



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK
en la categoría KF

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Ortiz Rojas, Daniel

Tutor/a: Esquerdo Lloret, Tomás Vicente

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

Resumen

El sector del karting siempre ha estado muy presente entre la población más joven, ya que se trata de un deporte automovilístico muy popular. Además, en contraste con otros deportes de automoción, este puede llegar a ser más económico, ya que no requiere de remolques ni de grandes presupuestos en motores o en mantenimiento del vehículo.

La competición de karting se divide en varias categorías, dependiendo del motor empleado en los karts o de la edad y el peso del piloto. Entre las categorías impuestas por la Federación Internacional del Automóvil (FIA) y la Comisión Internacional de Karting (CIK) se encuentran: categoría KF, KZ y Superkarts.

Se propone un prototipo de un chasis que cumpla con las directrices de competición en la categoría KF. Para ello es necesario realizar una revisión de la normativa FIA/CIK para esta categoría y seleccionar el material más adecuado: soldabilidad, coste, prestaciones, entre otras.

Se estudia la geometría más adecuada para este chasis y posteriormente se realizará una batería de hipótesis para verificar el estado estructural del bastidor: indicaciones de la propia norma y otras situaciones para verificar la integridad del chasis. A su vez, se detallará el proceso de fabricación, presupuesto, así como el pliego de condiciones y los planos, etc.

Palabras clave: bastidor; estado estructural; diseño; prototipo; material

Resum

El sector del karting sempre ha estat molt present entre la població més jove, ja que es tracta d'un esport automobilístic molt popular. A més, en contrast amb altres esports d'automoció, este pot arribar a ser més econòmic, ja que no requereix de remolcs ni de grans pressupost en motors o en manteniment del vehicle.

La competició de karting es divideix en diverses categories, depenent del motor emprat en els karts o de l'edat i el pes del pilot. Entre les categories imposades per la Federació Internacional de l'Automòbil (FIA) i la Comissió Internacional de Karting (CIK) es troben: categoria KF, KZ i Superkarts.

Es proposa un prototip d'un xassís que complisca amb les directrius de competició en la categoria KF. Per a això és necessari realitzar una revisió de la normativa FIA/CIK per a esta categoria i seleccionar el material més adequat: soldabilitat, cost, prestacions, entre altres.

S'estudia la geometria més adequada per a este xassís i posteriorment es realitzarà una bateria d'hipòtesi per a verificar l'estat estructural del bastidor: indicacions de la pròpia norma i altres situacions per a verificar la integritat del xassís. Al seu torn, es detallarà el procés de fabricació, pressupost, així com el plec de condicions i els plans, etc.

Paraules clau: bastidor; estat estructural; disseny; prototip; material

Abstract

The karting sector has always been very present among the younger population, since it is a very popular motor sport. Furthermore, in contrast to other automotive sports, this can be economical, since it does not require trailers or a large budget on engines or vehicle maintenance.

The karting competition is divided into several categories, depending on the engine used in the karts or the age and weight of the driver. Among the categories imposed by the International Automobile Federation (FIA) and the Internacional Karting Commission (CIK) are: KF, KZ and Superkarts category.

A prototype of a chassis is proposed that meets the competition guidelines in the KF category. To do this, it's necessary to carry out a review of the FIA/CIK regulations for this category and select the most appropriate material: weldability, cost, performance, among others.

The most appropriate geometry for this chassis is studied and subsequently a battery of hypotheses will be made to verify the structural state of the frame: indications from the standard itself and other situations to verify the integrity of the chassis. In turn, the manufacturing process, budget, as well as the specifications and plans, etc, will be detailed.

Keywords: frame; structural state; design; prototype; material.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer a todos los profesores que me han impartido alguna asignatura a lo largo de la carrera en la Escuela Politécnica Superior de Alcoy, en especial a Tomás Vicente Esquerdo Lloret, por ser mi tutor de TFG y ayudarme en todo lo posible para llevar a cabo un buen trabajo.

Por otra parte, agradecer a mis padres por involucrarse tanto en mi vida académica y hacer todo lo posible por recibir la mejor educación, así como apoyarme y confiar en mi para lograr todo lo que me proponga.

Por último, también quería mencionar a todas las personas las cuales he conocido y me he rodeado en esta etapa y han hecho que haya pasado estos años de la mejor manera posible, pasando buenos momentos, y ayudándome cuando lo he necesitado.

Índice de contenido

Índice de ilustraciones	3
Índice de tablas	6
Abreviaturas y simbología	7
1. Objetivos.....	9
2. Antecedentes.....	9
3. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	9
4. Fases del proyecto.....	12
5. Normativa aplicada	13
6. Definición de un kart.....	16
7. Introducción al sector del karting.....	19
7.1 Historia del karting.....	19
7.2 Categorías y tipo de karts	24
8. Diseño y fabricación	28
8.1 Diseño de la estructura del chasis.....	28
8.1.1 Consideraciones generales.....	29
8.1.2 Geometría del chasis	32
8.1.3 Selección de tubos.....	33
8.1.4 SolidWorks.....	35
8.1.5 Modelado de la estructura del chasis (modelo 1)	36
8.1.6 Modelado de la estructura del chasis (modelo 2)	43
8.1.7 Modelado de los soportes del eje posterior	45
8.1.8 Modelado de los soportes para las manguetas.....	48
8.1.9 Modelado de los puntos de anclaje del asiento	51
8.1.10 Modelado del soporte del motor	52
8.1.11 Ensamblaje de los elementos	54
8.2 Proceso de fabricación.....	56
9. Cálculo estructural del chasis (FEM)	60
9.1 Introducción al método FEM.....	60
9.2 Selección de material	60
9.3 Comparativa de modelos de chasis.....	64
9.3.1 Modelo 1	66
9.3.2 Modelo 2.....	71

9.3.3 Comparativa de resultados y conclusiones	75
9.4 Pesos y posición del cdg	76
10. Ensayos realizados al chasis	79
10.1 Rigidez a flexión	79
10.2 Rigidez a torsión	80
10.3 Impacto frontal	84
10.4 Impacto trasero	84
10.5 Impacto lateral izquierdo	88
10.6 Impacto lateral derecho	92
10.7 Prueba de aceleración	96
10.8 Paso por curva a izquierdas con piano	101
10.9 Paso por curva a derechas con piano	104
11. Conclusiones	107
12. Referencias bibliográficas	108
ANEXOS	110
I. PRESUPUESTO	111
Costes de ingeniería	112
Costes de fabricación	112
Costes de material	113
Costes de elementos auxiliares	113
Presupuesto total	113
II. PLIEGO DE CONDICIONES	114
1. Definición y alcance del pliego de condiciones	115
1.1 Objetivo	115
1.2 Alcance del proyecto	115
2. Normativa y condiciones de carácter general	115
3. Condiciones particulares	116
3.1 Requisitos de pruebas	116
3.2 Condiciones económicas	117
3.3 Condiciones legales	117
III. PLANOS	118

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: Fases del proyecto	12
Ilustración 2: Diagrama de Gantt	12
Ilustración 3: Vehículo tipo kart	16
Ilustración 4: Partes de un chasis de un kart	17
Ilustración 5: Art ingels	19
Ilustración 6: Primer kart de la historia	20
Ilustración 7: Primeras carreras de karts “salvajes”	21
Ilustración 8: Karts mejorados (años 70)	22
Ilustración 9: Kart de los años 90	23
Ilustración 10: Primeros karts del S. XXI	23
Ilustración 11: Kart categoría OK	25
Ilustración 12: Kart categoría KZ	25
Ilustración 13: Kart categoría superkart	26
Ilustración 14: Proceso iterativo de diseño	28
Ilustración 15: Flexión mecánica	30
Ilustración 16: Cargas que producen torsión en el chasis	31
Ilustración 17: Geometría del chasis de un kart	33
Ilustración 18: Soldadura de tubos de acero	33
Ilustración 19: SolidWorks 2022	35
Ilustración 20: Croquis parte trasera chasis (modelo 1)	36
Ilustración 21: Croquis chasis completo (modelo 1)	37
Ilustración 22: Dimensionado de perfil estructural 30x2mm	38
Ilustración 23: Diámetro y espesor tubos circulares principales (modelo 1)	38
Ilustración 24: Dimensionado de perfil estructural 20x2mm	39
Ilustración 25: Diámetro y espesor tubos columna de dirección	39
Ilustración 26: Error de dimensionado	40
Ilustración 27: Corrección de error de dimensionado	41
Ilustración 28: Errores de dimensionado	41
Ilustración 29: Bastidor tubular (modelo 1)	42
Ilustración 30: Croquis chasis completo (modelo 2)	43
Ilustración 31: Diámetro y espesor tubos principales (modelo 2)	44
Ilustración 32: Bastidor tubular (modelo 2)	44
Ilustración 33: Soporte eje posterior de una kart de competición	45
Ilustración 34: Croquis soporte eje posterior	46
Ilustración 35: Extrusión del croquis y vaciado de la pieza	46
Ilustración 36: Recortes de la pieza	47
Ilustración 37: Modelado del soporte del eje posterior	47
Ilustración 38: Croquizado soportes para las manguetas	48
Ilustración 39: Extrusión del croquis del soporte para las manguetas	49
Ilustración 40: Croquis para le corte de la superficie	49
Ilustración 41: Corte de la pieza	50
Ilustración 42: Taladrado del agujero	50

Ilustración 43: Modelado de los soporte para las manguetas.....	50
Ilustración 44: Croquis puntos de anclaje del asiento.....	51
Ilustración 45: Croquis para el recorte de la pieza	51
Ilustración 46: Dimensionado del anclaje para el asiento	52
Ilustración 47: Corte del soporte motor	52
Ilustración 48: Dimensionado del soporte del motor	53
Ilustración 49: Ensamblaje de todos los componentes del chasis (modelo 1).....	54
Ilustración 50: Ensamblaje de todos los componentes del chasis (modelo 2).....	55
Ilustración 51: Máquina dobladora de tubos.....	56
Ilustración 52: Soldadura de los tubos	58
Ilustración 53: Banco de pruebas.....	58
Ilustración 54: Creación del material en SolidWorks	62
Ilustración 55: Carga generada por el piloto	64
Ilustración 56: Carga generada por el motor	65
Ilustración 57: Carga generada por el depósito.....	65
Ilustración 58: Cargas y soportes ensayo flexión (modelo 1)	66
Ilustración 59: Cargas y restricciones ensayo flexión (modelo 1)	67
Ilustración 60: Desplazamientos generados esfuerzo a flexión (modelo 1)	67
Ilustración 61: Factor de seguridad ensayo flexión (modelo 1).....	68
Ilustración 62: Cargas y restricciones impacto frontal (modelo 1).....	69
Ilustración 63: Tensiones generadas impacto frontal (modelo 1).....	69
Ilustración 64: Desplazamientos generados impacto frontal (modelo 1).....	70
Ilustración 65: Factor de seguridad impacto frontal (modelo 1)	70
Ilustración 66: Cargas y restricciones ensayo flexión (modelo 2)	71
Ilustración 67: Tensiones generadas ensayo flexión (modelo 2)	71
Ilustración 68: Desplazamientos generados ensayo flexión (modelo 2)	72
Ilustración 69: Factor de seguridad ensayo flexión (modelo 2).....	72
Ilustración 70: Cargas y restricciones impacto frontal (modelo 2).....	73
Ilustración 71: Tensiones generadas impacto frontal (modelo 2).....	73
Ilustración 72: Desplazamientos generados impacto frontal (modelo 2).....	74
Ilustración 73: Factor de seguridad impacto frontal (modelo 2)	74
Ilustración 74: Modelado del asiento	76
Ilustración 75: Ensamblaje dummy y asiento.....	77
Ilustración 76: Posición cdg.....	77
Ilustración 77: Distancia de aplicación de fuerzas de par torsor	80
Ilustración 78: Cargas y restricciones torsión	81
Ilustración 79: Tensiones generadas rigidez a torsión.....	82
Ilustración 80: Desplazamientos generados rigidez a torsión	82
Ilustración 81: Factor de seguridad esfuerzo a flexión	83
Ilustración 82: Cargas y restricciones impacto trasero.....	85
Ilustración 83: Tensiones generadas impacto trasero	85
Ilustración 84: Zona de máxima tensión generada impacto trasero.....	86
Ilustración 85: Desplazamientos generados impacto trasero	86
Ilustración 86: Factor de seguridad impacto trasero	87
Ilustración 87: Cargas y restricciones impacto lateral izquierdo	88

Ilustración 88: Tensiones generadas impacto lateral izquierdo	89
Ilustración 89: Zona de máxima tensión generada impacto lateral izquierdo	89
Ilustración 90: Desplazamientos generados impactos lateral izquierdo.....	90
Ilustración 91: Factor de seguridad impacto lateral izquierdo	91
Ilustración 92: Cargas y restricciones impacto lateral derecho	92
Ilustración 93: Tensiones generadas impacto lateral derecho	93
Ilustración 94: Zona de máxima tensión impacto lateral derecho	93
Ilustración 95: Desplazamientos generados impacto lateral derecho.....	94
Ilustración 96: Factor de seguridad impacto lateral izquierdo	95
Ilustración 97: Telemetría de un kart (caso real).....	96
Ilustración 98: Cargas y restricciones aceleración	98
Ilustración 99: Tensiones generadas aceleración	98
Ilustración 100: Desplazamientos generados aceleración	99
Ilustración 101: Factor de seguridad aceleración.....	100
Ilustración 102: Paso por curva de un kart haciendo uso del piano.....	101
Ilustración 103: Cargas y restricciones curva izquierda	102
Ilustración 104: Tensiones generadas curva izquierda	102
Ilustración 105: desplazamientos generados curva izquierda.....	103
Ilustración 106: Factor de seguridad curva izquierda	103
Ilustración 107: Cargas y restricciones curva a derecha	104
Ilustración 108: Tensiones generadas curva a derecha	105
Ilustración 109: Desplazamientos generados por la curva a derecha.....	105
Ilustración 110: Factor de seguridad curva a derecha	106

Índice de tablas

Tabla 1: Categorías del CIK	13
Tabla 2: Relación diámetro espesor del eje trasero	14
Tabla 3: Medidas chasis kart KF	15
Tabla 4: Composición química del acero S355JR	61
Tabla 5: Propiedades mecánicas del acero S355JR	62
Tabla 6: Componentes y pesos	64
Tabla 7: Comparación de valores entre el modelo 1 y modelo 2	75
Tabla 8: Costes de ingeniería	112
Tabla 9: Costes de fabricación	112
Tabla 10: Costes de material	113
Tabla 11: Costes elementos auxiliares	113
Tabla 12: Presupuesto total	113

Abreviaturas y simbología

FIA	Federación Internacional del Automóvil
CIK	Comisión Internacional de Karting
RFEDA	Real Federación Española de Automovilismo
CEK	Campeonato de España de Karting
FEM	Finite Elements Method
kg	Kilogramo
m	Metro
mm	Milímetros
mm ⁴	Milímetro a la cuarta
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
s ²	Segundos al cuadrado
t	Tiempo
km/h	Kilómetros por hora
m/s	Metros por segundo
N	Newton
N·m	Newton metro
N/m	Newton por metro
MPa	Megapascales
G	Gravedad
F	Fuerza
cc	Centímetros cúbicos
máx	Máximo
cdg	Centro de gravedad
2T	2 tiempos
cv	Caballos
€	Euro

- > Mayor que
- < Menor que
- \geq Mayor igual que

1. Objetivos

Se pretende diseñar el chasis de un kart de categoría KF que cumpla con la normativa impuesta por la FIA y la CIK, para ello se llevará a cabo en primer lugar una búsqueda exhaustiva de la propia normativa, para cumplir con las medidas del chasis y la selección del material entre otros.

Una vez obtenida toda la normativa, se realizarán varios prototipos de chasis y se someterán a un pequeño estudio para poder así seleccionar la mejor opción. Tras la elección del modelo de chasis final, se someterá a un estudio mucho más completo, aplicando el material establecido por la normativa vigente, para posteriormente someterlo a una simulación de situaciones de carrera y observar el comportamiento de dicho chasis.

2. Antecedentes

Se ha optado por este tema para el trabajo final de grado debido al gran propio interés por el sector del karting. Desde que era pequeño siempre me ha encantado ir a los karts con mi familia o con mis amigos y conducir este tipo de vehículos, por lo que siempre he sido y soy un gran fan del sector automovilístico, de ahí nace esta pasión. Una vez he crecido y sigo con la misma pasión acerca de este mundo, me entra un gran interés por conocer un poco más de este mundo, por ello he decidido llevar a cabo este proyecto, el cual se basa en el diseño del chasis de un kart, para ello se deberá buscar mucha información acerca de este tema, como por ejemplo la historia del karting, las competiciones vigentes, así como la propia normativa.

En este TFG se desarrollará el diseño del chasis de un kart y se emplearán todos los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera, como por ejemplo a la hora de realizar el diseño y hacer simulaciones con programas que se han visto a lo largo del grado.

3. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

Los objetivos de Desarrollo Sostenible son una serie de 17 objetivos establecidos en 2015 por todos los miembros de las Naciones Unidas, que forman parte de la Agenda 2030, los cuales constituyen un llamamiento universal a la acción para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas de las personas en el mundo.

La lista de los 17 ODS es la siguiente:

1. Fin de la pobreza
2. Hambre cero
3. Salud y bienestar

4. Educación de calidad
5. Igualdad de género
6. Agua limpia y saneamiento
7. Energía asequible y no contaminante
8. Trabajo decente y crecimiento económico
9. Industria, innovación e infraestructura
10. Reducción de las desigualdades
11. Ciudades y comunidades sostenibles
12. Producción y consumo responsable
13. Acción por el clima
14. Vida submarina
15. Vida de ecosistemas terrestres
16. Paz, justicia e instituciones sólidas
17. Alianzas para lograr los objetivos

En este proyecto se han trabajado varios ODS de los mencionados anteriormente, en concreto son los siguientes:

ODS 8: Trabajo decente y crecimiento económico

El ODS 8 tiene como objetivo “promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos” pretende lograr un mundo donde toda la gente tenga un trabajo digno y que haya un crecimiento económico por igual en todo el mundo.

El presente proyecto cumple con el ODS 8, puesto que se trata de un proyecto que puede atraer a mucha gente joven, como por ejemplo a mí mismo, y que suponga un incremento de jóvenes en el sector del karting, logrando así empleabilidad entre la juventud y un crecimiento económica en este sector.

ODS 9: Industria innovación e infraestructura

El ODS 9 mantiene como objetivo “construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación”, pretende impulsar una nueva industria bajo criterios de sostenibilidad la cual adopte procesos industriales limpios, fomentar la tecnología, la innovación y la investigación, y por supuesto lograr información y conocimiento a través de internet.

Este proyecto cumple con el ODS 9, ya que se trata de un proyecto en el cual se debe realizar un gran número de búsquedas de información a través de internet, tener un gran conocimiento acerca de las nuevas tecnologías como pueden ser programas de diseño y de simulación. A su vez, se trata de un proyecto el cual en un futuro se necesite a una gran plantilla de personas cualificadas para poder llevarlo a cabo, haciendo uso de las nuevas tecnologías e infraestructuras.

ODS 12: Producción y consumo responsable

El ODS 12 cuyo objetivo es “garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles”, pretende cambiar el modelo actual de producción y consumo, para lograr algo mucho más eficiente y donde no haya tanto malgasto de materiales o de recursos a la hora de producción en las fábricas, por otro lado, se pretende regular el consumo, logrando así un consumo mucho más regulado. Otro de los mayores objetivos del ODS 12, es que las empresas logren una optimización en su proceso de fabricación, y, por otra parte, lograr una mayor vida útil de sus productos.

Este proyecto cumple el ODS número 12, ya que en el diseño del propio chasis se intentará ajustar todas las medidas para no hacer un malgasto de material y realizar operaciones innecesarias a la hora de fabricación, que supongan un gasto extraordinario y encarezca el proceso de fabricación, lo que hará que ascienda el valor del producto en el mercado. A su vez, se elegirá el material que mejores prestaciones tenga, teniendo en cuenta el coste del propio material y la vida útil que le pueda dar al producto final.

4. Fases del proyecto

Con el objetivo de llevar una buena planificación del proyecto, se ha realizado una tabla en el programa Excel para llevar un seguimiento de cada actividad. En dicha tabla se puede apreciar el día de inicio de la tarea y la duración en horas. También se ha realizado un diagrama de Gantt, donde se podrá observar con facilidad que tarea ha supuesto un mayor tiempo de trabajo.

Cabe mencionar que durante el desarrollo del proyecto en ocasiones no se ha cumplido con los tiempos marcados, pero este temporizador de tareas me ha facilitado el poder recuperar las horas perdidas en ciertos puntos y poder llegar al objetivo marcado desde un principio.

Nombre de la actividad	Fecha de inicio	Horas empleadas
Definición de la idea TFG	03/10/2023	8.00
Documentación para la CAT	09/10/2023	15.00
Información y rúbrica TFG	15/11/2023	20.00
Búsqueda de normativa	04/02/2024	10.00
Redacción de la memoria	15/02/2024	75.00
Diseño y fabricación	10/03/2024	60.00
Cálculos y simulaciones	23/03/2024	75.00
Comprobación y conclusiones	15/04/2024	15.00
Presupuestos	20/04/2024	10.00
Pliego de condiciones	21/04/2024	6.00
Planos	23/04/2024	15.00
Correcciones tutor	28/04/2024	30.00
Presentación	11/05/2024	20.00
		359.00

Ilustración 1: Fases del proyecto

Fuente: propia

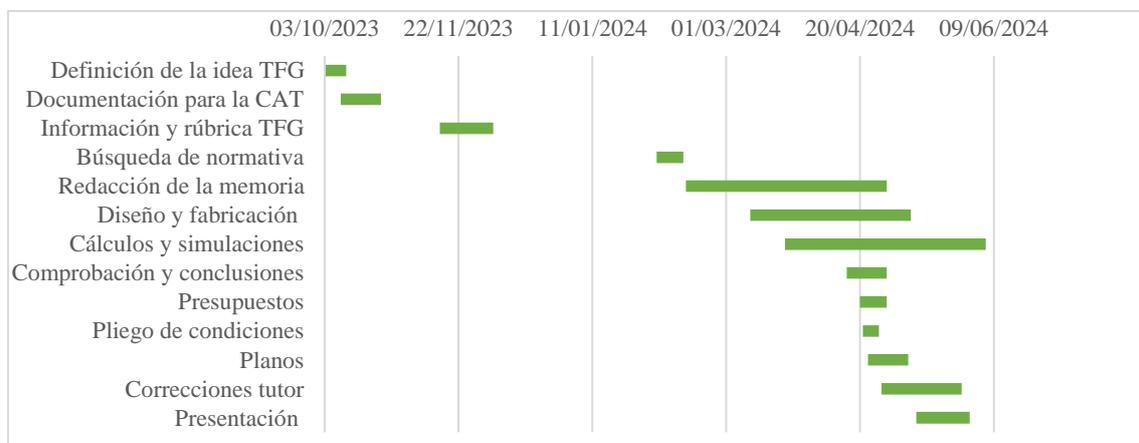


Ilustración 2: Diagrama de Gantt

Fuente: propia

5. Normativa aplicada

A continuación, se mostrará toda la normativa que debe cumplir el chasis de un kart de categoría KF, que en la actualidad las subcategorías han dejado de llamarse KF 1, KF 2 y KF 3, a pasar a llamarse OK y OK-J.

Dicha normativa se encuentra en la página oficial de la Federación Internacional del Automóvil, [1] donde se ha obtenida toda la información y la cual se deberá seguir a cabo a la hora de realizar el diseño del chasis del kart.

El chasis que se va a diseñar pertenece a la categoría KF, dentro de la reglamentación FIA se puede apreciar que los karts se dividen en 4 grupos, la categoría KF (OK y OKJ) pertenece a la categoría número 2.

En primer lugar, para entender la normativa y aplicarla correctamente, se mostrará las diferentes categorías con los distintos tipo de kart de cada categoría.

Categoría	Edad	Peso Mínimo (Kg)	Motor
KF			
OKJ	>12 años	140	2T 125cc 14.000 rpm máx
OK	>14 años	150	2T 125cc 16.000 rpm máx
OKN-J	> 12 años	145	2T 125cc 15.000 rpm máx
OKN	>14 años	155	2T 125cc 15.000 rpm máx
KZ			
KZ1	≥ 15 años	170	2T 125cc 6 velocidades
KZ2	≥15 años	175	2T 125cc 6 velocidades
SUPERKARTS	≥18 años	205-215	2T 1250cc 6 velocidades

Tabla 1: Categorías del CIK

* El peso mínimo se considera la suma del kart más el peso del piloto

Fuente: <https://es.falugaracing.com/blog/categorias-del-karting-cik/>

Se debe saber que el chasis de un kart está compuesto por el chasis-cuadro y por las partes auxiliares del chasis. El cuadro del chasis es la parte principal de soporte del kart, sirve como base para todas las demás partes del chasis que son auxiliares. El chasis es el encargado de absorber todas las fuerzas que sufre el kart cuando este está en funcionamiento. El cuadro del chasis está fabricado con tubos de acero con una sección transversal cilíndrica. El bastidor también cuenta con los soportes del eje trasero y delantero.

En cuanto al material del chasis del kart, debe ser un acero estructural o aleación de acero estructural que cumpla con la norma ISO 4948 y la designación 4949. Solo se podrá permitir las aleaciones cuyo contenido de masa de un elemento de aleación sea $\leq 5\%$. El acero deberá pasar una prueba de fuerza de contacto, pero antes de realizarse dicha prueba, las superficies de contacto se habrán de limpiar de cualquier impureza con un tratamiento de acabado con la ayuda de un abrasivo.

Las partes principales del chasis deben estar firmemente unidas entre si al bastidor. La construcción debe ser rígida sin articulaciones ni juntas flexibles. Las conexiones articuladas solo están permitidas para el muñón de dirección.

El chasis también cuenta con unos componentes auxiliares, y contribuyen al buen funcionamiento del kart. Dichos componentes pueden ser los frenos, el volante, el asiento, el parachoques, el radiador, el motor, el escape etc. Dichas piezas auxiliares deberán estar correctamente soldadas a la estructura del cuadro-chasis, para que no puedan desprenderse mientras el kart está en movimiento y suponga un peligro para los pilotos.

En cuanto al eje trasero, como bien indica la normativa [1] el diámetro de este dependerá de la categoría, pero en todas las categorías el eje trasero deberá estar fabricado con acero magnético. El espesor del eje dependerá directamente del diámetro exterior del eje, este diámetro ha de tener un valor máximo de 50 mm y el espesor mínimo es de 1,9 mm, por lo tanto, la siguiente tabla refleja la relación diámetro-espesor:

Diámetro (mm)	Espesor (mm)
50	1.9
49	2.0
48	2.0
47	2.1
46	2.2
45	2.3
44	2.4
43	2.5
42	2.6
41	2.8
40	2.9
39	3.1
38	3.2
37	3.4
36	3.6
35	3.8
34	4.0
33	4.2
32	4.4
31	4.7
30	4.9
29	5.2
>28	macizo

Tabla 2: Relación diámetro espesor del eje trasero

Fuente: [1]

En cuanto a las medidas del chasis la FIA y CIK también establecen unos márgenes los cuales se deben cumplir a la hora del diseño y la fabricación del chasis del kart. Los chasis una vez fabricados se someten a una homologación que deben pasar cada 3 años. Las medidas establecidas por la FIA y CIK son las siguientes:

Batalla (distancia entre ejes)	101-107 cm
Vía	Al menos 2/3 de la batalla
Longitud total máxima	182 cm sin carenado frontal y trasero
Ancho promedio	140 cm
Altura	65 cm desde el suelo excluyendo el asiento

Tabla 3: Medidas chasis kart KF

Fuente: [1]

6. Definición de un kart

Se explicará de forma detallada la definición de un kart, para así poder comprender todo lo realizado a lo largo de este proyecto, se darán a conocer las partes fundamentales de este tipo de vehículos y sus funciones.

Un kart [2] [3] es un vehículo terrestre monoplaza sin techo, no cuenta con suspensiones, pero sí que puede contar con elementos de carrocería, como, por ejemplo; 4 ruedas que están en contacto con el suelo, dos delanteras que son las encargadas de controlar la dirección del kart, y las dos traseras, conectadas por un eje de una pieza, transmiten la potencia necesaria al vehículo. Las partes principales del kart son: el chasis, las ruedas, el motor, y el sistema de dirección. Luego hay elementos auxiliares como pueden ser los pedales, el asiento, el volante etc.

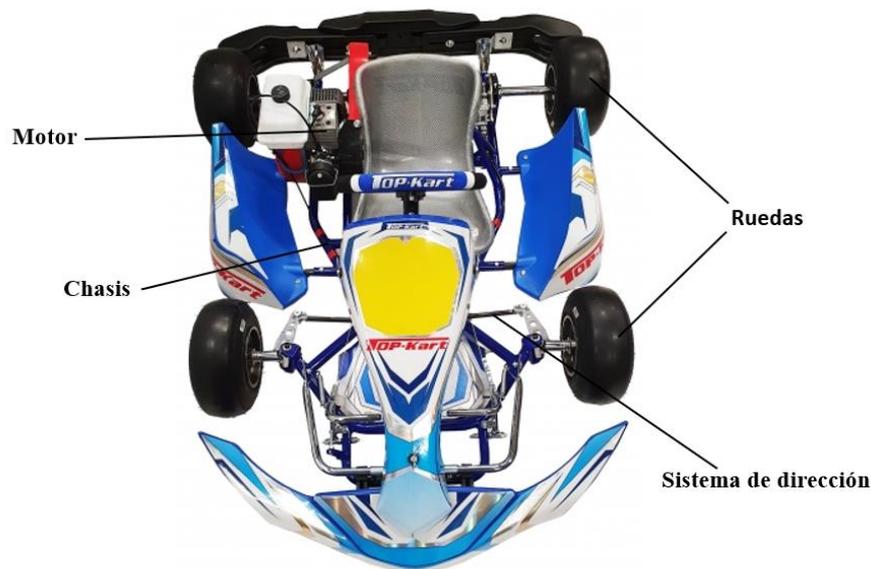


Ilustración 3: Vehículo tipo kart

Fuente: https://www.mondokart.com/19633-tm_large_default/chasis-completo-top-kart-kid-kart-50cc-blueboy-pack.jpg

Chasis: se define como la estructura del conjunto del kart, donde van ensamblados los todos los componentes electrónicos, mecánicos e hidráulicos, y la propia carrocería. El chasis está formado por un conjunto de tubos de acero soldados, no atornillados, formando así una estructura rígida.

Motor: conjunto motopropulsor del vehículo en estado de marcha, comprendido por un bloque de cilindros, carters, eventualmente caja de velocidades, un sistema de encendido, uno o varios carburadores (no cuenta con sistema de inyección) y un tubo de

escape silencioso. En cuanto a las partes más importantes del motor de un kart, serían: el sistema de admisión, el carburador, la bujía y el escape.

Ruedas: las ruedas van montadas al kart en los ejes traseros y delanteros, el eje trasero es el encargado de montar las ruedas traseras las cuales transmiten la potencia del kart, y el eje frontal monta las ruedas delanteras que se encargan de dar la dirección. Los neumáticos de los vehículos de tipo kart suelen ser de 5 pulgadas.

Sistema de dirección: se podría definir [4] como el conjunto de mecanismos que tiene la misión de orientar las ruedas delanteras para tener el control del vehículo. Las partes fundamentales que integran el sistema de dirección de un kart son: el volante, la columna del volante, varillas de dirección, mangueta, llantas y rines. El sistema de dirección debe contar con seguridad, suavidad y resistencia. Debe aportar seguridad, y para ello debe contar con un margen de giro, ya que si el giro excede el vehículo puede volcar. Dicho sistema ha de ser suave, para que sea fácil girar el volante cuando se toma una curva. El material del sistema de dirección debe ser muy resistente, para que no haya una ruptura que pueda ocasionar un accidente.

A continuación, se muestra el dibujo técnico N° 1.0 de la FIA, donde se puede contemplar las distintas partes principales del chasis de un vehículo kart.

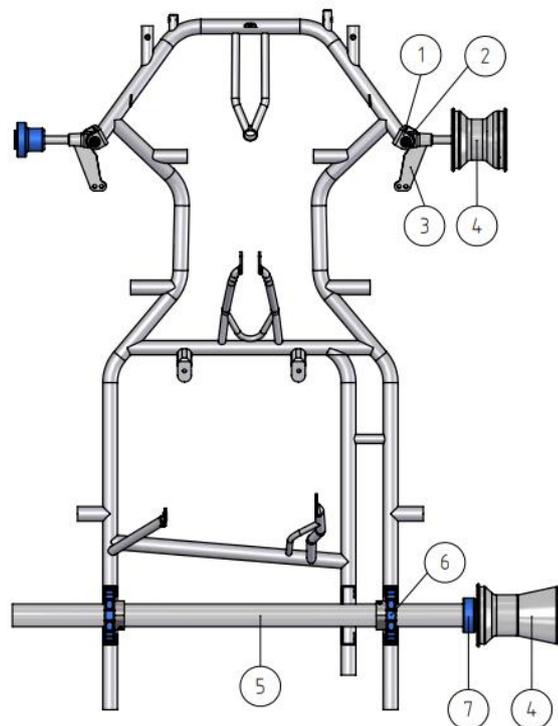


Ilustración 4: Partes de un chasis de un kart

Fuente: https://www.fiakarting.com/sites/default/files/2023-02/TD%201.0a_Chassis%20frame_chassis%20main%20parts.pdf

1. Soportes manguetas
2. Rótulas
3. Mangueta
4. Llantas
5. Eje trasero
6. Soporte eje trasero
7. Bujes

7. Introducción al sector del karting

El karting [5] es una disciplina del automovilismo la cual se practica con karts sobre circuitos, que reciben el nombre de kartódromos, suelen contar con una longitud de entre 600 y 1700 metros, y una anchura de calzada de entre 8 y 15 metros. Dadas sus características, el kart es la modalidad por excelencia en la formación de pilotos, puesto que suele ser el primer automóvil en el que debutan los aspirantes llamados a ser pilotos de competición, suelen empezar a edades muy tempranas, rondando los 8 años.

A continuación, se mostrará una pequeña introducción sobre el sector del karting, para conocer un poco mejor el mundo de este deporte automovilístico. Se hará un resumen de su historia y se dará a conocer datos importantes y relevantes de la actualidad, así como las categorías en las que se divide las competiciones y que tipo de competiciones hay, tanto nacionales o internacionales.

7.1 Historia del karting

El karting nació en el sur de California en el año 1956 [5] [6], y fue de la mano de Art Ingels, el cual construyó el primer kart en su garaje. Ingels trabajaba en una compañía que se dedicaba a fabricar coches de carreras, utilizó tubos de acero para el chasis y un motor de cortacésped de la marca West Bend para la propulsión del kart. Fue el propio Ingels el que presentó este invento en el aparcamiento del estadio Rose Bowl en Pasadena, y fue allí donde dicho invento cautivó a la gran mayoría de espectadores.



Ilustración 5: Art Ingels

Fuente: <https://arizaracing.com/wp-content/uploads/2023/06/Art-Ingels-1-300x223.jpg>



Ilustración 6: Primer kart de la historia

Fuente: <https://3.bp.blogspot.com/-t7scn7-PU6o/UeVOyj5w87I/AAAAAAAAAC1w/SZ55MK6Tq1Q/s400/the-wasp-go-kart.jpg>

Uno de los entusiastas, Duffy Livingstone, se quedó impresionado con el invento de Ingels, y esto hizo que él junto a un grupo de amigos decidieran construir sus propios karts, y fue en 1957 cuando crearon “Go Kart Manufacturing Co” una de las primeras compañías en producir karts en masa. Esto hizo que la fiebre por el karting aumentase por todo el territorio de Estados Unidos, y tres años después de la invención de Ingels, se contaba con más de 300 marcas diferentes que fabricaban ese tipo de vehículos, esto hizo que el karting se convirtiese en una nueva disciplina deportiva del automovilismo

El karting se fue consolidando en otras bases de Estados Unidos muy rápidamente, y es cuando comenzaron las primeras competiciones “salvajes”, los go-karts fueron superando aquellos 50 km/h y se fueron implementando muchas mejoras técnicas de una forma muy veloz.



Ilustración 7: Primeras carreras de karts “salvajes”

Fuente: <https://i0.wp.com/es.falugaracing.com/blog/wp-content/uploads/2020/05/9da28245030e2e8fbb7736b274d1ad56fcf96675.jpeg?w=1000&ssl=1>

Los años 60 se pueden describir como la expansión y popularización de este deporte de automovilismo, puesto que el karting se fue expandiendo más allá de los Estados Unidos. Fue en esta década cuando el karting llegó a Europa, se introdujo a través de Francia e Inglaterra, esto hizo que se creara un gran número de federaciones por todo el mundo, por lo tanto, en 1962, la Federación Internacional del Automovilismo (FIA) estableció la Comisión Internacional de Karting (CIK), esta comisión se creó con el fin de supervisar todas las regulaciones internacionales.

Los karts de esta época eran bastante simples pero muy efectivos, contaban con motores de dos tiempos y un chasis de acero. Las pistas de karting fueron surgiendo por todo el mundo y el deporte ganó mucha popularidad entre la población joven y también adulta.

La década de 1970 se define como la evolución y el desarrollo, implementado muchas mejoras técnicas, los fabricantes empezaban a probar nuevas mejoras, como por ejemplo experimentar con nuevos materiales y diseños de chasis para mejorar la maniobrabilidad y la estabilidad en la pista. Los neumáticos también sufrieron cambios, se volvieron más sofisticados, con compuestos que ofrecían un mejor agarre y durabilidad. Otro aspecto que cambió fue el uso de carburadores más avanzados, así como sistemas de escape mejorados que contribuyeron a un aumento de potencia de salida.

La CIK jugó un papel muy importante en la normalización de las regulaciones a nivel internacional, esto se hizo para mantener el crecimiento del karting, y tener así varios campeonatos regulados y garantizar un entorno justo y seguro.



Ilustración 8: Karts mejorados (años 70)

Fuente: <https://arizaracing.com/wp-content/uploads/2023/06/1970-300x169.jpeg>

En los años 80 es cuando empezó el nacimiento de las estrellas, ya que el karting se estableció como un paso fundamental en la carrera de todo piloto profesional. Muchos pilotos de Fórmula 1, como pueden ser Ayrton Senna o Michael Schumacher, comenzaron sus carreras de piloto en el sector del karting. Esto atrajo mucho más la atención a este deporte de automovilismo, así, los karts se volvieron mucho más sofisticados, otro punto que se convirtió en prioridad fue la seguridad, introduciendo mejoras de equipamiento de protección y características de seguridad en los karts.

