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Hill
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.1128

FDS

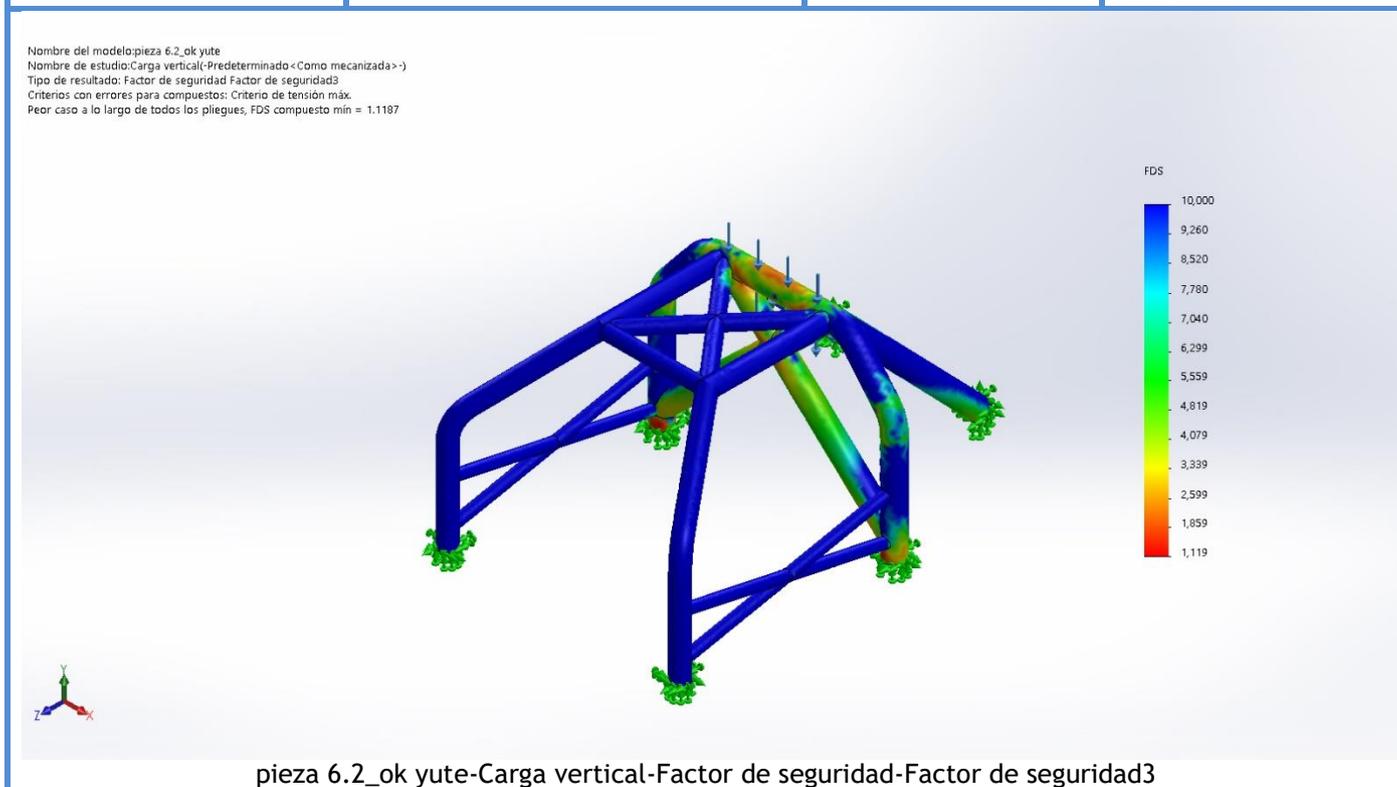


pieza 6.2_ok yute-Carga vertical-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

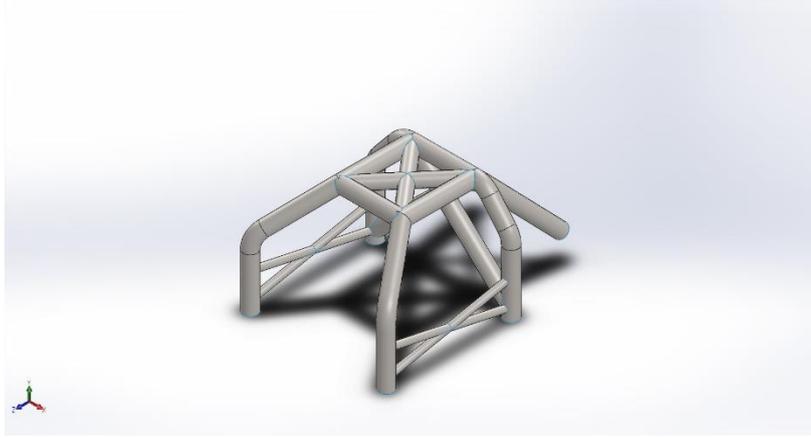
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,120 Nodo: 11417	2.813,538 Nodo: 1607



Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,119 Nodo: 11417	2.703,137 Nodo: 1607



Conclusión



7- Simulación estructura bamboo fuerza lateral

Diseñador: Javier Carmona Giner
Nombre de estudio: Fuerza puntual
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	209
Unidades	209
Propiedades de material	210
Cargas y sujeciones.....	212
Definiciones de conector	212
Información de contacto	213
Información de malla	219
Detalles del sensor	219
Fuerzas resultantes.....	220
Vigas	220
Resultados del estudio.....	221
Conclusión	225

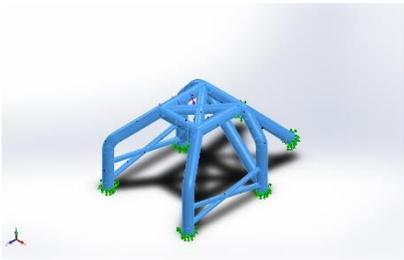
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Fuerza puntual
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\Bambu 2.0)

Unidades

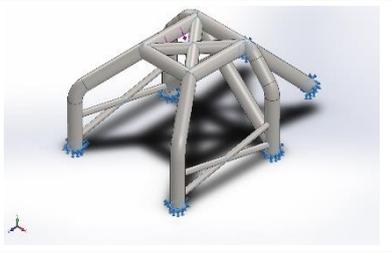
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

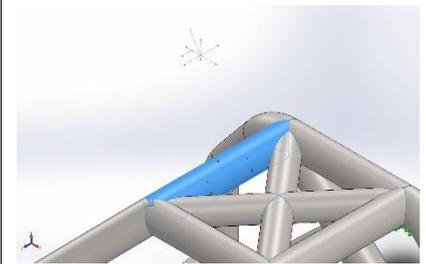
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Fibra de bambú y resina epoxi	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal	Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite elástico: 9,36e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de tracción en x: 1,04e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de tracción en y: 6,14e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de tracción en z: 6,5e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de compresión en x: 1,151e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de compresión en y: 1,4225e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[12])(pieza 6.2_ok bambu),
	Módulo de elasticidad en x: 2,1811e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok bambu),
	Módulo de elasticidad en y: 2,1811e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Módulo de elasticidad en z: 2,1811e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok bambu),
	Coefficiente de Poisson en xy: 0,4	Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok bambu),
	Coefficiente de Poisson en yz: 0,4	
	Coefficiente de Poisson en xz: 0,9	
	Densidad: 1.600 kg/m ³	
	Módulo cortante en xy: 3,189e+08 N/m ²	
	Módulo cortante en yz: 3,189e+08 N/m ²	
	Módulo cortante en xz: 3,189e+08 N/m ²	
	Límite cortante: 5,46e+07 N/m ²	

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[1])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 29(Superficie- Recortar14[5])(pieza 6.2_ok bambu)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

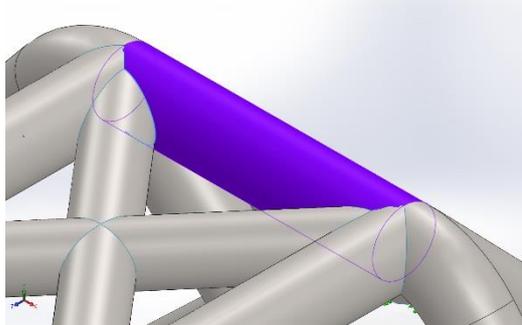
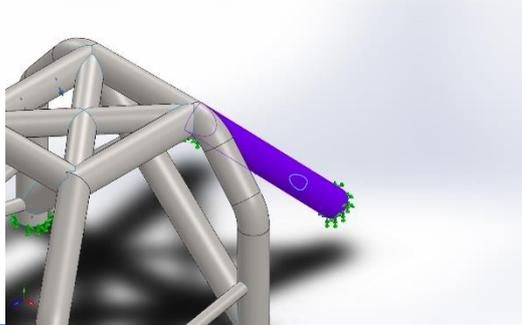
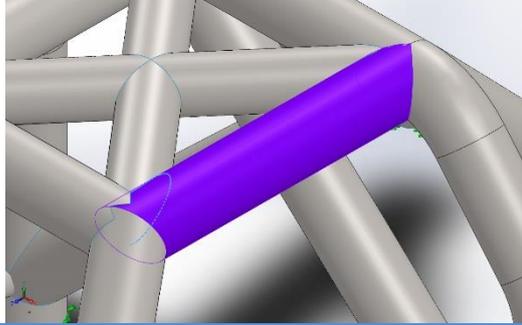
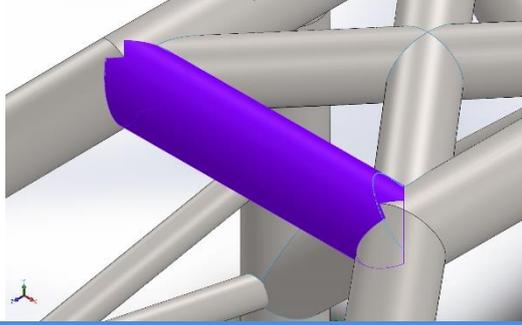
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	-12.681,3	27.195,2	2.370,21	30.100
Momento de reacción(N.m)	-10,7347	-1,3536	38,6937	40,1779

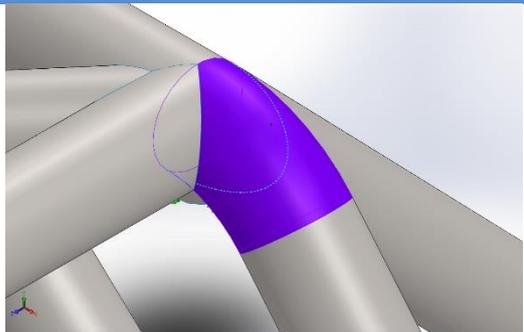
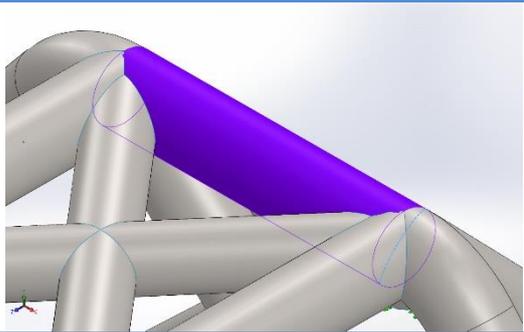
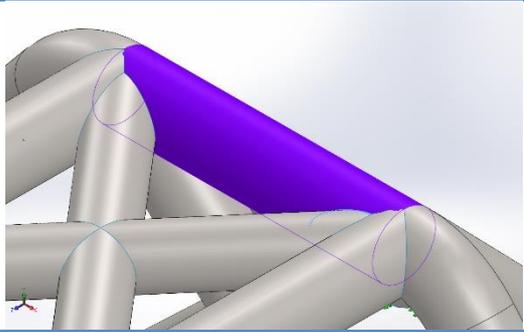
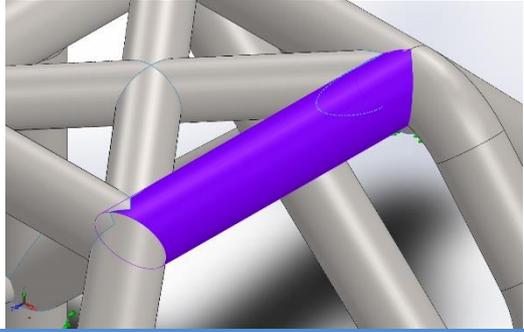
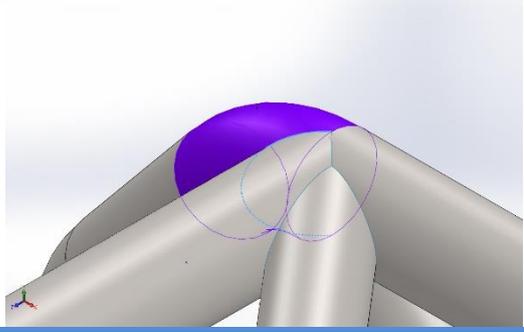
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		Entidades: 1 cara(s) Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -30.100 N Momentos: ---; ---; --- N.m