Los años 90 vieron una mayor diversificación en el karting, un punto a favor fue que el karting indoor empezó a ganar popularidad, lo que permitió a las personas disfrutar de este deporte en un entorno accesible y controlado. Por otro lado, las categorías se diversificaron, permitiendo así, una variedad de opciones para diferentes edades y niveles de habilidad.

El hecho de que el karting fuese un deporte verdaderamente global con campeonatos por todo el mundo hizo que las marcas de fabricantes de estos vehículos siguieran innovando, mejorando la potencia, la manejabilidad y la seguridad de los vehículos.



Ilustración 9: Kart de los años 90

Fuente: <https://arizaracing.com/wp-content/uploads/2023/06/1990-300x169.jpeg>

Se llegaba al siglo XXI, con innovación y sostenibilidad, los años 2000 fueron el auge de las superestrellas, a medida que se entraba en el nuevo milenio, el karting seguía siendo una parte fundamental en el desarrollo de todo gran piloto. Nombres como Fernando Alonso, Sebastian Vettel y Lewis Hamilton, quienes empezaron en el sector del karting, se convirtieron en nombres bastante reconocidos en la Fórmula 1

Durante este tiempo, el karting experimentó avances tecnológicos muy grandes, los karts se volvieron más refinados, con una mejor aerodinámica, electrónica y ya contaban con sistemas de telemetría avanzada.

En el año 2010, se le dio al karting un enfoque en la sostenibilidad, la CIK comenzó a promover la sostenibilidad, implementando regulaciones para reducir las emisiones y promoviendo tecnologías más limpias.



Ilustración 10: Primeros karts del S. XXI

Fuente: https://bp0.blogger.com/_d2PxZexXdOw/RxPHLtYljbI/AAAAAAAAACbA/7ilx4LtcP7M/s400/10JMD7407.jpg

A medida que se entraba en la década de 2020 el karting seguía siendo muy popular, y un reclamo para toda la gente joven apasionada por el mundo del automovilismo, la accesibilidad del deporte ha permitido que una nueva generación de pilotos aparezca en este mundo.

7.2 Categorías y tipo de karts

Como es normal en la gran mayoría de deportes, el karting también se divide en categorías, dependiendo de la edad del piloto y del tipo de kart empleado en la competición.

En primer lugar,[7] la Comisión Internacional de Karting establece una edad mínima de 13 años para poder obtener la licencia internacional y poder así participar en las competiciones, esto hace que los pilotos menores de 13 años que quieran comenzar a competir tengan que hacerlo a nivel nacional, es decir, participando en campeonatos regionales o nacionales, donde la normativa la establece la federación correspondiente, en el caso de España la normativa la impone la RFEA.

Las categorías impuestas por la CIK se dividen en tres grandes grupos:

- DD (Direct Drive): automáticos, esta categoría conocida siempre bajo el nombre de KF, se divide en OK y OKJ, y en algunos países OKN y OKN-J.
- KZ: karts con marchas, se dividen en KZ1 y KZ2
- SUPERKARTS: karts con carrocerías completas, con motores bicilíndricos de 2T que se aproximan a los 100 cv de potencia y con un peso mínimo de entre 205 y 215 kg.

Categoría DD (Direct Drive)

La categoría DD, también conocida como categoría KF, hace unos años se dividía en KF1 y KF2, pero a raíz de un cambio en el motor pasaron a llamarse OK y OKJ, como se ha mencionado anteriormente, apuntar que, solo se realizaron cambios en el motor, la estructura del kart seguía siendo la misma. Este cambio supuso implementar motores de tiro directo (sin motor de arranque), el reglamento permite adaptar dicho motor a las diferentes prestaciones de cada subcategoría OK y OKJ.

El nuevo motor oficial es muy similar al de los antiguos ICA (anterior categoría) son motores de tiro directo con un descompresor en la culata para que la puesta en marcha sea más fácil, quitando así todo el sistema de arranque eléctrico. Otra medida que la CIK tomó fue limitar las rpm máximas entre 14000 y 16000, con el fin de alargar su vida útil.

Por otra parte, como se ha mencionado anteriormente hace unos años se quiso implementar las subcategorías OKN y OKJN, que serían competiciones nacionales donde se utilice una categoría universal adaptada a todos los participantes, y con el objetivo de

reducir costes, y hacer así más accesible el karting. El país pionero en estas categorías fue Italia, [8] y es que, en el reciente año 2023, se realizó la primera competición OKN, y esto permite a los mejores pilotos ganarse un puesto en el campeonato mundial.



Ilustración 11: Kart categoría OK

Fuente : https://www.mondokart.com/20951-tm_thickbox_default/chasis-nuevo-top-kart-newb-ok-okj-kf-promo-2022.jpg

Categoría KZ

Esta categoría [7] en los últimos años se ha convertido en la categoría por excelencia del karting que ha ganado más relevancia y adeptos, ya que es la modalidad de paso entre una categoría con karts automáticos a cualquier modalidad del motor de alto nivel. En este punto ya entran en juego factores como la exigencia física y las destrezas con el cambio manual.

Los karts de esta categoría cuentan con un motor de 125cc con 6 velocidades, un carburador con difusor de 30mm de diámetro, y un escape homologado



Ilustración 12: Kart categoría KZ

Fuente: <https://sportkart.es/wp-content/uploads/2018/03/chassis-road-rebel-crg-kz-2019.jpg>

Las subcategorías son KZ1 Y KZ2, y existen algunas ligeras diferencias entre ellas, KZ1 es una categoría exclusivamente internacional, que supone un mayor nivel deportivo y hace que el coste económico sea más elevado. En la categoría KZ1 el peso mínimo es de 170 kg, mientras que en la categoría KZ2 es de 175 kg. Por esta razón, en esta modalidad es donde se concentran los mejores pilotos y marcas del sector. Actualmente esta categoría representa la élite de la competición, y los fabricantes siendo conscientes, es donde se juegan todo su prestigio.

Categoría Superkarts

Esta categoría cuenta con karts con una carrocería completa, sus motores son bicilíndricos de 2T que rondan los 100 caballos, y con un peso mínimo de entre 205 y 215 kg, dependiendo del campeonato. Dichos karts necesitan correr en un circuito de alta velocidad, puesto que son karts con características aerodinámicas complejas, cuentan con una gran potencia y poco peso, y todo esto hace que lleguen a alcanzar los 200 km/h.



Ilustración 13: Kart categoría superkart

Fuente: <https://8000vueltas.com/wp-content/uploads/2015/12/image1.jpg>

Uno de los objetivos más claros que hay ahora en el sector del karting es la reducción de costes y las facilidades para entrar en el mundo de la competición de este deporte, por eso, uno de los factores para lograr este objetivo es que el motor de las categorías anteriormente mencionadas son el mismo, y sólo son necesarios unos kits para

adaptarlos a las siguientes categorías. Dicho motor se trata de un motor de 2 tiempos (2T) de 125 cc, excepto en el caso de los Superkarts que se trata de un motor de 2T y 250 cc.

Con esto, lo que se pretende lograr es que, un piloto que quiera dar el salto de categoría KF a la categoría KZ, deberá implementar un kit al motor y podrá correr en esta nueva categoría, y no le será necesario cambiar todo el motor.

8. Diseño y fabricación

En este apartado del proyecto se llevará a cabo, en primer lugar, el proceso de diseño del chasis, dando a conocer las consideraciones generales la geometría del propio chasis y sus medidas, así como el proceso de diseño en un programa CAD paso por paso. Y, por otra parte, se plasmará el proceso de fabricación de dicho chasis, donde se mostrará todos los pasos a seguir en la fabricación de este.

8.1 Diseño de la estructura del chasis

Para modelar la estructura del chasis y su posterior estudio de análisis FEM se empleará un programa de tipo CAD, en este caso SolidWorks 2022, el cual es una herramienta verdaderamente útil que permite realizar el diseño inicial del chasis, y una vez terminado someterlo a una simulación para ver su comportamiento cuando se le aplica cualquier tipo de esfuerzo.

El diseño de este tipo de estructuras no es concretamente un proceso lineal y secuencial, es decir, puede ser modificado en varias ocasiones si a la hora de realizar las comprobaciones hay algo que no cumple o que podría mejorarse, por lo tanto, se trata más bien de un proceso iterativo.

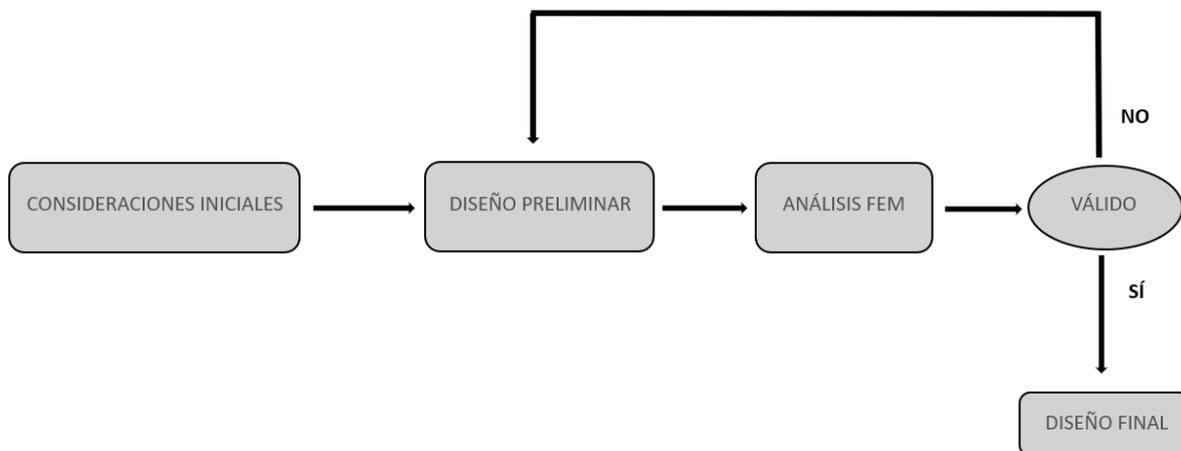


Ilustración 14: Proceso iterativo de diseño

Fuente: propia

8.1.1 Consideraciones generales

Para llevar a cabo un buen trabajo a la hora de diseñar y fabricar cualquier producto, se ha de tener en cuenta varios factores importantes que influyen en el objeto o producto que se vaya a diseñar. En el caso del presente proyecto, antes de realizar el diseño se ha de conocer las fuerzas que actúan sobre el chasis del kart.

La rigidez se define como la capacidad que tiene un elemento estructural (en este caso el chasis) para soportar esfuerzos sin llegar a deformarse. El chasis puede sufrir varios tipos de esfuerzos, dependiendo del esfuerzo que sufra puede existir dos tipos de rigidez; rigidez a flexión y rigidez a torsión. [9]

La rigidez se puede definir de una forma genérica como:

$$K = \frac{F}{d}$$

Ecuación 1: Fórmula de la rigidez

Donde:

K = Rigidez (N/m)

F = Fuerza aplicada (N)

d = desplazamiento o giro (m)

La rigidez del chasis representa un factor muy importante en la estabilidad y conducción del kart, ya que este tipo de vehículos carecen de suspensiones, por lo tanto, la rigidez del propio chasis juega un papel muy importante. Como principio básico a menor rigidez el chasis tendrá mayor capacidad para flexionar, esto se traduce en un mayor agarre y adherencia en las curvas y menos deslizamiento, por el contrario, si el chasis tiene un índice de rigidez alto ocurrirá todo lo contrario, el chasis tendrá una mayor resistencia a flexión, lo que se traduce en una menor adherencia en curvas con un alto grado de deslizamiento.

Rigidez a flexión

Debido a la gravedad, las masas que soporta el chasis como puede ser el propio piloto, el motor, la transmisión u otros componentes dan lugar a cargas en un plano perpendicular al del chasis, esto hace que en los tubos se genere un momento flector que puede dar lugar a una flecha vertical en determinados puntos del chasis.

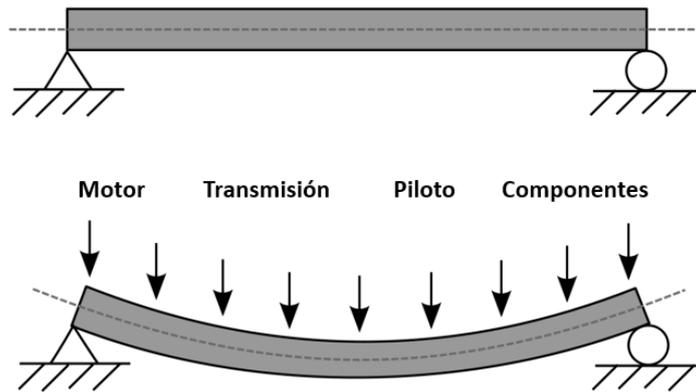


Ilustración 15: Flexión mecánica

Fuente: propia

La rigidez a flexión para una pieza prismática como pueden ser los tubos del chasis es determinada por la siguiente expresión:

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{EI}{L}$$

Ecuación 2: Fórmula rigidez a flexión

Donde:

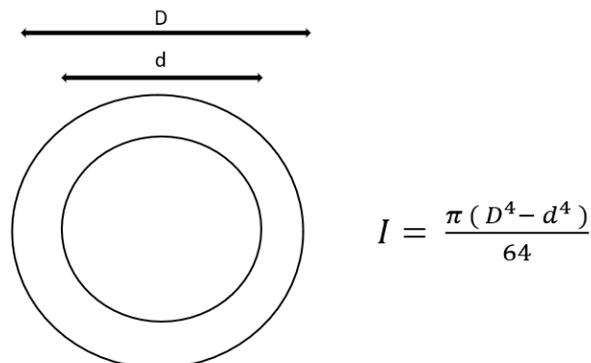
M = Momento flector (N·m)

θ = Giro (radianes)

E = Módulo de elasticidad (acero = 210000 MPa)

L = Longitud (mm)

I = Momento de inercia de la sección (mm⁴)



Ecuación 3: Momento de inercia de una sección tubular

Rigidez a torsión

La rigidez a torsión se genera debido a las cargas asimétricas las cuales producen un momento torsor sobre el chasis. Estas cargas pueden ser verticales, por ejemplo, el paso por un piano o por un bache de la pista, o también pueden ser horizontales, como por ejemplo la fuerza centrífuga de las masas sobre el chasis que genera un par torsor. [9]

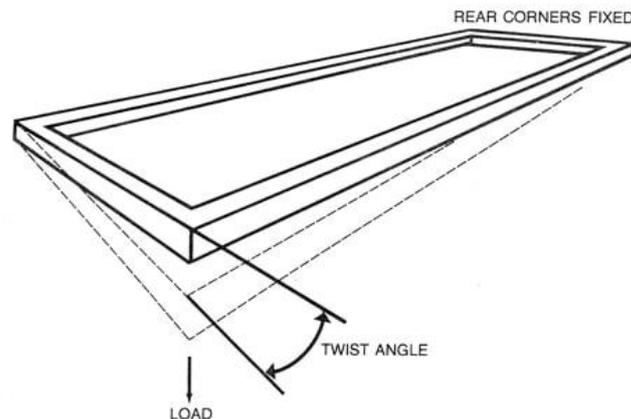


Ilustración 16: Cargas que producen torsión en el chasis

Fuente: <https://dautomotrizuft.weebly.com/uploads/2/8/3/0/28309233/264726035.jpg>

La rigidez a torsión para una pieza prismática como pueden ser los tubos del chasis es determinada por la siguiente expresión:

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{GJ}{L}$$

Ecuación 4: Fórmula rigidez a torsión

Donde:

T = Momento torsor (N·m)

θ = Giro (radianes)

G = Módulo de cortadura (para aceros E = 80000 MPa)

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

Ecuación 5: Fórmula módulo cortante

ν = Coeficiente de Poisson (para el acero $\nu = 0,3$)

L = Longitud del tubo (mm)

J = Módulo de torsión (mm⁴)

El módulo de torsión para una sección hueca coincide con el momento polar I_0

$$J = I_0 = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$$

Ecuación 6: Fórmula momento polar o módulo de torsión

8.1.2 Geometría del chasis

Antes de realizar los diseños previos del chasis se ha de buscar información y conocer en gran medida la forma de la estructura a diseñar y todos los parámetros a llevar en cuenta, así como las medidas de la propia estructura para cumplir con la normativa de competición.

El chasis de un kart [10] se podría definir como el bastidor principal del kart que sostiene todos los demás elementos del propio vehículo, como pueden ser los frenos, el asiento, el motor, la carrocería etc. Dicha estructura es la encargada de proporcionar al kart la rigidez y la estabilidad, que es fundamental para el rendimiento y la maniobrabilidad del vehículo.

El chasis de un vehículo tipo kart se compone principalmente por tubos de acero con aleación en otros materiales soldados los cuales forman una estructura rígida y flexible. Los tubos de acero se cortan y se doblan de forma específica para alcanzar un equilibrio entre rigidez y flexibilidad que se adapte a las necesidades del conductor y a las condiciones de la pista.

Los chasis de kart, aunque siempre sigan las mismas directrices de diseño y la gran mayoría se asemejen entre ellos, pueden variar en tamaño peso y diseño, dependiendo de las necesidades de los pilotos en función de su nivel, su estilo de conducción o el tipo de la pista. El diseño puede modificar el paso por curva del kart el comportamiento en la pista incluso el setup final. Como se observa en la normativa impuesta por la FIA, los tubos pueden ser de distinto tamaño, pero los más usados a nivel de competición son los de 28 mm, 30mm o 32mm de diámetro.

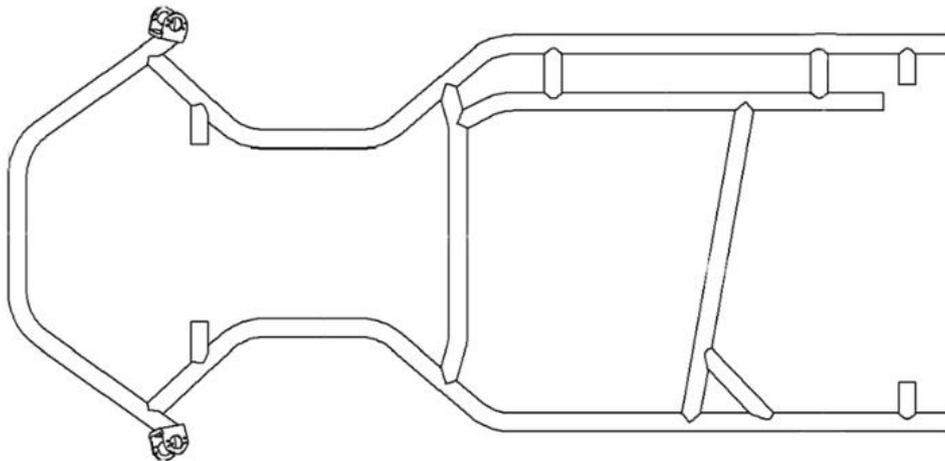


Ilustración 17: Geometría del chasis de un kart

Fuente: <https://tkart.it/es/magazine/tecnica/que-saber-tubos-para-kart#1>

8.1.3 Selección de tubos

El chasis de un vehículo tipo kart está compuesto por la unión de tubos de acero que van soldados unos a otros entre sí. Los tubos más utilizados para la fabricación de este tipo de chasis son los que tienen un diámetro de entre 28 a 32 mm, con un espesor de 2 a 4 mm.



Ilustración 18: Soldadura de tubos de acero

Fuente: <https://tkart.it/uploads/2018/10/costruire-telaio-ap-small-1.jpg>

Como se ha mencionado anteriormente, los tubos más empleados en la fabricación del chasis de un kart de esta categoría son los tubos que cuentan con un diámetro de entre 28 a 32 mm para la estructura principal, por lo que los diseños preliminares de este proyecto se realizarán con tubos de diámetro de 30 mm para la estructura principal. Por otra parte, también se encuentra tramos en los que los tubos son de distinto diámetro, como puede ser en la columna de dirección o en algunos apoyos para el paragolpes, en este caso se diseñarán tubos de 20 mm de diámetro. En cuanto al espesor de los tubos, se realizará un modelo con un espesor de 2 mm y otro modelo con un espesor de 3 mm.

En cuanto al material empleado, se detallará más adelante, pero se ha de mencionar que toda la estructura del bastidor estará compuesta por el mismo material. Puede ser que elementos auxiliares como los soportes de ejes, soportes de manguetas, puntos de anclaje y algunas piezas más auxiliares, estén fabricados de otro material, pero en todo caso también se podrían fabricar del mismo material que el propio chasis.

8.1.4 SolidWorks

SolidWorks se trata de un software de diseño CAD 3D, (diseño asistido por ordenador) [11] el cual permite modelar piezas y ensamblajes en 3D, y obtener planos en 2D. Dicho software ofrece una gran cantidad de herramientas y operaciones para el desarrollo de diseños de productos, y también ofrece la posibilidad de hacer simulaciones FEM.

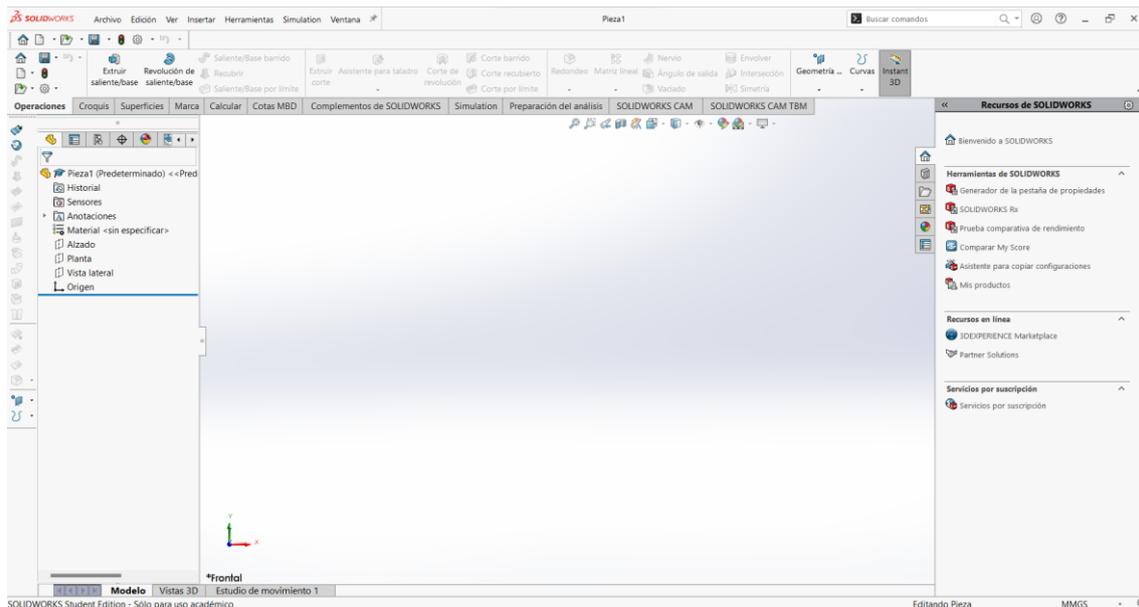


Ilustración 19: SolidWorks 2022

Fuente: propia

Este software ha permitido diseñar el chasis al completo, como se verá a continuación, y donde se podrá apreciar paso a paso como se ha ido modelando dicha estructura.

Se ha empleado el software de SolidWorks como herramienta de diseño debido a que se trata de un software muy intuitivo y que ofrece grandes prestaciones a la hora de diseñar cualquier tipo de producto, en comparación a otras aplicaciones de diseño que se han visto a lo largo de la carrera.

8.1.5 Modelado de la estructura del chasis (modelo 1)

A continuación, se mostrará el proceso de diseño de la estructura del chasis, y como se ha mencionado anteriormente se ha realizado con el programa SolidWorks 2022.

A la hora de hacer el diseño preliminar del chasis se ha tenido en cuenta todas las medidas que debe cumplir la propia estructura para poder cumplir con la normativa vigente, y que dicho chasis pudiera ser usado en competiciones tanto nacionales como internacionales.

El diseño del croquis de la estructura se comenzó realizando un primer croquis en el plano “planta”, donde se diseñó la parte trasera del chasis, donde va situado el asiento del piloto y otros elementos como el motor o el eje trasero. (ilustración 20)

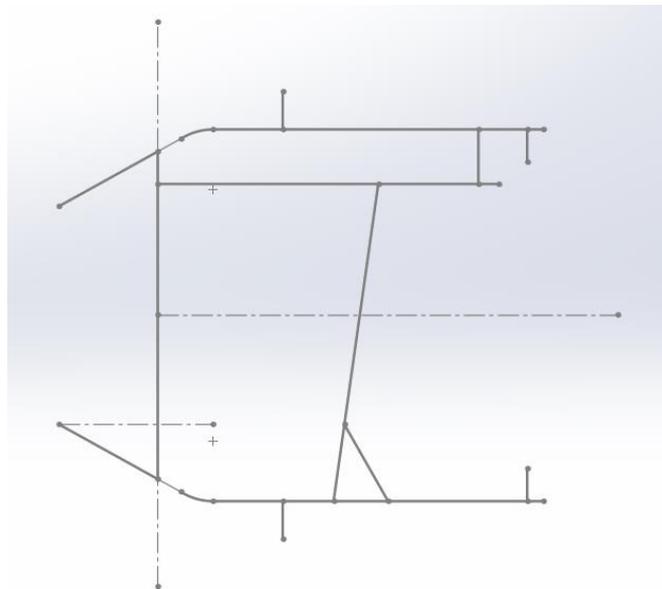


Ilustración 20: Croquis parte trasera chasis (modelo 1)

Fuente: propia

A continuación, con el croquis de la parte trasera ya dibujado y como base, se procedió a la creación de un croquis 3D, el cual permitió hacer el diseño de la estructura final, realizando el croquis de todas las barras y dando las alturas necesarias a determinadas barras, así como los ángulos requeridos en las partes donde las propias barras se doblan para darle forma a la estructura. (ilustración 21)

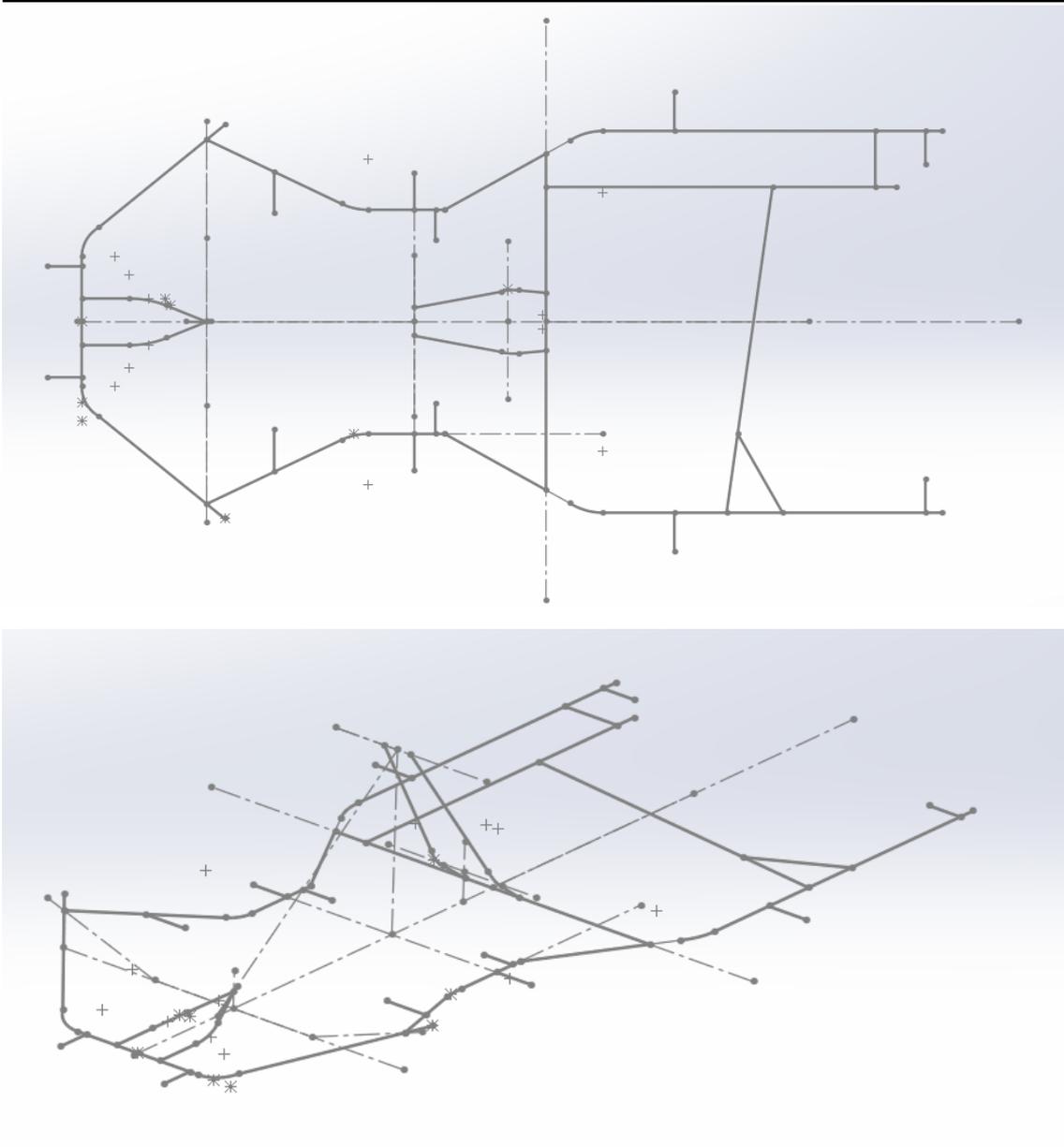


Ilustración 21: Croquis chasis completo (modelo 1)

Fuente: propia

Una vez finalizado el croquis por completo, se utilizó la función de “miembro estructural” del propio programa SolidWorks para recubrir todo el croquis con tubos circulares de un determinado diámetro y espesor.

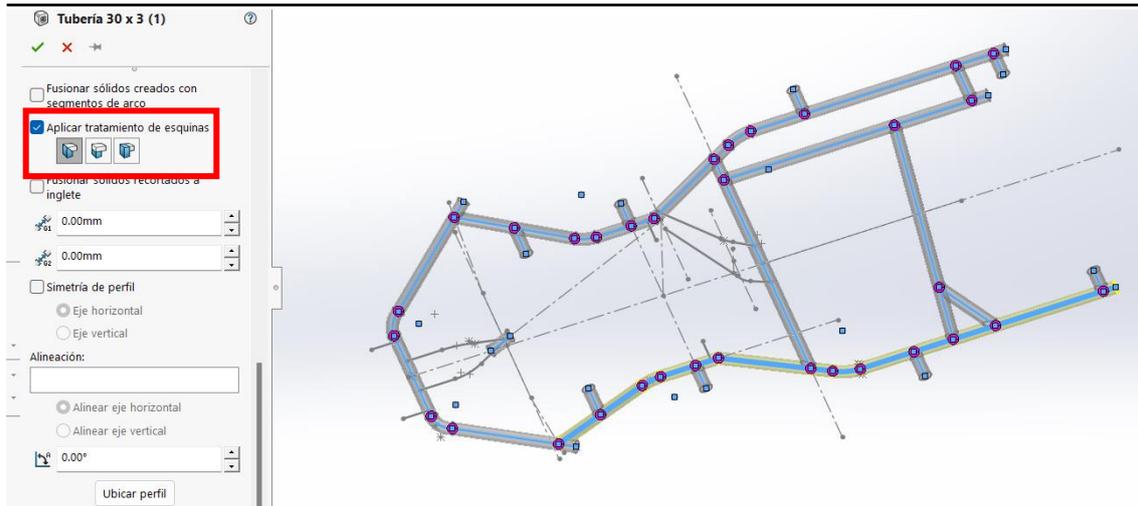


Ilustración 22: Dimensionado de perfil estructural 30x2mm

Fuente: propia

Una vez aplicada la operación de miembro estructural, se tuvo que editar el croquis del tubo circular, ya que el propio programa daba medidas determinadas, por lo que se editó el croquis de la operación y así poder aplicar el diámetro y espesor requerido para el chasis del kart. Como bien se ha mencionado anteriormente los diámetros de los tubos circulares más usados son 28,30 y 32 mm, en este caso se ha decidido aplicar un diámetro de 30 mm con un espesor de 2 mm. (ilustración 23)

Un paso muy importante a tener en cuenta es lo que refleja el recuadro de color rojo en la ilustración 22, esta herramienta lo que hará será realizar un tratamiento de esquinas y tiene la capacidad de ajustar las uniones entre los perfiles, pudiendo recortar dichos perfiles y obtener así un resultado mucho mejor.

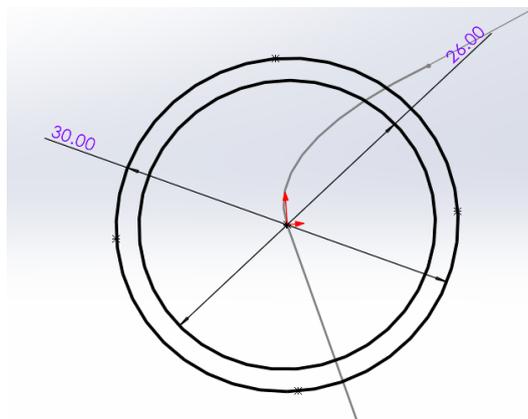


Ilustración 23: Diámetro y espesor tubos circulares principales (modelo 1)

Fuente: propia

Por otro lado, se aplicó otra operación de “miembro estructural”, esta vez para las barras que conforman el triángulo inferior que soporta la columna de dirección, así como las dos barras que también van destinadas a la sujeción de la columna de dirección, las dos barras que actúan de soporte para el depósito y las dos barras de sujeción del paragolpes delantero.

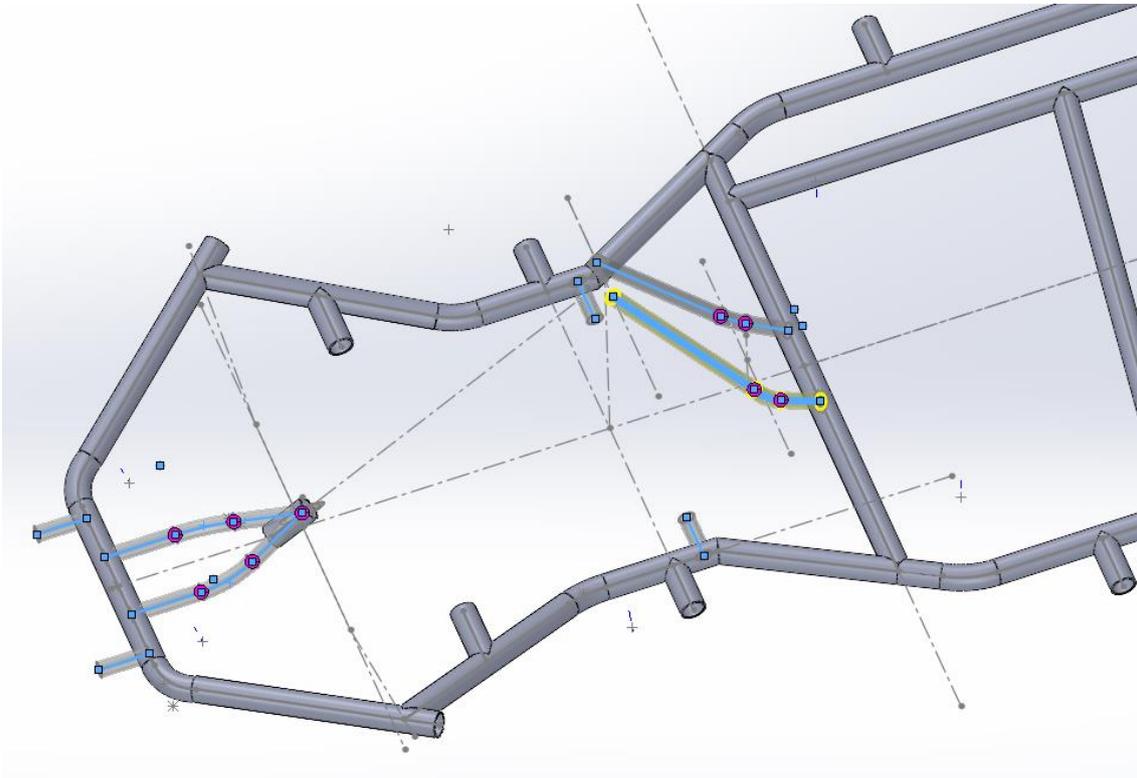


Ilustración 24: Dimensionado de perfil estructural 20x2mm

Fuente: propia

Dicha operación de “miembro estructural” se realizó de la misma forma que la anterior, editando el croquis en este caso con un diámetro de 20 mm y un espesor de 2 mm. (ilustración 25)

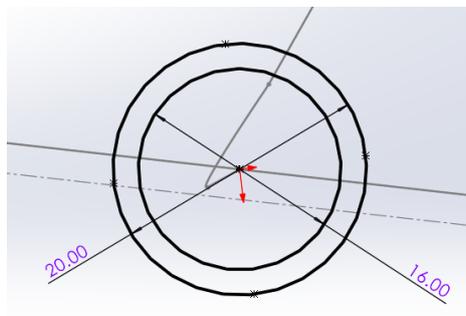


Ilustración 25: Diámetro y espesor tubos columna de dirección

Fuente: propia

Una vez finalizado el dimensionado de toda la estructura del chasis, se debía detallar todas las uniones de los tubos circulares para lograr un resultado mucho más correcto y el cual se comportaría mejor en las simulaciones de estudio. Al usar la herramienta anteriormente mencionada en la ilustración 22, los tubos conectan a la perfección y están perfectamente soldados, pero una vez con el chasis modelado se apreció varios problemas de dimensionado, como por ejemplo en el triángulo inferior, donde va ubicada la columna de dirección, donde se encontró el siguiente error de dimensionado. (ilustración 26)

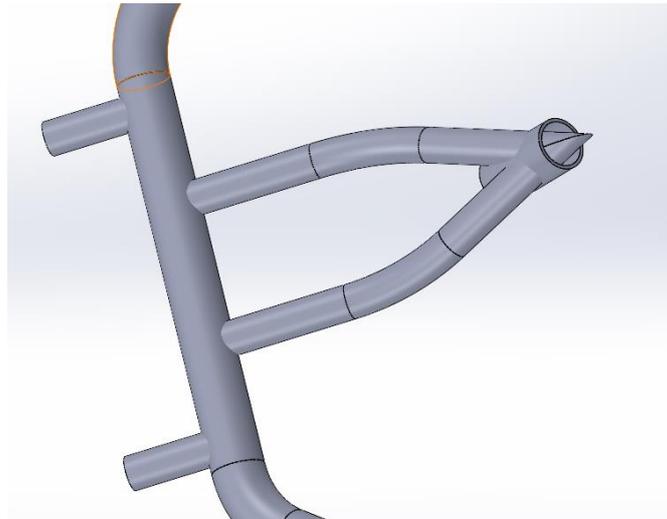


Ilustración 26: Error de dimensionado

Fuente: propia

Para corregir dicho error de dimensionado se procederá a hacer uso de la herramienta “recortar extender” que se ubica dentro de la pestaña piezas soldadas en el programa SolidWorks, con dicha herramienta se logrará corregir el error de dimensionado recortando los dos tubos de sección 20x2mm y lograr el resultado óptimo. A continuación, se mostrará la función que tiene la herramienta “recortar extender”. (ilustración 27)

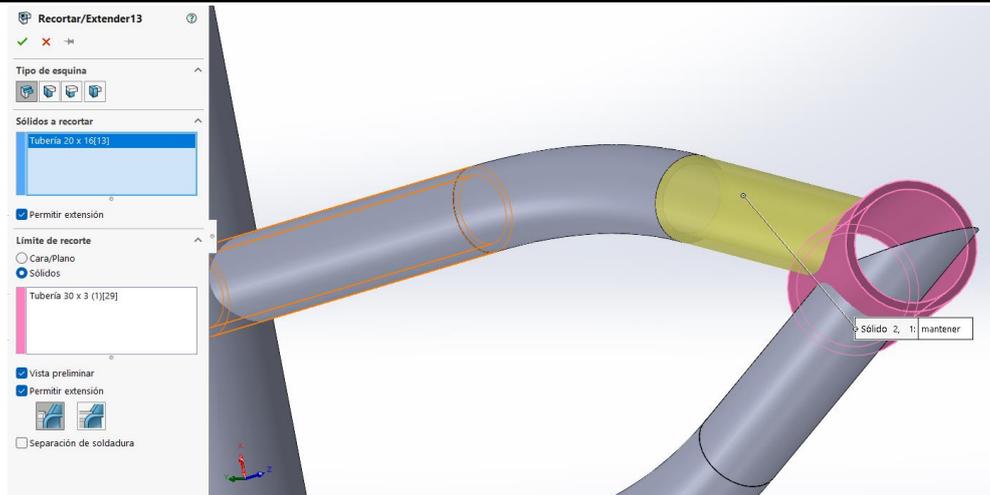


Ilustración 27: Corrección de error de dimensionado

Fuente: propia

En la anterior imagen (ilustración 27) se muestra la corrección de uno de los tubos los cuales tenían un error de dimensionado y se muestra perfectamente la utilidad de esta herramienta. A continuación, se realizó la misma operación para el otro tubo que se muestra en la imagen con el mismo error de dimensionado.

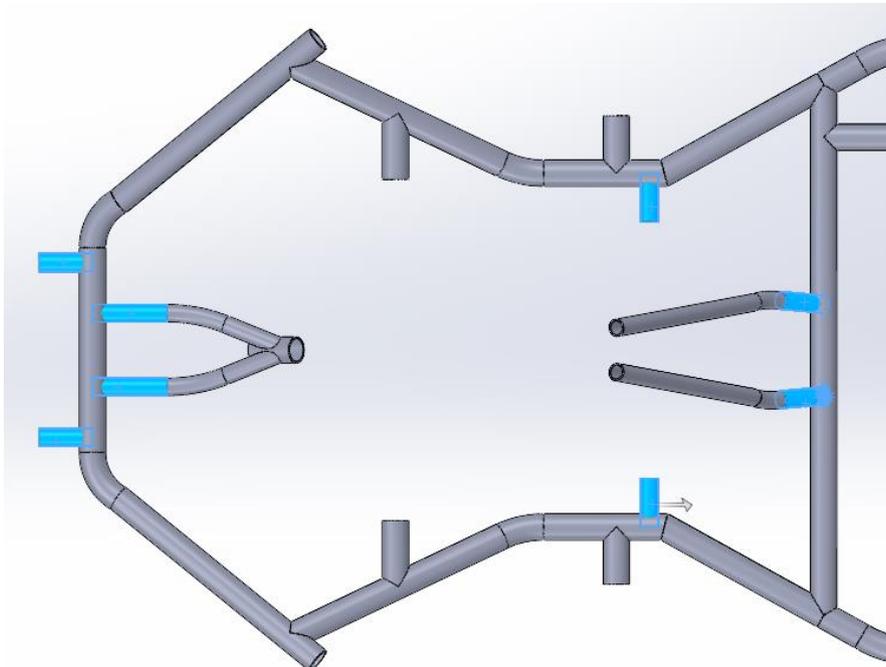


Ilustración 28: Errores de dimensionado

Fuente: propia

Como muestra la anterior imagen (ilustración 28) a la hora de dimensionar toda la estructura completa del chasis se encontraron más puntos de unión de tubos donde se apreciaba un error de dimensionado, por lo tanto, se llevó a cabo el uso de la misma herramienta “recortar/extender”, y lograr así la estructura final del chasis dimensionada correctamente. (ilustración 29)

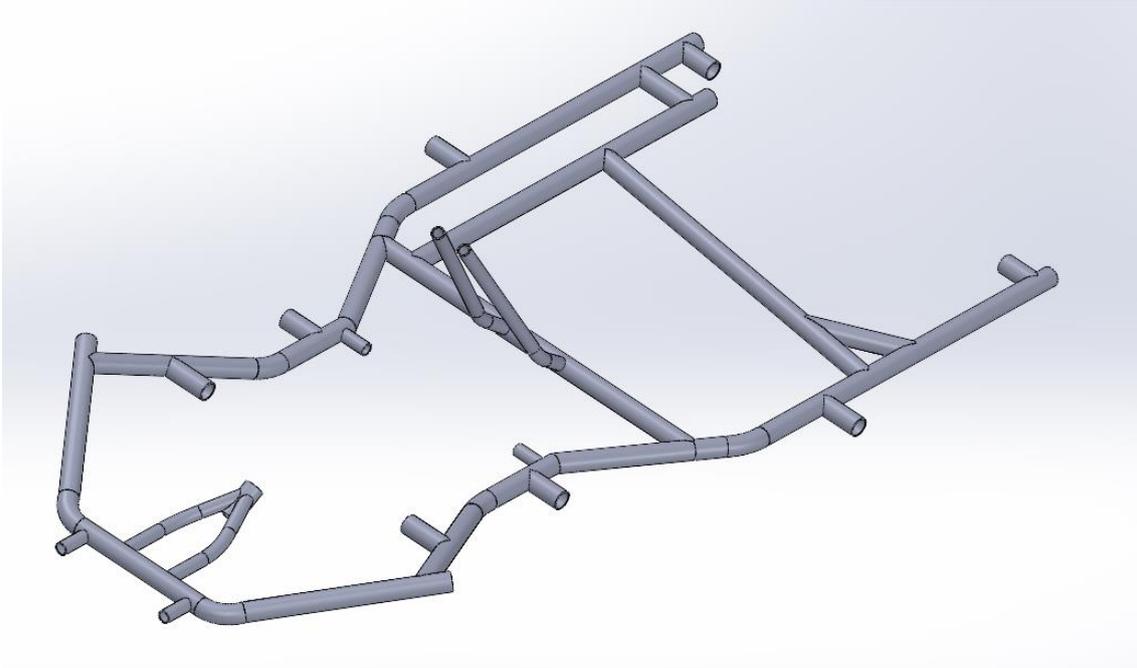


Ilustración 29: Bastidor tubular (modelo 1)

Fuente: propia

8.1.6 Modelado de la estructura del chasis (modelo 2)

Una vez se ha diseñado el modelo 1 anteriormente visto, se procede al diseño de un segundo modelo para poder realizar una comparación entre ambos sometiéndolos al mismo ensayo, este cuenta con unas características muy similares, pero con alguna variación. Con esto se consigue poder realizar una pequeña simulación de diferentes situaciones de carrera o caso estático y poder comparar dichos modelos para finalmente elegir uno y hacer un estudio mucho más completo con el diseño elegido.

En cuanto al diseño de este segundo modelo se asemeja mucho al primero, se han utilizado las mismas medidas principales (batalla, largo, ancho), como se verá a continuación este modelo ha sufrido un ligero cambio en la parte delantera, donde los soportes para el paragolpes ahora están más separados, a su vez, se ha incorporado unas barras en la zona central del chasis, y el aspecto más importante es que se ha pasado de usar unos tubos de 30 mm de diámetro con 2 mm de espesor, a usar unos tubos de 30 mm de diámetro pero con 3 mm de espesor.

El proceso de diseño ha sido el mismo, por lo tanto, se hará un breve resumen con imágenes de cómo es el diseño de este modelo número 2.

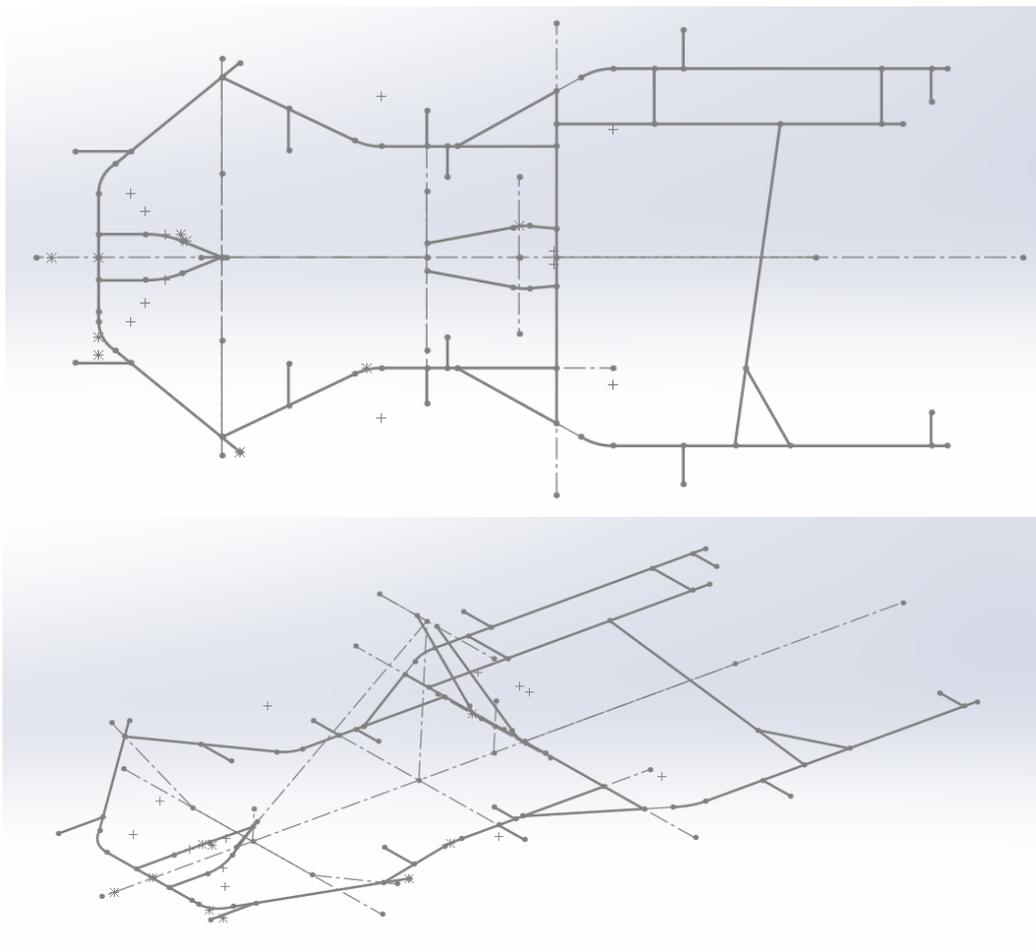


Ilustración 30: Croquis chasis completo (modelo 2)

Fuente: propia

A continuación, una vez con el croquis diseñado, haciendo uso de la operación “miembro estructural” se dimensionan los tubos que conforman el bastidor tubular. Como se ha mencionado anteriormente los tubos principales del chasis serán de 30 mm de diámetro y de 2 mm de espesor (ilustración 31). Al igual que en el modelo 1, los tubos de menor diámetro serán iguales, es decir, de 20 mm de diámetro y de 2 mm de espesor. (ver ilustración 25)

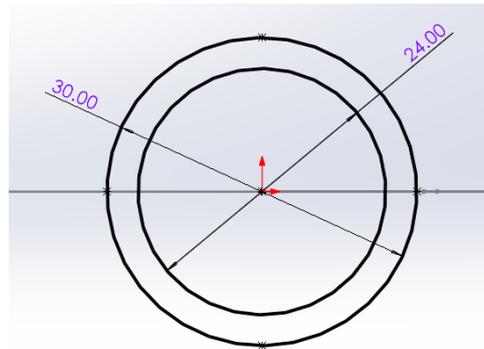


Ilustración 31: Diámetro y espesor tubos principales (modelo 2)

Fuente: propia

Al igual que en modelo 1, cuando se aplica la operación de miembro estructural pueden aparecer errores de dimensionado, pero con la operación “Recortar/extender” se solucionan dichos problemas. Una vez se realiza todo esto, se logra el modelo final de chasis como se contempla en la siguiente imagen:

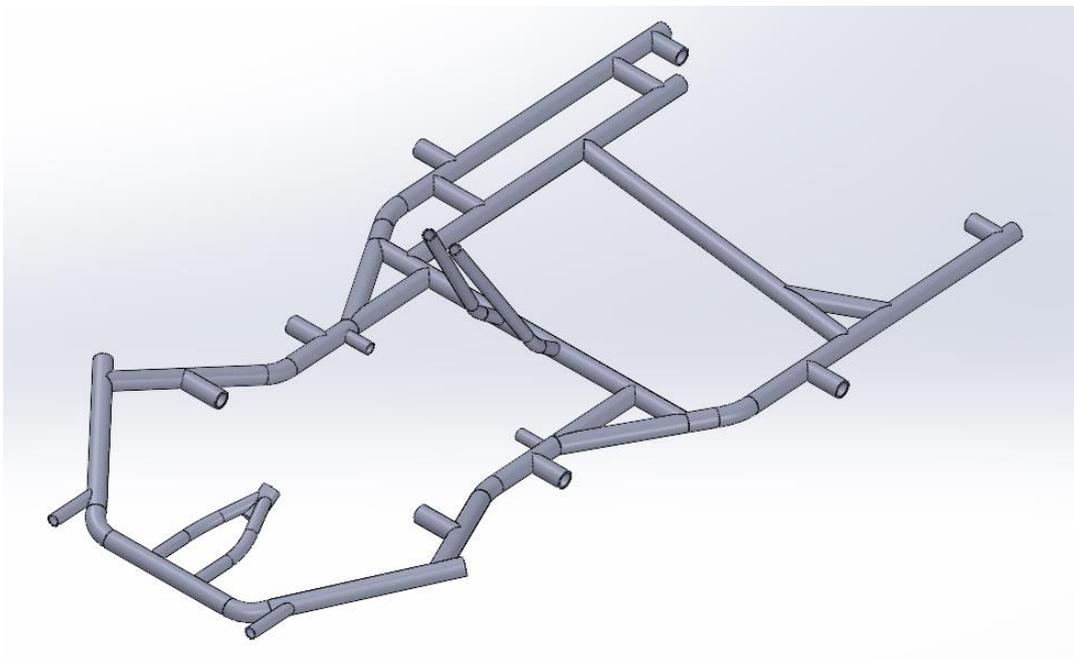


Ilustración 32: Bastidor tubular (modelo 2)

Fuente: propia

8.1.7 Modelado de los soportes del eje posterior

Los soportes del eje posterior son piezas de acero que van unidas a la parte posterior del chasis mediante soldadura. Dichas piezas son las encargadas de sujetar y dar apoyo al eje de transmisión trasero y a sus rodamientos correspondientes (ilustración 33). Además, otra función de estas piezas es permitir el reglaje de altura del eje posterior respecto al suelo, y lograr así diferentes “set-ups” de carrera.



Ilustración 33: Soporte eje posterior de una kart de competición

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=N1aJJealZ6Y&t=143s>

Como se observa en la imagen anterior, el soporte permite colocar el rodamiento a diferentes alturas y así poder variar el comportamiento del kart dependiendo de la altura a la que se coloque el eje de transmisión trasero.

A continuación, se mostrará el proceso de diseño de la propia pieza que, en este caso, al igual que el modelado de la estructura del chasis se ha usado el programa SolidWorks 2022. En primer lugar, se ha realizado un croquis en 2D con el perfil que tendrá el soporte, para que después con la operación “extruir saliente/base” se le diese el ancho que se desea a la pieza.

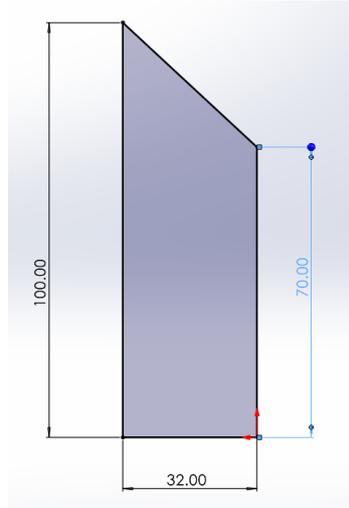


Ilustración 34: Croquis soporte eje posterior

Fuente: propia

A continuación, una vez extruido el croquis se realizó un corte de sección circular en la parte inferior con un diámetro de 30mm para que se pudiese acoplar a la perfección en los tubos del bastidor tubular. A la misma vez, se realizó un operación de “vaciado” como se muestra en la siguiente imagen. (ilustración 35)

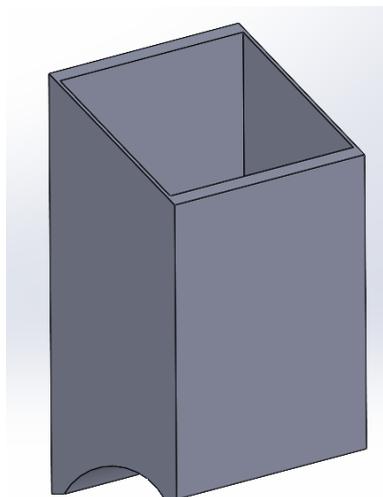


Ilustración 35: Extrusión del croquis y vaciado de la pieza

Fuente: propia

Una vez extruido el croquis, se realizaron varias operaciones de recorte y de redondeo en las aristas principales para lograr una similitud a la pieza vista anteriormente (ver ilustración 36).

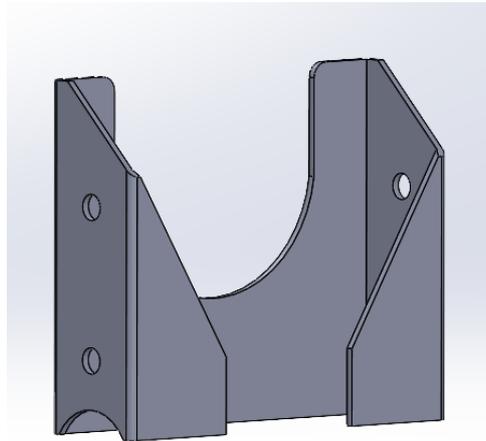


Ilustración 36: Recortes de la pieza

Fuente: propia

Como se contempla en la imagen anterior en el centro de la pieza se sitúa un orificio de 70 mm de diámetro que es por donde pasará el eje posterior rígido, que como la propia normativa FIA/CIK indica no podrá superar los 50 mm de diámetro, ya que es la media máxima permitida. Por último, se realizaron todos los agujeros que sirven como punto de sujeción para los rodamientos con un diámetro de 16 mm, los cuales permiten hacer diferentes reglajes y variar el comportamiento del kart.

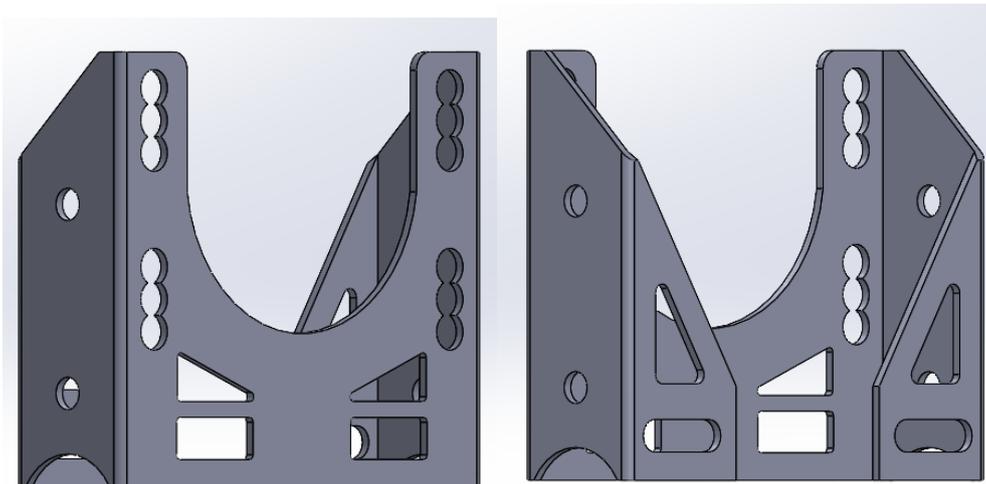


Ilustración 37: Modelado del soporte del eje posterior

Fuente: propia

8.1.8 Modelado de los soportes para las manguetas

Los soportes para las manguetas representan un elemento esencial para el tren delantero del kart. Dichas piezas van sólidamente unidas a la estructura del chasis mediante soldadura, la función principal de estas piezas es otorgar un soporte al conjunto compuesto por la mangueta y el neumático y servir como punto de giro para la dirección.

A continuación, se mostrará el proceso de modelado de los propios soportes, que al igual que se ha hecho anteriormente se ha diseñado con el programa SolidWorks 2022. En primer lugar, se ha realizado un primer croquis en 2D (ver ilustración 38) con las medidas requeridas para este tipo de piezas, y a continuación con la operación “ extruir saliente/base ” se le ha dado una profundidad a la pieza de 35 mm (ver ilustración 39).

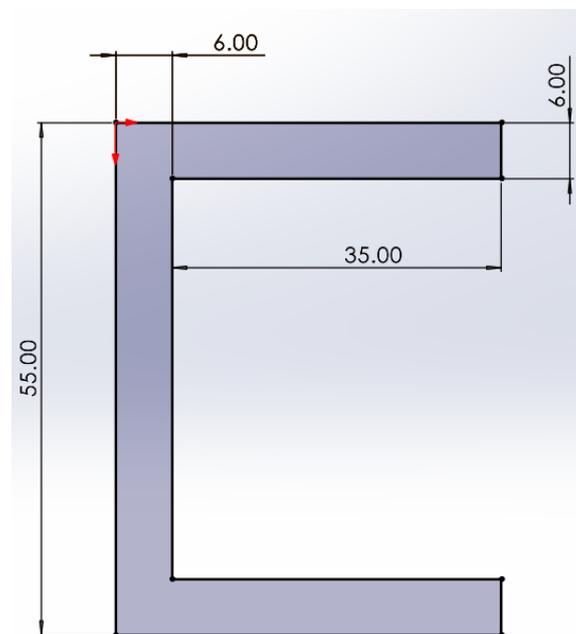


Ilustración 38: Croquizado soportes para las manguetas

Fuente: propia

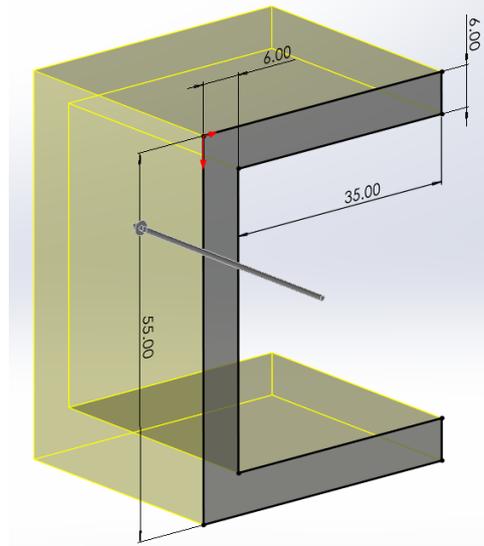


Ilustración 39: Extrusión del croquis del soporte para las manguetas

Fuente: propia

A continuación, se ha llevado el croquizado de la parte superior de la pieza con la cual se le va a dar forma a la pieza. (ver ilustración 40), y una vez realizado el croquis con la forma deseada se aplica la operación de “ extruir corte” (ver ilustración 41).

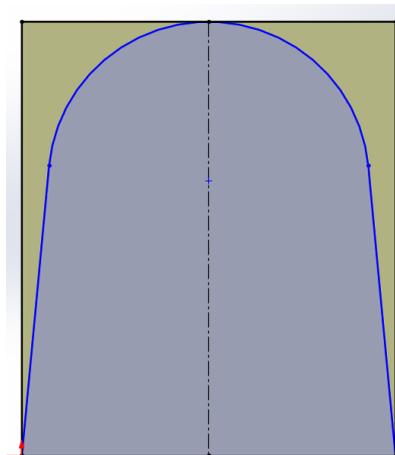


Ilustración 40: Croquis para le corte de la superficie

Fuente: propia

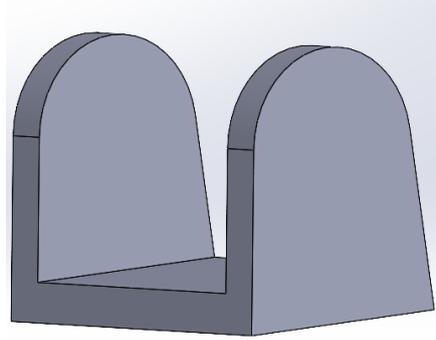


Ilustración 41: Corte de la pieza

Fuente: propia

Una vez obtenida la forma vista en la anterior imagen, se realiza un croquis para realizar un agujero de 12 mm de diámetro que atraviese de una forma simétrica las dos caras del soporte.

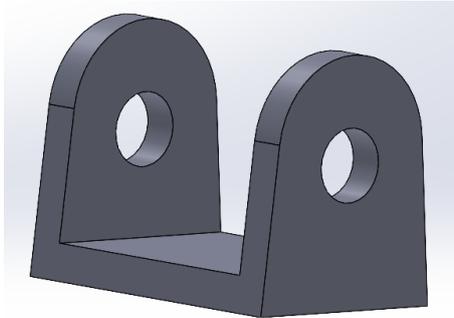


Ilustración 42: Taladrado del agujero

Fuente: propia

Y, por último, se emplea la función “Redondeo” para las aristas principales del soporte, logrando así un aspecto visual mucho más realista de la pieza.

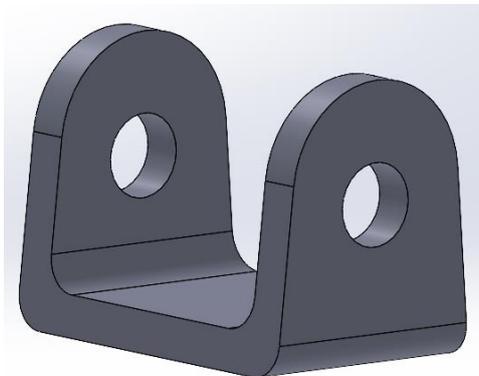


Ilustración 43: Modelado de los soporte para las manguetas

Fuente: propia

8.1.9 Modelado de los puntos de anclaje del asiento

Otro componente por dimensionar que queda sería los puntos de anclaje del asiento, que es donde irá el asiento del piloto bien unido a la estructura del chasis. Al igual que los anteriores componentes se va a mostrar el proceso de diseño de dichas piezas en el programa SolidWorks2022.

En primer lugar, se ha realizado el croquis con las dimensiones y la estructura deseada, (ver ilustración 44), y a continuación con la herramienta “extruir saliente/base” se le ha dado el ancho de pieza requerido que en este caso ha sido 40 mm, y en una de las caras planas de la pieza se ha realizado un nuevo croquis con la superficie sobrante para realizar un corte a la pieza mediante la herramienta “ extruir corte” (ver ilustración 45)

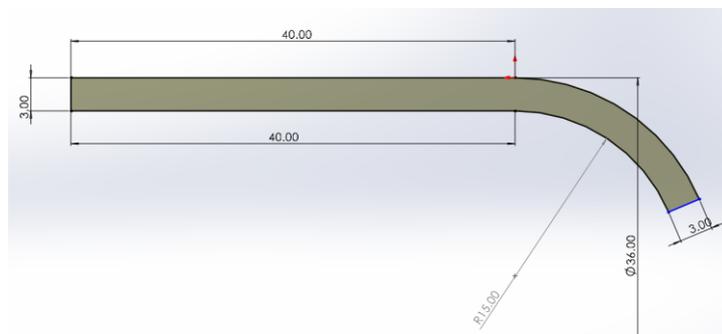


Ilustración 44: Croquis puntos de anclaje del asiento

Fuente: propia

Como se contempla en la imagen anterior el diámetro que estará en contacto con el chasis es el mismo, para que a la hora de ensamblar las piezas no haya ningún error de unión ni de dimensionado.

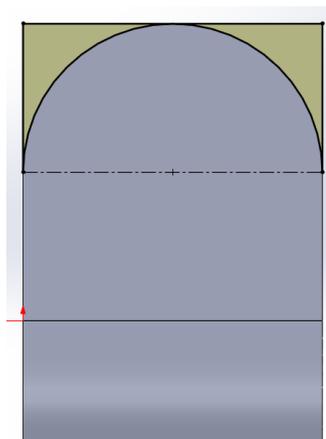


Ilustración 45: Croquis para el recorte de la pieza

Fuente: propia

Y, por último, en el centro de la superficie plana se ha realizado un agujero de 10 mm para poder anclar el asiento, obteniendo así el resultado final de la pieza (ver ilustración 46)

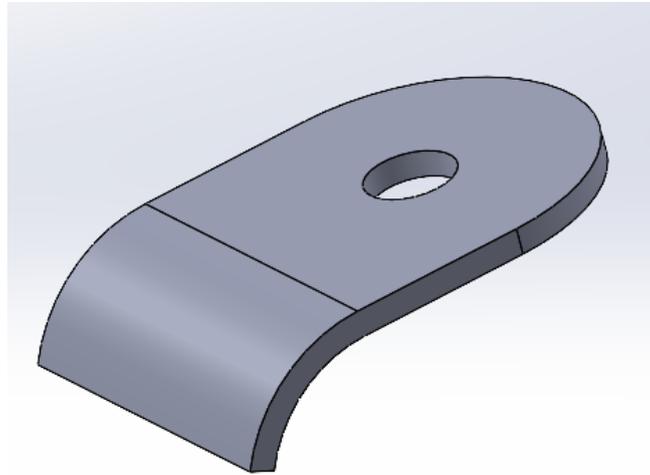


Ilustración 46: Dimensionado del anclaje para el asiento

Fuente: propia

8.1.10 Modelado del soporte del motor

A continuación, se mostrará el último elemento que se ha diseñado que forma parte del chasis del kart, se trata del soporte donde estará ubicado el bloque motor del vehículo. Dicha pieza irá soldada a la estructura tubular y se situará en la zona posterior derecha del chasis que es donde se coloca el motor en este tipo de vehículos. Al igual que el resto de los componentes, dicha pieza se ha diseñado en el programa SolidWorks2022.

En primer lugar, se realizó un croquis de un rectángulo con las medidas requeridas, después se aplicó la operación de “Saliente extruir base” y se le realizaron dos cortes en forma circular de diámetro 30 mm, para que se acople a la perfección a la estructura tubular.

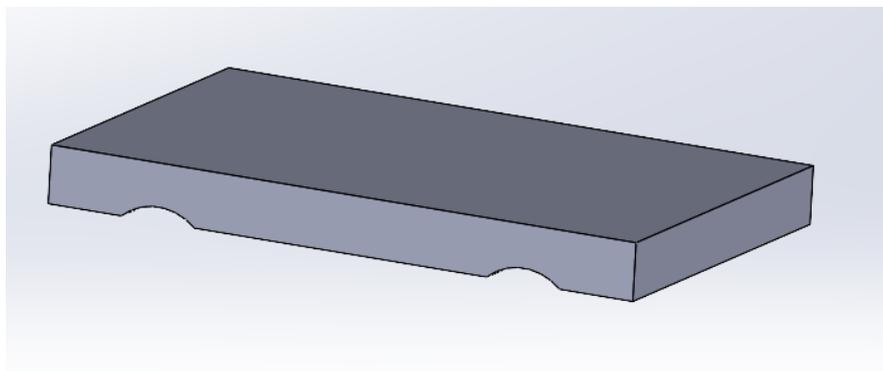


Ilustración 47: Corte del soporte motor

Fuente: propia

A continuación, se realizó un croquis en la cara superior de la pieza para realizar los debidos cortes y agujeros para el anclaje del motor con el soporte.

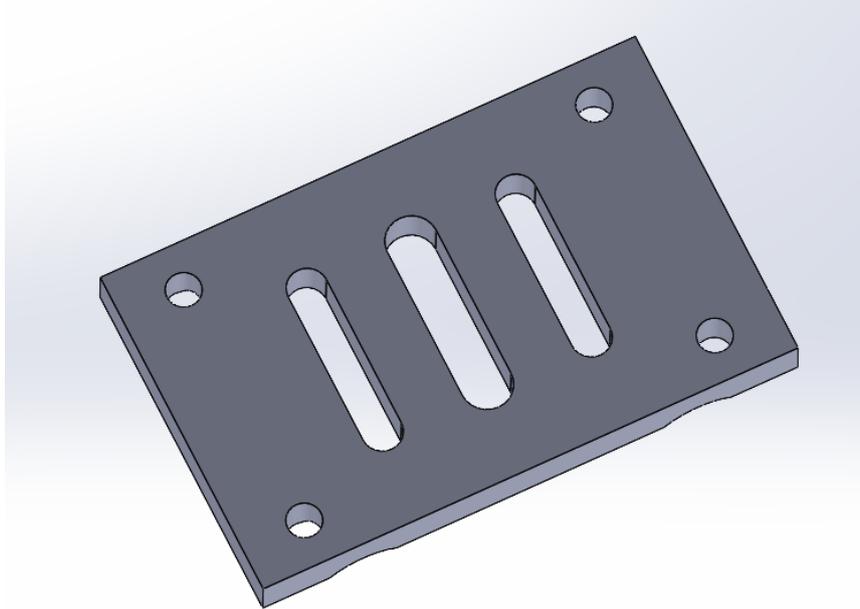


Ilustración 48: Dimensionado del soporte del motor

Fuente: propia

8.1.11 Ensamblaje de los elementos

En este apartado se mostrará el ensamblado de todos los componentes con la estructura del chasis, como se ha mencionado anteriormente dichas piezas van sólidamente unidas a la estructura del chasis mediante soldadura.

El ensamble de las piezas se ha realizado una vez más con el programa SolidWorks 2022, se ha creado un nuevo espacio de trabajo, en este caso de tipo ensamble, y se han insertado todas las piezas necesarias, en este caso, en primer lugar, la estructura del chasis, que se quedará en una posición fija, por lo tanto, no se podrá ni rotar ni desplazar. A continuación, se insertaron los demás componentes; 3 soportes para el eje posterior, 2 soportes para las manguetas, dos puntos de anclaje para el asiento y el soporte del motor.

Mediante el uso de la herramienta “Relaciones de posición” se ensamblaron las distintas piezas a la estructura del chasis, y ya con el ensamblaje final, se le aplicó una capa de pintura para lograr un aspecto visual mucho mejor (ver ilustración 49) (ilustración 50) y lograr así el resultado final del chasis del kart con todos sus elementos para una correcta funcionalidad, siempre cumpliendo la normativa vigente impuesta por la FIA y CIK.

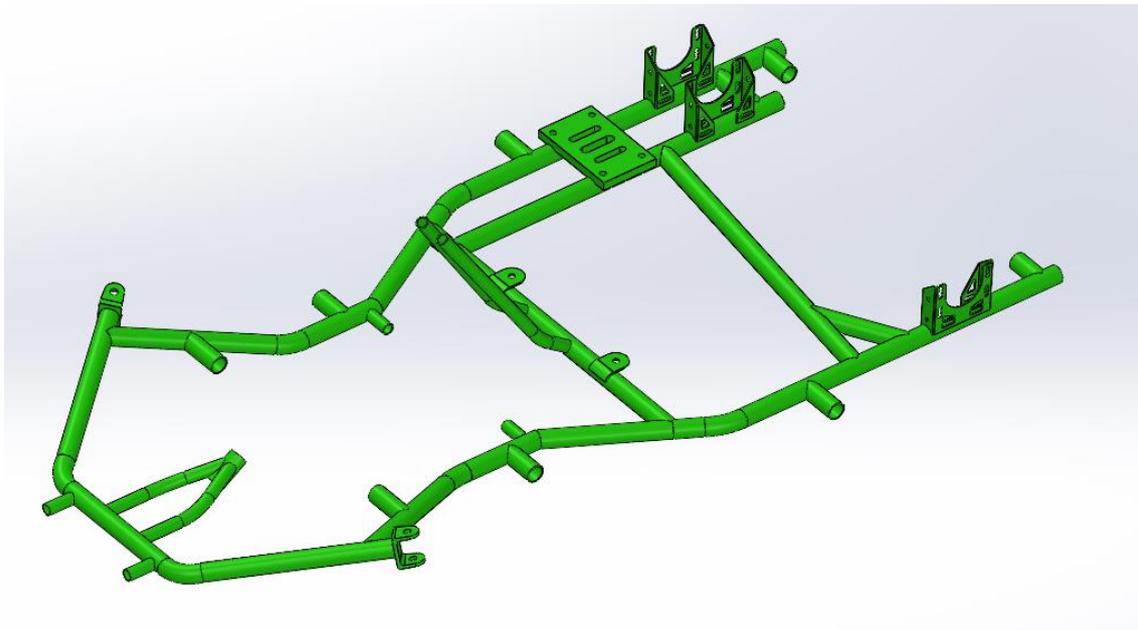


Ilustración 49: Ensamblaje de todos los componentes del chasis (modelo 1)

Fuente: propia

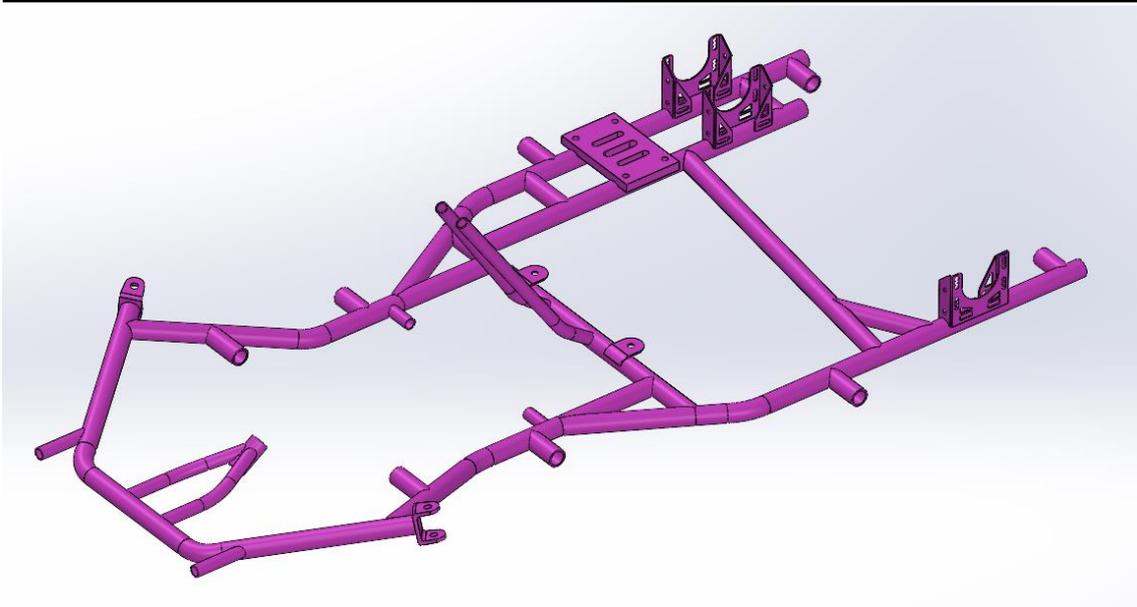


Ilustración 50: Ensamblaje de todos los componentes del chasis (modelo 2)

Fuente: propia

8.2 Proceso de fabricación

A continuación, se detallará el proceso de fabricación del bastidor que se lleva a cabo en una fábrica de chasis de karts.