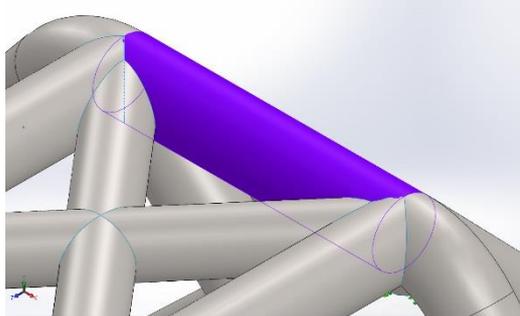
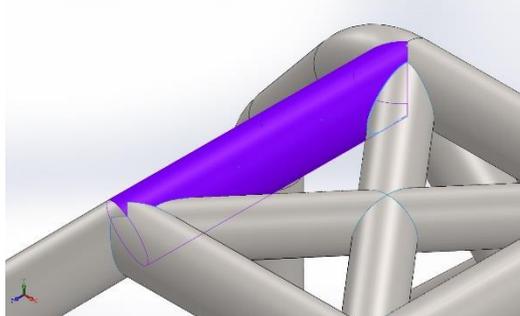
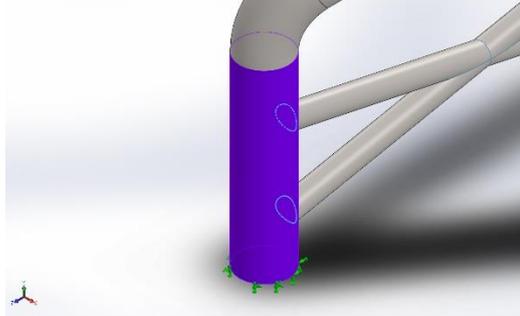
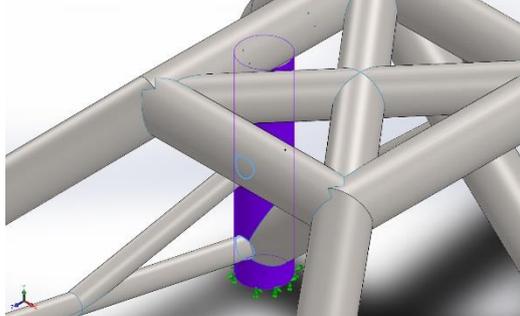
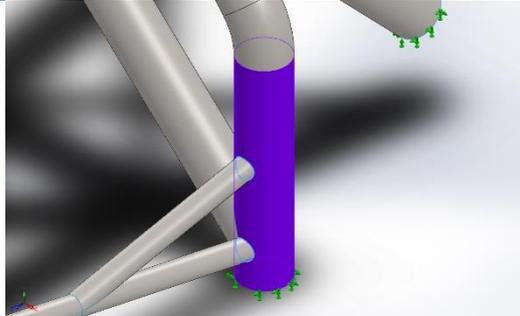
Definiciones de conector

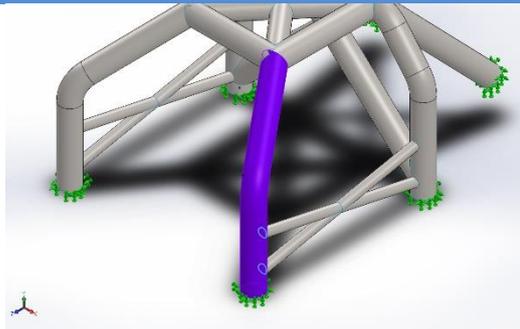
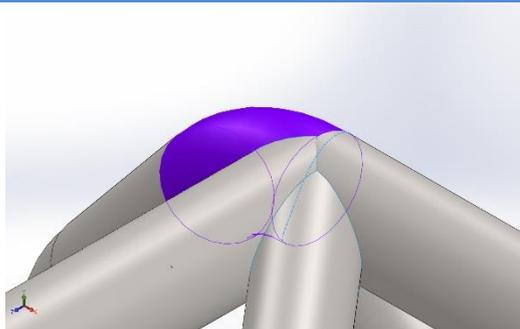
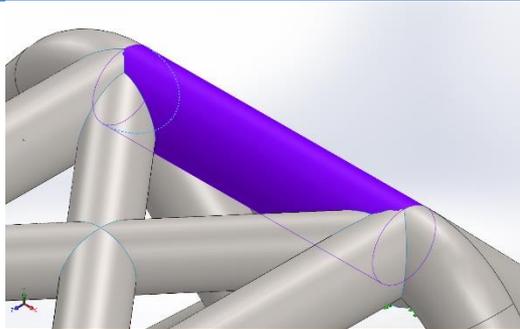
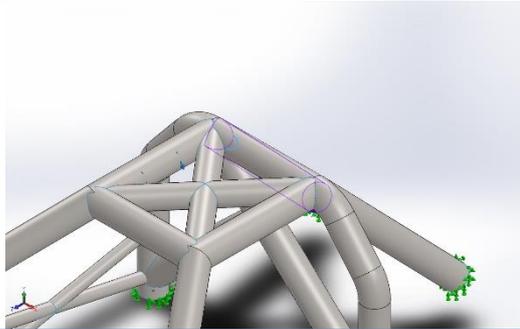
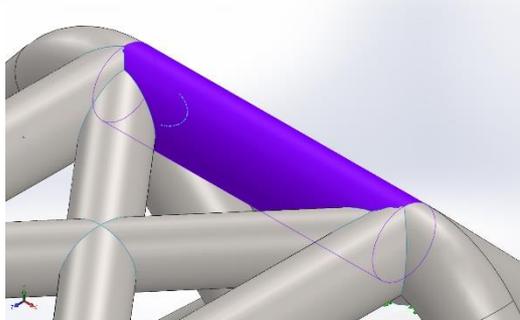
No hay datos

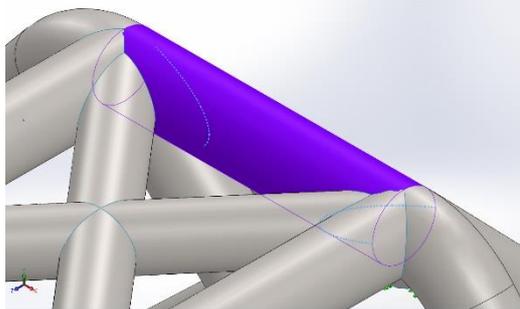
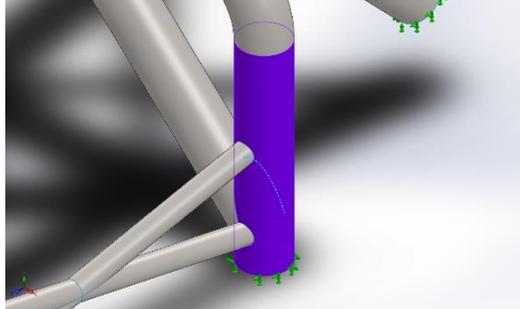
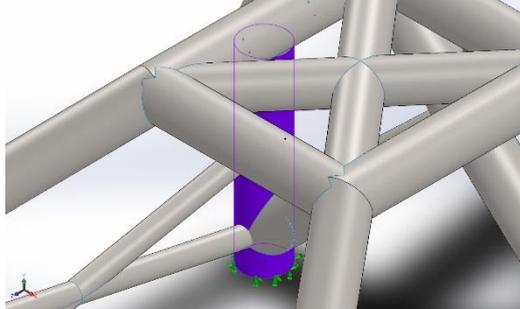
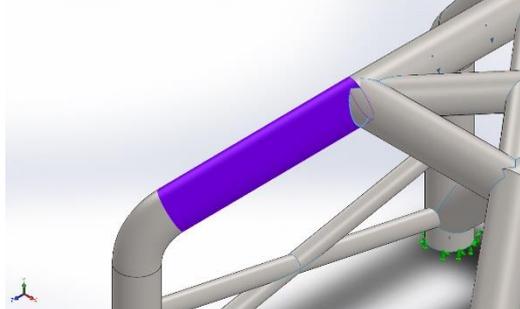
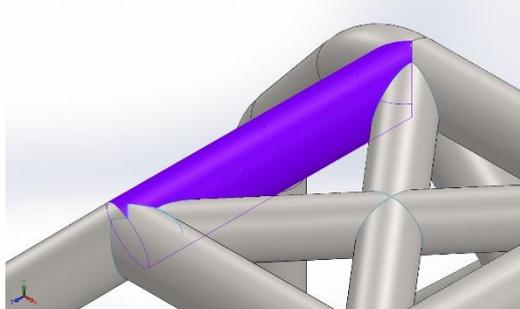
Información de contacto

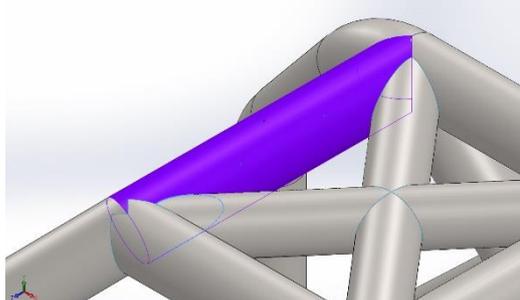
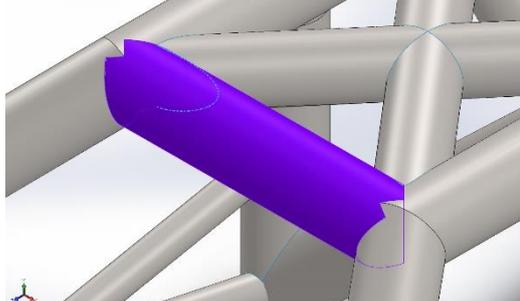
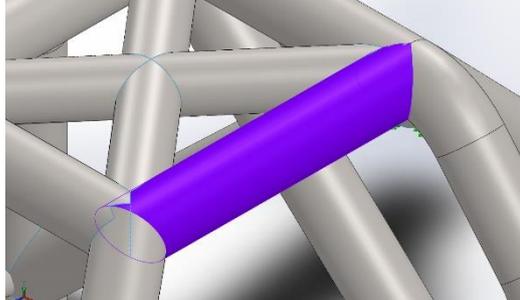
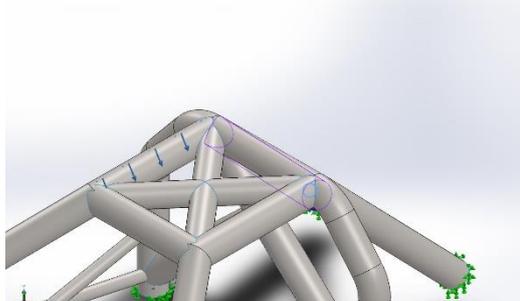
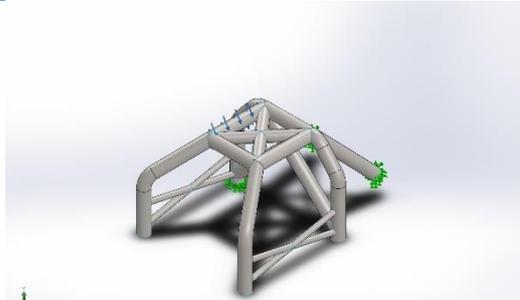
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1022</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1023</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1024</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1095</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1096</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>