Como bien se sabe, y se ha reflejado anteriormente, el chasis de un kart está compuesto por la unión de varios tubos soldados entre sí. [12] El análisis y el diseño de la estructura del bastidor se lleva a cabo en primer lugar en las oficinas donde un equipo de ingenieros desarrolla el diseño 3D del chasis haciendo uso de softwares especiales de diseño definiendo longitudes y radios de curvatura específicos en los planos X, Y, Z.

Una vez se obtiene el diseño final de la estructura del bastidor, se pasa a la segunda fase, la programación de la máquina dobladora de tubos, donde se realizarán los cortes precisos de los tubos y las curvaturas previamente diseñadas. Dicha operación se realiza a través de un software específico, que una vez analizadas las piezas a producir define el tipo y número de cortes y dobladuras necesarias para su fabricación. La medición precisa de dónde ejecutar el corte y doblado es comunicada por la máquina dobladora de tubos automatizada, que a su vez tiene en cuenta el estiramiento del material que tendrá lugar durante la fase de doblado, que varía según el tipo de material empleado.



Ilustración 51: Máquina dobladora de tubos

Fuente: https://pragaglobal.com/wp-content/uploads/2018/03/TUBE-BENDING-MACHINE_full.jpg

[https://www.vroomkart.es/sites/vroomkart.com/files/ckeditor/images/2\(15\).jpg](https://www.vroomkart.es/sites/vroomkart.com/files/ckeditor/images/2(15).jpg)

La máquina dobladora automatizada proporciona la máxima precisión, con una tolerancia de una décima de grado en el ángulo de curva. La máquina dispone de un sistema de recuperación de energía, algo parecido como al sistema que usan los coches eléctricos, funciona sobre 11 ejes y varias plantillas para tubos de 28, 30 y 32 mm de diámetro. La máquina es capaz de realizar los mismos dobleces incluso para tubos de diferente material, puesto que es capaz de reconocer la elasticidad del acero empleado. El sistema incorpora un sistema de sujeción cerrado donde el tubo a doblar es empujado por su extremidad, en lugar de a lo largo de su longitud, evitando así que afecte negativamente al material, por ejemplo, en el desgaste. Una vez realizado este paso, el tubo se devuelve al operador, que es quien termina los distintos puntos en los que se conecta a los demás tubos.

Una vez los componentes ya están correctamente cortados y doblados se procede al siguiente paso, la soldadura, [13] proceso donde dos o más piezas se unen debido al calor que se le aplica al material, o se añade material entre las piezas y una vez enfriado queda firmemente unido. Hay varios tipos de soldadura, entre los que destacan la soldadura tipo MIG/MAG y la soldadura tipo TIG, para este tipo de estructuras el tipo más recomendado es el TIG, que es un proceso de soldadura de gas protector que pertenece al grupo de soldadura por fusión. Este tipo de soldadura es la más adecuada porque permite realizar soldaduras de gran calidad en todas las posiciones, se puede realizar con o sin metal de aporte, es óptima para espesores reducidos, como es el caso de este proyecto, ya que el espesor de los tubos del chasis es de 2 mm, otra característica interesante es que el área de soldadura es visible y eso permite al operario mantener un buen control del proceso.

El proceso de soldadura se realiza manualmente por un operario cualificado, donde los tubos se colocan en una plantilla de acuerdo con el modelo a soldar, y es cuando el operario comienza a soldar todos los tubos para lograr la estructura final del bastidor. La secuencia definida a la hora de soldar es muy importante ya que la soldadura influye en las tensiones que se forman. Aunque sea una operación manual, el operador hace uso de máquinas de soldadura tecnológicamente sofisticadas que manejan mejor las sobretensiones, y regulan la intensidad de acuerdo con la distancia de la boquilla de la soldadora al chasis. El movimiento de la mano del operador influirá en la mayor o menor salida de alambre, donde deberá lograr una misma cantidad de material depositada en los tubos.



Ilustración 52: Soldadura de los tubos

Fuente: https://pragaglobal.com/wp-content/uploads/2018/03/WELDING_full.jpg

Una vez soldada toda la estructura del chasis, se procede a realizar una limpieza de la estructura, por la posible aparición de pequeñas suciedades producidas por el propio proceso de soldadura.

Con la estructura limpia, se puede pasar al siguiente paso, que es la pintura. Normalmente se aplica en primer lugar una capa de imprimación para acondicionar la superficie y facilitar la adherencia de la pintura. Estas pinturas suelen ser monocapa a base de agua, se suele optar por pinturas de alta densidad diseñadas para chasis con el objetivo de otorgar una protección efectiva contra posibles casos de corrosión.

Con el chasis ya pintado, se pasa al último paso, el personal especializado lleva a cabo una verificación de todas las mediciones, como, por ejemplo, el control de las dimensiones del chasis en el banco de pruebas es una de las etapas más importantes y decisivas en el control de calidad.

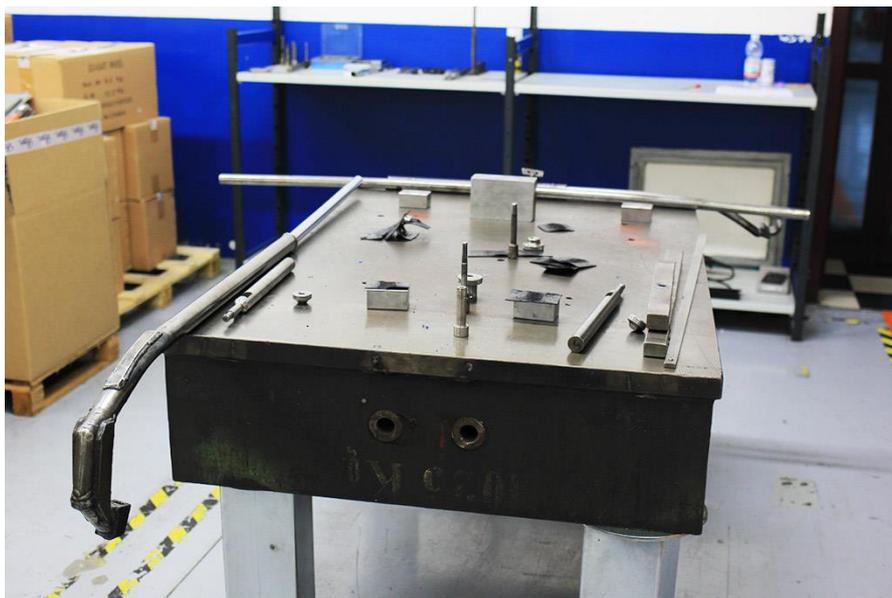


Ilustración 53: Banco de pruebas

Fuente: [https://www.vroomkart.es/sites/vroomkart.com/files/ckeditor/images/4\(7\).jpg](https://www.vroomkart.es/sites/vroomkart.com/files/ckeditor/images/4(7).jpg)

Una vez comprobado que la estructura del bastidor cumple con las mediciones y ha pasado el control de calidad, un operario procedería al ensamblaje de todos los componentes del kart.

9. Cálculo estructural del chasis (FEM)

En el presente proyecto se va a realizar varios tipos de simulaciones mediante el método de elementos finitos (FEM), en primer lugar, se hará una breve introducción a este método que permite simular estructuras y aplicarles ciertas fuerzas y ciertos criterios para contemplar el comportamiento de la estructura en diferentes casos.

9.1 Introducción al método FEM

El método de elementos finitos FEM (Finite Elements Method) [14] se trata de un método informático que permite simular la reacción de una pieza mecánica a cualquier tipo de esfuerzo, ya sea una vibración, el calor, el flujo de un fluido u otras interacciones físicas. Con este método se permite predecir el riesgo de rotura, el buen funcionamiento de la pieza, la velocidad de desgaste de un producto el cual se encuentra en la fase de diseño, este método permite conocer de antemano el comportamiento final del producto, así como también sus límites de uso.

El funcionamiento de este método consiste en dividir un objeto o pieza completa en una gran cantidad de elementos finitos, los cuales van conectados por unos puntos de contacto denominados nodos. Las operaciones realizadas en este método permiten predecir el comportamiento de cada uno de los elementos en los que se ha dividido la pieza u objeto, una vez se ha hecho la simulación se combina la respuesta de cada elemento y el ordenador proporciona la respuesta del objeto en su totalidad. Dichas respuestas dependen de una serie de condiciones, denominadas condiciones de contorno, que vienen siendo, el material de la propia pieza, las tensiones que actúan sobre la pieza y las restricciones aplicadas.

9.2 Selección de material

En la normativa vigente establecida por la FIA y CIK, se detalla que el material del chasis deberá ser un acero estructural o una aleación de acero, de todas las opciones se ha escogido el acero S355JR, ya que este acero se emplea en muchas ocasiones para este tipo de estructuras.

Este material es muy interesante para la fabricación de este tipo de estructuras como puede ser el chasis de un kart, ya que [15] es un acero al carbono-manganeso con propiedades mecánicas mínimas garantizadas, por ejemplo, el límite elástico y la resistencia a la tracción y cuenta con una muy buena ductilidad. Aparte los aceros estructurales como es el acero S355JR presentan una buena soldabilidad con todos los procesos convencionales de soldadura.

La nomenclatura del acero S355JR se resume en lo siguiente; “S” es el prefijo que indica que se trata de un acero estructural, “355” el número representa la resistencia mínima a la tracción medida siempre en MPa, en este caso se trata de un valor de 355 MPa, por lo tanto, indica que se trata de un acero con una alta resistencia, y el sufijo “JR” indica que se trata de un acero de calidad para la construcción con resistencia al impacto mejorada a una temperatura de prueba de 20 grados Celsius.

La designación correspondiente del acero S355JR es “S355JR” según la norma europea EN 10025-2, donde se especifica todas sus características; buena resistencia a la tracción alrededor de 355 MPa, un límite elástico de 355 MPa, una buena resiliencia, ya que tiene capacidad para absorber energía bajo cargas dinámicas, y cuenta con una buena dureza, ya que puede resistir fracturas o roturas.

La composición química del acero S355JR se refleja en la siguiente tabla:

Elemento		Porcentaje Máximo (%)
Carbono	C	0,24
Silicio	Si	0,55
Manganeso	Mn	1,60
Fósforo	P	0,040
Azufre	S	0,040
Níquel	Ni	0,60
Cromo	Cr	0,30
Molibdeno	Mo	0,10
Cobre	Cu	0,55

Tabla 4: Composición química del acero S355JR

El acero S355JR se presenta en muchas formas, como puede ser en láminas, en secciones, en barras, en hojas y bobinas, pero para este proyecto la forma verdaderamente interesante son los tubos, este material se puede utilizar para la fabricación de tubos, tanto soldados o como no, las principales utilidades de los tubos de acero S355JR es para la fabricación de tuberías y aplicaciones estructurales.

Además, una de las principales aplicaciones del acero S355JR es en el ámbito de los vehículos y transportes, ya que sus propiedades de resistencia y ligereza lo hacen muy adecuado para aplicaciones que requieran un alto rendimiento y reducción de peso, es por eso por lo que se ha decidido hacer uso de este material para la construcción del chasis.

Otro punto interesante de porque este material ha sido el elegido es la trabajabilidad de este, ya que se trata de un acero altamente conformable y se puede moldear y mecanizar con facilidad mediante procesos de deformación como doblado, laminado, corte o prensado. Otro aspecto interesante de este material es la soldabilidad, y es que el acero S355JR se puede soldar fácilmente utilizando métodos de soldadura comunes.

A continuación, se mostrarán las propiedades mecánicas del acero S355. [16]

Módulo elástico (E)	210000	MPa
Módulo cortante (G)	81000	MPa
Coefficiente de Poisson (ν)	0,3	
Densidad (ρ)	7850	kg/m ³
Límite elástico (fy)	355	MPa
Límite de tracción (fu)	490-680	MPa

Tabla 5: Propiedades mecánicas del acero S355JR

Fuente: <https://miguelpena.site/caracteristicas-mecanicas-de-los-aceros-estructurales/>

La biblioteca de materiales de SolidWorks 2022 no cuenta con este material, por lo tanto, se ha tenido que crear de la siguiente forma. Se ha copiado las propiedades del acero aleado que se encuentra en la biblioteca del propio programa, una vez copiado, se ha creado un material personalizado y se ha pegado las propiedades del acero aleado, y finalmente simplemente se han cambiado las características como se contempla en la siguiente imagen (ilustración 54)

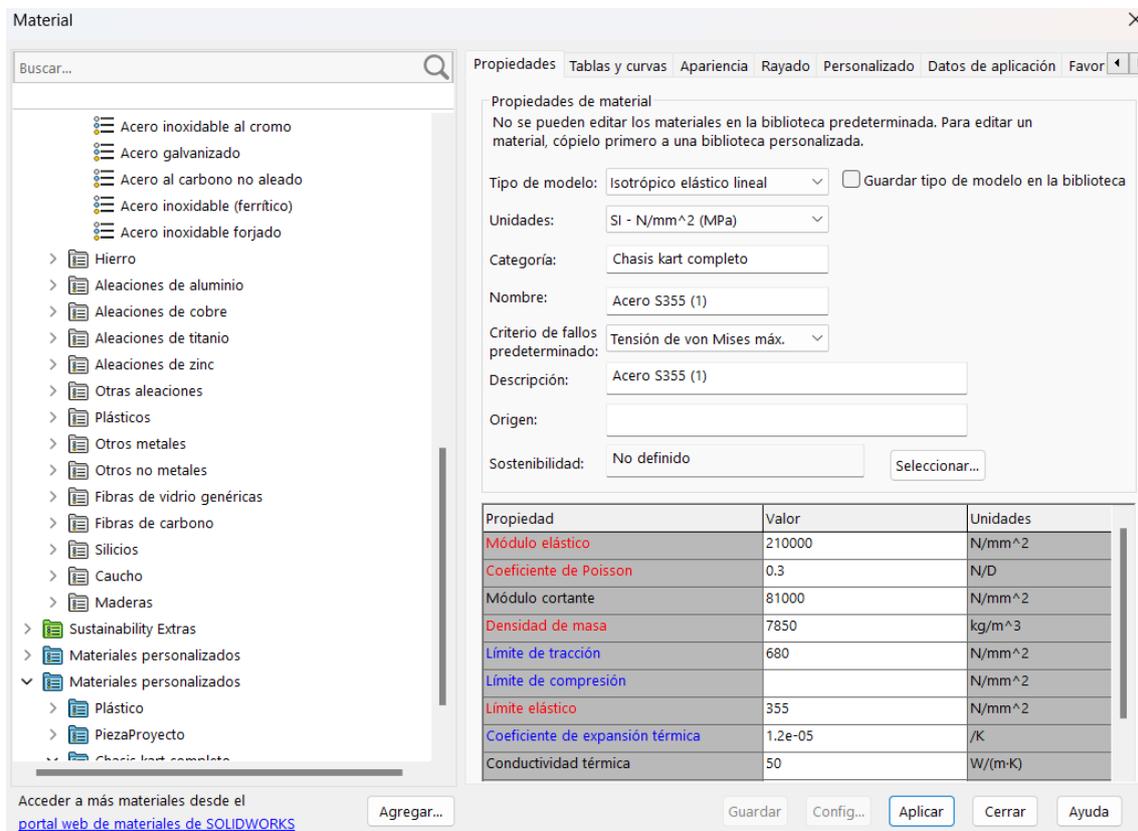


Ilustración 54: Creación del material en SolidWorks

Fuente: propia

Una vez creado el material, se ha aplicado a toda la estructura del chasis y a los componentes ensamblados, en este caso los soportes de las manguetas y del eje posterior, los soportes de anclaje del asiento y el soporte del motor.

9.3 Comparativa de modelos de chasis

A continuación, se hará una comparación entre los dos modelos, para ello se someterá cada modelo de chasis a dos estudios, por un lado, un ensayo de rigidez a flexión y por otro lado una simulación de un choque frontal.

En primer lugar, se menciona las fuerzas a las que van a ser sometidas las estructuras, todos los ensayos realizados a continuación se van a someter a una serie de cargas que variarán en función del ensayo que se realice, pero habrá una serie de cargas fijas que estarán presentes en todos los ensayos, dichas cargas son la fuerza que ejerce el piloto, el motor y el depósito de combustible. Para ello se han supuesto los siguientes pesos, acorde con la información obtenida de casos reales.

Por otra parte, a ambos modelos de chasis se les asignará el mismo material, que en este caso será el anteriormente mencionado acero S355JR.

Componente	Masa (kg)	Peso (N)
Piloto + Equipamiento	75	735,75
Motor	20	196,2
Depósito	8	78,48

Tabla 6: Componentes y pesos

En todos los ensayos realizados a continuación se han introducido las tres cargas mencionadas (ver tabla 6) en la zona del chasis donde actúan dichas fuerzas, como se verá a continuación.

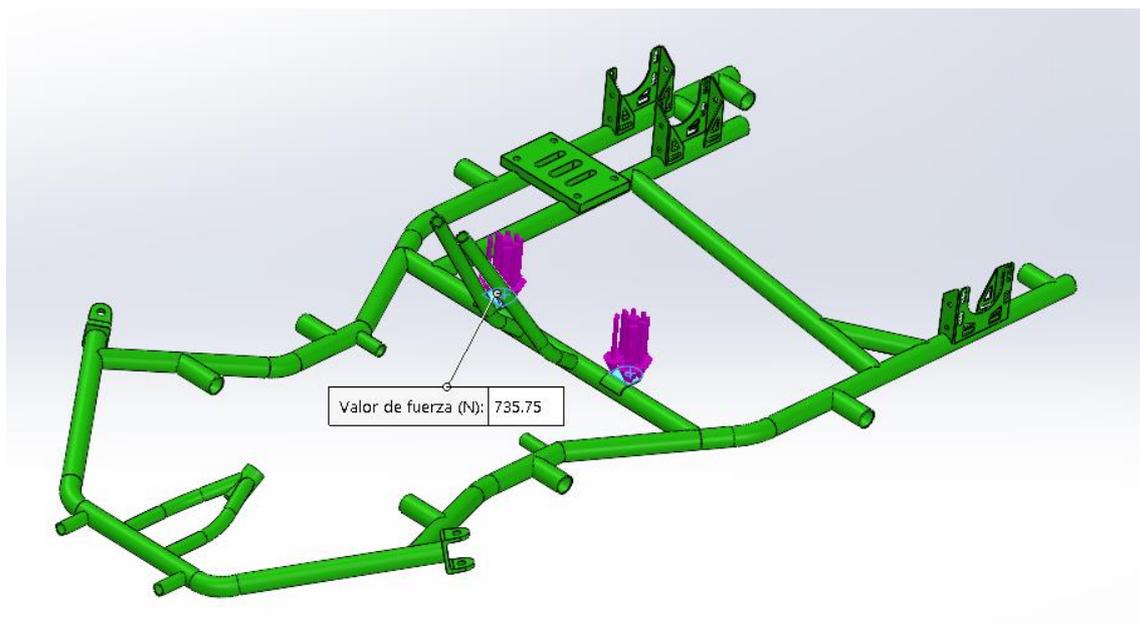


Ilustración 55: Carga generada por el piloto

Fuente: propia

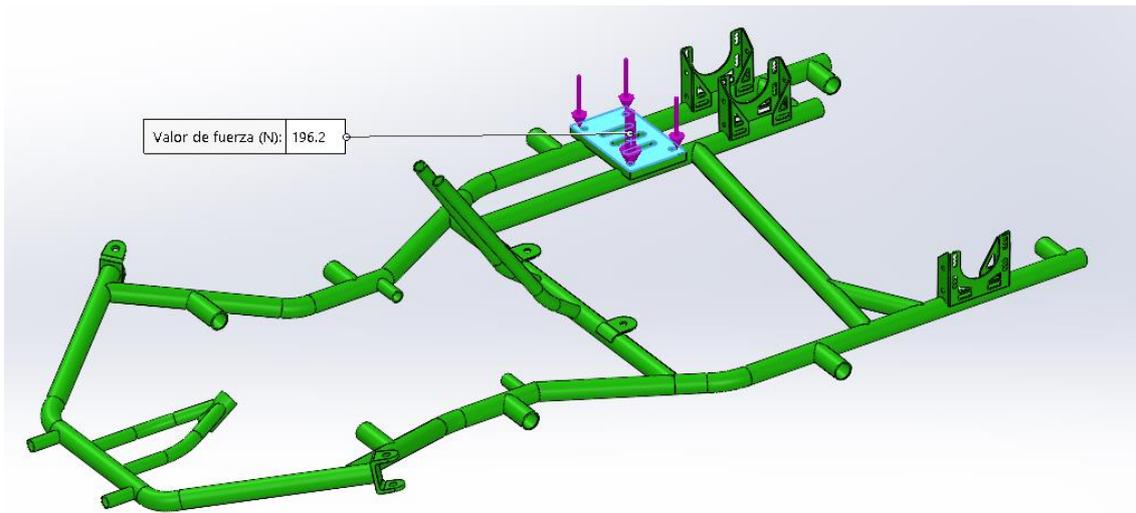


Ilustración 56: Carga generada por el motor

Fuente: propia

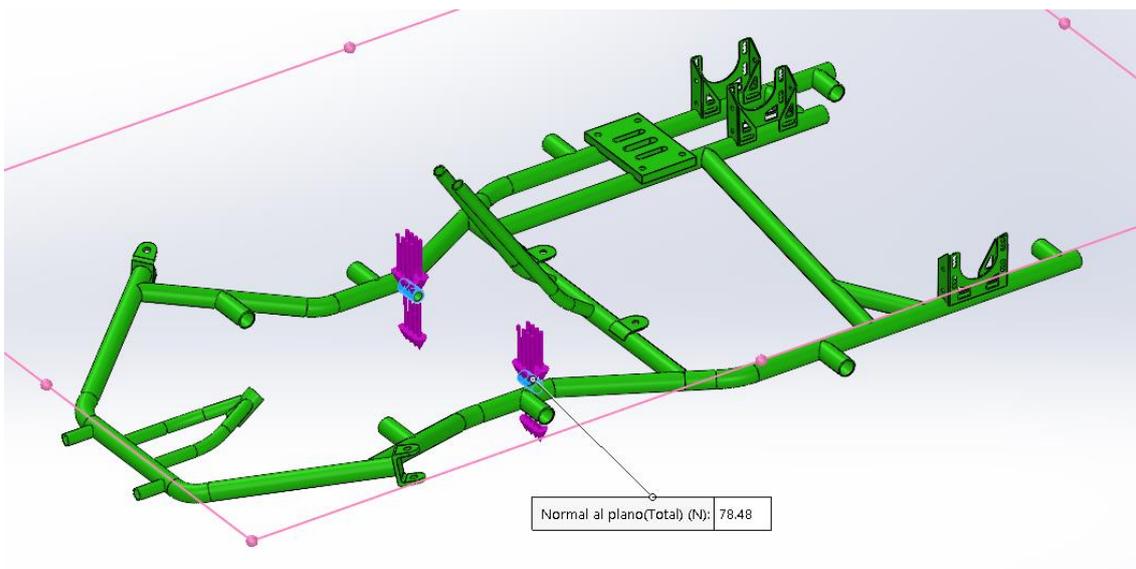


Ilustración 57: Carga generada por el depósito

Fuente: propia

Como se observa en las imágenes anteriores cada carga será aplicada en la zona del chasis que le corresponda, por ejemplo la fuerza ejercida por el conjunto de peso del piloto-equipamiento recaerá sobre los soportes del asiento (ver ilustración 55) en el caso de la fuerza ejercida por el motor, se aplicará la fuerza de 196,2 N en el soporte para el motor (ver ilustración 56), y por último la carga del depósito de gasolina lleno recaerá sobre los soportes tubulares destinados para la sujeción de dicho depósito, y la carga es de 78,48N (ver ilustración 57)

En cuanto a los resultados, se dará un resultado como óptimo siempre y cuando; el valor de la tensión máxima no supere el límite elástico del material, en resumen, que el factor de seguridad sea mayor o igual que 1, y que el desplazamiento máximo no supere los 5 mm.

9.3.1 Modelo 1

En primer lugar, se somete el modelo 1 a un ensayo de flexión y a un impacto frontal, como se ha mencionado anteriormente se ha de introducir las cargas que reflejan la tabla anterior, y los soportes fijos irán en los soportes para las manguetas y los soportes del eje trasero, para ambos ensayos.

FLEXIÓN

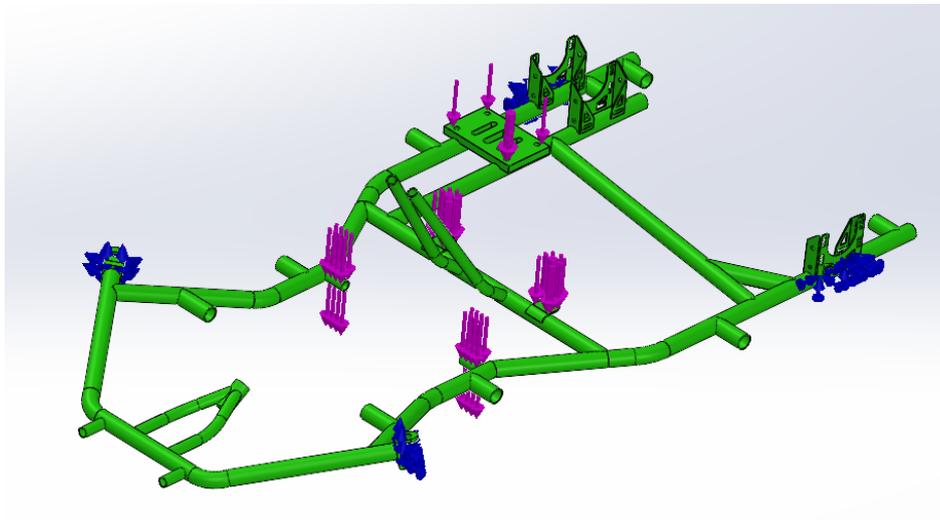


Ilustración 58: Cargas y soportes ensayo flexión (modelo 1)

Fuente: propia

A continuación, se muestran las tensiones y desplazamientos generados por dichos esfuerzos y el factor de seguridad de la estructura.

Tensiones

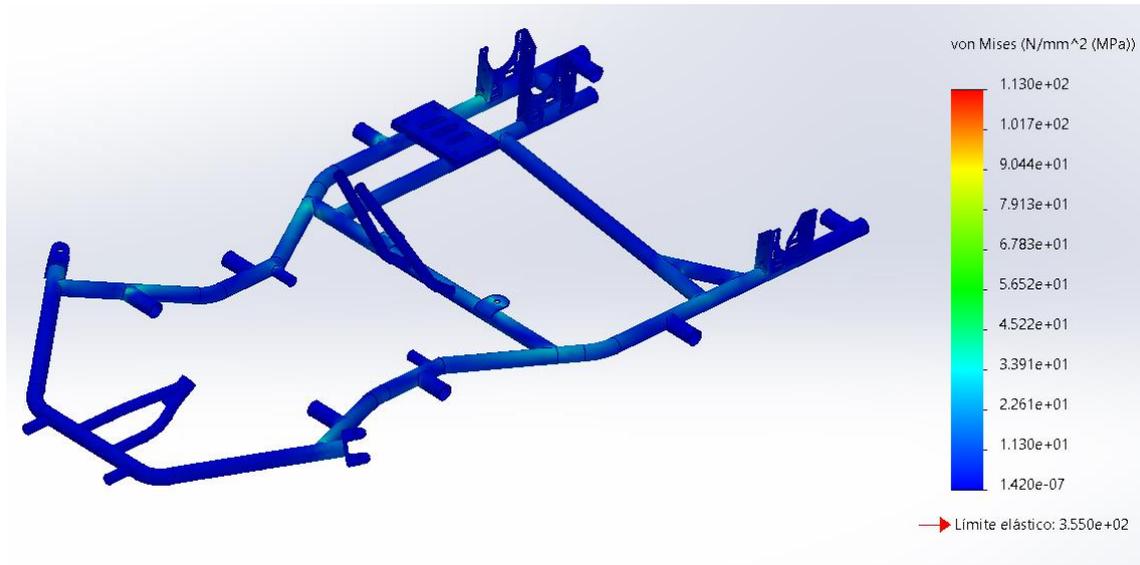


Ilustración 59: Cargas y restricciones ensayo flexión (modelo 1)

Fuente: propia

Desplazamientos

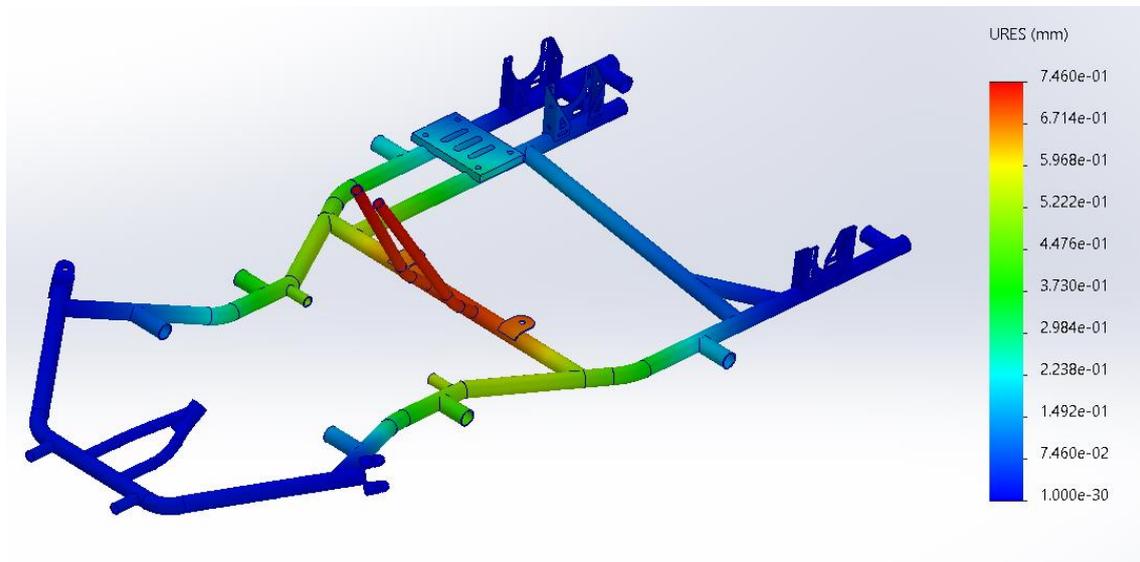


Ilustración 60: Desplazamientos generados esfuerzo a flexión (modelo 1)

Fuente: propia

Factor de seguridad

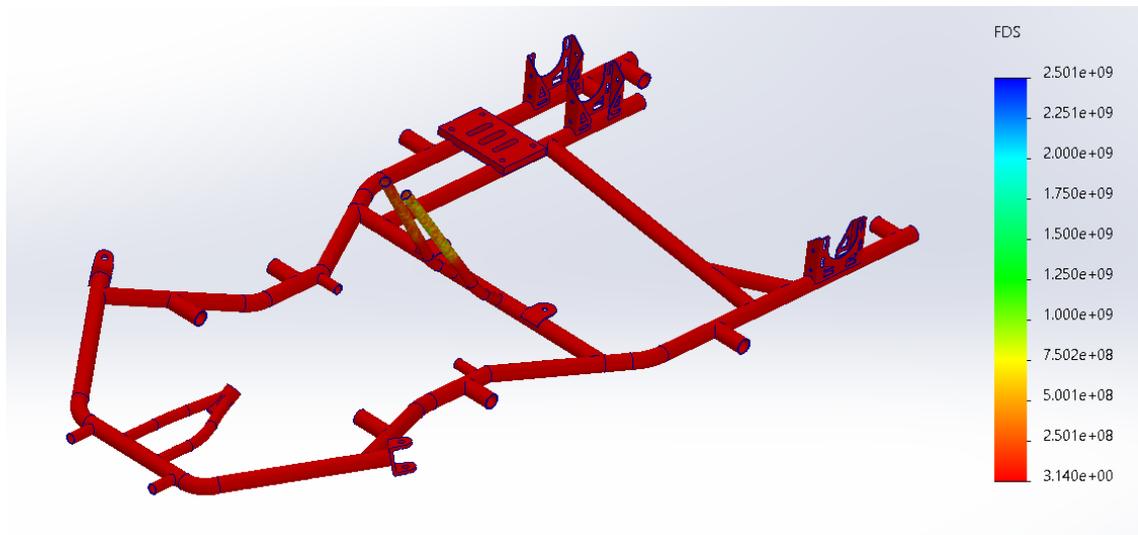


Ilustración 61: Factor de seguridad ensayo flexión (modelo 1)

Fuente: propia

IMPACTO FRONTAL

A continuación, se someterá al chasis a una simulación de un impacto frontal. Los chasis de este tipo de vehículos deben soportar ciertas cargas y fuerzas para poder ser homologados para competir, en este caso el chasis deberá soportar una fuerza de 4G, es decir deberá soportar una fuerza de 4 veces el peso total del vehículo por la fuerza de la gravedad, que es lo mismo que; $F(N) = W \cdot G \cdot 4$

Para el cálculo estructural se va a suponer un peso total del vehículo de 160 kg, contando el peso del piloto y todos los componentes del kart, como bien indica la normativa el peso mínimo requerido para esta categoría es de 150 kg. Al suponer un peso de 160 kg la fuerza aplicada para este estudio es la siguiente:

$$F = 160 \cdot 9,81 \cdot 4 = 6278,4 \text{ N}$$

Para la ejecución de este ensayo se han aplicado los soportes fijos en los soportes para las manguetas y en los soportes del eje posterior. En cuanto a las fuerzas aplicadas, se han aplicado dos fuerzas en los apoyos de los paragolpes delanteros del chasis, con un total de 6278,4 N y las fuerzas principales (ilustración 62), y se han obtenido las tensiones y los desplazamientos generados en el chasis como se verá en las siguientes imágenes.

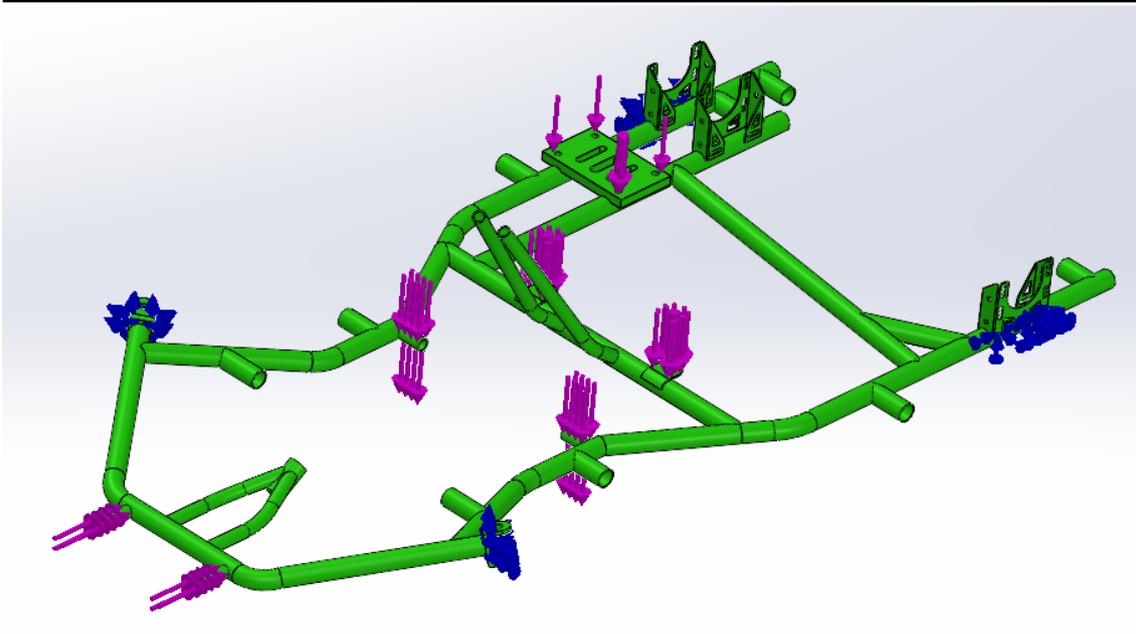


Ilustración 62: Cargas y restricciones impacto frontal (modelo 1)

Fuente: propia

A continuación, se muestran las tensiones y desplazamientos generados por dichos esfuerzos y el factor de seguridad de la estructura.