<p>Contacto-1097</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1098</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1099</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1100</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1101</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

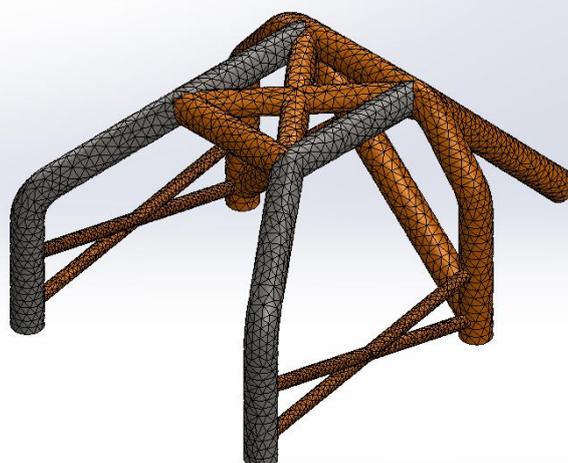
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	4,47005 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,49 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	27412
Número total de elementos	13432
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo: pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio: Fuerza puntual(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	-12.681,3	27.195,2	2.370,21	30.100

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-10,7347	-1,3536	38,6937	40,1779

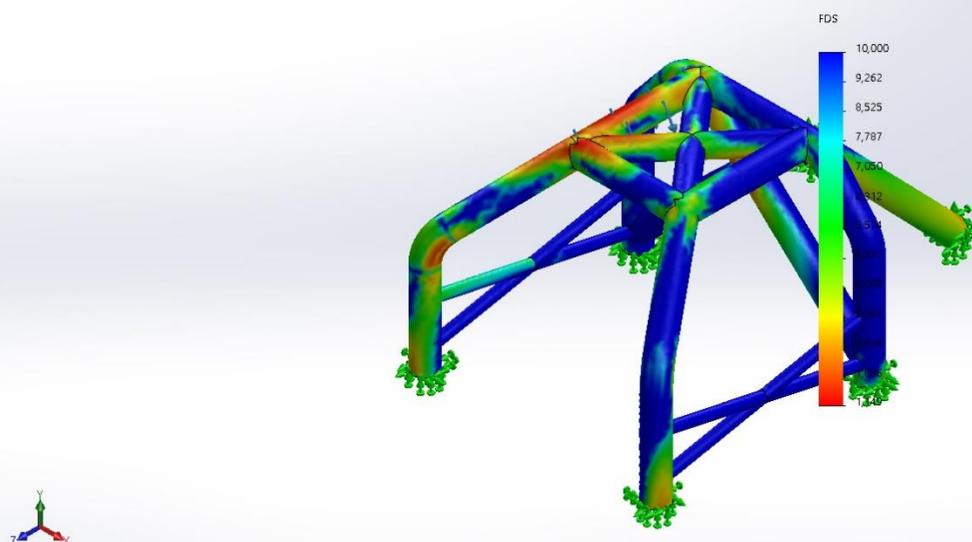
Vigas

No hay datos

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,149 Nodo: 1	1.361,826 Nodo: 0

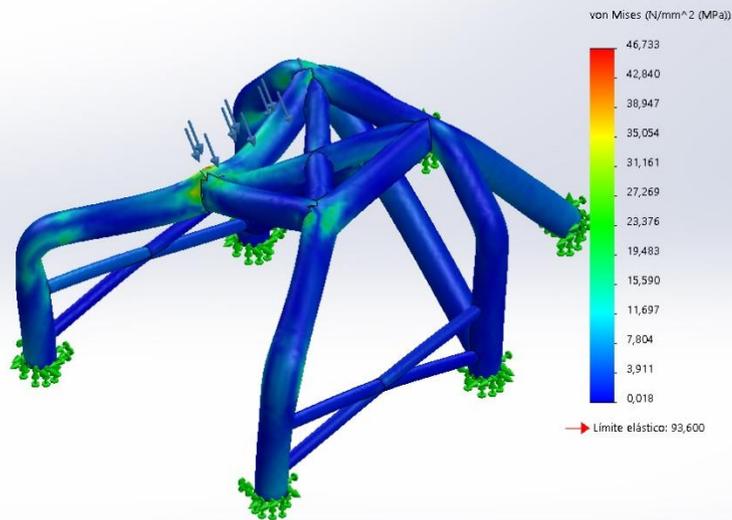
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza puntual(Predefinido<Como mecanizada>)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Hill
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto min = 1.1488



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,018 N/mm ² (MPa) Nodo: 23139	46,733 N/mm ² (MPa) Nodo: 11023

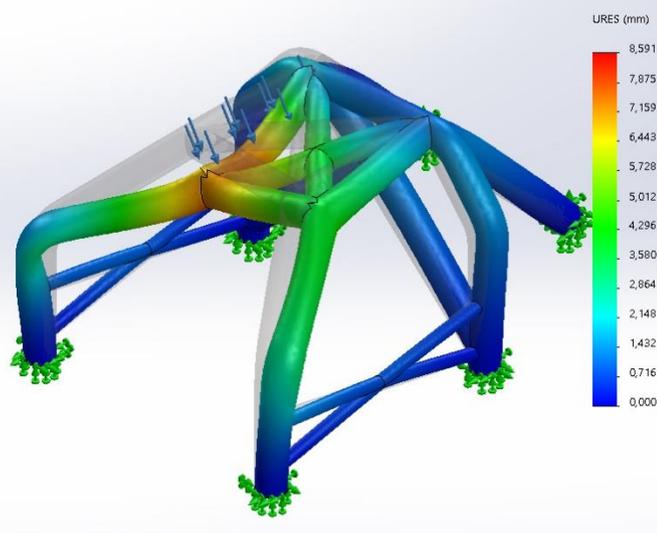
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza puntual(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal (Superior) Tensiones1
Escala de deformación: 28,1634
Número de pliegue: 1



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza puntual-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 1385	8,591 mm Nodo: 10898

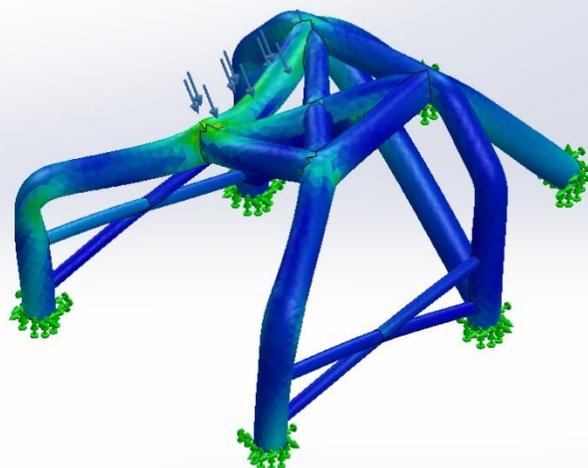
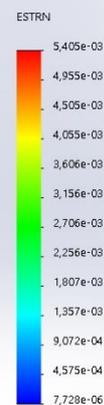
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza puntual(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 28,1634



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza puntual-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	7,728e-06 Elemento: 3793	5,405e-03 Elemento: 7194

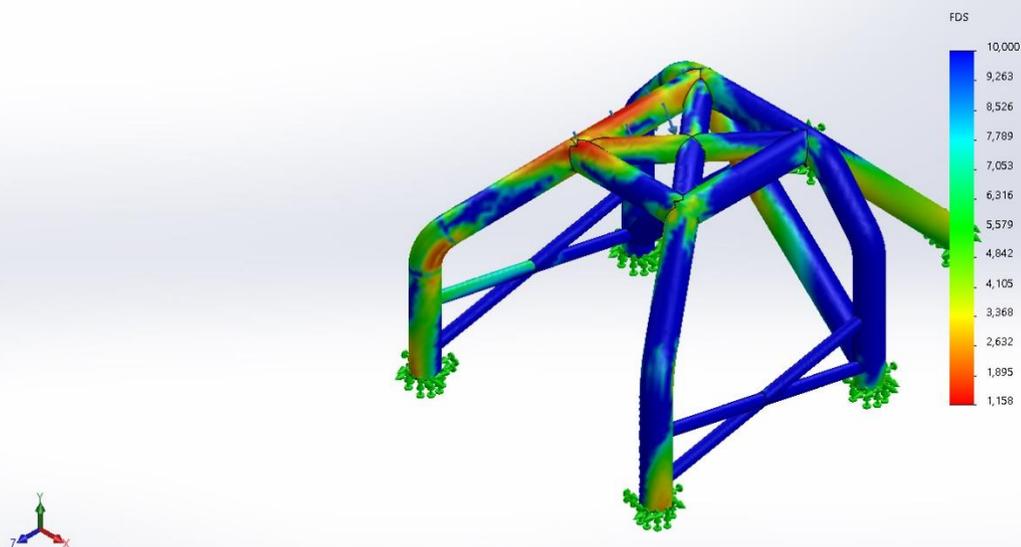
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio: Fuerza puntual(Predeterminado < Como mecanizada >)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 28,1634
Número de pliegue: 1



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza puntual-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,158 Nodo: 3793	1.362,398 Nodo: 7194

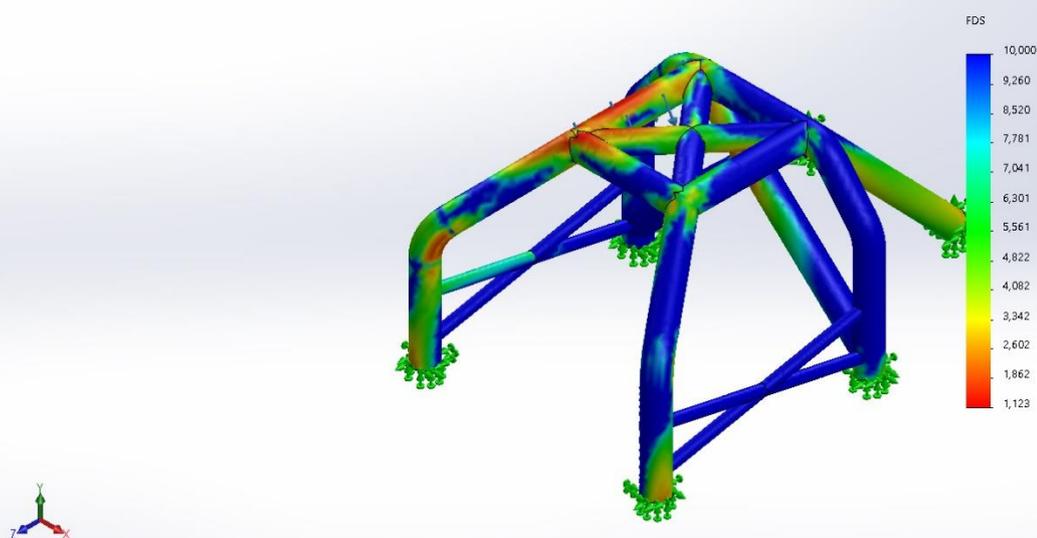
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza puntual-(Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Mu
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.1579