Tensiones

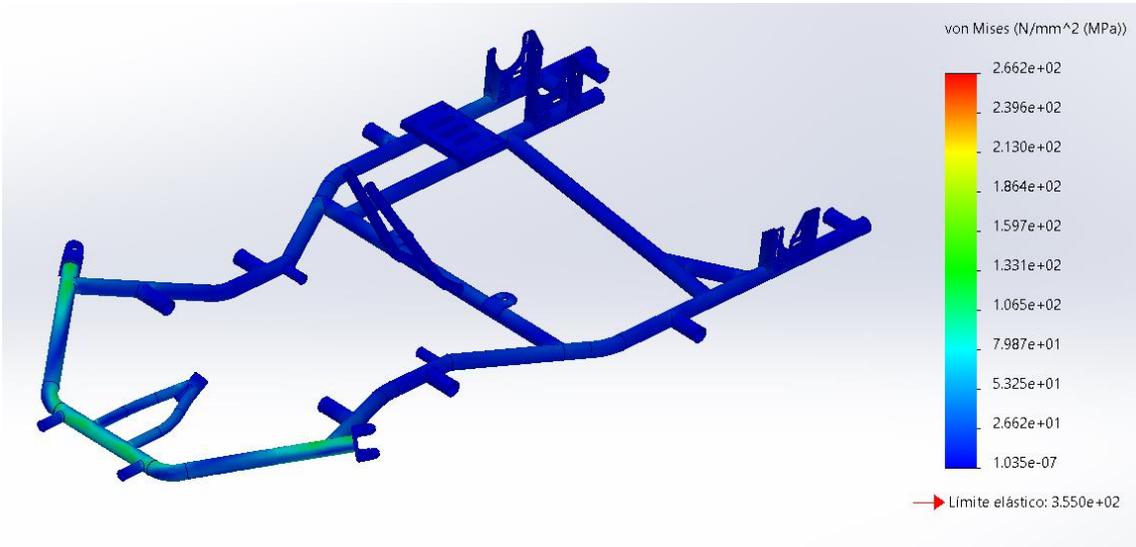


Ilustración 63: Tensiones generadas impacto frontal (modelo 1)

Fuente: propia

Desplazamientos

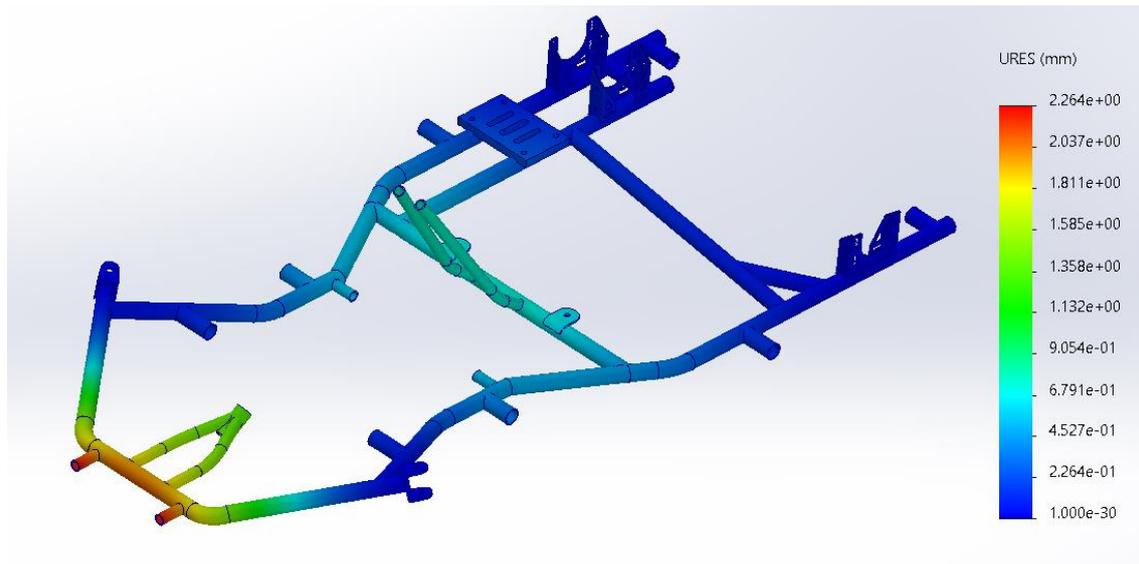


Ilustración 64: Desplazamientos generados impacto frontal (modelo 1)

Fuente: propia

Factor de seguridad

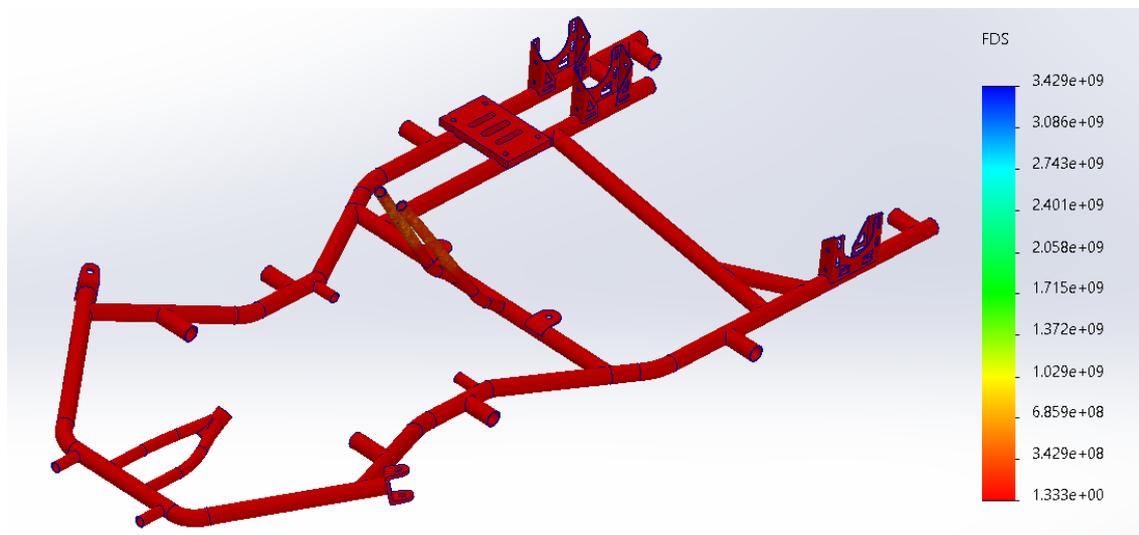


Ilustración 65: Factor de seguridad impacto frontal (modelo 1)

Fuente: propia

9.3.2 Modelo 2

Al igual que se ha hecho con el modelo 1, se somete el chasis del modelo 2 a un estudio de flexión y a una simulación de impacto frontal, las condiciones de contorno son las mismas, es decir, los soportes fijos estarán en la misma posición y las cargas serán las mismas y se aplicarán en las mismas zonas.

FLEXIÓN

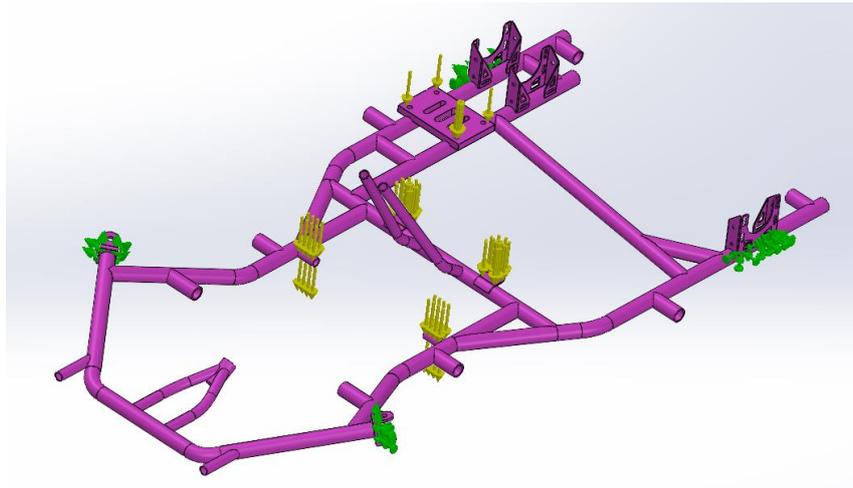


Ilustración 66: Cargas y restricciones ensayo flexión (modelo 2)

Fuente: propia

Como en el caso anterior, se procede a calcular las tensiones y los desplazamientos generados por los esfuerzos, así como el factor de seguridad de la estructura.

Tensiones

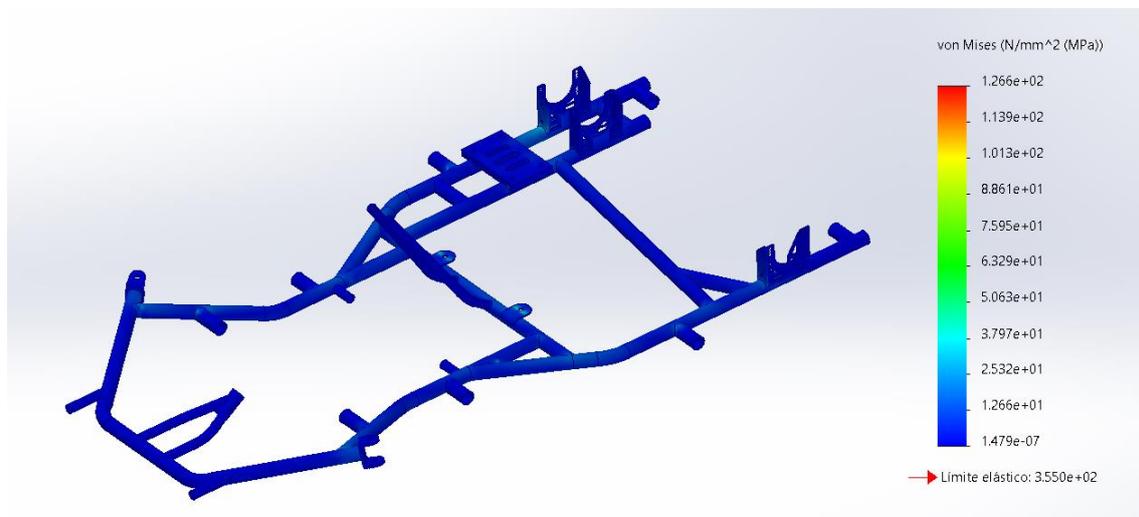


Ilustración 67: Tensiones generadas ensayo flexión (modelo 2)

Fuente: propia

Desplazamientos

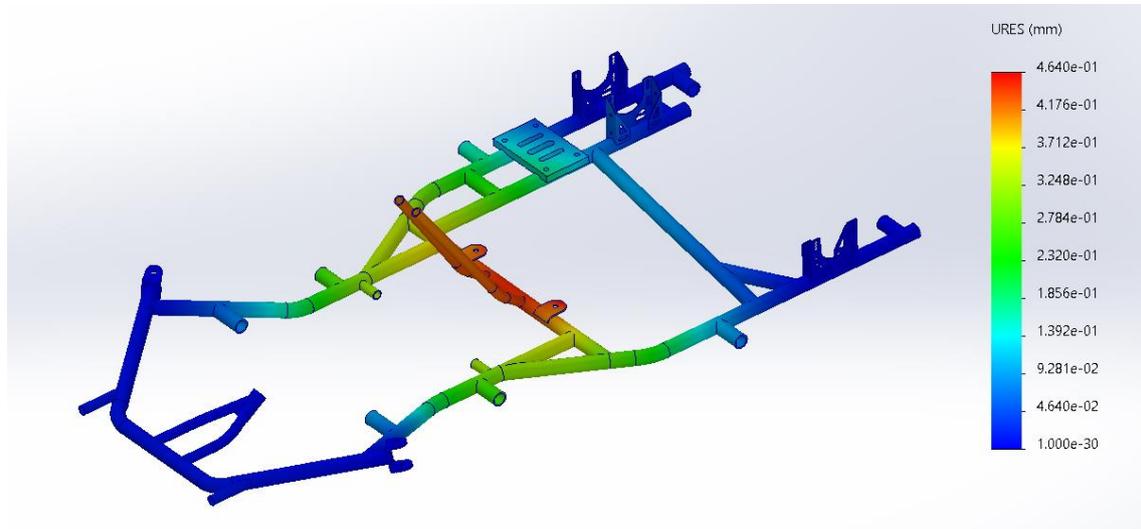


Ilustración 68: Desplazamientos generados ensayo flexión (modelo 2)

Fuente: propia

Factor de seguridad

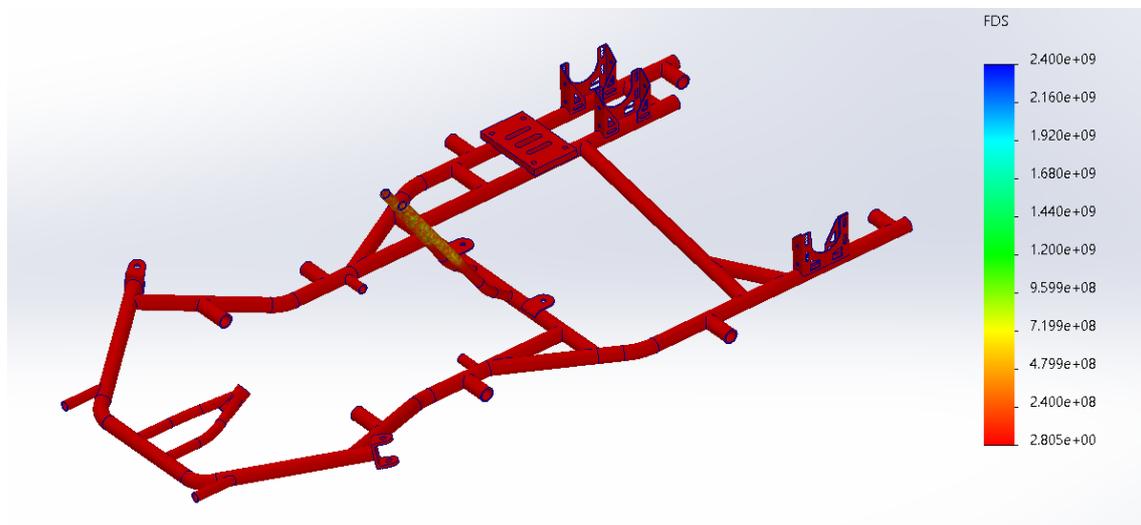


Ilustración 69: Factor de seguridad ensayo flexión (modelo 2)

Fuente: propia

IMPACTO FRONTAL

Al igual que con el modelo 1 se somete el chasis a una simulación de un impacto frontal, como se ha hecho anteriormente el bastidor deberá soportar una carga de 4G, que es lo mismo una fuerza de 6278,4N aplicada en la zona delantera de la estructura.

Los soportes y las cargas serán las mismas que en el caso del modelo 1, como refleja la siguiente imagen:

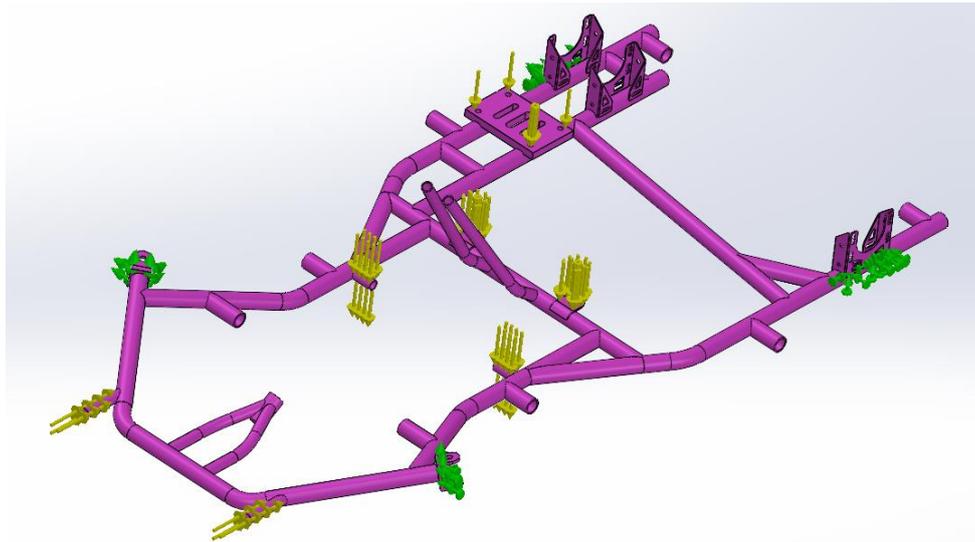


Ilustración 70: Cargas y restricciones impacto frontal (modelo 2)

Fuente: propia

Como en los casos anteriores se calcula las tensiones y desplazamientos generados por dichas fuerzas, así como el factor de seguridad.

Tensiones

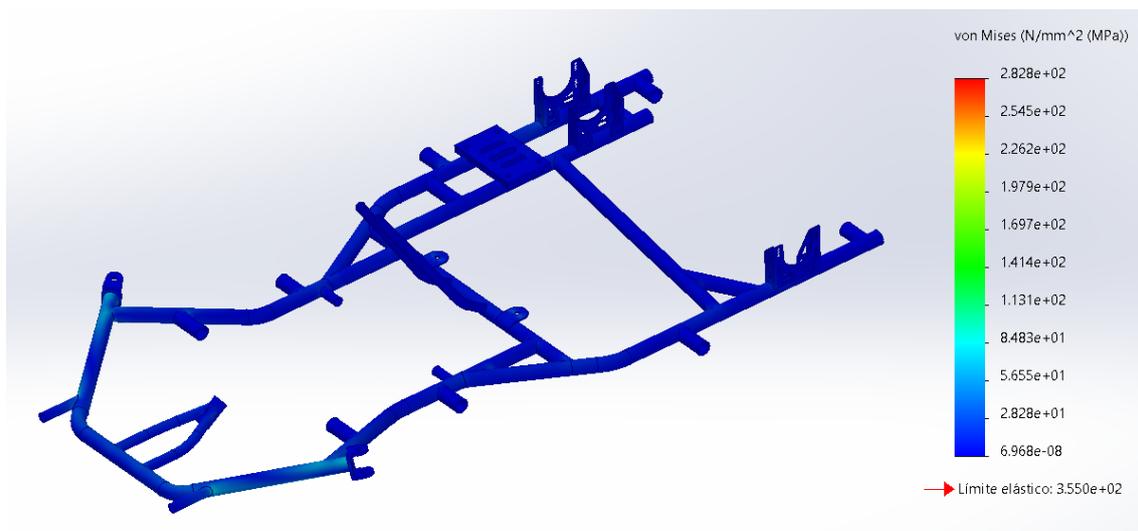


Ilustración 71: Tensiones generadas impacto frontal (modelo 2)

Fuente: propia

Desplazamientos

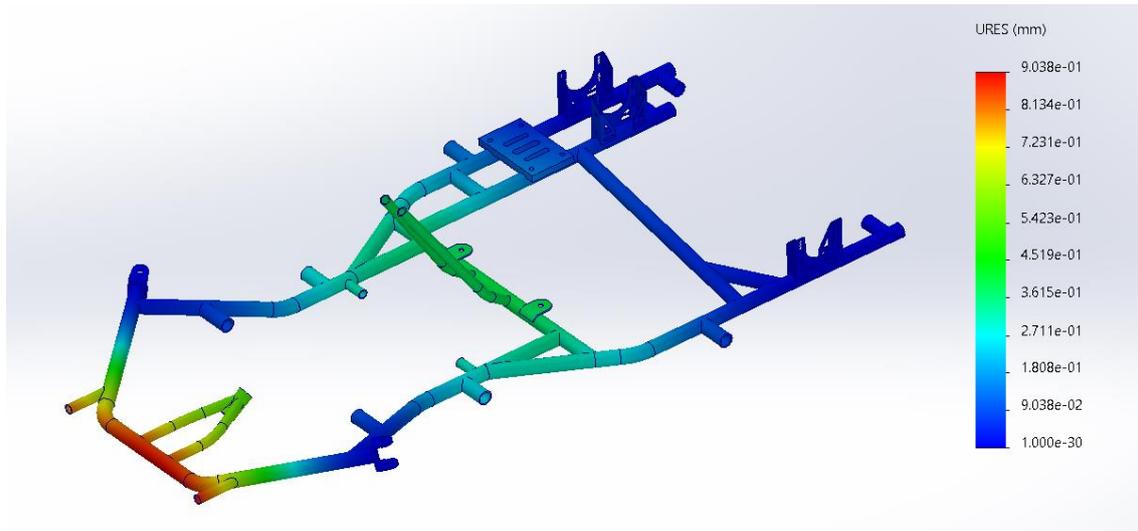


Ilustración 72: Desplazamientos generados impacto frontal (modelo 2)

Fuente: propia

Factor de seguridad

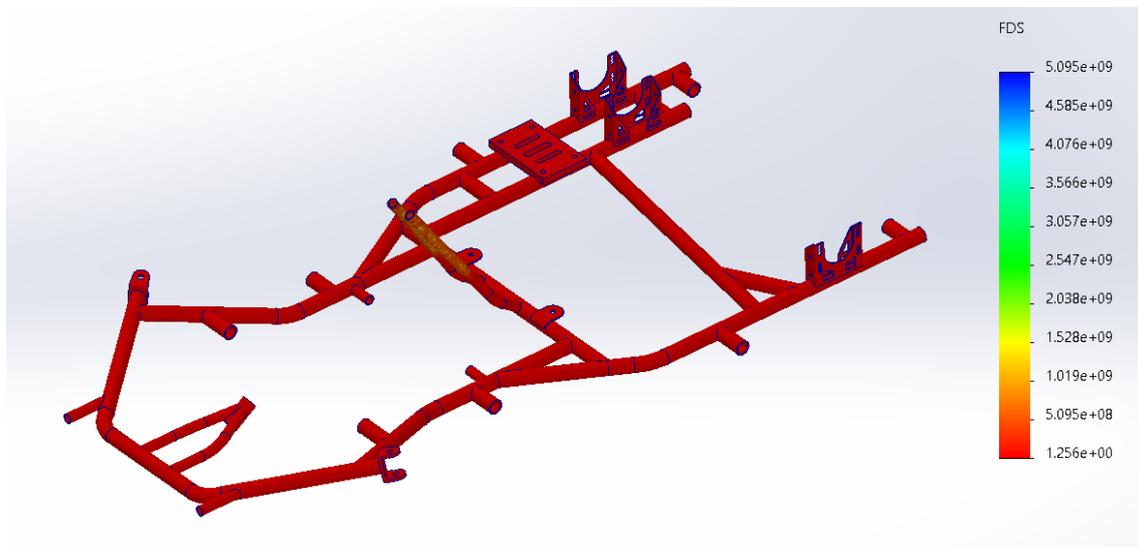


Ilustración 73: Factor de seguridad impacto frontal (modelo 2)

Fuente: propia

9.3.3 Comparativa de resultados y conclusiones

A continuación, se mostrará una tabla con todos los resultados obtenidos y así poder comparar y llegar a una conclusión de que modelo escoger para llevar a cabo este proyecto.

	Ensayo	Tensión máx (MPa)	Desplazamiento máx (mm)	Factor de seguridad
Modelo 1	Flexión	113	0,746	3,14
	Impacto frontal	266,2	2,26	1,33
Modelo 2	Flexión	126,6	0,464	2,80
	Impacto frontal	282,8	0,903	1,25

Tabla 7: Comparación de valores entre el modelo 1 y modelo 2

Una vez se obtiene la tabla con todos los valores y todas las imágenes de los resultados obtenidos se puede llegar a la conclusión de que modelo escoger. En este caso se va a decantar por escoger como modelo final el modelo número 1, por varias razones. Bien hay que apuntar que ambos modelos son más que válidos, puesto que cumplen con la normativa impuesta por la FIA y CIK y presentan unos resultados buenos y más que aceptables.

Por un lado, en cuanto al ensayo de flexión se ve que ambos modelos se comportan muy parecido, con una tensión máxima muy parecida y unos desplazamientos máximos muy parecidos, lo que inclina la balanza en este caso es el factor de seguridad, el hecho de que la tensión máxima sea un poco menor en el caso del modelo número 1 hace que el factor de seguridad sea mayor, y por lo tanto en ese punto la estructura es un poco más segura.

Por otro lado, en cuanto al ensayo de impacto frontal se encuentran unas ligeras diferencias, ya que en el caso del modelo 1 encontramos un valor de tensión máxima algo más bajo que en el modelo 2 pero un desplazamiento de algo más de 1 mm de diferencia. La diferencia en este caso es que el modelo 1 aunque tenga un desplazamiento máximo mayor, dicho desplazamiento en los soportes del paragolpes delantero, y no se disipa hacia los tubos principales del cuadro. (ver ilustración 64) En cambio en el caso del modelo 2 se aprecia que el máximo desplazamiento se da en la parte delantera del chasis y no se concentra en los apoyos para el paragolpes delantero. (ver ilustración 72)

Y por último en cuanto al factor de seguridad, en ambos ensayos el valor más alto se encuentra en el modelo 1, donde en el ensayo de flexión se ve una ligera diferencia de valor.

Por todo esto, como se ha mencionado anteriormente se ha llegado a la conclusión de escoger el modelo 1, por lo tanto, a continuación, se realizará un estudio mucho más profundo con diferentes situaciones de carrera para conocer el comportamiento de este en distintas situaciones.

9.4 Pesos y posición del cdg

A la hora de diseñar un chasis se ha de tener en cuenta muchos aspectos como la distribución de los pesos, ya que esto afectará al comportamiento del vehículo y al rendimiento de este. La distribución de pesos viene dada principalmente por aquellos elementos más pesados que conforman el vehículo, entre ellos el piloto, el motor o el propio depósito de gasolina, al igual que se deberá tener en cuenta las fuerzas de inercia que actúan sobre el chasis.

Otro aspecto muy importante que se ha de tener en cuenta es el balanceo que se produce cuando el kart toma una curva, ya que el propio vehículo intenta girar alrededor de un eje, conocido como eje de balanceo, que viene dados por la unión de dos centros de balanceo, que van variando de posición en función del movimientos del vehículo.

También se debe tener muy en cuenta el centro de gravedad, ya que es donde se aplican todas las fuerzas de inercia y es el punto donde se encuentra todo el peso del vehículo. Un punto muy importante a la hora de hacer el diseño de un chasis es tratar de situar el centro de gravedad del vehículo lo más cercano al suelo posible ya que se ganará una mayor estabilidad. La ubicación del centro de gravedad dependerá directamente de la distribución de pesos del vehículo, en este tipo de vehículos siempre se trata de situar el centro gravedad en la parte central del vehículo cercana al piloto para así no perder tracción.

Para la ubicación del centro de gravedad del vehículo se ha realizado el diseño de un dummy y el diseño del asiento de un kart, gracias a esto se podrá visualizar el punto donde se sitúa el centro de gravedad de todo el conjunto.

En primer lugar, se ha realizado un diseño sencillo de un asiento de un kart, cogiendo como referencias imágenes e información obtenida en Internet, el modelado final es el siguiente:

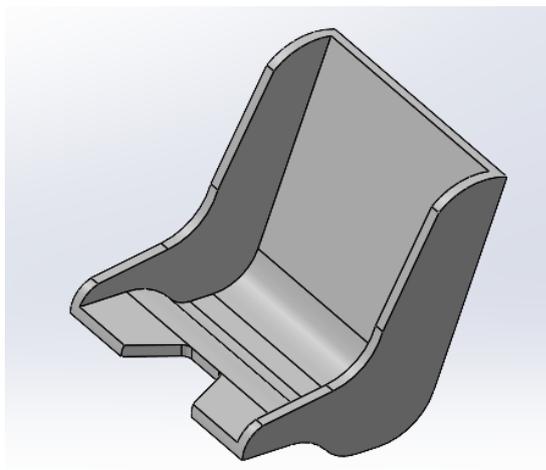


Ilustración 74: Modelado del asiento

Fuente: propia

En segundo lugar, se ha tenido que modelar un dummy para simular la posición del piloto respecto al asiento y así poder visualizar la posición del cdg. Una vez se ha diseñado el dummy y el asiento se han ensamblado como se verá en la siguiente imagen:

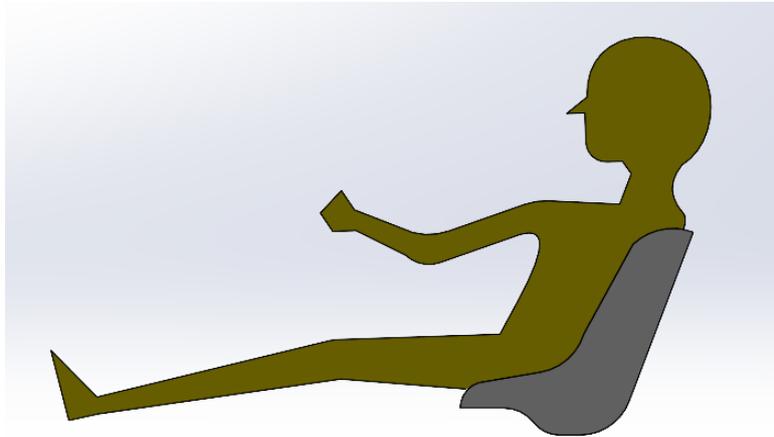


Ilustración 75: Ensamblaje dummy y asiento

Fuente: propia

A continuación, se introdujo el asiento y el dummy en la misma posición que muestra la ilustración 75 al ensamblaje final del chasis con los componentes (ilustración 49) para poder conocer el centro de gravedad de todo el conjunto del vehículo más el piloto.

La posición del cdg la muestra el propio programa SolidWorks, con la función de propiedades físicas, como se muestra a continuación.

Centro de masa: (milímetros)

X = -53.68

Y = -45.04

Z = 1868.34

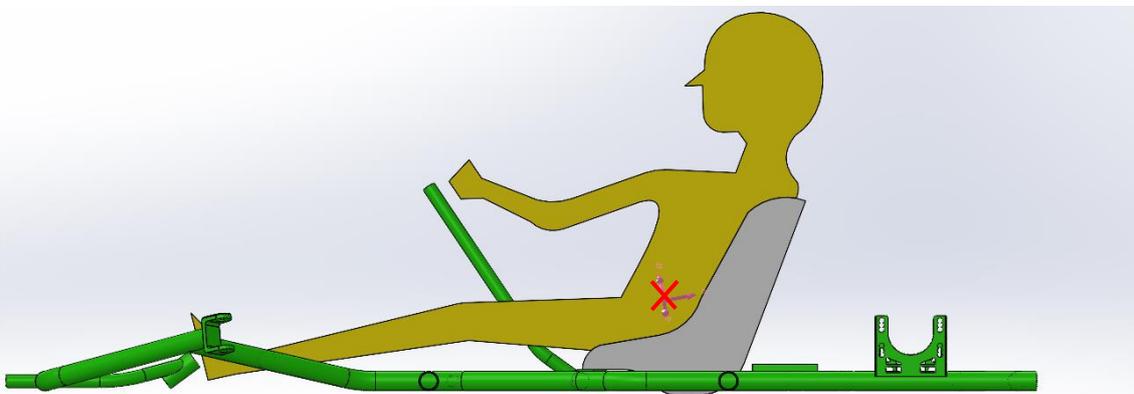


Ilustración 76: Posición cdg

Fuente: propia

Como se observa en la imagen anterior el centro de gravedad se sitúa bastante cercano al suelo, lo cual era uno de los objetivos como se ha mencionado anteriormente.

Una vez se conoce la posición del cdg ya se pueden hacer las simulaciones del chasis y contemplar el comportamiento de este a cualquier tipo de esfuerzo y situación de carrera.

10. Ensayos realizados al chasis

A continuación, se mostrarán todos los ensayos que han sido realizados en el programa SolidWorks para contemplar el comportamiento del bastidor en diferentes casos y situaciones de carrera.

10.1 Rigidez a flexión

En primer lugar, se procede a detallar los valores obtenidos en el ensayo de flexión realizado anteriormente (apartado 9.3.1).

Los resultados obtenidos en este estudio se han mostrado anteriormente con imágenes, estas muestran las tensiones que actúan sobre el chasis, los desplazamientos producidos por las cargas y se calculará el factor de seguridad para comprobar que cumple con el mínimo requerido en este tipo de estructuras que es de 1, y poder ver así si el chasis cumple con los mínimos para que sea una estructura segura.

Como se puede observar en los resultados obtenidos del estudio del chasis cuando es sometido a un esfuerzo de flexión las tensiones acumuladas son muy bajas, la máxima tensión producida es de 113 MPa (ver ilustración 56) , lo cual refleja un valor bastante alejado del límite elástico del material. En cuanto a los desplazamientos (ver ilustración 57) producidos en el bastidor se observa con bastante sencillez que la zona donde más desplazamientos hay es la zona que soporta la columna de dirección, y la zona de los puntos de anclaje de chasis, que es lo más lógico, ya que la carga estaba concentrada en esa zona, pero aun así son valores muy cercanos al 0 absoluto, ya que el mayor desplazamiento producido es de 0,74 mm, un valor imperceptible.

A continuación, se realizará el cálculo del factor de seguridad para comprobar que nuestro bastidor es seguro, que como se ha mencionado anteriormente el factor de seguridad para este tipo de estructuras ha de ser mayor de 1.

Para dicho cálculo se hará uso de la siguiente fórmula:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{max}}$$

Ecuación 7: Fórmula factor de seguridad

Donde:

σ_y = límite elástico del material, en este caso 355 MPA

σ_{max} = tensión máxima a la que se somete la pieza en el cálculo estructural

Para este primer estudio de rigidez a flexión, el factor de seguridad de la estructura sería el siguiente:

$$F_s = \frac{355}{113} = 3,14$$

El material cumple con el ensayo. (ver ilustración 61)

10.2 Rigidez a torsión

A continuación, se detallará el proceso de cálculo de la rigidez torsional del chasis del kart. Como se ha mencionado anteriormente la rigidez torsional juega un papel muy importante en el comportamiento dinámico del vehículo, como bien se sabe los vehículos kart carecen de sistema de suspensión por lo tanto todo el trabajo lo ejerce el chasis y los neumáticos.

El momento en que el chasis es sometido a una torsión fuerte es cuando el vehículo pasa por cualquier tipo de bache de la calzada o cuando el propio piloto hace uso de los pianos del circuito, ahí es cuando entra en juego la rigidez del chasis, haciendo que el paso por curva del kart sea mayor o menor.

Para medir la rigidez a torsión del chasis se ejerce un par torsor en la parte delantera del chasis, es decir, dos fuerzas aplicadas en sentido contrario separadas por una distancia x (ver ilustración 77), y, por otra parte, se restringe el movimiento en la parte trasera del vehículo, a la altura del eje posterior.

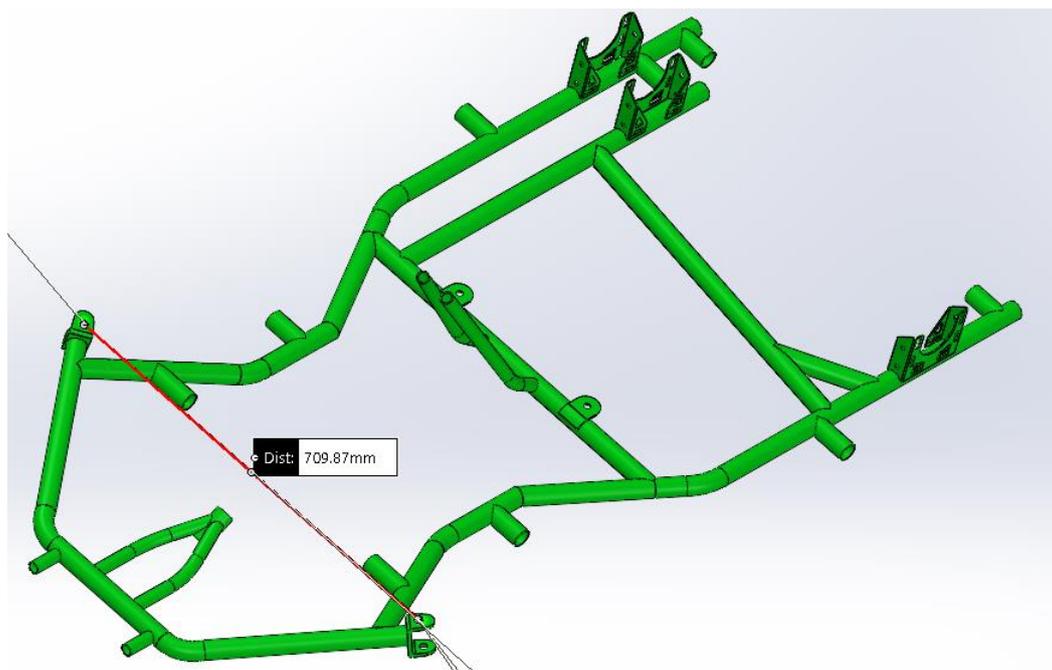


Ilustración 77: Distancia de aplicación de fuerzas de par torsor

Fuente: propia

El par torsor está definido por la fuerza máxima normal que experimentan los neumáticos delanteros y la distancia de aplicación de las fuerzas, por lo tanto, dicha fuerza se expresa:

$$T = F \cdot d \text{ (N} \cdot \text{m)}$$

Por lo tanto, para una fuerza normal de 335,49 N aplicados a una distancia de 709,87mm, se obtiene un par torsor:

$$T = 335,49 \cdot 0,709 = 238 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Una vez conocido el par torsor al que se va a someter la estructura se procede a la simulación para conocer el valor de rigidez torsional del bastidor. Como se ha mencionado anteriormente, se ha restringido el movimiento en los soportes del eje posterior, y las fuerzas se han aplicado en los soportes para las manguetas, aparte de las fuerzas ejercidas por el piloto, el depósito y el motor. (ilustración 78)

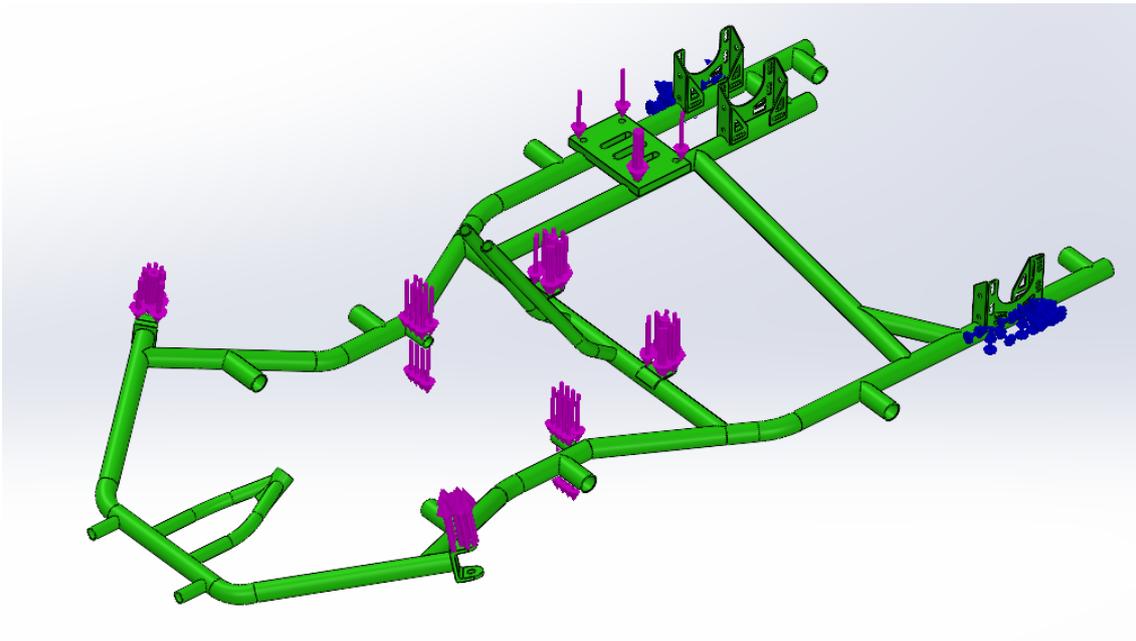


Ilustración 78: Cargas y restricciones torsión

Fuente: propia

El estudio estructural de rigidez de torsión da como resultado un desplazamiento máximo de 2,44 mm,(ver ilustración 80) dicho desplazamiento se da en la parte delantera derecha del chasis, ya que la estructura del bastidor no es totalmente simétrica, por lo tanto, puede sufrir una mayor deformación por un lado que por otro. Por otro lado, la tensión máxima generada es de 281,4 MPa (ver ilustración 79).