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad2

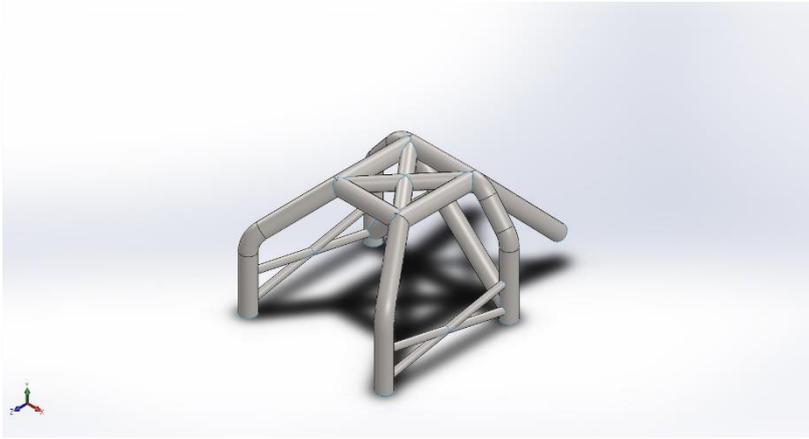
Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,123 Nodo: 3793	1.371,253 Nodo: 7194

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza puntual-(Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad3
Criterios con errores para compuestos: Criterio de tensión máx.
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.1227



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza puntual-Factor de seguridad-Factor de seguridad3

Conclusión



8- Simulación estructura bamboo fuerza vertical

Diseñador: Javier Carmona
Nombre de estudio: Fuerza Vertical
Tipo de análisis: Análisis estático

Tabla de contenidos

Propiedades de estudio.....	227
Unidades	227
Propiedades de material	228
Cargas y sujeciones.....	230
Definiciones de conector	230
Información de contacto	231
Información de malla	237
Detalles del sensor	237
Fuerzas resultantes.....	238
Vigas	238
Resultados del estudio.....	239
Conclusión	243

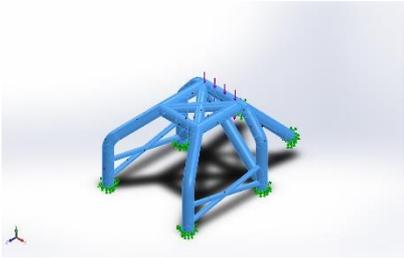
Propiedades de estudio

Nombre de estudio	Fuerza Vertical
Tipo de análisis	Análisis estático
Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Efecto térmico:	Activar
Opción térmica	Incluir cargas térmicas
Temperatura a tensión cero	298 Kelvin
Incluir los efectos de la presión de fluidos desde SOLIDWORKS Flow Simulation	Desactivar
Tipo de solver	FFEPlus
Efecto de rigidización por tensión (Inplane):	Desactivar
Muelle blando:	Desactivar
Desahogo inercial:	Desactivar
Opciones de unión rígida incompatibles	Automático
Gran desplazamiento	Desactivar
Calcular fuerzas de cuerpo libre	Activar
Fricción	Desactivar
Utilizar método adaptativo:	Desactivar
Carpeta de resultados	Documento de SOLIDWORKS (C:\Users\Usuario\Documents\Personal\Estudios\Universidad\TFG\5 - definitivos\Bambu 2.0)

Unidades

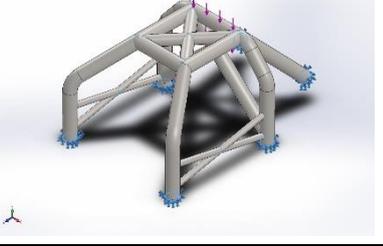
Sistema de unidades:	Métrico (MKS)
Longitud/Desplazamiento	mm
Temperatura	Kelvin
Velocidad angular	Rad/seg
Presión/Tensión	N/m ²

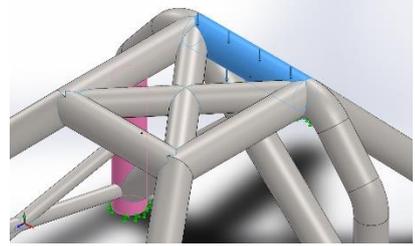
Propiedades de material

Referencia de modelo	Propiedades	Componentes
	Nombre: Fibra de bambú y resina epoxi	Conjuntodesuperficies 1(Superficie-Recortar22[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Tipo de modelo: Ortotrópico elástico lineal	Conjuntodesuperficies 2(Superficie-Recortar23[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Criterio de error predeterminado: Tensión de von Mises máx.	Conjuntodesuperficies 3(Superficie-Barrer3)(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite elástico: 9,36e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 4(Superficie-Recortar17[2])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de tracción en x: 1,04e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 5(Superficie-Recortar18[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de tracción en y: 6,14e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 6(Superficie-Recortar20[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de tracción en z: 6,5e+07 N/m ²	Conjuntodesuperficies 7(Superficie-Recortar21[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de compresión en x: 1,151e+08 N/m ²	Conjuntodesuperficies 8(Superficie-Recortar24[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Límite de compresión en y: 1,4225e+10 N/m ²	Conjuntodesuperficies 9(Superficie-Recortar14[12])(pieza 6.2_ok bambu),
	Módulo de elasticidad en x: 2,1811e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 10(Superficie-Recortar18[2])(pieza 6.2_ok bambu),
	Módulo de elasticidad en y: 2,1811e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 11(Superficie-Recortar19[1])(pieza 6.2_ok bambu),
	Módulo de elasticidad en z: 2,1811e+09 N/m ²	Conjuntodesuperficies 12(Superficie-Recortar24[2])(pieza 6.2_ok bambu),
	Coficiente de Poisson en xy: 0,4	Conjuntodesuperficies 13(Superficie-Recortar14[4])(pieza 6.2_ok bambu),
	Coficiente de Poisson en yz: 0,4	
	Coficiente de Poisson en xz: 0,9	
	Densidad: 1.600 kg/m ³	
	Módulo cortante en xy: 3,189e+08 N/m ²	
	Módulo cortante en yz: 3,189e+08 N/m ²	
	Módulo cortante en xz: 3,189e+08 N/m ²	
	Límite cortante: 5,46e+07 N/m ²	

		Conjuntodesuperficies 15(Superficie- Recortar22[2])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 16(Superficie- Recortar14[11])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 17(Superficie- Recortar22[3])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 19(Superficie- Recortar17[1])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 20(Superficie- Recortar21[2])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 21(Superficie- Recortar16[1])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 25(Superficie- Recortar14[1])(pieza 6.2_ok bambu), Conjuntodesuperficies 29(Superficie- Recortar14[5])(pieza 6.2_ok bambu)
Datos de curva:N/A		

Cargas y sujeciones

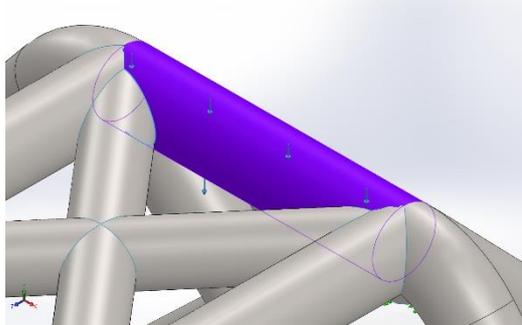
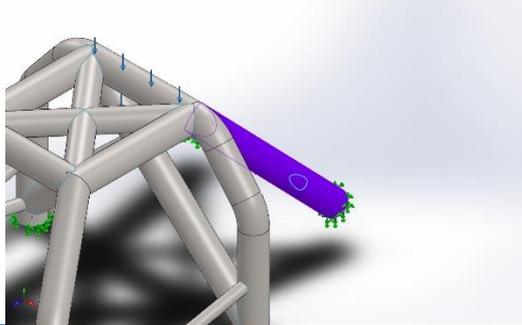
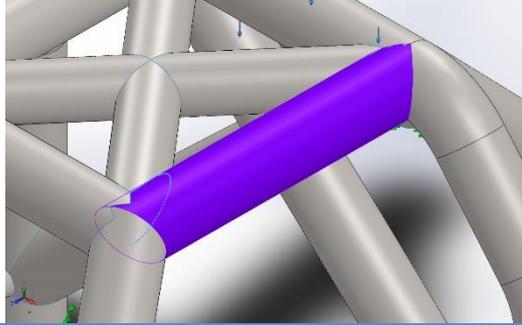
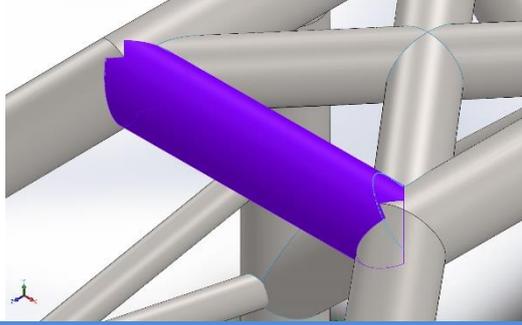
Nombre de sujeción	Imagen de sujeción	Detalles de sujeción		
Fijo-2		Entidades: 6 arista(s) Tipo: Geometría fija		
Fuerzas resultantes				
Componentes	X	Y	Z	Resultante
Fuerza de reacción(N)	0,00100327	64.500	0,000125885	64.500
Momento de reacción(N.m)	-32,0691	-3,29768	2,70205	32,3512

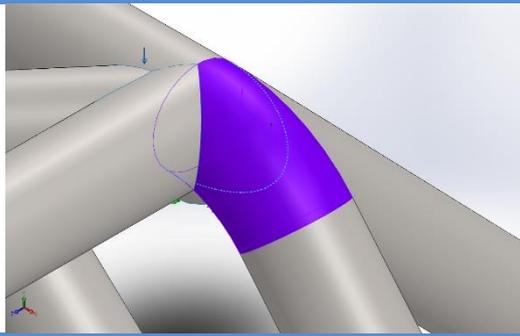
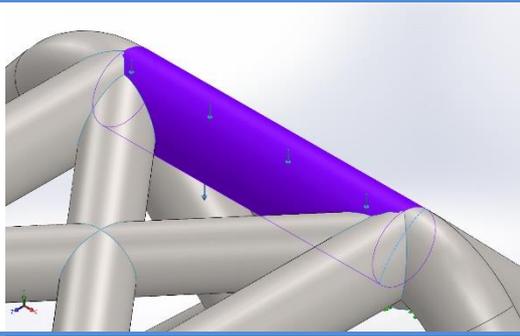
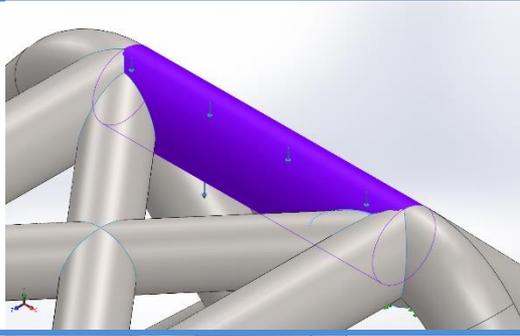
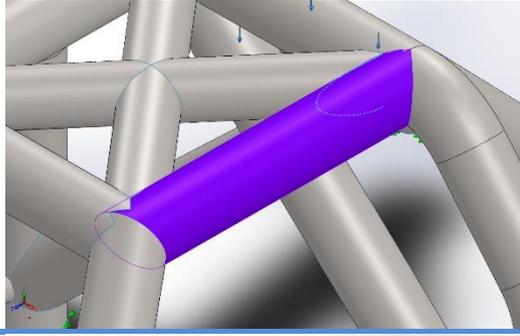
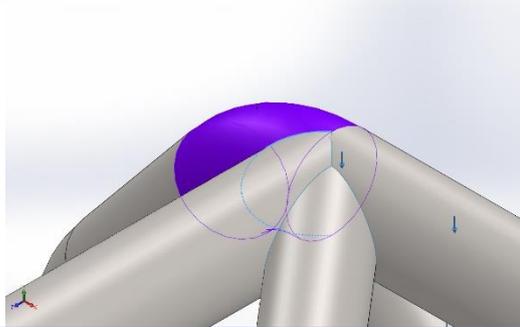
Nombre de carga	Cargar imagen	Detalles de carga
Fuerza-4		Entidades: 1 cara(s) Referencia: Cara< 1 > Tipo: Aplicar fuerza Valores: ---; ---; -64.500 N Momentos: ---; ---; --- N.m

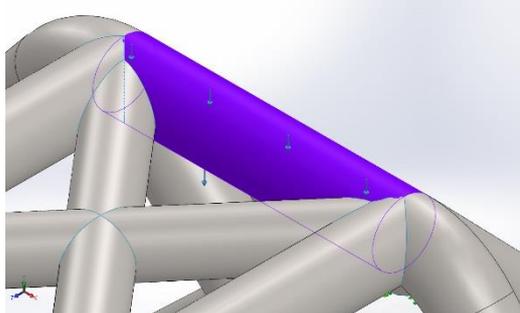
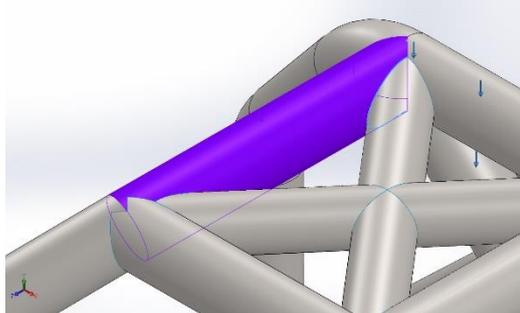
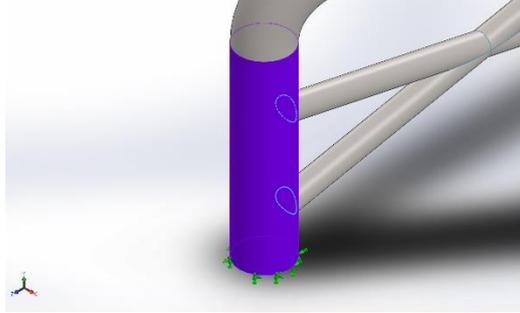
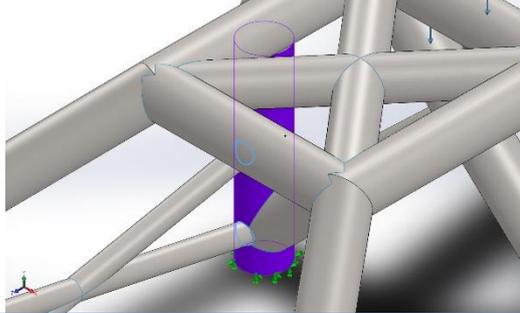
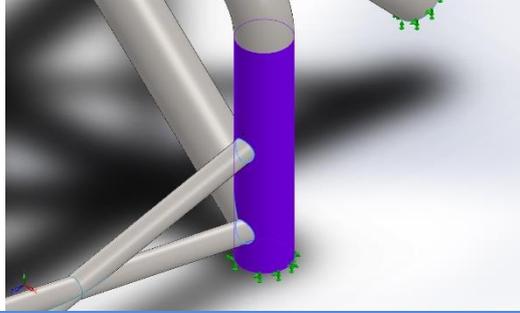
Definiciones de conector

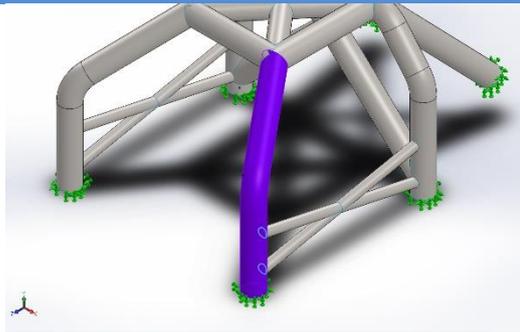
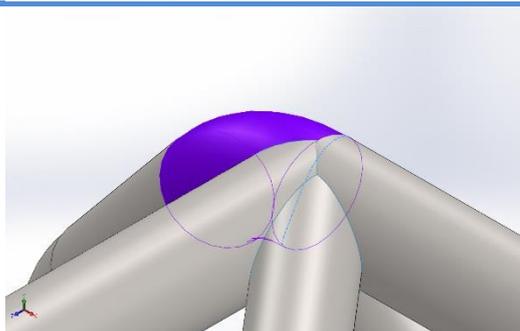
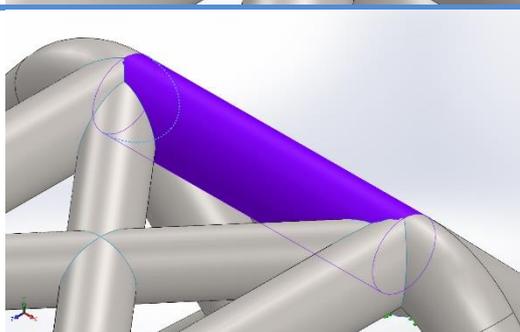
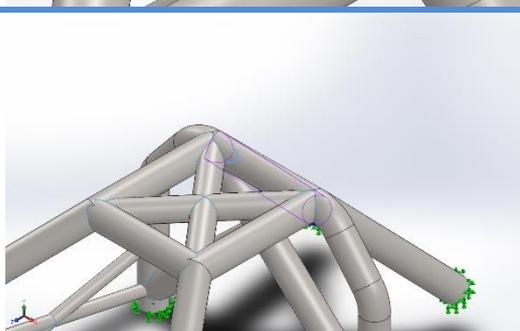
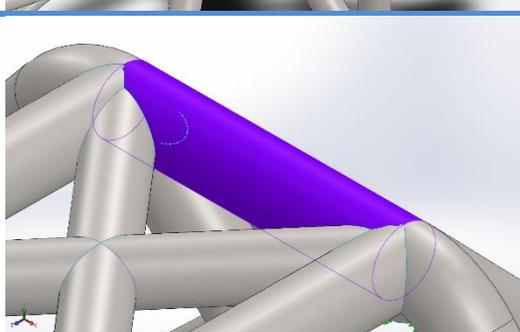
No hay datos

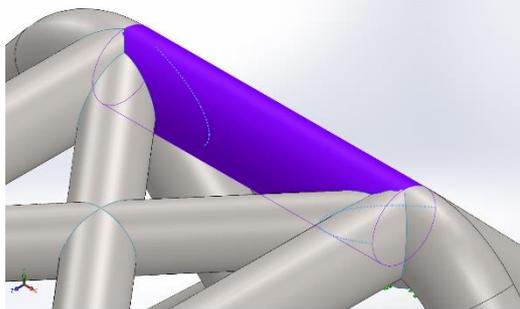
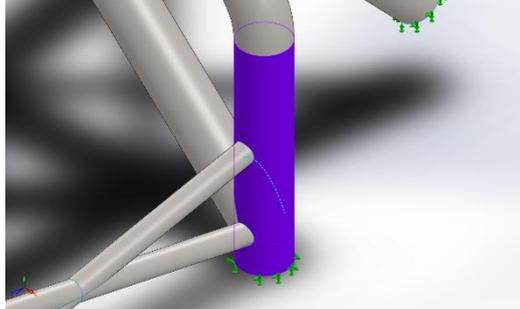
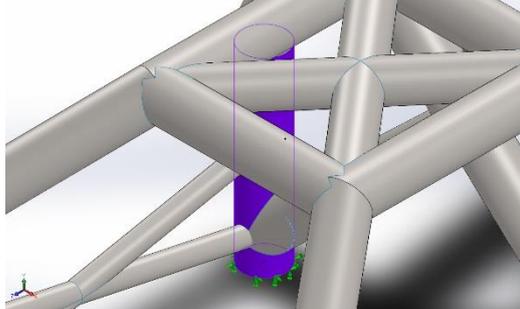
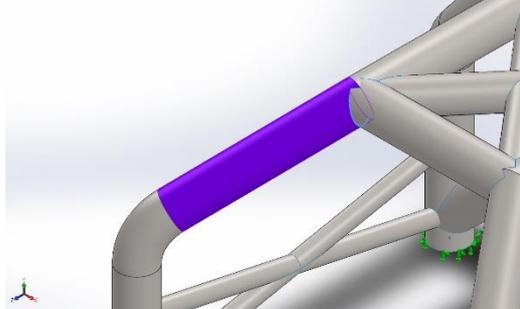
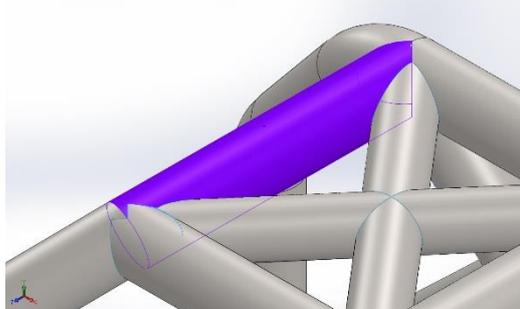
Información de contacto

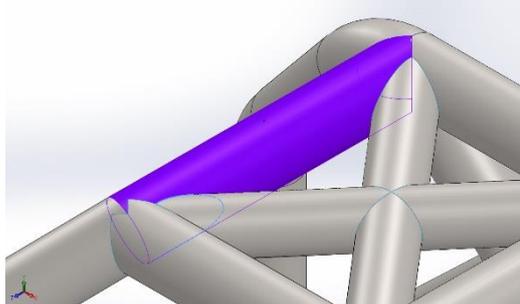
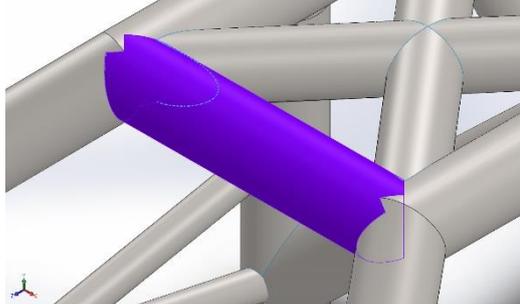
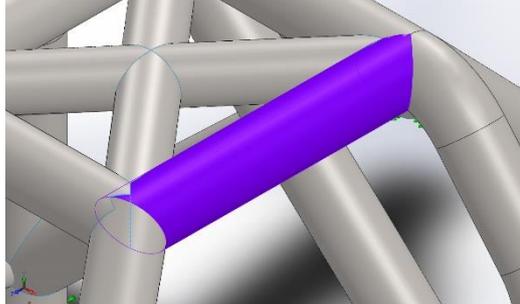
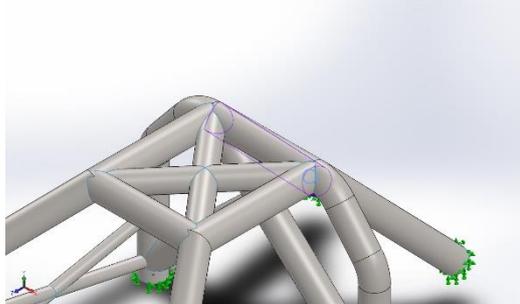
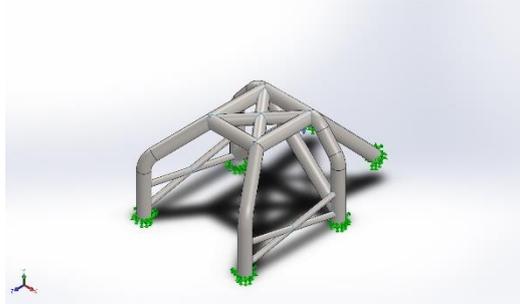
Contacto	Imagen del contacto	Propiedades del contacto
Contacto-939		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-940		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1015		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
Contacto-1016		<p>Tipo: Par de contacto rígido</p> <p>Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1017		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1018		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1019		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1020		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1021		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1022</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 3 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1023</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1024</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1095</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1096</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 4 arista(s), 1 cara(s)</p>

Contacto-1097		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1098		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1099		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1100		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1101		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

Contacto-1103		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1173		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1174		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1437		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)
Contacto-1717		Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)