Tensiones

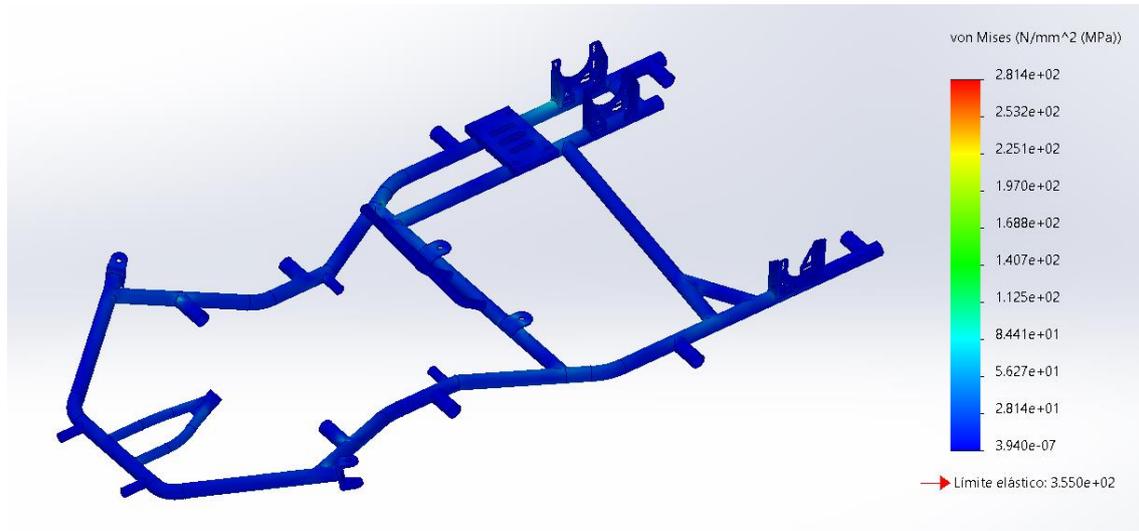


Ilustración 79: Tensiones generadas rigidez a torsión

Fuente: propia

Desplazamientos

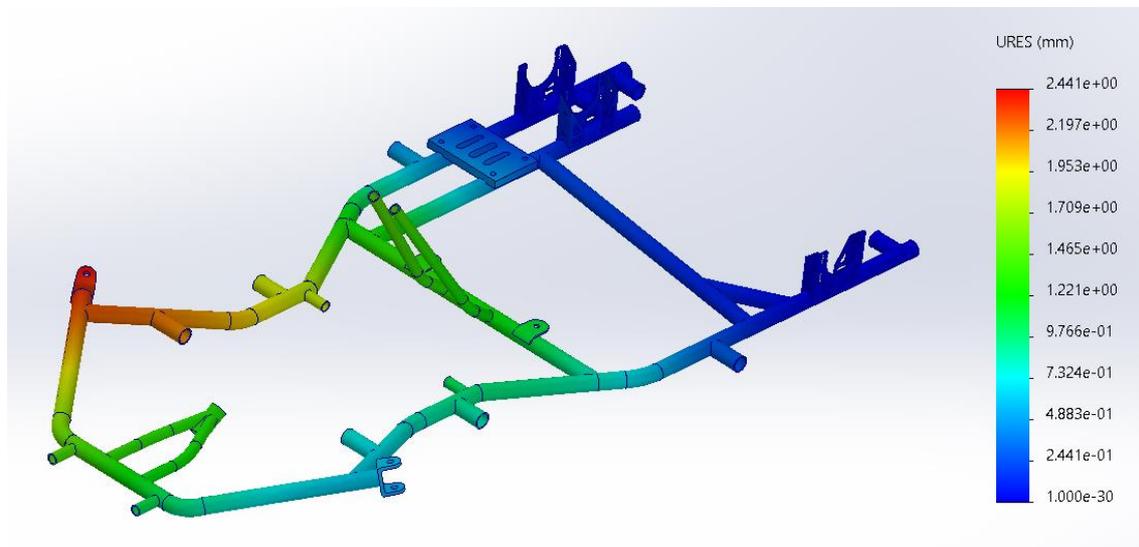


Ilustración 80: Desplazamientos generados rigidez a torsión

Fuente: propia

Como se sabe, el límite elástico del material es de 355 MPa, por lo tanto, el factor de seguridad obtenido es el siguiente:

$$F_s = \frac{355}{281,4} = 1,26$$

El material cumple con el ensayo.

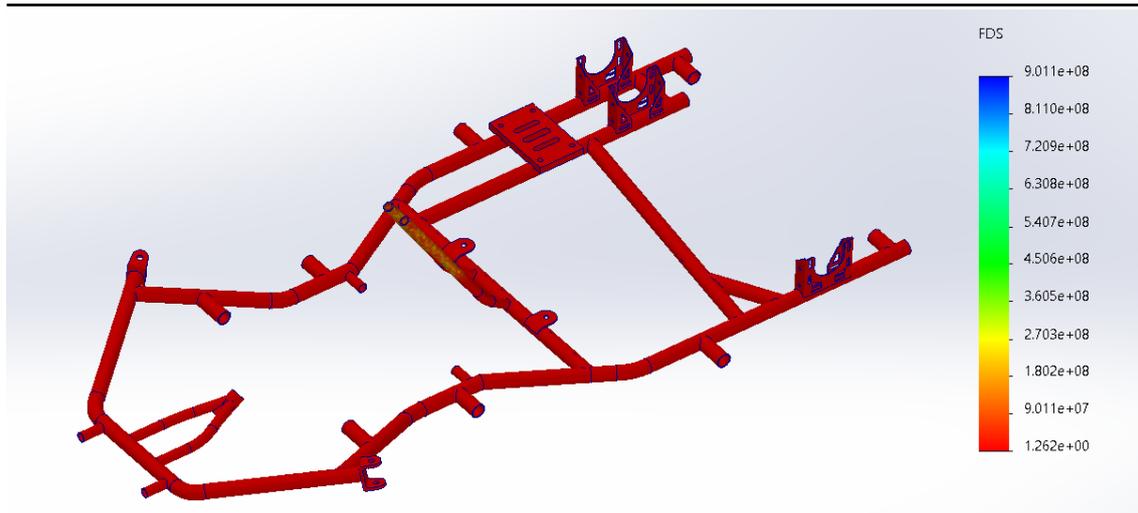


Ilustración 81: Factor de seguridad esfuerzo a flexión

Fuente: propia

Una vez se conocen los valores de la tensión máxima generada y las deformaciones, se procede a calcular el valor de rigidez torsional del propio chasis, a partir de la siguiente expresión:

$$K = \frac{T}{\theta}$$

Donde:

$$\theta = \arctng\left(\frac{Y_{max}}{d/2}\right) = \left(\frac{2,44}{709,87/2}\right) = 0,394 \text{ grados}$$

Por lo tanto, el valor de rigidez torsional de la estructura es:

$$K = \frac{238}{0,394} = 604,1 \text{ N} \cdot \text{m/grado}$$

Teniendo en cuenta que el valor de rigidez torsional de un vehículo convencional oscila desde los 40500 N·m/grado de un Rolls Royce hasta los 11800 N·m de un Peugeot 207 CC, y que el valor de rigidez torsional de una formula SAE oscila entre los 1500 y 4500 N·m/ grado, con toda esta información y comparándolo con el valor obtenido de rigidez torsional del vehículo kart, se llega a la conclusión de que dicho valor es aceptable, ya que el fórmula SAE está mucho más reforzado el que vehículo kart.

10.3 Impacto frontal

Al igual que en el ensayo de flexión, esta simulación ya se ha hecho en la comparativa de modelos (ver apartado 9.3.1), por lo tanto, se procede a comentar los resultados.

En este ensayo se puede apreciar que las tensiones se concentran en la zona delantera del chasis, que es donde se produce el golpe, (ver ilustración 60) y las tensiones no se disipan por todo el cuadro, por lo tanto, el bastidor hace un buen trabajo en este tipo de impacto. La tensión máxima generada (266,2 MPa) no supera el límite elástico del material por lo tanto el factor de seguridad será mayor de 1 como se mostrará a continuación.

En cuanto a los desplazamientos al igual que las tensiones se concentran en la zona de impacto, pero son desplazamientos dentro del margen de la seguridad por lo tanto son unos resultados aceptables, puesto que el máximo desplazamiento es de 2,26 mm. (ver ilustración 61)

El factor de seguridad en este caso se obtendrá como se ha hecho en los estudios anteriores:

$$Fs = \frac{355}{266,2} = 1,33$$

El material cumple con el ensayo. (ver ilustración 62)

10.4 Impacto trasero

EL siguiente estudio se basa en la simulación de un impacto trasero al vehículo, se ha sometido el chasis a una serie de fuerzas las cuales son las mismas que en el caso anterior del impacto frontal, el bastidor ha de soportar una fuerza de 4G.

Siguiendo los mismos pasos que, en el caso anterior, suponiendo un peso de 160 kg total del vehículo, sobre el chasis se ejercerá una fuerza de:

$$F = 160 \cdot 9,81 \cdot 4 = 6278,4 \text{ N}$$

Igual que en el caso anterior para llevar a cabo esta simulación primero se ha aplicado la malla correspondiente para poder llevar a cabo la simulación, los soportes fijos se han colocado en los mismos puntos que en el caso de impacto frontal, es decir, en los soportes para las manguetas y en los soportes del eje trasero, mientras que las fuerzas se ejercen en los dos apoyos de los paragolpes traseros, dicha fuerza es la calculada anteriormente, 6278,4 N. Al igual que en todos los casos anteriores también se aplican las fuerzas principales. (ilustración 82)

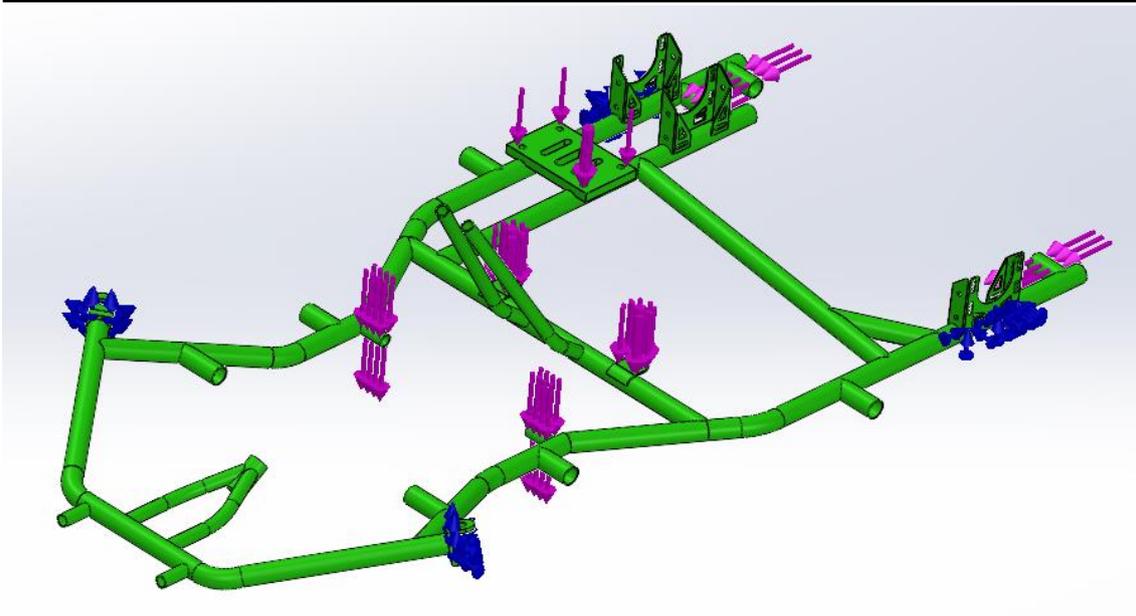


Ilustración 82: Cargas y restricciones impacto trasero

Fuente: propia

Como en los ensayos anteriores, se ha obtenidos las tensiones que actúan sobre el chasis y los desplazamientos generados, además de calcular el factor de seguridad para comprobar que le material cumple con el ensayo.

Tensiones

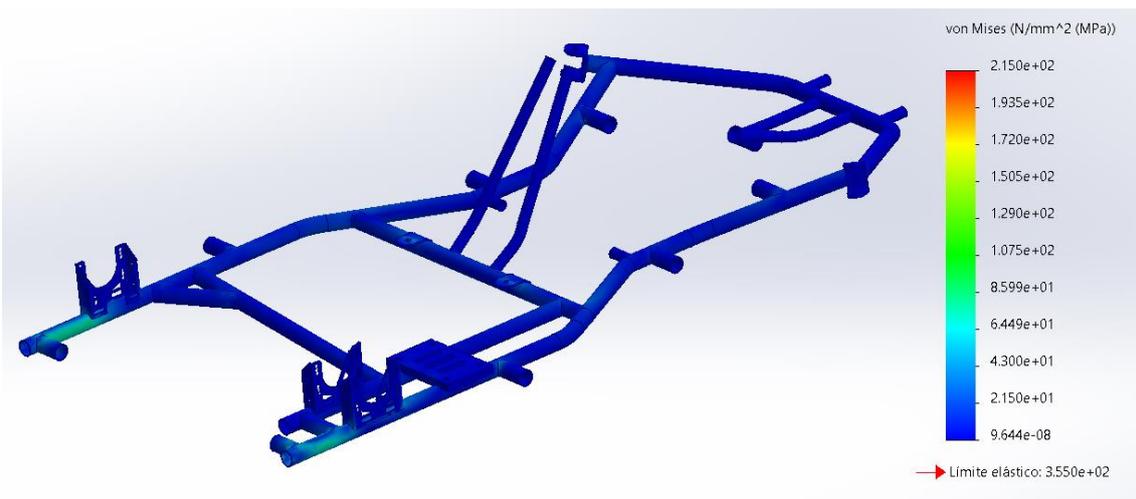


Ilustración 83: Tensiones generadas impacto trasero

Fuente: propia

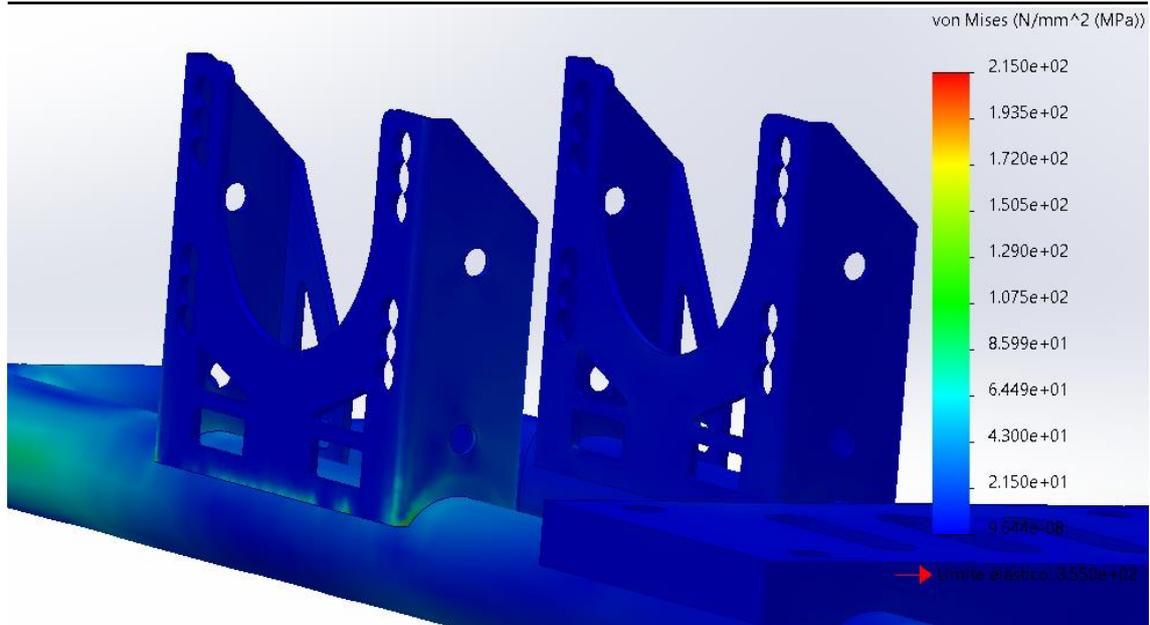


Ilustración 84: Zona de máxima tensión generada impacto trasero

Fuente: propia

Desplazamientos

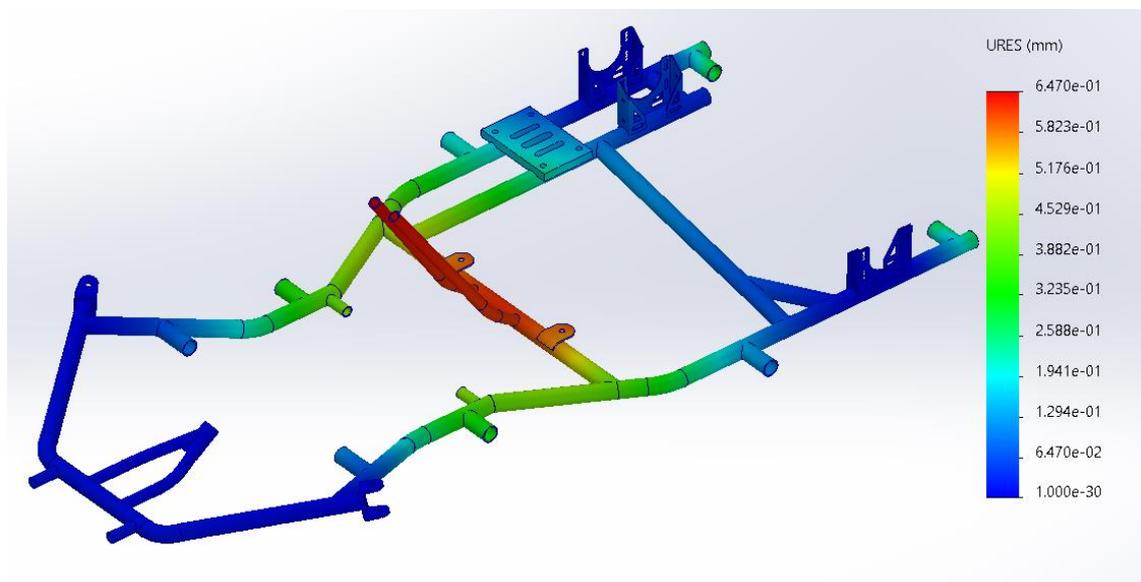


Ilustración 85: Desplazamientos generados impacto trasero

Fuente: propia

Como se puede contemplar en este ensayo las tensiones se concentran mayormente en la parte trasera del bastidor (ver ilustración 83), la zona de máxima concentración de tensiones se da justo en la zona de soldadura del soporte del eje trasero izquierdo con la estructura (ver ilustración 84). Cabe destacar que las tensiones generadas

por este impacto se concentran en la parte trasera y no se propagan hacia el resto del chasis.

Por otro lado, en cuanto a los desplazamientos generados por este impacto trasero, como se puede apreciar en la imagen (ver ilustración 85), la parte que más ha sufrido es la zona de la columna de dirección y los apoyos para el paragolpes trasero. El valor de máximo desplazamiento es de 0,647mm, por lo tanto, se da más que aceptable dicho valor.

El factor de seguridad en este caso se obtendrá como se ha hecho en los estudios anteriores:

$$F_s = \frac{355}{215} = 1,65$$

El material cumple con el ensayo.

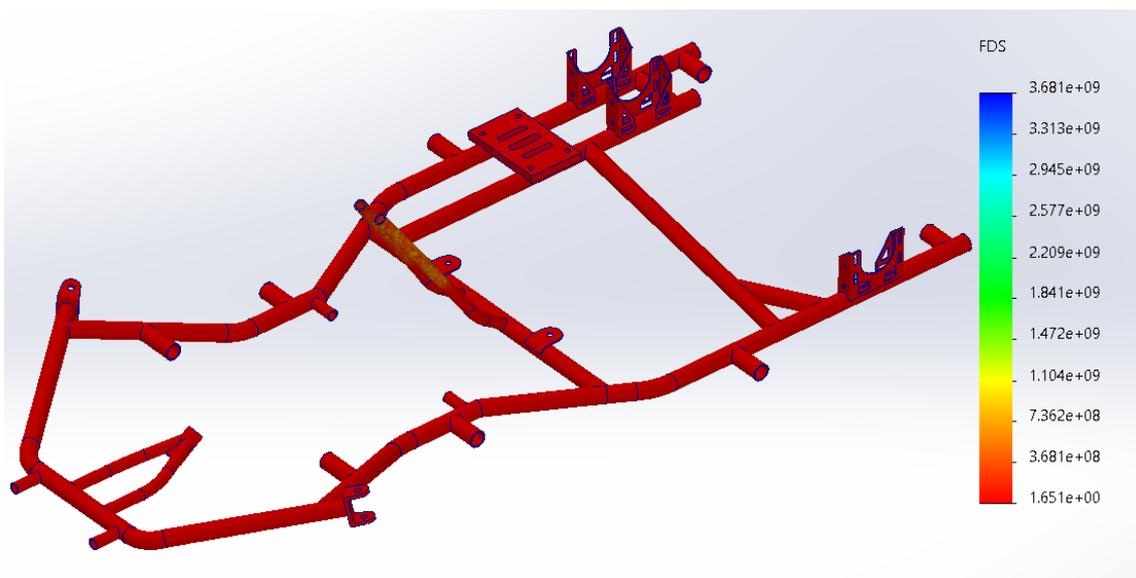


Ilustración 86: Factor de seguridad impacto trasero

Fuente: propia

10.5 Impacto lateral izquierdo

La siguiente simulación llevada a cabo es el impacto lateral en la zona izquierda del chasis. El impacto lateral se simula con una carga equivalente a 2G, por lo tanto, el chasis deberá soportar una fuerza igual a:

$$F = 160 \cdot 9,81 \cdot 2 = 3139,2 \text{ N}$$

Las restricciones en este ensayo son las mismas que en el anterior caso, soportes fijos en los soportes para el eje posterior y en los soportes para las manguetas, y esta vez la fuerza estará distribuida en los apoyos de los paragolpes del lado izquierdo, en el soporte para la mangueta izquierda, y en el soporte izquierdo del eje trasero. También se ha de tener en cuenta las fuerzas ejercidas por el piloto el depósito y el motor, como en todos los casos anteriores. (ilustración 87)

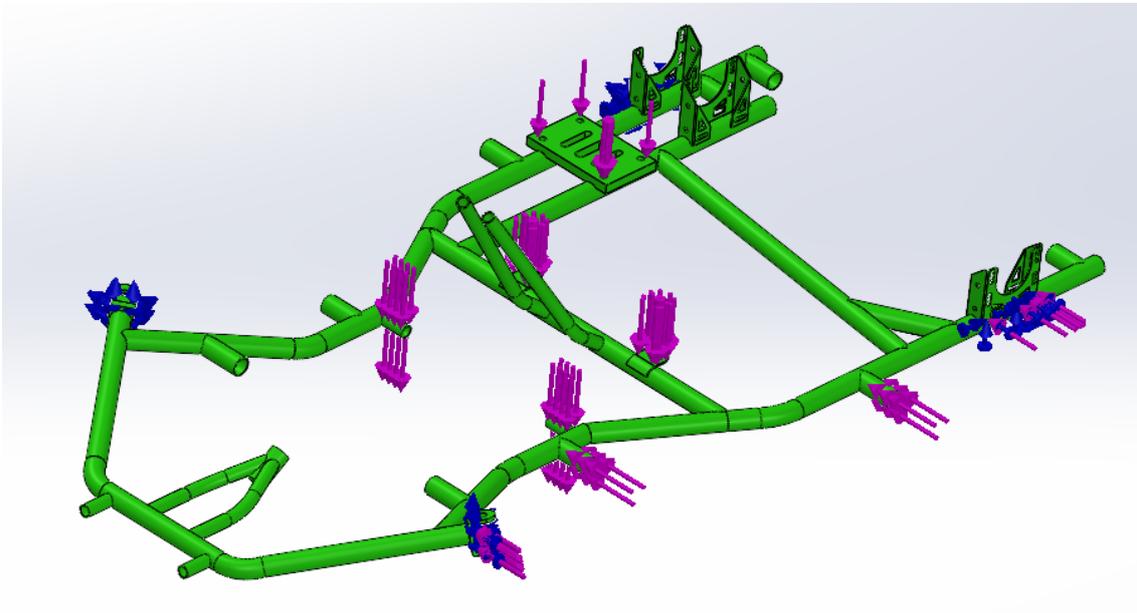


Ilustración 87: Cargas y restricciones impacto lateral izquierdo

Fuente: propia

Al igual que en todos los casos anteriores, se han obtenido las tensiones que actúan sobre el chasis y los desplazamientos que se producen al aplicar la cargas, así como el factor de seguridad para comprobar que el material cumple con el ensayo.

Tensiones

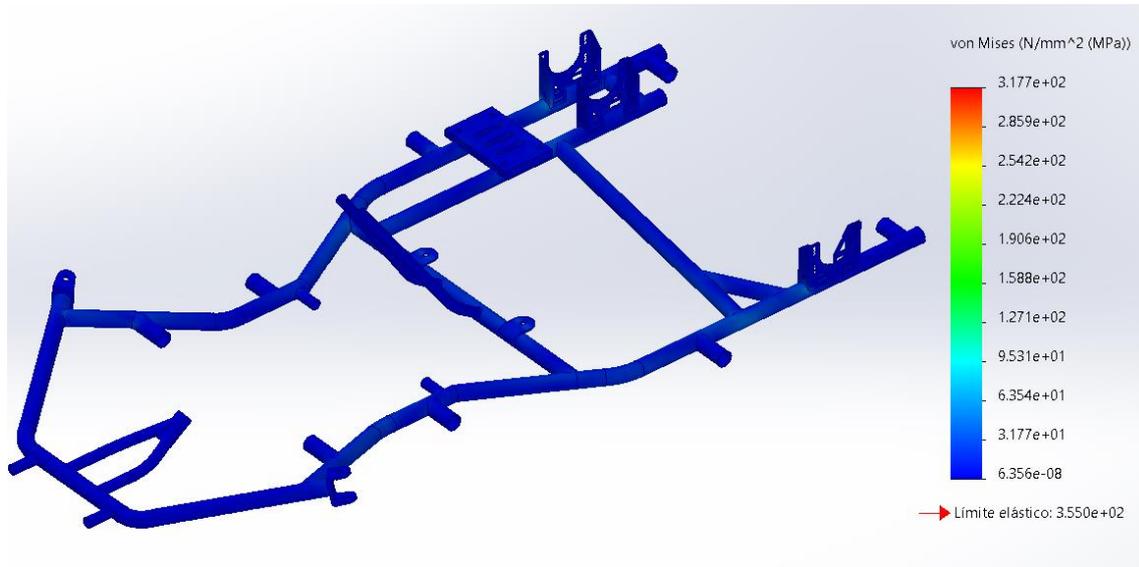


Ilustración 88: Tensiones generadas impacto lateral izquierdo

Fuente: propia

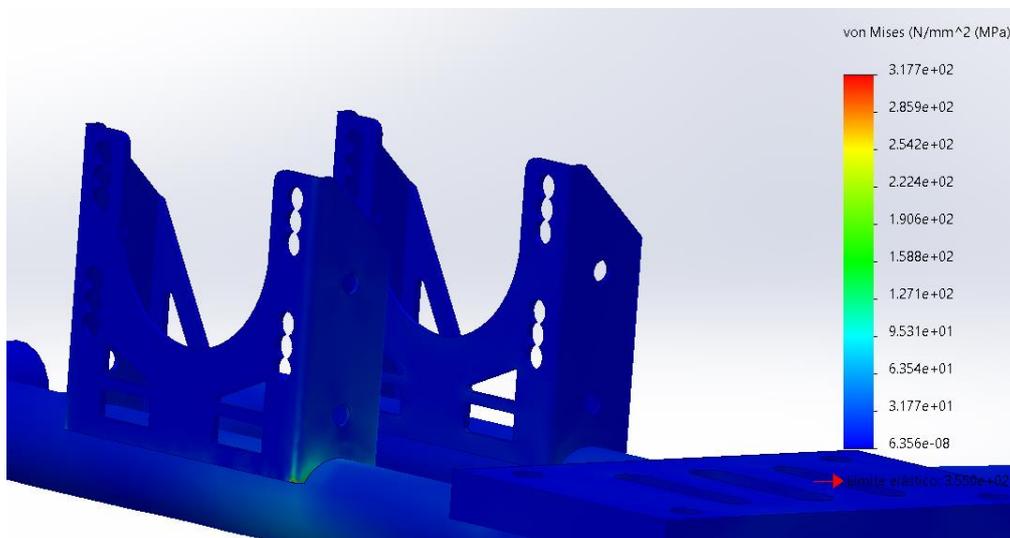


Ilustración 89: Zona de máxima tensión generada impacto lateral izquierdo

Fuente: propia

Desplazamientos

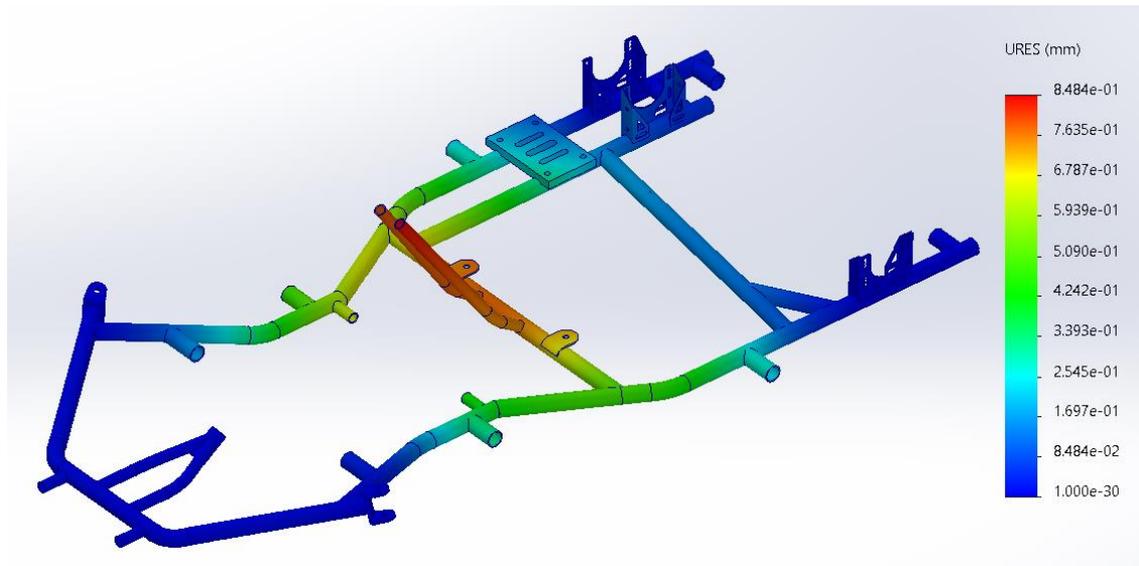


Ilustración 90: Desplazamientos generados impactos lateral izquierdo

Fuente: propia

Una vez obtenidos los resultados, se puede contemplar que las tensiones generadas no se disipan por todo el cuadro, la zona de máxima concentración de tensiones se sitúa en la zona de soldadura del soporte del eje posterior (ver ilustración 89).

En cuanto a los desplazamientos generados en es este ensayo, se aprecia que la zona que más ha sufrido es la zona de la columna de dirección, pero el máximo valor de deformación no alcanza el milímetro, por lo tanto, es más que aceptable el resultado obtenido.

En este caso el factor de seguridad es el siguiente:

$$Fs = \frac{355}{317,7} = 1,12$$

El material cumple con el ensayo.

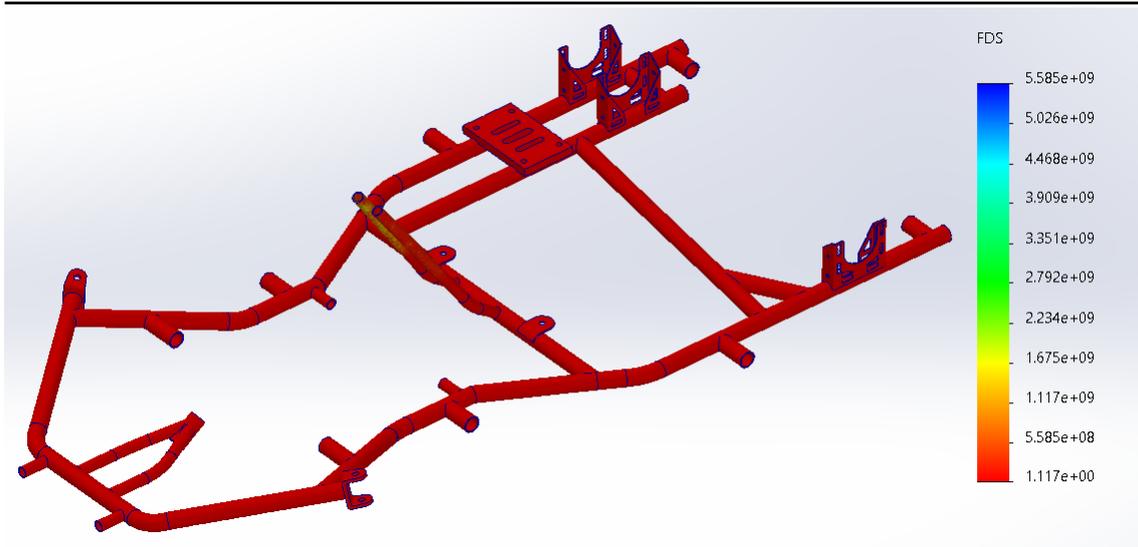


Ilustración 91: Factor de seguridad impacto lateral izquierdo

Fuente: propia

10.6 Impacto lateral derecho

A continuación, se hará el mismo ensayo que en el caso anterior pero esta vez en el lado derecho del batidor. Las condiciones de contorno serán las mismas, se aplicará una fuera de 2G, es decir se aplicará una fuerza de 3139,2 N (como se ha calculado en el anterior apartado) la cual deberá soportar la estructura para dar el ensayo como válido. En cuanto a los resultados que se van a obtener, pueden variar un poco respecto al impacto lateral izquierdo ya que la estructura no es simétrica.

En cuanto a los soportes fijos y la situación de las cargas es la misma que en el ensayo anterior, los soportes fijos estarán situados en los soportes para las manguetas y los soportes del eje trasero, y la fuerza estará distribuida entre los apoyos de los paragolpes, el soporte para la mangueta y el soporte derechos del eje posterior. Al igual que en todos los casos se ha de tener en cuenta las fuerzas principales generadas por el piloto el motor y el depósito.

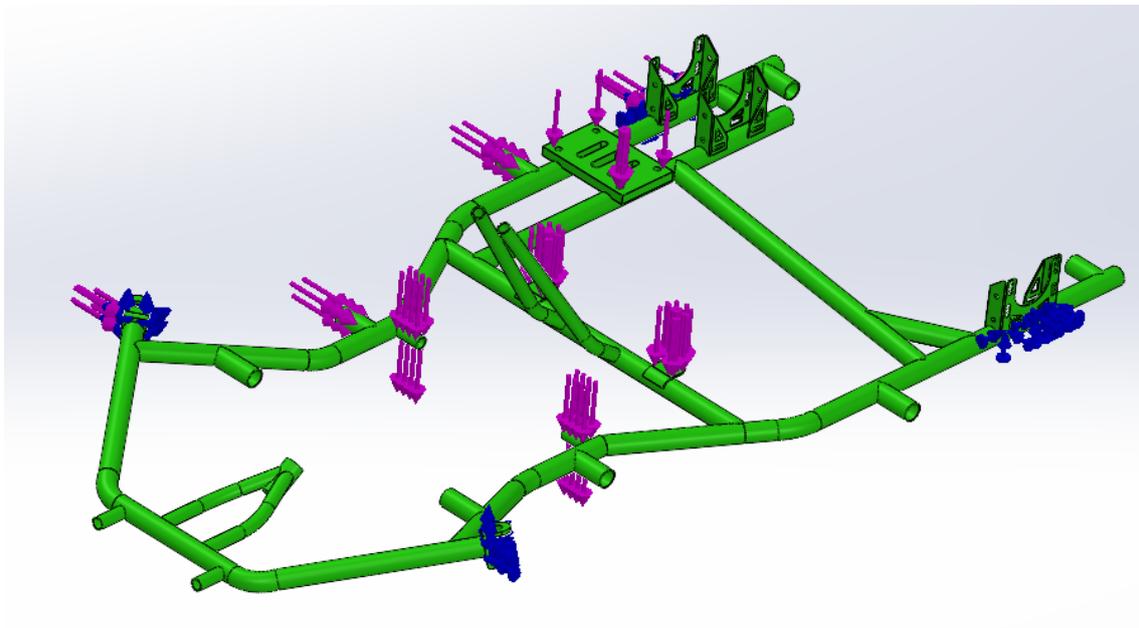


Ilustración 92: Cargas y restricciones impacto lateral derecho

Fuente: propia

Como en los ensayos anteriores, se han obtenido las tensiones que actúan sobre el bastidor, los desplazamientos generados y el factor de seguridad, para ver si el material cumple con el ensayo.