<p>Contacto-1718</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1719</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1720</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 2 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto-1722</p>		<p>Tipo: Par de contacto rígido Entidades: 1 arista(s), 1 cara(s)</p>
<p>Contacto global</p>		<p>Tipo: Unión rígida Componentes: 1 componente(s) Opciones: Mallado compatible</p>

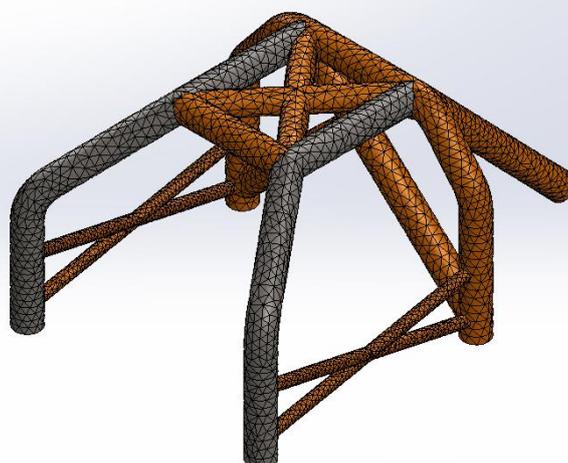
Información de malla

Tipo de malla	Malla con elementos SHELL de superficies
Mallador utilizado:	Malla basada en curvatura
Verificación jacobiana para el vaciado	Activar
Tamaño máximo de elemento	4,47005 cm
Tamaño mínimo del elemento	1,49 cm
Trazado de calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden

Información de malla - Detalles

Número total de nodos	27412
Número total de elementos	13432
Tiempo para completar la malla (hh:mm:ss):	00:00:04
Nombre de computadora:	XAVI

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de malla: Malla con elementos SHELL de superficies



Detalles del sensor

No hay datos

Fuerzas resultantes

Fuerzas de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N	0,00100327	64.500	0,000125885	64.500

Momentos de reacción

Conjunto de selecciones	Unidades	Sum X	Sum Y	Sum Z	Resultante
Todo el modelo	N.m	-32,0691	-3,29768	2,70205	32,3512

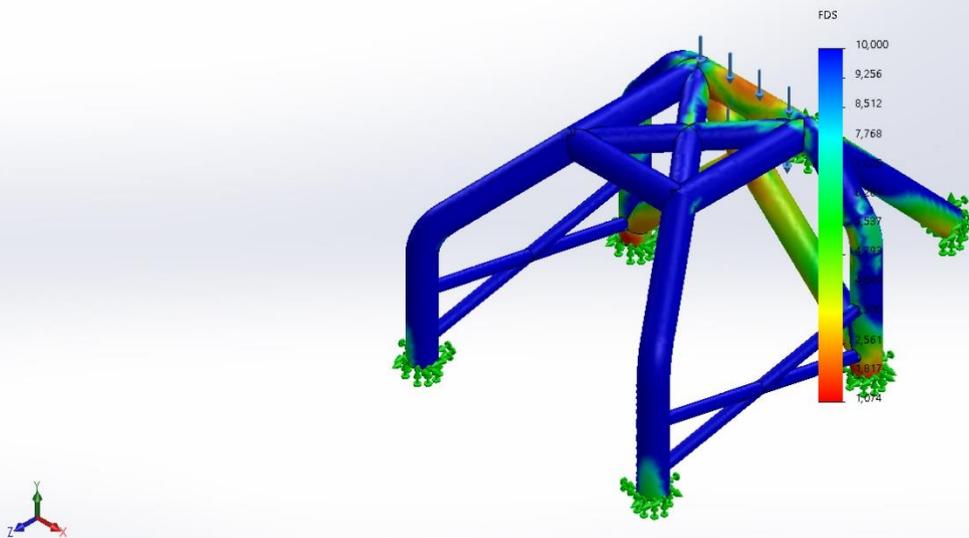
Vigas

No hay datos

Resultados del estudio

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,074 Nodo: 1	2.778,699 Nodo: 0

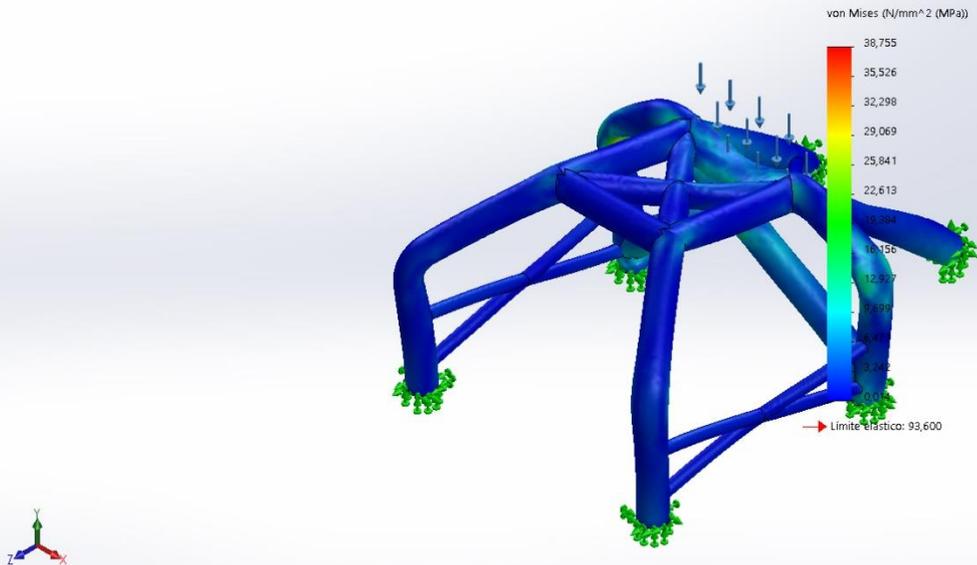
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza Vertical(Predefinido<Como mecanizada>)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1
Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Hill
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto min = 1.0735



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza Vertical-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,014 N/mm ² (MPa) Nodo: 23139	38,755 N/mm ² (MPa) Nodo: 1788

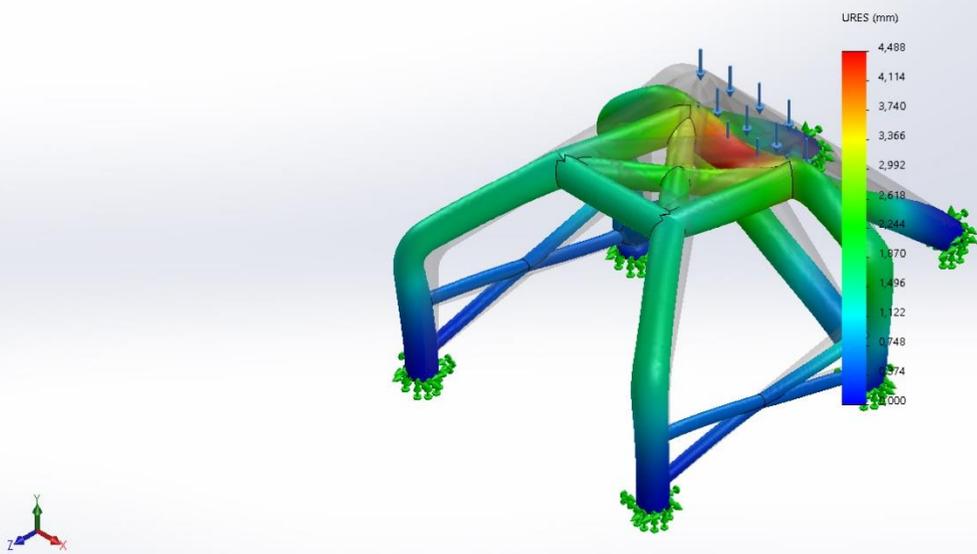
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio: Fuerza Vertical (<Predeterminado <Como mecanizada> ->)
Tipo de resultado: Análisis estático tensión nodal (Superior) Tensiones 1
Escala de deformación: 49,9527
Número de pliegue: 1



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza Vertical-Tensiones-Tensiones1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000 mm Nodo: 1385	4,488 mm Nodo: 3268

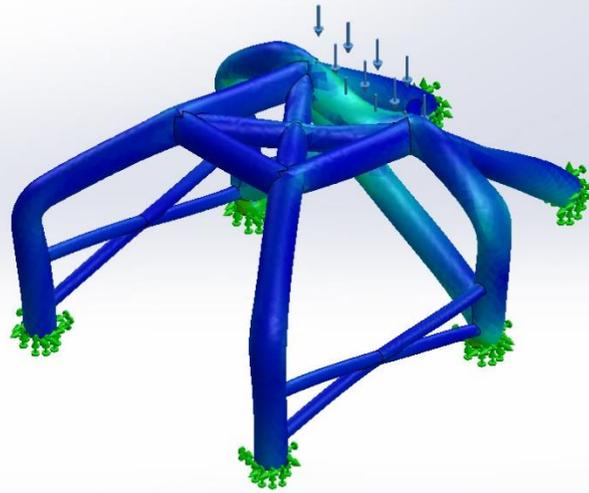
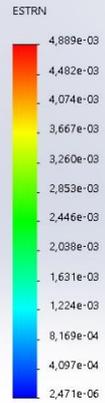
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio: Fuerza Vertical (<Predeterminado <Como mecanizada> ->)
Tipo de resultado: Desplazamiento estático Desplazamientos1
Escala de deformación: 49,9527



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza Vertical-Desplazamientos-Desplazamientos1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Deformaciones unitarias1	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	2,471e-06 Elemento: 10187	4,889e-03 Elemento: 1457

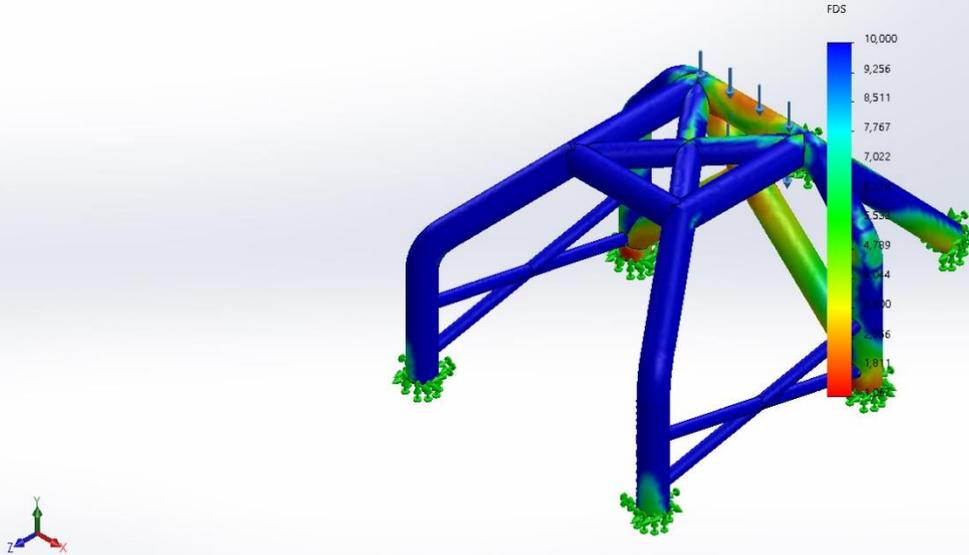
Nombre del modelo: pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio: Fuerza Vertical(Predeterminado < Como mecanizada >)
Tipo de resultado: Deformación unitaria estática (Superior) Deformaciones unitarias1
Escala de deformación: 49,9527
Número de pliegue: 1



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza Vertical-Deformaciones unitarias-Deformaciones unitarias1

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad2	Automático	1,067 Nodo: 10187	2.781,268 Nodo: 1457