Tensiones

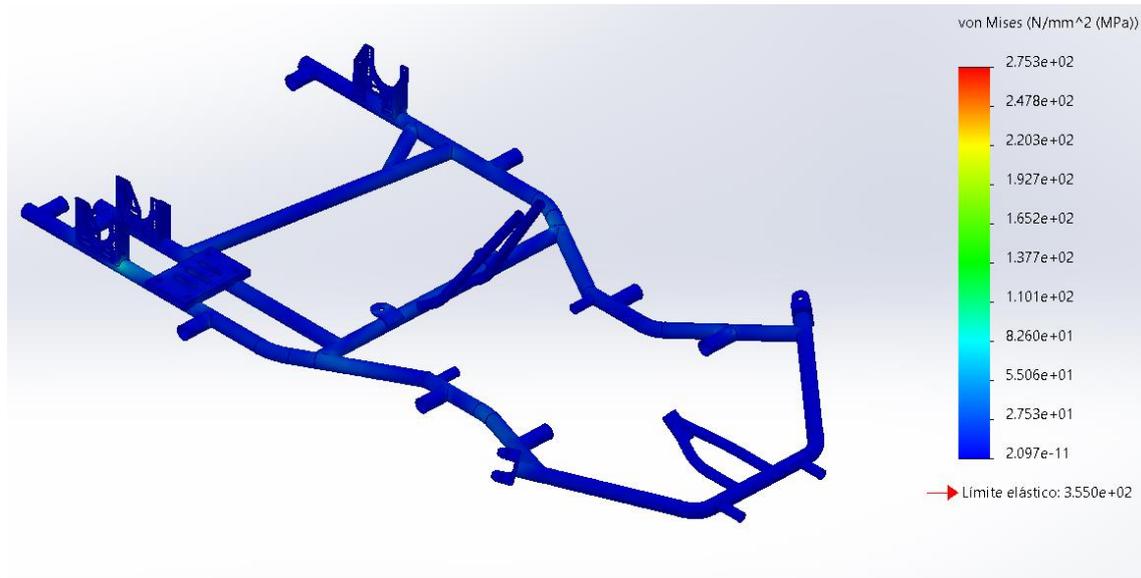


Ilustración 93: Tensiones generadas impacto lateral derecho

Fuente: propia

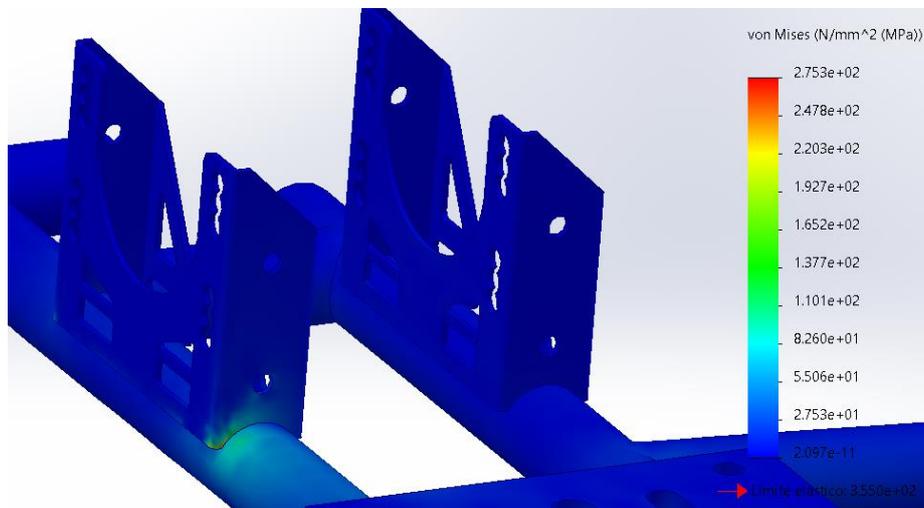


Ilustración 94: Zona de máxima tensión impacto lateral derecho

Fuente: propia

Desplazamientos

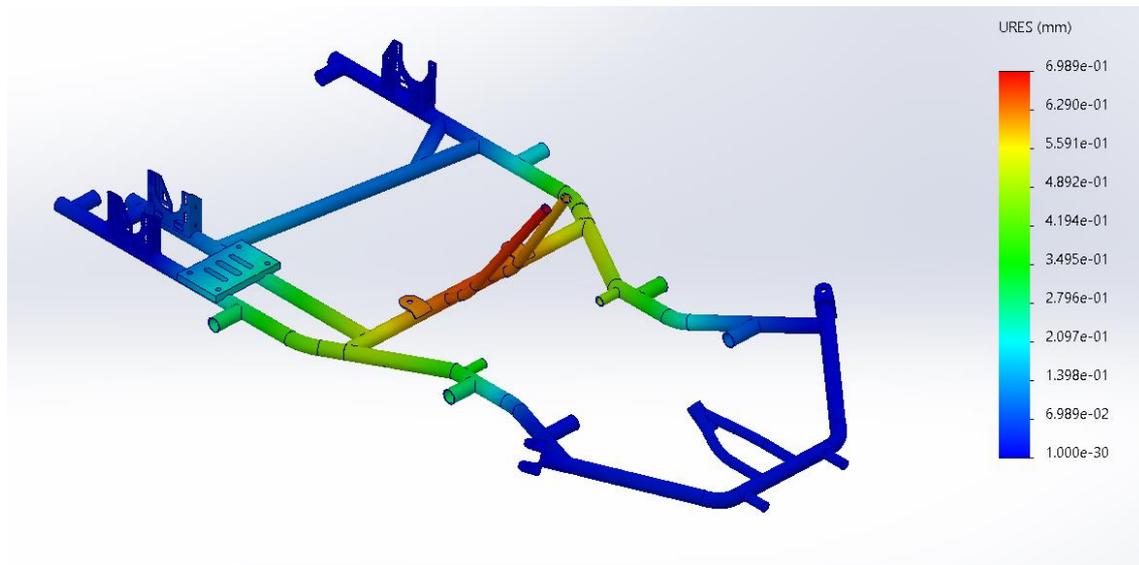


Ilustración 95: Desplazamientos generados impacto lateral derecho

Fuente: propia

Como se contempla en los resultados obtenidos, las tensiones generadas sobre el chasis no se disipan por el cuadro (ver ilustración 93), al igual que en el caso anterior, aunque en este caso las tensiones generadas son ligeramente más bajas que en el caso anterior. La zona de máxima concentración de tensiones se encuentra en la zona de soldadura de la esquina inferior del soporte del eje posterior (ver ilustración 94), esto también pasaba en el caso anterior.

En cuanto a los desplazamientos se contemplan unos resultados casi similares a los del impacto en la zona izquierda, concentrándose en la zona de la columna de dirección y en la parte derecha del bastidor.

En este caso el factor de seguridad es:

$$Fs = \frac{355}{275,3} = 1,29$$

El material cumple con el ensayo.

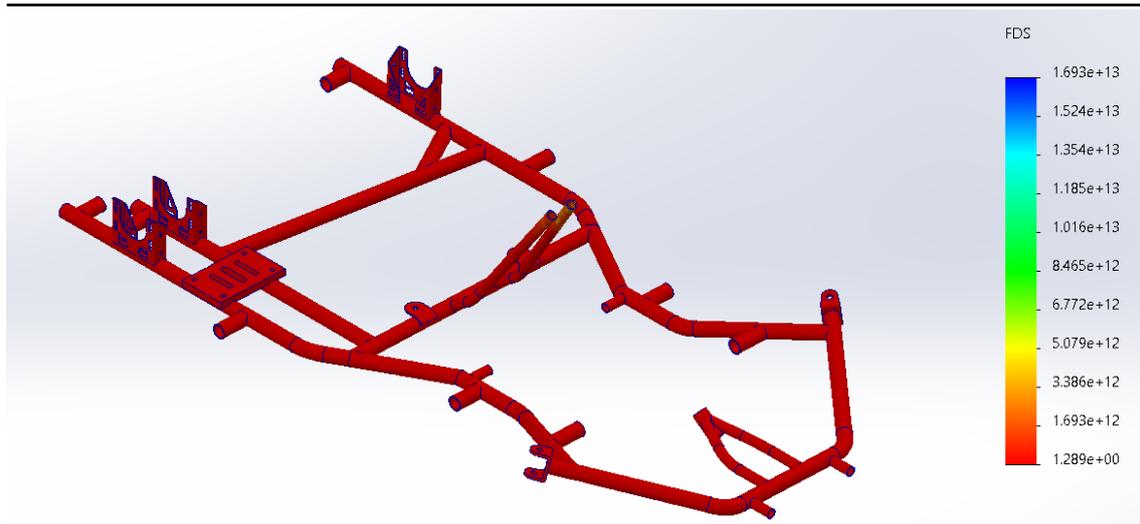


Ilustración 96: Factor de seguridad impacto lateral izquierdo

Fuente: propia

10.7 Prueba de aceleración

A continuación, se hará un estudio de aceleración máxima, y se observará el efecto que se produce sobre el chasis cuando se produce un incremento de velocidad. Para ello se debe saber en cuanto tiempo acelera un vehículo de estas características. Teniendo en cuenta que el modelo de chasis es para una categoría donde la caja de cambios es automática, no se puede hacer un estudio de una aceleración de 0 km/h a 100 km/h, ya que estos karts se arrancan con ayuda del mecánico (empujando el kart) y no están capacitados para hacer un 0 a 100. Por lo tanto, la aceleración máxima se deberá calcular con un estudio de 60 km/h a 120 km/h. Con la ayuda de una persona cualificada y con información obtenida de telemetrías se ha podido obtener la siguiente información, son datos de telemetría reales de un kart de categoría KF.

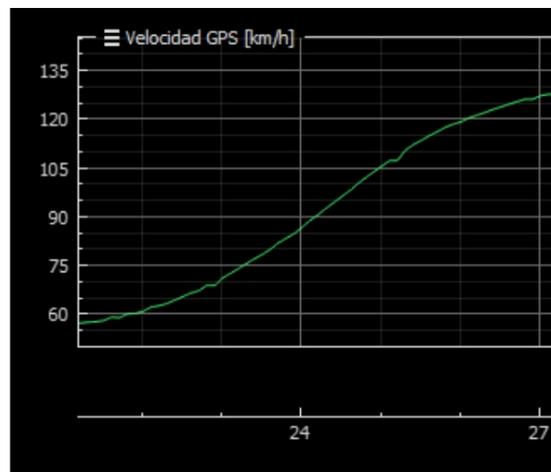


Ilustración 97: Telemetría de un kart (caso real)

Fuente: Sergio Cruz Rodríguez (compañero)

* El eje x refleja el tiempo en segundos.

Como se observa en la anterior imagen se puede apreciar una aceleración máxima de 60 km/h a 120 km/h en unos 4 segundos, con ayuda de mi fuente me ha concretado un tiempo exacto de 4,347 segundos.

Para conocer el valor de la aceleración se hará uso de la siguiente fórmula:

$$a = \frac{v_2 - v_1}{t}$$

Ecuación 8: Fórmula de la aceleración

Donde:

a = aceleración (m/s^2)

v_1 = velocidad inicial (m/s)

v_2 = velocidad final (m/s)

t = tiempo (s)

Para calcular el valor de la aceleración simplemente se aplica la fórmula anteriormente mencionada, para ello se deberá pasar los valores de la velocidad de km/h a m/s.

$$a = \frac{33,3 - 16,6}{4,347} = 3,84 \text{ m/s}^2$$

Una vez se conoce el valor de la aceleración que sufre el kart, se puede calcular la fuerza que actúa sobre el chasis, para ello se deberá hacer uso de la fórmula de la fuerza:

$$F = m \cdot a$$

Ecuación 9: Fórmula de la fuerza

A continuación, se aplica la fórmula anteriormente mencionada introduciendo los valores de masa del kart la completo y la aceleración obtenida.

$$F = 160 \cdot 3,84 = 614,67 \text{ N}$$

Por lo tanto, a la hora de introducir las cargas en el programa SolidWorks, aparte de introducir las cargas principales del piloto el depósito y el motor, se introducirá una carga de 614,67 N en sentido opuesto a la marcha, que reflejará la fuerza ejercida por el kart en su momento de aceleración.

En cuanto al ensayo, se aplicarán las cargas mencionadas anteriormente, y los soportes fijos se colocarán en los soportes para las manguetas, ya que el eje trasero será el que transmite toda la fuerza.

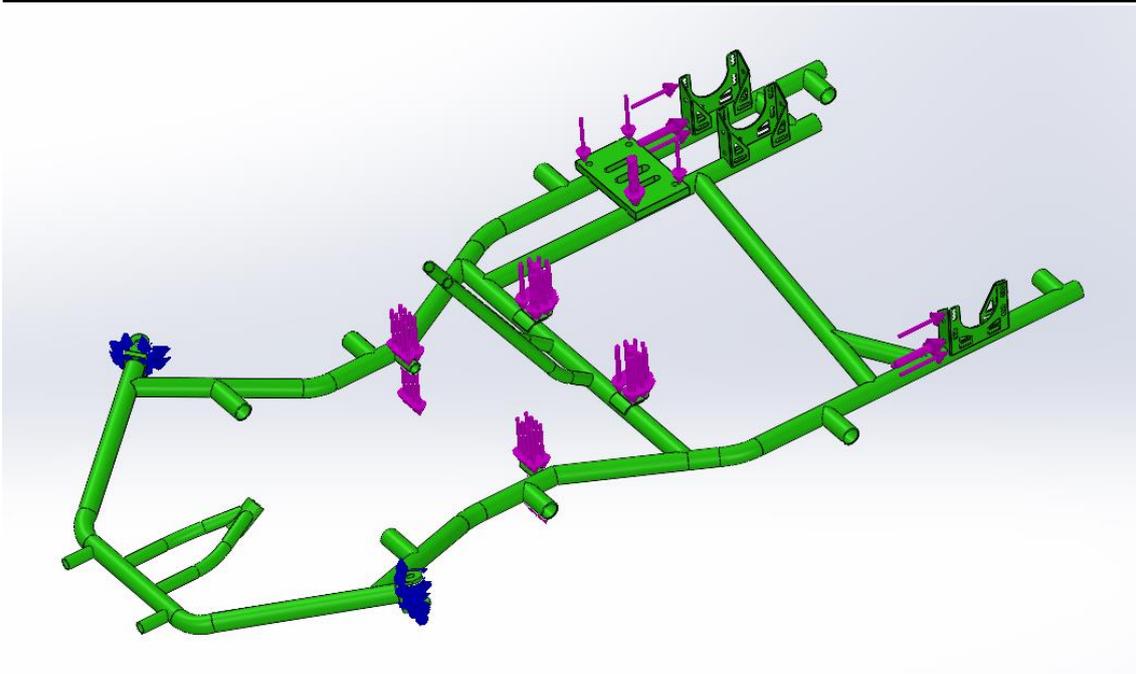


Ilustración 98: Cargas y restricciones aceleración

Fuente: propia

A continuación, como en todos los ensayos realizados anteriormente se procede a mostrar las tensiones generadas y los desplazamientos producidos por dichas fuerzas, así como el factor de seguridad.

Tensiones

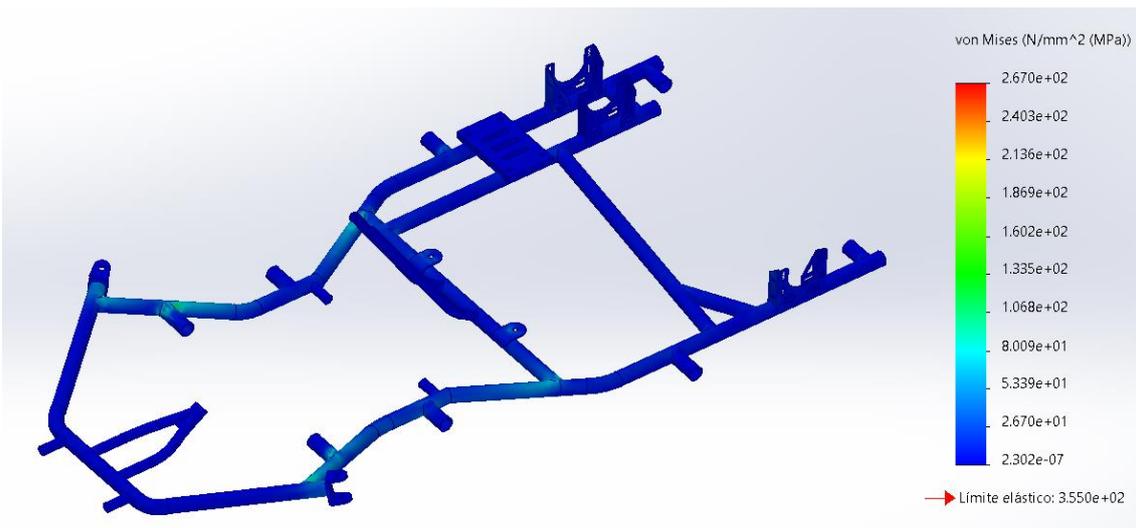


Ilustración 99: Tensiones generadas aceleración

Fuente: propia

Desplazamientos

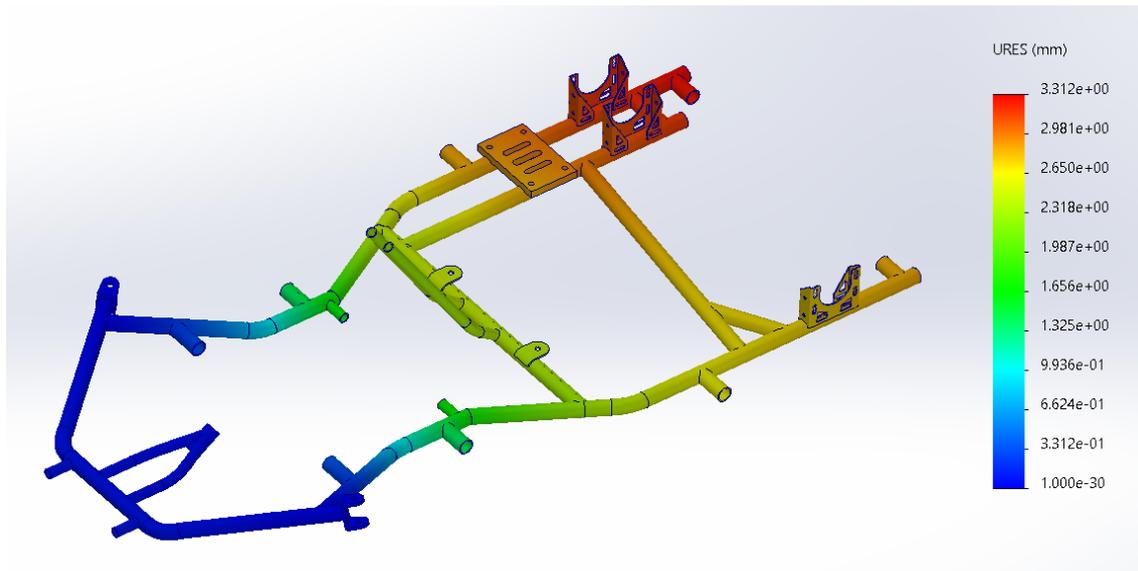


Ilustración 100: Desplazamientos generados aceleración

Fuente: propia

Como se observa, la aceleración máxima del kart produce una serie de tensiones que se concentran mayoritariamente en la zona delantera del chasis (ver ilustración 99), dichas tensiones no se disipan hacia la zona trasera del chasis.

En cuanto a los desplazamientos producidos, se puede apreciar con bastante claridad que la zona donde más sufre el cuadro es en la parte posterior derecha (ver ilustración 100) llegando a valores de 3,5 mm, lo cual es un valor más que aceptable.

En cuanto al factor de seguridad, se calcula como en los anteriores ensayos:

$$Fs = \frac{355}{267} = 1,33$$

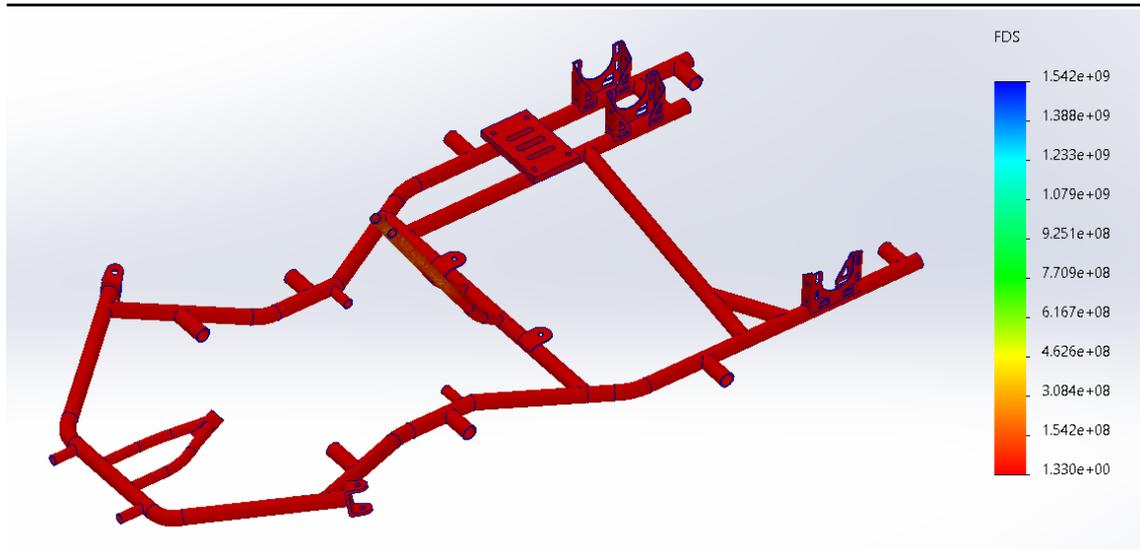


Ilustración 101: Factor de seguridad aceleración

Fuente: propia

10.8 Paso por curva a izquierdas con piano

A continuación, se hará la simulación de un paso por curva haciendo uso del piano, en este tipo de curvas el kart suele separarse del suelo por la rueda delantera la cual hace uso del piano, por lo tanto, en este tipo de situaciones la rigidez del chasis es donde trabaja mucho y se demuestra verdaderamente si el chasis cuenta con una buena rigidez.



Ilustración 102: Paso por curva de un kart haciendo uso del piano

Fuente:

https://img.remediosdigitales.com/315647/19025303_1405452826189521_8300267851419528307_o/450_1000.jpg

Para entender mejor la finalidad de este ensayo y del siguiente se muestra la situación de un kart realizando un paso por curva haciendo uso del piano. (ilustración 102).

Para realizar la simulación en SolidWorks se va a llevar a cabo el mismo proceso de siempre, en primer lugar, se han introducido las cargas y los soportes necesarios, los soportes se han colocado en los soportes del eje trasero y en el soporte de la mangueta derecho, ya que el neumático izquierdo es el que sufre la separación con el asfalto. En cuanto a las fuerzas, como siempre se introducen las cargas ocasionadas por el piloto, depósito y motor, y una fuerza de 500N en el soporte para la mangueta izquierda. (ilustración 103)

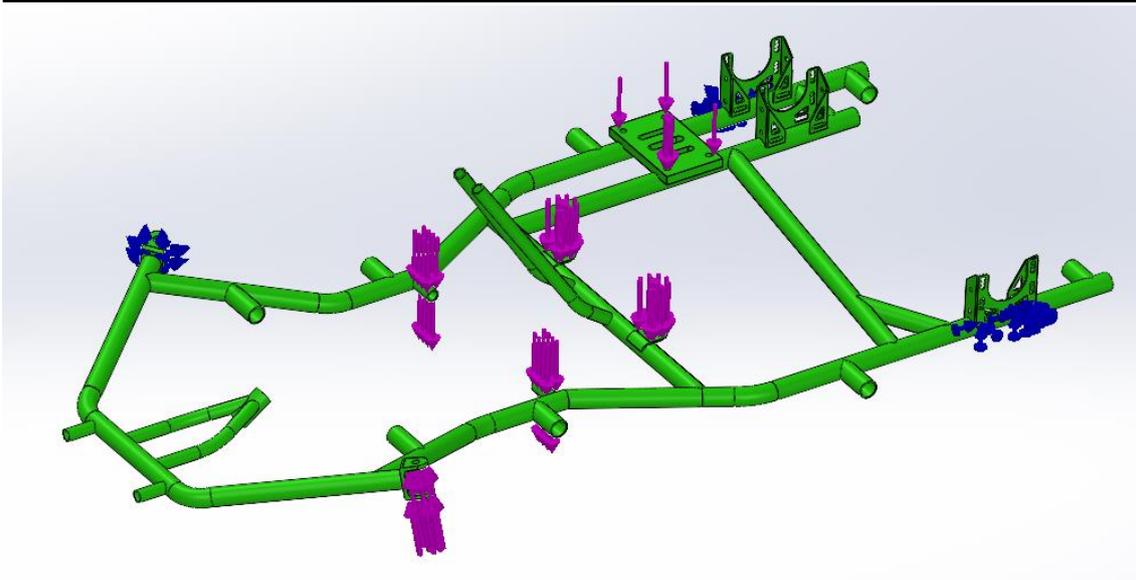


Ilustración 103: Cargas y restricciones curva izquierda

Fuente: propia

Como en todos los ensayos anteriores se va a calcular las tensiones generadas y los desplazamientos, así como el factor de seguridad para confirmar que el material cumple con el ensayo.

Tensiones

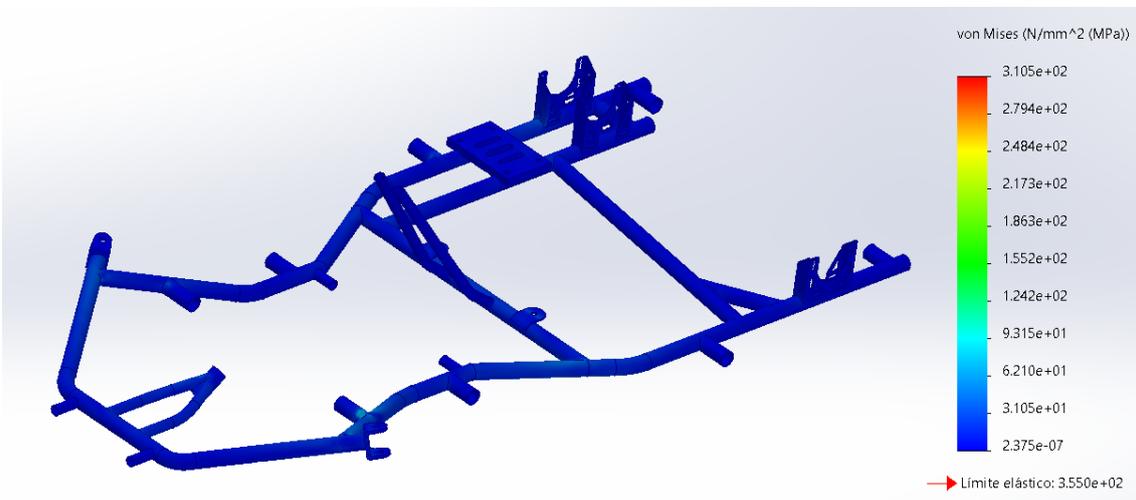


Ilustración 104: Tensiones generadas curva izquierda

Fuente: propia

Desplazamientos

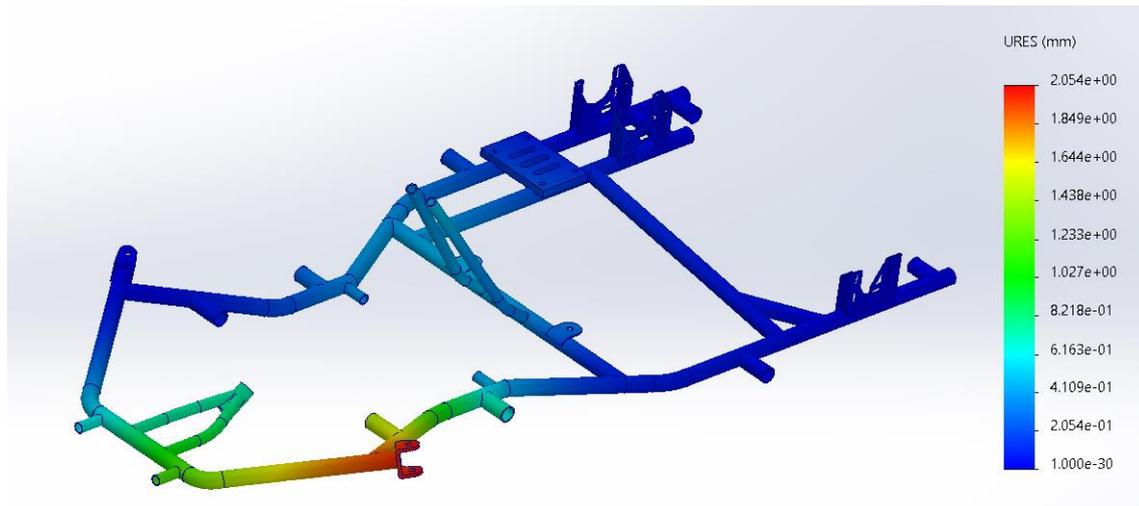


Ilustración 105: desplazamientos generados curva izquierda

Fuente: propia

Como se contempla en las imágenes anteriores en cuanto a las tensiones generadas por el paso por curva a izquierdas haciendo uso del piano se contempla una tensión máxima muy cercana al límite elástico del material, pero sin sobrepasarlo, se aprecia que las tensiones se concentran en la parte donde se da la separación del vehículo con el asfalto. En cuanto a los desplazamientos generados, se da un desplazamiento máximo de 2,05 mm en el soporte para la mangueta izquierda que es donde se ha aplicado la carga a causa del bache del piano.

El factor de seguridad vendría dado por la siguiente expresión:

$$Fs = \frac{355}{310,5} = 1,14$$

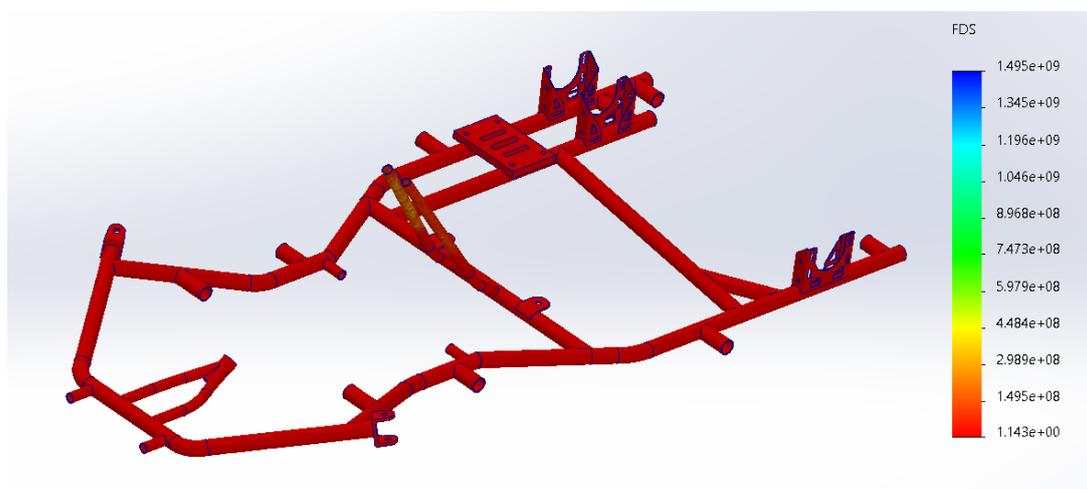


Ilustración 106: Factor de seguridad curva izquierda

Fuente: propia

10.9 Paso por curva a derechas con piano

A continuación, se realizará el mismo ensayo que se ha realizado anteriormente, pero esta vez el paso por curva es a derechas, por lo tanto, se obtendrá diferentes resultados ya que la geometría del chasis no es simétrica

Al igual que en el caso anterior, se han introducido las cargas y los soportes necesarios, los soportes se han colocado en los soportes del eje trasero y en el soporte de la mangueta izquierda, ya que el neumático derecho es el que sufre la separación con el asfalto. En cuanto a las fuerzas, como siempre se introducen las cargas ocasionadas por el piloto, depósito y motor, y una fuerza de 500N en el soporte para la mangueta derecha. (ilustración 107)

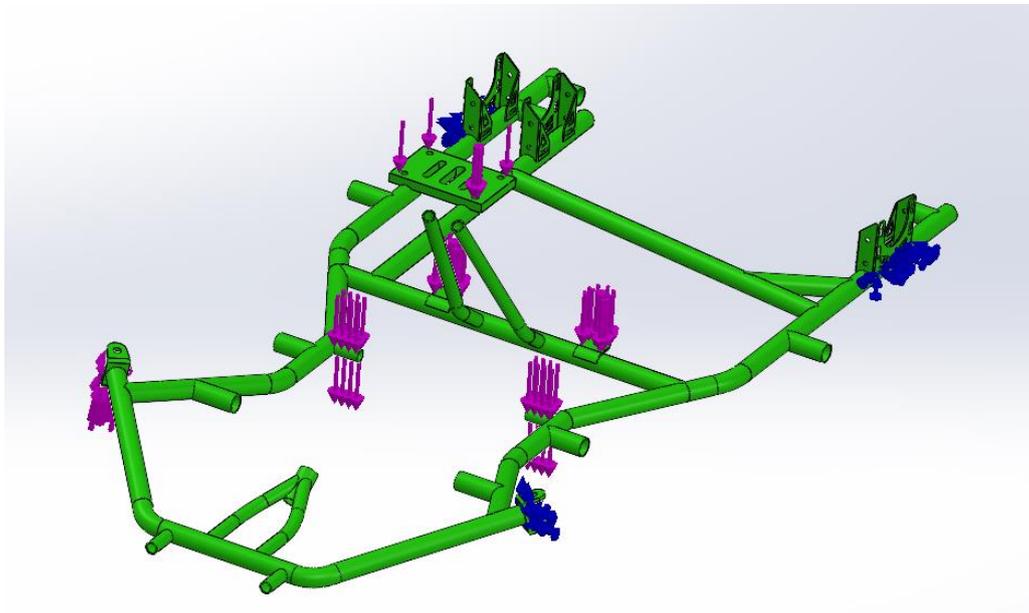


Ilustración 107: Cargas y restricciones curva a derecha

Fuente: propia

Como en el caso anterior, se procede a calcular las tensiones generadas y los desplazamientos ocasionados por las cargas, así como el factor de seguridad.

Tensiones

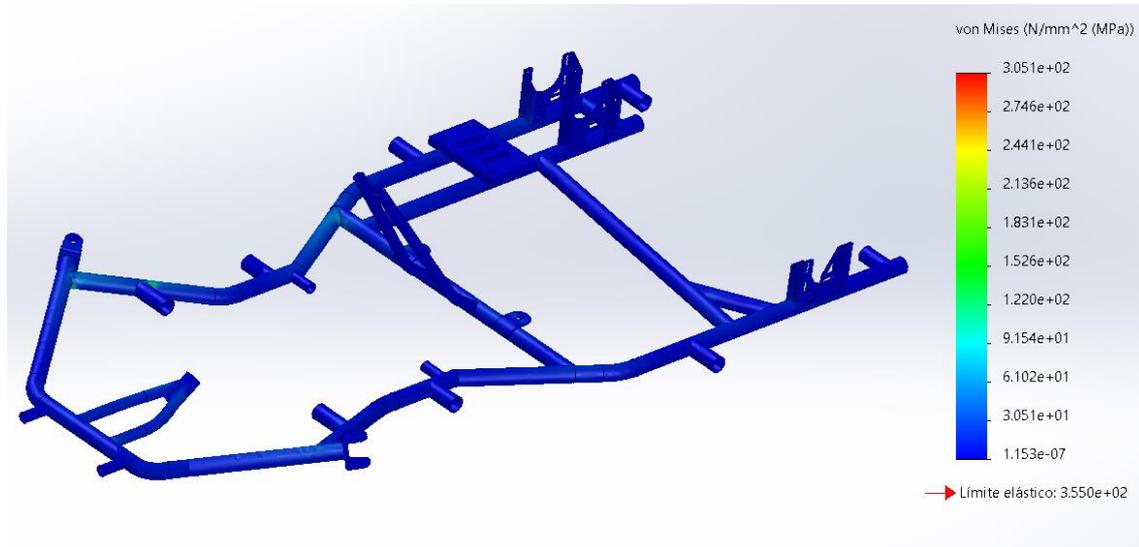


Ilustración 108: Tensiones generadas curva a derecha

Fuente: propia

Desplazamientos

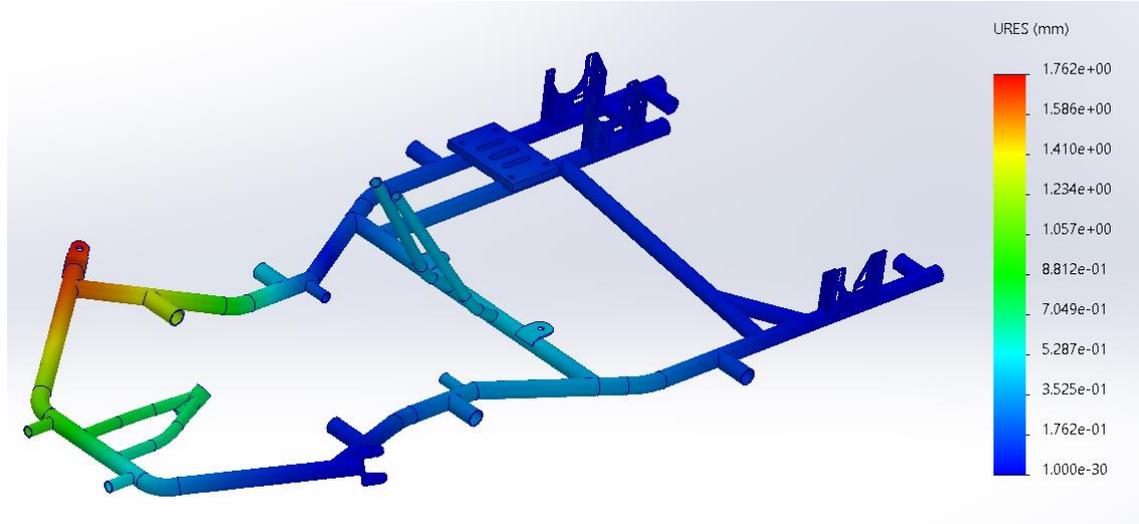


Ilustración 109: Desplazamientos generados por la curva a derecha

Fuente: propia

En este caso se encuentran unos resultados muy parecidos al paso por curva a izquierdas, con una tensión máxima muy similar, pero en este caso las tensiones se concentran más en el lado derecho que es donde sufre el esfuerzo el chasis. En cuanto a los desplazamientos generados en este caso son menores sin llegar a pasar el valor de los 2mm, un resultado más que aceptable.