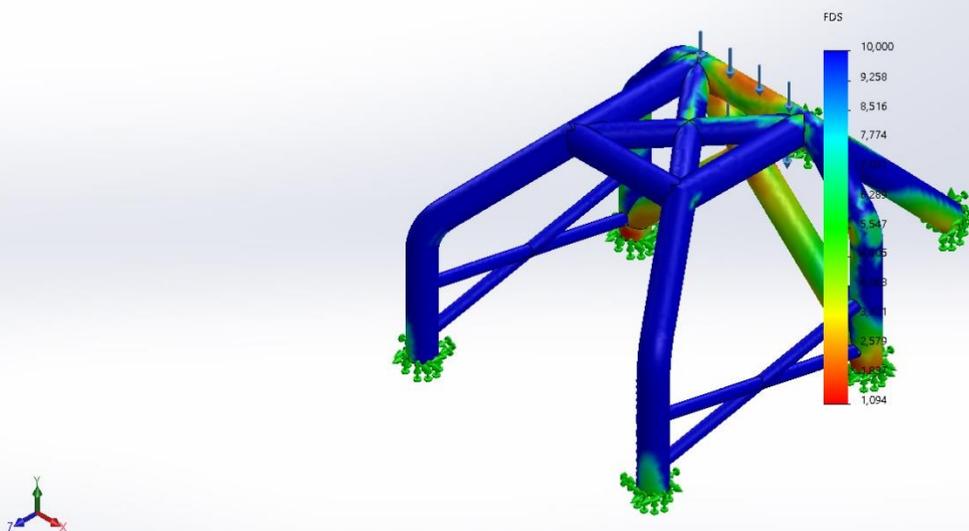
Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
Criterios con errores para compuestos: Criterio de Tsai-Mu
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.0667



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza Vertical-Factor de seguridad-Factor de seguridad2

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad3	Automático	1,094 Nodo: 10187	2.773,695 Nodo: 1457

Nombre del modelo:pieza 6.2_ok bambu
Nombre de estudio:Fuerza Vertical(-Predeterminado<Como mecanizada>-)
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad3
Criterios con errores para compuestos: Criterio de tensión máx.
Peor caso a lo largo de todos los pliegues, FDS compuesto mín = 1.0945



pieza 6.2_ok bambu-Fuerza Vertical-Factor de seguridad-Factor de seguridad3

Conclusión



Real Federación Española
de Automovilismo

R.F.E. de A.

Reglamento Homologación ES

9- REGLAMENTO DE HOMOLOGACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD ANTE LA R.F.E de A.

1. GENERAL

El presente reglamento está destinado a la homologación de estructuras de seguridad ante la Real Federación Española de Automovilismo (de ahora en adelante R.F.E. de A.) para vehículos admitidos en grupos nacionales exclusivamente y según el siguiente cuadro explicativo:

Grupo	Especialidades	Tipo de Estructura/Homologación admitida			Observaciones
		Según Anexo J (Artesanal)	Homologada ADN	Homologada FIA	
Prototipo E1 Nacional Prototipo E2 Nacional	Rallyes Tierra - Montaña - Autocross	Art. 253-8	RH RFEdA	No	Si el chasis es multitubular solo será admitida una estructura homologada
Buggies Nacionales TT	Rallyes TT	No	RH RFEdA	No	Se admiten estructuras homologadas por otras ADN's para estos vehículos
CM Promoción CM+	Montaña	No	RH RFEdA	No	
Car Cross Car Cross Junior	Autocross	No	RH RFEdA	No	

RH RFEdA = Reglamento de Homologación RFEdA para Estructuras de Seguridad

Tabla 1 - Estructuras homologables según el presente reglamento

Las estructuras de seguridad especialmente homologadas ante una ADN no se deben modificar en ningún aspecto.

Antes de fabricar la primera unidad de una estructura, el fabricante debe recibir la aceptación inicial por parte de la R.F.E. de A. mediante el envío de un dibujo de la estructura completa. En caso contrario, la R.F.E. de A. podrá rechazar la aceptación de la homologación.

La R.F.E. de A. se reserva el derecho de rechazar la homologación o certificación de una estructura de seguridad por incumplimiento de las prescripciones de diseño, dimensiones, materiales y/o criterios de aceptación establecidos en el presente reglamento, así como por el incumplimiento de cualquier punto de la "Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.".

2. DISEÑO Y DIMENSIONES

El diseño de la estructura de seguridad presentada a la R.F.E. de A. para su aprobación y posterior homologación, así como las dimensiones de los tubos utilizados, deberá ser conforme a los siguientes artículos según el grupo al que pertenezca el vehículo:

- 2.1. Prototipos E1 Nacional y E2 Nacional
- 2.2. Buggies Nacionales TT
- 2.3. CM Promoción y CM+
- 2.4. Car Cross y Junior Car Cross

Para cualquier grupo, el conjunto de la estructura de seguridad (diseño + dimensiones) deberá cumplir con los requisitos de aceptación del estudio de resistencia de materiales por elementos finitos obligatorio y descrito en este reglamento.

2.1. Prototipos E1 Nacional y E2 Nacional

La estructura de seguridad debe cumplir con el diseño mínimo reflejado en el Art. 253-8.3 del Anexo J al CDI.

Las dimensiones del diámetro exterior del tubo utilizado podrán ser menores que las descritas en el Art. 253-8.3.3 salvo en los siguientes elementos:

- Estructura básica según Dibujos 253-1, 253-2 y 253-3. -
Barras de las puertas.

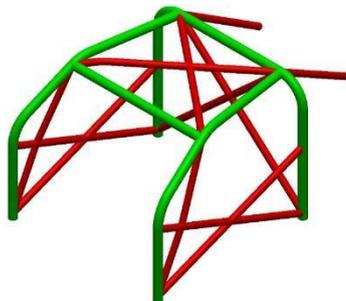
En los elementos donde se puedan disminuir las dimensiones, el espesor de pared será de mínimo 1,5 mm.

2.2. Buggies Nacionales TT

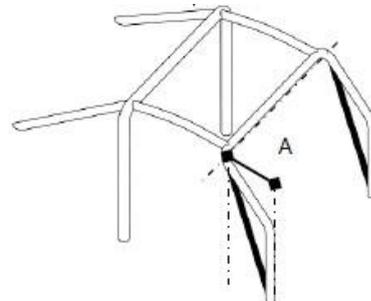
La estructura de seguridad debe cumplir con el diseño mínimo reflejado en el Dibujo 1.

No obstante, este diseño mínimo podrá tener una disposición distinta a la mostrada en el Dibujo 1 previa aceptación del mismo por parte del Departamento Técnico de la R. F. E. de A.

Si la distancia (A), medida en horizontal, entre el punto de anclaje al chasis del arco delantero y el miembro transversal delantero fuera superior a 200 mm, será obligatorio instalar una barra de refuerzo que una estos dos puntos (refuerzo del parabrisas).



Dibujo 1 - Diseño mínimo Buggie Especial TT



Dibujo 2 – Dimensión A para refuerzo del parabrisas

Las dimensiones de los tubos que conforman la estructura de seguridad, Dibujo 1, deberán ser, como mínimo, las reflejadas en la tabla 2.

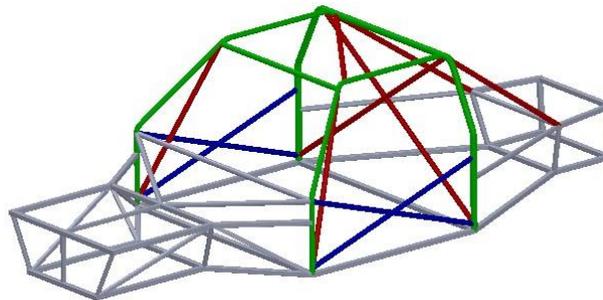
	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	Ø50 x 1,5 o Ø40 x 2
Tubo Rojo	Ø35 x 1,5
Resto Tubos	Ø35 x 1,5

Tabla 2 - Dimensiones de tubo mínimas Buggies

No obstante, si el vehículo Buggie Nacional quiere ser diseñado para cumplir con los requerimientos FIA del Grupo T3, se deberá tener en cuenta que se deben cumplir los artículos 283 y 286 del Anexo J al CDI, en aquello referente a la estructura de seguridad.

2.3. CM Promoción y CM+

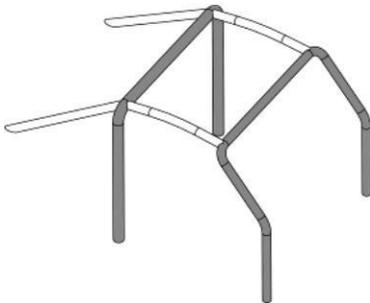
La estructura de seguridad (barras resaltadas en colores verde, azul y rojo) debe cumplir con el diseño mínimo reflejado en el dibujo 5.



Dibujos 3 - Diseño mínimo CM

La distribución de la estructura básica deberá ser:

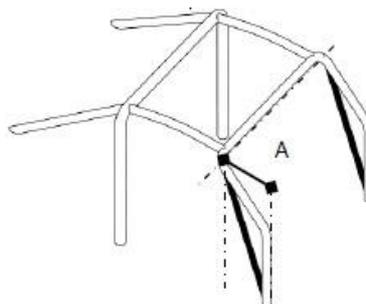
- Arco delantero con tirantes de unión al arco principal, tal y como se muestra en el dibujo 3.
- 3. - Semiarcos laterales con tirante transversal delantero, tal y como se muestra en el dibujo 4.
- 4.



Dibujos 4 - Configuración de arco principal + arco delantero laterales

Dibujos 5 - Configuración de arco principal + semiarcos

Si la distancia (A), medida en horizontal, entre el punto de anclaje al chasis del arco delantero y el miembro transversal delantero fuera superior a 200 mm, será obligatorio instalar una barra de refuerzo que una estos dos puntos (ver Dibujo 2).



Dibujo 6 – Dimensión A para refuerzo del parabrisas

Las dimensiones de los tubos que conforman la estructura de seguridad deberán ser, como mínimo, las reflejadas en la tabla 3.

	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	Ø50 x 1,5 o Ø40 x 2
Tubo Azul	Ø40 x 1,5
Tubo Rojo	Ø35 x 1,5
Resto Tubos	Ø35 x 1,5

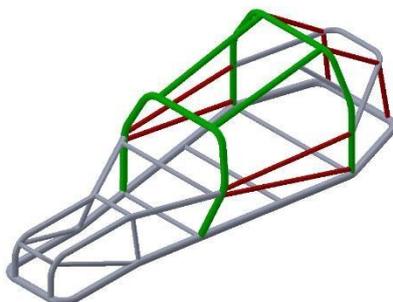
Tabla 3 - Dimensiones de tubo mínimas CM

No obstante, si el vehículo CM quiere ser diseñado para cumplir con los requerimientos FIA del Grupo E2-SC o CN, se deberá tener en cuenta que se deben cumplir los artículos 277 y 259 del Anexo J al CDI respectivamente. En el caso del Art. 277 del Anexo J, las estructuras de seguridad de los vehículos E2-SC fabricados posteriormente al 01.01.2010 deberán cumplir con el Art. 259-16.4 del Anexo J, que indica lo siguiente:

- Dimensiones mínimas de tubo 45x2.5 mm (Art. 259-16.4.1).
- Disposición de tubos de acuerdo a los Art. 259-16.4.2 y Art. 259-16.4.3.

2.4. Car Cross y Junior Car Cross

La estructura de seguridad (barras resaltadas en colores verde y rojo) debe cumplir con el diseño mínimo reflejado en el dibujo 6.



Dibujo 6 - Diseño mínimo Car Cross y Junior Car Cross

No obstante, este diseño mínimo podrá tener una disposición distinta a la mostrada en el dibujo 6 previa aceptación del mismo por parte del Departamento Técnico de la R. F. E. de A.

Las dimensiones de los tubos que conforman la estructura de seguridad deberán ser como mínimo las reflejadas en la tabla 4.

	Dimensiones mínimas [mm]
Tubo Verde	Ø40 x 2
Tubo Rojo	Ø35 x 1,5

Resto Tubos	Ø35 x 1,5
----------------	-----------

Tabla 4 - Dimensiones de tubo mínimas Car Cross y Junior Car Cross

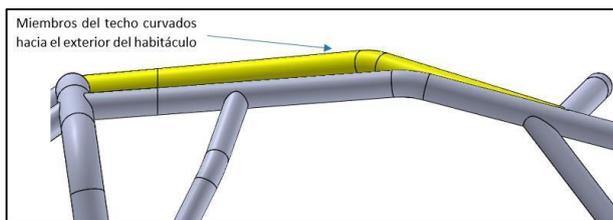
3. PRESCRIPCIONES APLICABLES A TODOS LOS GRUPOS

Barra para los arneses de seguridad:

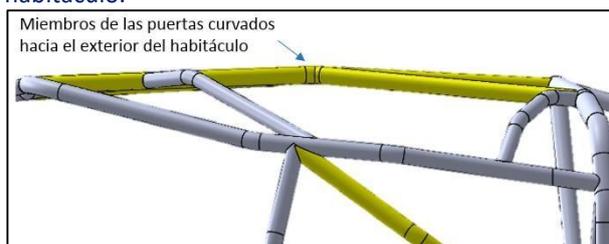
En caso de que se proyecte una barra en la estructura para anclar las bandas de los hombros de los arneses de seguridad, estas deberán cumplir con las dimensiones indicadas en el Art. 253-6.2 del Anexo J.

Curvatura de barras:

Es muy recomendable que, tanto las barras laterales de puertas, Dibujo 7 como las del techo, Dibujo 8, se diseñen y fabriquen con una curvatura orientada hacia el exterior del habitáculo.



Dibujo 7 - Vista lateral de la estructura



Dibujo 8 - Vista en planta de la estructura

Diseños alternativos a lo expuesto anteriormente:

Como alternativa a los diseños expuestos en los apartados 2.2, 2.3 y 2.4, se podrán presentar, previa aceptación por parte del Departamento Técnico de la R. F. E. de A., propuestas con disposiciones de tubos alternativas.

Cartelas de refuerzo (Obligatorio para todos los grupos y recomendable para Car Cross y Junior Car Cross):

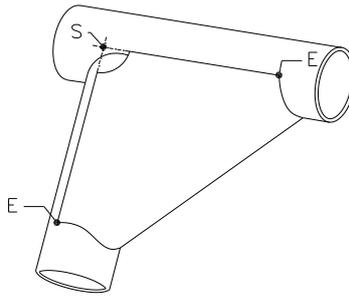
En el caso de existir uniones (formando una cruz o similar) entre:

- los miembros diagonales del arco principal
- los refuerzos del techo
- los tirantes de las puertas
- los tirantes de las puertas y los pilares de refuerzo del parabrisas (si los tirantes de las puertas y el pilar de refuerzo del parabrisas no están situados en el mismo plano, el refuerzo debe estar fabricado en chapa de acero)

Estos miembros deberán estar reforzados por un mínimo de dos cartelas de acuerdo con el siguiente criterio:

- Refuerzo para un ángulo o unión hecho de chapa doblada en forma de U (dibujo 9) de espesor no inferior a 1,0 mm.
- Los extremos de dicha cartela (punto E) deben estar situados a una distancia del punto superior del ángulo (punto S) de 2 a 4 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.
- Se permite un corte en la parte superior del ángulo (R) pero su radio no debe ser mayor de 1,5 veces el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.

- El lado plano de la cartela puede tener un agujero cuyo diámetro no debe ser más grande que el diámetro exterior del tubo mayor de los unidos.



Dibujo 9 - Cartela de refuerzo

Las cartelas deberán estar soldadas en todo el perímetro de contacto con los tubos. La soldadura podrá ser discontinua.

En cualquier caso, se recomienda soldar las cartelas en los ángulos más agudos formados por las barras a reforzar.

4. MATERIAL

En cualquier tipo de estructura presentada según el artículo anterior, se podrán usar los siguientes tipos de aceros:

- Aceros aleados de alta resistencia y destinados a la fabricación mecánica, como por ejemplo 25CrMo4 o 15CDV6.
- Acero al carbono no aleado con un contenido máximo de carbono del 0.3%. Se considera que un acero al carbono no aleado puede contener, como máximo, los siguientes porcentajes de componentes en su composición:

Elemento	Contenido	Elemento	Contenido	Elemento	Contenido
Aluminio	0,1	Novio	0,05	Manganeso	1,6
Bismuto	0,1	Níquel	0,3	Molibdeno	0,08
Boro	0,0008	Plomo	0,4	Wolframio	0,1
Cobalto	0,1	Silicio	0,6	Lantánidos	0,05
Cobre	0,4	Titanio	0,05	Otros (Excepto P, C, N y O)	0,05
Cromo	0,3	Vanadio	0,1		

Tabla 5 - Contenido máximo de elementos de aleación en un acero considerado no aleado

En ambos casos, este acero deberá ser conformado mediante estirado en frío y carecer de soldadura.

La resistencia a tracción de los materiales no podrá ser inferior a 355 MPa. No obstante, se recomienda encarecidamente usar un acero al carbono con un grado equivalente o superior al ST52/E355, dadas sus propiedades mecánicas, para cualquiera de las estructuras expuestas en el presente reglamento.

El cualquier caso, se deberá disponer del certificado de colada de los materiales. En estos debe figurar:

- Dimensiones del tubo.
- Composición química.
- Límite elástico.

- Resistencia a tracción.
- Alargamiento hasta rotura.

5. ESTUDIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES POR ELEMENTOS FINITOS

El estudio de resistencia de materiales tendrá que ser llevado a cabo y visado por un ingeniero cualificado para dicho propósito con un programa de simulación adecuado, que habrá que declarar en el Proyecto Técnico definido en la “Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R. F. E. de A.”.

El tipo de elemento usado para la discretización del modelo deberá ser bi-dimensional (tipo superficie) o tridimensional (tipo sólido)

Se podrán proponer otros modos de aplicación de las cargas, previa solicitud al Departamento Técnico de la R.F.E. de A., siempre que las características de la estructura y las hipótesis de los ensayos lo hagan factible.

5.1. Solicitaciones de carga

Los valores de las fuerzas se calculan con la masa del vehículo, en condiciones de carrera, más 80 o 160 kg según el grupo al que pertenezca el vehículo. Posteriormente, esta masa total, denominada ‘P’, se debe multiplicar por un coeficiente en función del ensayo que se lleve a cabo.

A continuación, se detalla cómo se deben aplicar las cargas y a que grupos afectan. Las indicaciones se acompañan de unos dibujos orientativos donde se resaltan con colores las barras sobre las cuales se deben aplicar las cargas. **5.2.1**

Carga Vertical

Aplicable para todos los grupos

Carga uniformemente repartida, en sentido descendente, y de valor $7,5 \times P$ [daN] sobre toda la parte superior del arco principal, hasta un máximo de 75 mm con respecto al punto de unión de los semiarcos laterales y/o los tirantes traseros. Se muestra el siguiente dibujo como ejemplo de la zona de aplicación de la carga.



Dibujo 10 - Vista en planta de detalle del arco principal, cotas en mm

5.2.2 Carga Frontal

Aplicable para todos los grupos excepto Car Cross y Junior Car Cross

Carga uniformemente repartida, hacia el interior de la estructura, y de valor $3,5 \times P$ [daN] sobre el arco lateral a lo largo del tubo. Esta carga debe estar orientada de la siguiente manera:



Dibujo 11 – En vista frontal, inclinada 25° hacia el de interior de la estructura

Un método alternativo para orientar la carga es descomponer la fuerza en los tres ejes coordenados del espacio según los siguientes valores:

- 90% de la fuerza nominal en dirección Vertical.
- 42% de la fuerza nominal en dirección Transversal.

5.2. Condiciones de contorno

Se deberá restringir el movimiento de la estructura en todos los grados de libertad (desplazamientos y rotación) de cada punto de fijación al chasis. En la siguiente tabla explicativa se puede ver, en morado en la fila superior, los puntos que hay que fijar mientras que en la fila inferior se muestra la superficie correspondiente sobre la que restringir el movimiento.

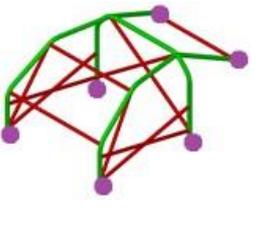
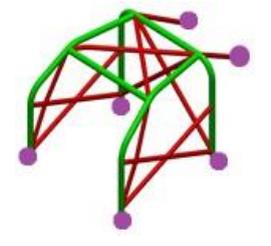
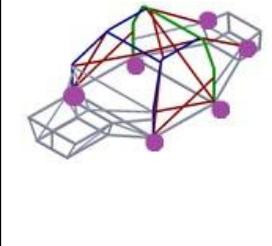
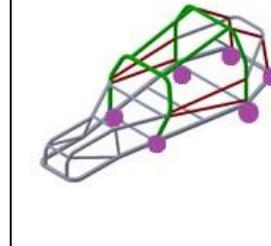
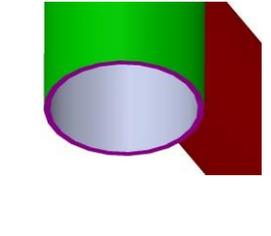
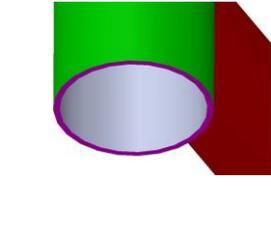
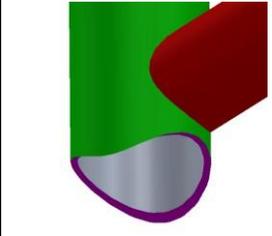
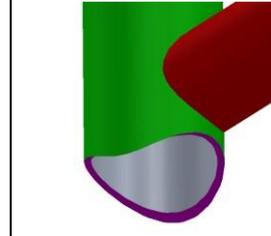
	Pototipos E1 y E2	Buggies TT	CM España	Carcross y Carcross Junior
Puntos de Fijación				
Superficie de aplicación				

Tabla 6 - Puntos de fijación de la estructura y superficies de aplicación

Se podrán proponer otros modos de aplicación de las condiciones de contorno, previa solicitud al Departamento Técnico de la R.F.E. de A., si las características de la estructura y las hipótesis de los ensayos lo hacen factible.

5.3. Criterios de aceptación

5.3.1 Desplazamientos

En el instante de aplicación del 100% de la carga, en el ensayo de simulación no podrá existir desplazamiento, como consecuencia de la deformación elástica y/o plástica, superior a 50 mm, medidos en cualquier dirección del espacio y en toda la estructura. Esto es de aplicación a cualquiera de los casos de sollicitaciones de carga.

5.3.2 Tensiones

En caso de realizar un análisis lineal no se podrá superar el límite elástico del material en toda la estructura. En el caso de superarse el límite elástico, se deberá justificar el ensayo con un análisis no lineal.

En caso de realizar un análisis no lineal no se podrá superar la tensión de rotura del material en toda la estructura.

5.4. Resultados

Los resultados de los ensayos deberán presentarse, incluidos en el Proyecto Técnico, de la siguiente manera:

1. Descripción completa de la configuración del ensayo (materiales, justificación de las cargas aplicadas, condiciones de contorno, características del mallado, etc.).
2. Imágenes de los resultados obtenidos, tanto de tensiones como desplazamientos y su leyenda correspondiente, que debe ser legible y estar escalada adecuadamente.
3. Conclusión con un cuadro resumen que recoja los valores máximos de tensiones, desplazamientos límite elástico, resistencia a tracción y coeficiente de seguridad de cada uno de los ensayos (según el grupo).
4. Además de los 3 puntos anteriores, es recomendable añadir un informe del ensayo si el programa usado para los estudios por elementos finitos lo puede generar.