El factor de seguridad es el siguiente:

$$F_s = \frac{355}{305,1} = 1,16$$

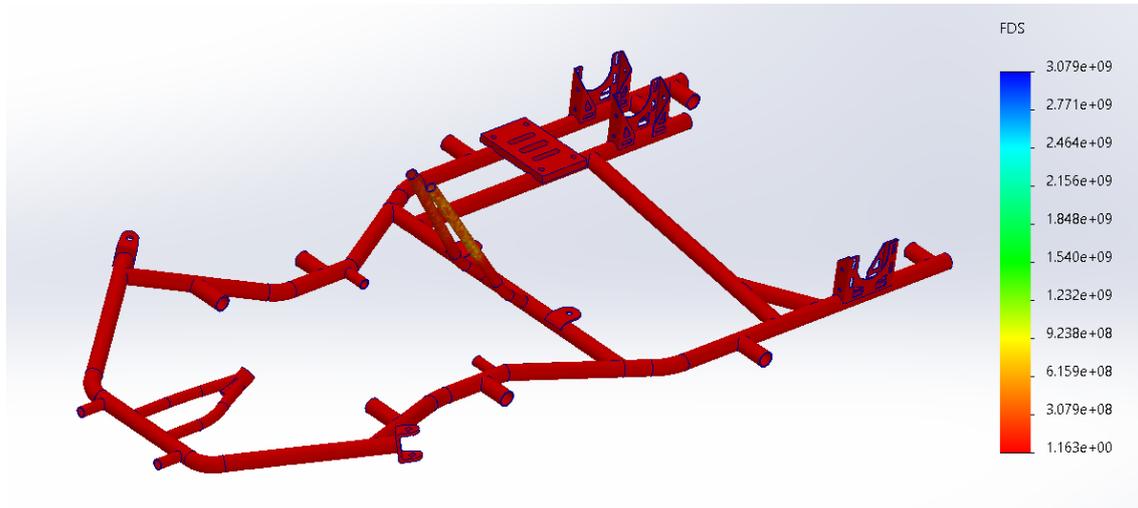


Ilustración 110: Factor de seguridad curva a derecha

Fuente: propia

11. Conclusiones

Una vez con todos los resultados, a modo de conclusión, se puede decir que el diseño del chasis es adecuado, como así lo reflejan los resultados obtenidos en todos los ensayos anteriores. Por un lado, se ha demostrado que el chasis cuenta con una buena rigidez y que trabaja muy bien en esfuerzos de flexión y torsión. Por otra parte, se han realizado varios ensayos de impactos los cuales el chasis los ha superado con creces. Cabe destacar que el chasis se ha comportado un poco mejor cuando el impacto lo recibe por la parte trasera, ya que disipa mucho mejor el impacto. En cuanto a los impactos laterales se contempla unos resultados muy equitativos donde el diseño del chasis cumple a la perfección con los criterios de diseño.

En cuanto al ensayo de la aceleración máxima, es donde se ha producido el mayor desplazamiento máximo, pero en ningún caso llegando a superar los 5 mm. En cuanto al paso por curva del kart, al igual que pasaba en los impactos laterales, se encuentra unos resultados muy parecidos tanto para la curva a izquierdas como para la curva a derechas, cumpliendo siempre con los requisitos.

En cuanto al coeficiente de seguridad, en este tipo de estructuras como es el chasis de un kart, es recomendable tener coeficientes de seguridad relativamente bajos, puesto que un coeficiente de seguridad alto implica sobredimensionar la estructura, y como consecuencia aumentar el peso del vehículo y tener un mayor gasto de material. Como se contempla en todos los resultados obtenidos el factor de seguridad siempre es mayor a 1 y en ningún caso se obtiene un valor de seguridad muy desproporcionado y alto.

Por todo esto se puede decir que el diseño del chasis es válido para la competición.

12. Referencias bibliográficas

- [1] “Reglamento técnico de karting”. [En línea] Disponible en: https://www.fiakarting.com/sites/default/files/2023-03/6.0_RT2023.pdf [Accedido en: 04/02/2024]
- [2] Francisco Salazar González “Análisis de un kart de competición y de sus componentes” [En línea] Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/5673/files/TAZ-PFC-2011-125.pdf?version=3> [Accedido en: 14/02/2024]
- [3] “Go kart y sus componentes“ [En línea] Disponible en: <https://www.studocu.com/ec/document/universidad-de-especialidades-del-espiritu-santo/metodologia-de-la-investigacion/go-kart-y-sus-componentes/23315402> [Accedido en: 14/02/2024]
- [4] “Sistema de dirección para un go-Kart“ Prezi [En línea] Disponible: <https://prezi.com/2mlbog2riyj-/sistema-de-direccion-para-un-go-kart/?frame=c54f8dda8b0067b696399e6a907490d762ff34b4> [Accedido en: 15/02/2024]
- [5] ”Historia del karting“ [En línea] Disponible en: <http://www.lampito.com/historia-del-karting/> [Accedido en: 20/02/2024]
- [6] Ariza Racing Circuit “Historia del karting“ [En línea] Disponible en: <https://arizaracing.com/lahistoriadelkarting/> [Accedido en: 20/02/2024]
- [7] Categorías y subcategorías en las que se dividen las competiciones de karting. [En línea] Disponible en: <https://es.falugaracing.com/blog/categorias-del-karting-cik/> [Accedido en: 22/02/2024]
- [8] Italia, el primer país en hacer una competición OKN. [En línea] Disponible en: <https://es.falugaracing.com/blog/categorias-del-karting-cik/> [Accedido en: 22/02/2024]
- [9] “Diseño y análisis de un chasis de un kart de competición” Diego Sebastián Aguado 2014 [En línea] Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23229> [Accedido en: 23/02/2024]
- [10] “¿Cómo escoger el chasis perfecto para un kart?” Geometría de un chasis de un kart. [En línea] Disponible en: <https://sportkart.es/como-escoger-el-chasis-perfecto-para-tu-kart> [Accedido en: 25/02/2024]
- [11] “Qué es SolidWorks y para que funciona” [En línea] Disponible en: <https://solid-bi.es/solidworks/> [Accedido en: 10/03/2024]
- [12] “How are chassis made” PRAGA [En línea] Disponible en: <https://pragaglobal.com/how-are-chassis-made/> [Accedido en: 18/03/2024]

-
- [13] Así se fabrican los chasis PRAGA [En línea] Disponible en:
<https://www.vroomkart.es/news/36950/as-se-fabrican-los-chasis-praga>
[Accedido en: 18/03/2024]
- [14] Qué es y para qué sirve el método FEM [En línea] Disponible en:
<https://www.debem.com/es/analisis-fem/> [Accedido en: 23/03/2024]
- [15] Características del acero S355 [En línea] Disponible en:
<https://italfaber.it/es/blog/2023/05/21/caracter%C3%ADsticas%2C-propiedades-y-usos-del-acero-s355jr/> [Accedido en: 23/03/2024]
- [16] Propiedades mecánicas del acero S355. [En línea] Disponible en:
<https://miguelpena.site/caracteristicas-mecanicas-de-los-aceros-estructurales/>
[Accedido en: 23/03/2024]

ANEXOS

I. PRESUPUESTO

Una vez obtenido el diseño del chasis, el material con el que se va a fabricar y el proceso de fabricación con todas las operaciones a realizar, para finalizar el presente proyecto se va a realizar un presupuesto. En este se reflejará todos los costes, tanto de material, de diseño, de mano de obra, así como todo el trabajo de ingeniería, y elementos adicionales necesarios.

Dicho presupuesto será para el diseño y fabricación de un único chasis, por lo tanto, si se quisiera realizar una mayor producción dicho valor disminuiría, ya que los costes se reducirían considerablemente.

Este presupuesto vendrá desglosado en cuatro apartados, por un lado, los costes de diseño, (costes de ingeniería) que engloba la búsqueda de información previa, documentación, desarrollo de cálculos y simulaciones. Programas utilizados etc. Por otro lado, los costes de fabricación, teniendo en cuenta la mano de obra de los operarios y los costes de cada operación necesaria para poder llegar al diseño final de la estructura tubular. Por otra parte, el coste del material necesario para poder fabricar el chasis. Y por último los elementos extras necesarios.

Costes de ingeniería

A continuación, se mostrará los costes de diseño del presente proyecto, para ellos se ha adoptado un coste 30 euros la hora para el ingeniero encargado de realizar el diseño y demás comprobaciones.

Actividad	Horas	Precio/hora (€)	Precio total (€)
Investigación	10	30	300,0
Diseño y cálculos realizados	80	30	2400,0
Comprobaciones y conclusiones	15	30	450,0
Planos y documentación	10	30	300,0
Total			3450,0

Tabla 8: Costes de ingeniería

Costes de fabricación

Actividad	Horas	Precio/hora (€)	Precio total (€)
Corte	9	35	315,0
Curvado	12	35	420,0
Soldadura	18	35	630,0
Preparación y pintura	6	30	180,00
Inspección	1	30	30,0
Total			1575,0

Tabla 9: Costes de fabricación

Costes de material

Descripción	Cantidad (m)	Precio/unidad (€)	Precio total (€)
Tubos de acero S355 Ø30, espesor 2mm	7	3,59	25,13
Tubos de acero S355 Ø30, espesor 2mm	2	3,25	6,5
Imprimación y pintura	1	55	55,0
Total			86,63

Tabla 10: Costes de material

La cantidad de material necesario para fabricar el chasis es de 6,25 metros de tubo de acero S355 de 30 mm de diámetro y 2 mm de espesor y de 1,35 metros de tubo de acero S355 de 20mm y 2mm de espesor, por lo tanto, a la hora de adquirir el material se redondea a la alta.

Costes de elementos auxiliares

Descripción	Cantidad	Precio/unidad (€)	Precio total (€)
Soportes para las manguetas	2	35	70,0
Soportes para el eje trasero	3	20	60,0
Soporte para el motor	1	55	55,0
Soportes asiento	2	10	20,0
Total			205,0

Tabla 11: Costes elementos auxiliares

Presupuesto total

Descripción	Importe
Costes de ingeniería	3450,0 €
Costes de fabricación	1575,0 €
Costes de material	86,63 €
Costes elementos auxiliares	205,0 €
Coste total	5316,63 €
I.V.A (21%)	1116,5 €
Presupuesto total	6433,12 €

Tabla 12: Presupuesto total

II. PLIEGO DE CONDICIONES

1. Definición y alcance del pliego de condiciones

Se describe de forma general el objetivo y el alcance del presente proyecto, y se establecen las condiciones que se llevarán a cabo, a su vez se describen las características técnicas y generales de la estructura.

1.1 Objetivo

El presente TFG pretende desarrollar el diseño y cálculo de un chasis de un kart de categoría KF, empleando todas las herramientas necesarias y conocimientos para poder llevar a cabo un buen proyecto, y lograr un diseño que cumpla con la normativa impuesta por la FIA y CIK.

El objetivo es diseñar una estructura tubular la cual cumpla con las directrices de carrera, para posteriormente realizar un cálculo estructural y contemplar su comportamiento ante distintos ensayos y simulaciones de carrera. Se recoge en este documento todos los requisitos que ha de cumplir el presente proyecto.

1.2 Alcance del proyecto

En este TFG se desea diseñar y fabricar un modelo de chasis que destaque entre los demás modelos existentes del mercado, con mejores características mecánicas y un precio competitivo en el sector, con la finalidad de poder ser usado en competiciones oficiales FIA. Para ello se realiza una serie de pruebas y estudios para poder llegar a dicho objetivo.

2. Normativa y condiciones de carácter general

Se recoge toda la normativa y especificaciones que debe cumplir el diseño del chasis, así como la fabricación de este. Dicha normativa se deberá cumplir a la perfección, ya que, si el cuadro del chasis no cumple con las medidas y especificaciones impuestas por la FIA y CIK, dicho modelo no podrá ser usado para competiciones.

La normativa que deberá cumplir el diseño del chasis es la impuesta por la FIA y CIK [1] “Technical regulations” Federación Internacional del Automovilismo.

Material a utilizar, acero S355JR según la norma EN 10025-2, ya que la normativa recoge que el cuadro del chasis deberá estar compuesto por un acero estructural o aleación de acero estructural que cumpla con la norma ISO 4948 y la designación 4949. Solo se podrá permitir las aleaciones cuyo contenido de masa de un elemento de aleación sea $\leq 5\%$.

Proceso de corte: máquina automatizada

Proceso de doblado: dobladora de tubos de alta precisión

Soldadura: Soldadura TIG

Dimensión de los tubos de acero: 30 mm de diámetro y 2mm de espesor

20 mm de diámetro y 2 mm de espesor

3. Condiciones particulares

Se describen todas las características de tipo técnica, económica, legal que se deberán llevar a cabo a lo largo del proyecto, dichas condiciones quedan acordadas previamente por el contratista y el ingeniero encargado de dirigir el proyecto.

3.1 Requisitos de pruebas

Se deberá realizar haciendo uso de un programa CAD el análisis de los siguientes ensayos:

1. Flexión y torsión: se deberá conocer el comportamiento del bastidor ante uno o varios esfuerzos de flexión ocasionados por cargas como pueden ser el peso del piloto del depósito o del motor. Para ello se fija el chasis en los 4 puntos de anclaje con las ruedas y se aplica las fuerzas anteriormente mencionadas.
Por otra parte, se deberá calcular el valor de rigidez torsional del chasis, para ello se fijan los puntos de anclaje de las ruedas traseras y se aplica dos fuerzas en sentido opuesto en los soportes para las manguetas.
2. Impacto frontal, trasero y lateral: se deberá someter al chasis a ensayos de impactos, para ellos se le aplicará una fuerza de 4G para el caso del impacto frontal y trasero y una carga de 2G para el caso del impacto lateral.
3. Paso por curva con piano: se somete al bastidor a una prueba de paso por curva haciendo uso del piano, esto implica que en el soporte para la mangueta de la rueda que hace uso del piano aparezca una fuerza, ocasionada por el bache del piano.
4. Prueba de aceleración: con datos reales marcados por un kart de la misma categoría se somete al chasis a un estudio de aceleración máxima para contemplar su comportamiento ante un esfuerzo máximo.

3.2 Condiciones económicas

En el estudio previo de cualquier proyecto de este tipo es fundamental establecer un acuerdo económico entre el contratista y el ingeniero, donde se engloba el precio acordado por todo el proyecto, marcar la forma de pago y los tiempos.

En cuanto al cálculo de costes, el ingeniero y su equipo realizan un estudio económico para poder realizar la propuesta al contratista. En dicho estudio económico se deberá tener en cuenta los costes de ingeniería que engloban toda la búsqueda de información, diseño y análisis del chasis. Por otra parte, los costes de fabricación contando la mano de obra de los operarios encargados de fabricar dicho chasis. Y por último los costes de material. Una vez se obtiene el presupuesto total se le ha de aplicar la tasa imponible del 21% (I.V.A).

En caso de que el contratista apruebe la propuesta solo se necesitaría saber la forma de pago y los tiempos marcados. Para el presente proyecto se le exige al contratista un 30% total del presupuesto antes de comenzar el proyecto, un 50% cuando el cuadro del chasis ya haya sido fabricado y un 20% pasados 30 días de pruebas y comprobación que todo está correcto.

En caso de que el contratista quiera abandonar el proyecto y no seguir adelante, deberá abonar todos los gastos hasta el momento y pagar un 20% del presupuesto total en concepto de penalización.

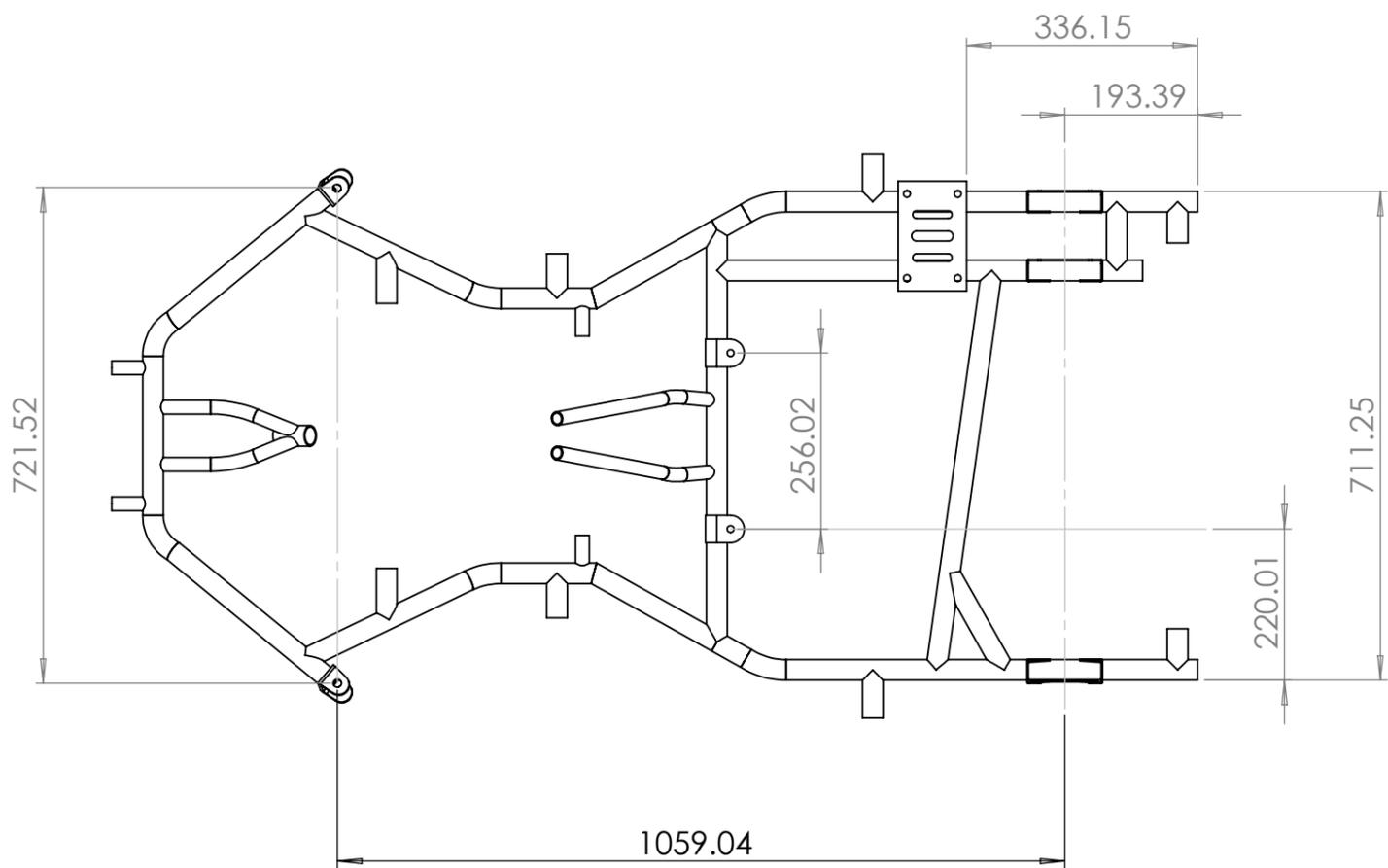
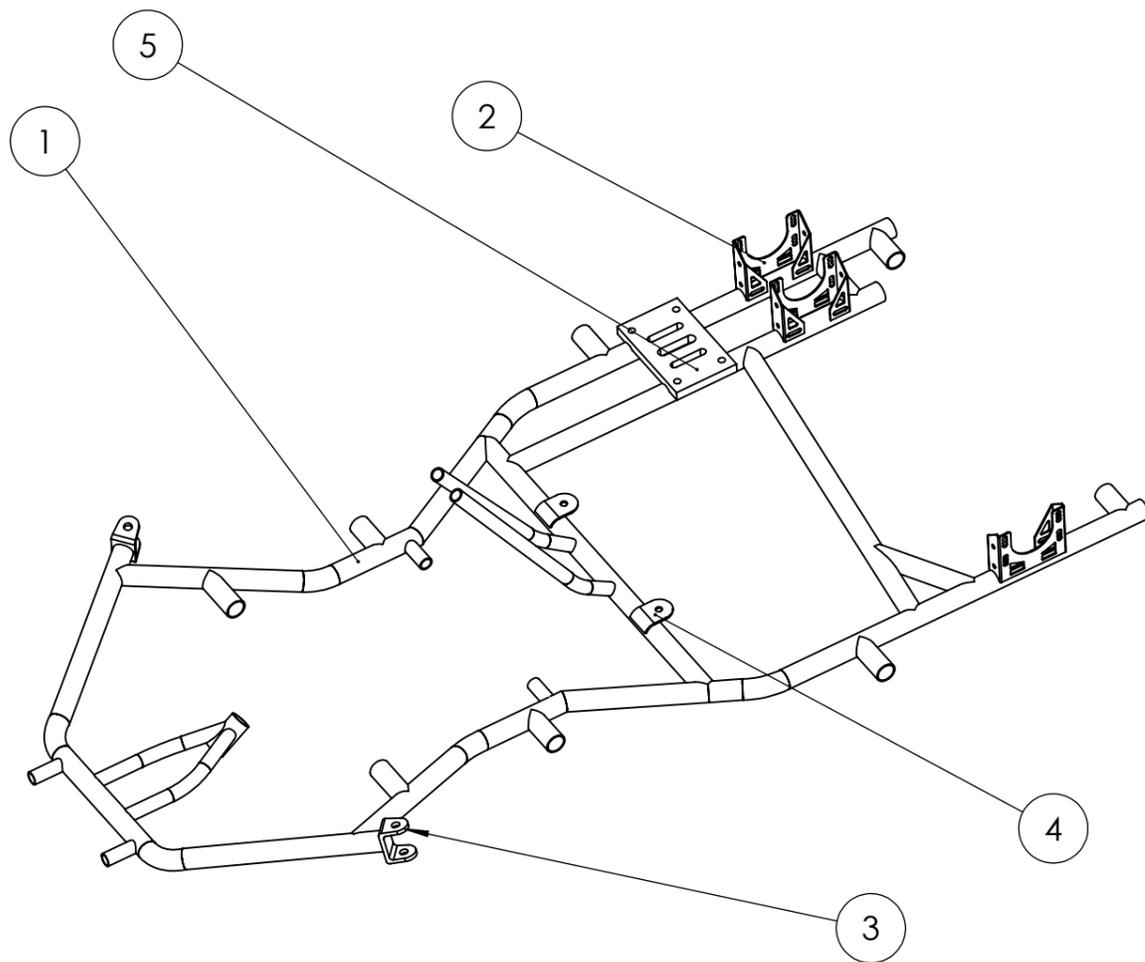
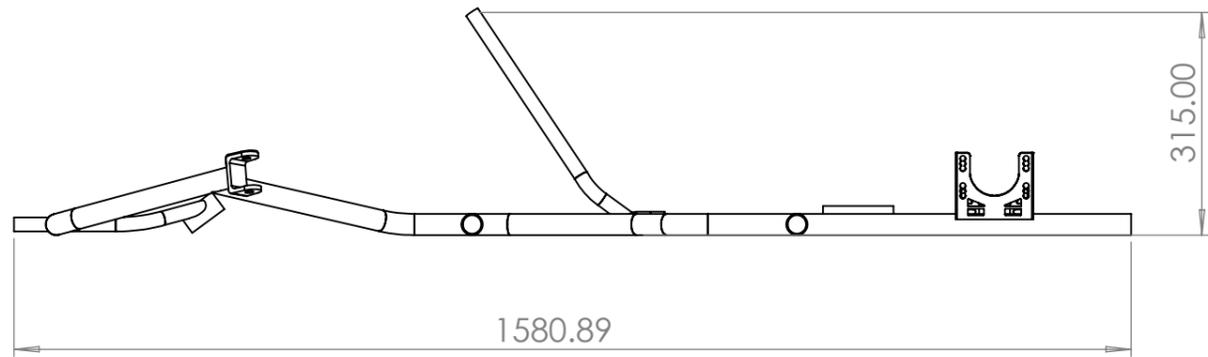
3.3 Condiciones legales

El ingeniero y contratista con ayuda de su equipo de abogados y asesores deberán llegar a un acuerdo y firmar un contrato donde refleje toda la información acerca de la legalidad de dicho proyecto, así como los contratos de los trabajadores e indemnizaciones en caso de accidente de trabajo.

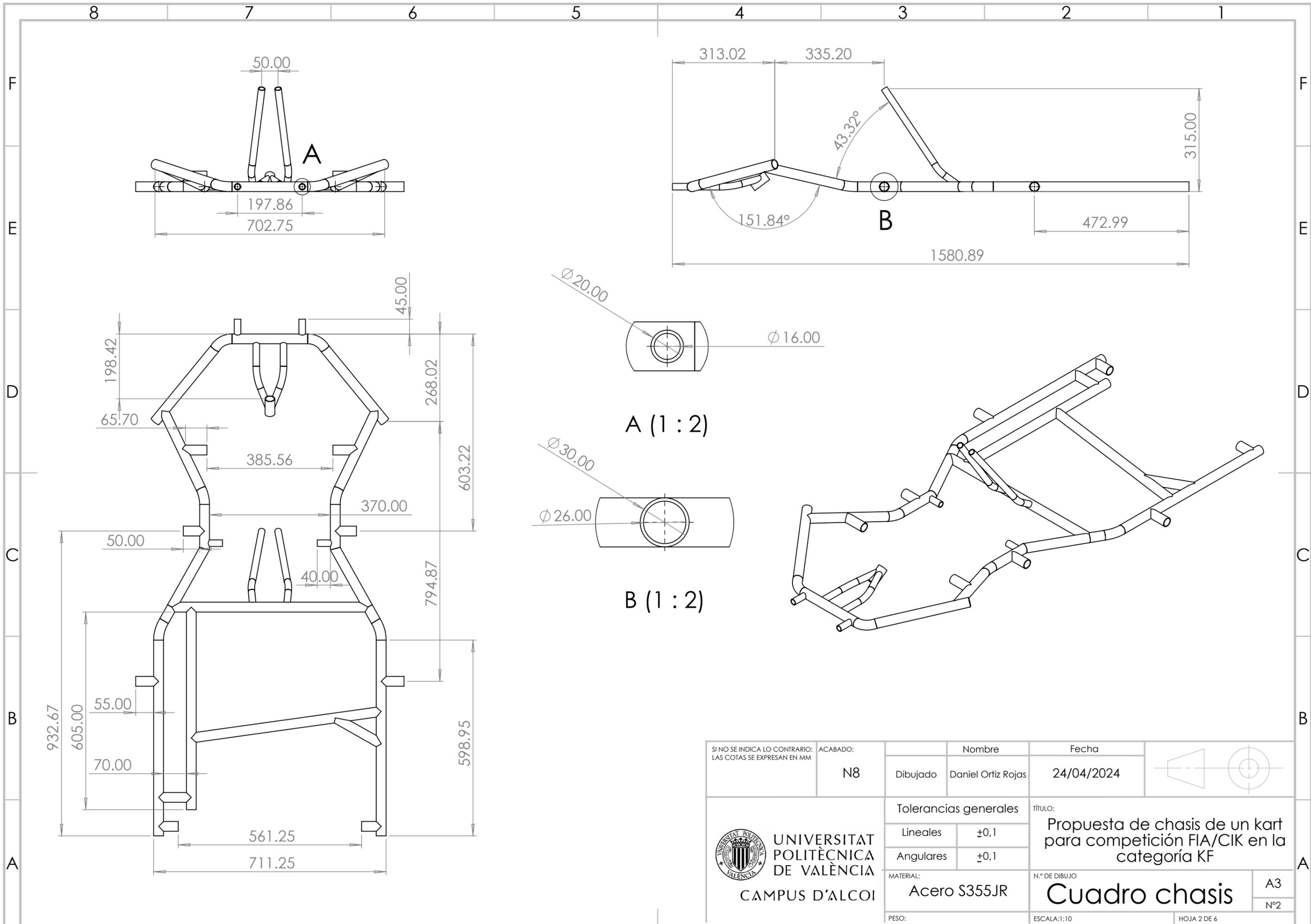
El chasis tendrá una garantía de 2 años, en caso de defecto de fábrica el contratista tendrá derecho de exigir una reparación o sustitución.

III. PLANOS

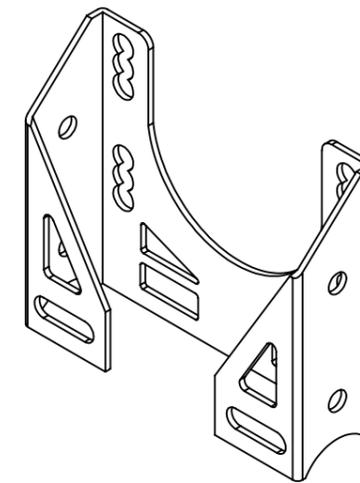
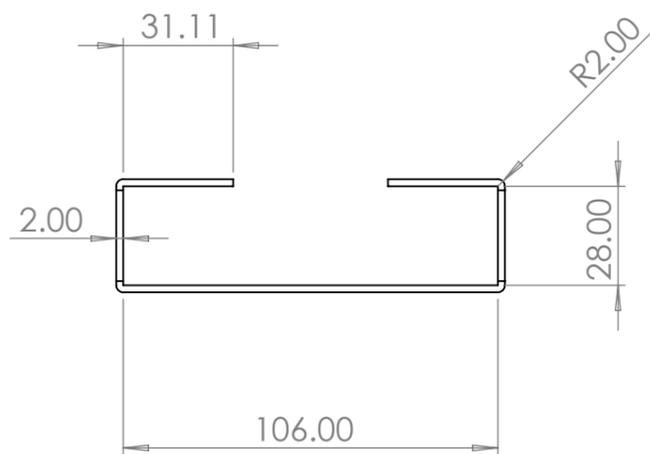
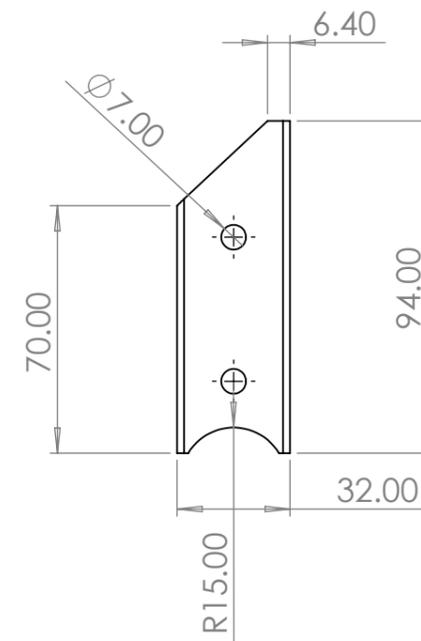
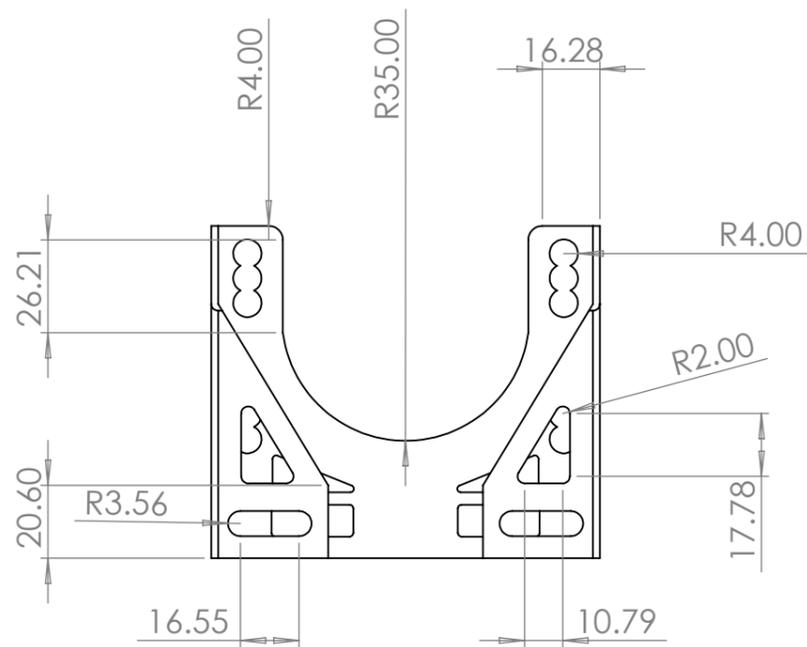
- 1. Plano de conjunto**
- 2. Cuadro chasis**
- 3. Soporte eje trasero**
- 4. Soporte mangueta**
- 5. Anclaje asiento**
- 6. Soporte motor**



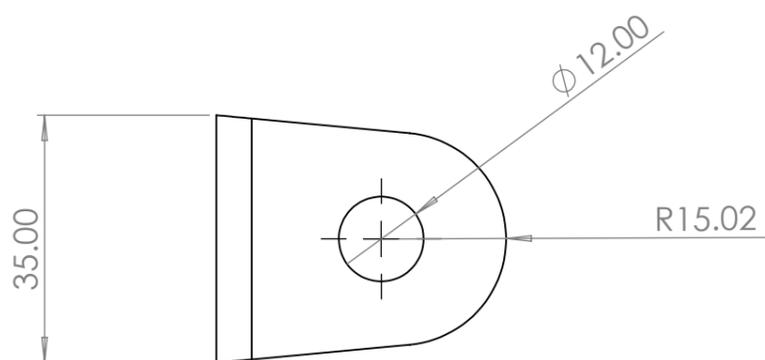
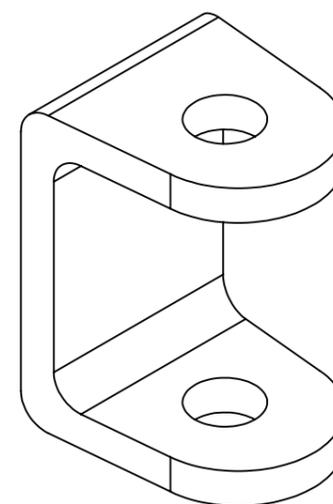
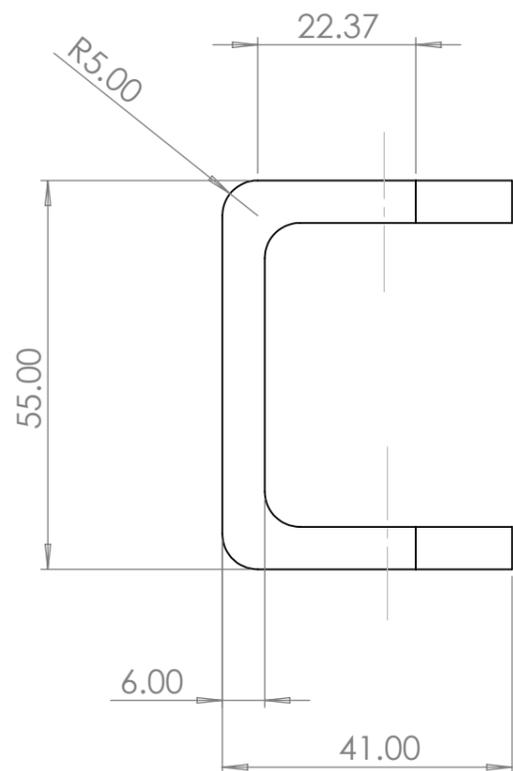
5	1	Soporte motor	Acero
4	2	Anclaje asiento	Acero
3	2	Soporte manguetas	Acero
2	3	Soporte eje trasero	Acero
1	1	Cuadro-chasis	Acero S355JR
Número	Cantidad	Descripción	Material
		Nombre	Fecha
		Daniel Ortiz Rojas	24/04/2024
		TÍTULO: Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK en la categoría KF	
		N.º DE DIBUJO Plano de conjunto	
		A3	
		Nº 1	
PESO:		ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 6



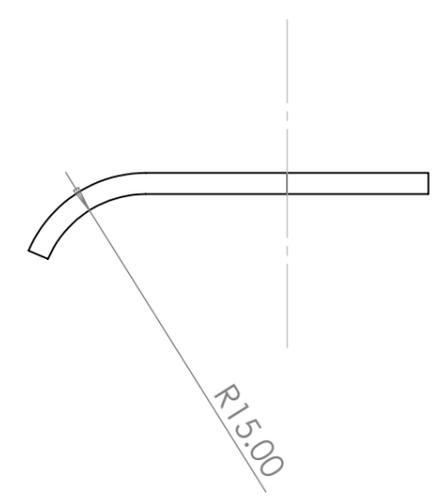
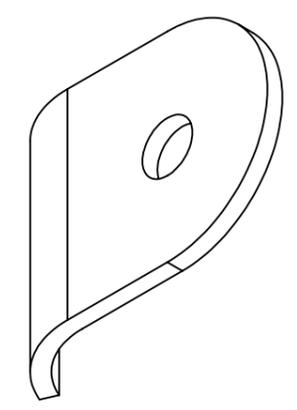
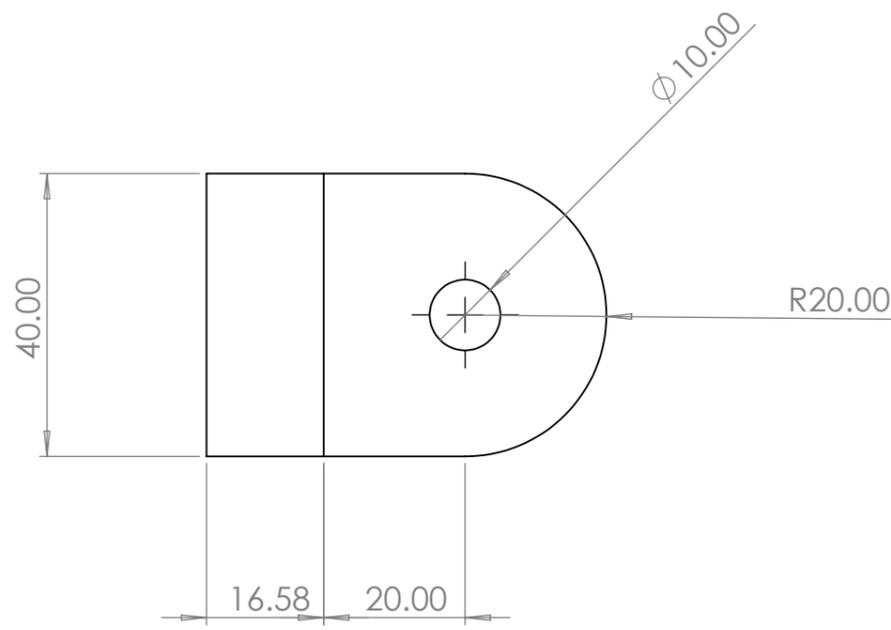
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ACABADO:	Nombre	Fecha	
	N8	Dibujado Daniel Ortiz Rojas	24/04/2024	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	Tolerancias generales		tÍTULO:	
	Lineales	±0,1	Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK en la categoría KF	
	Angulares	±0,1		
MATERIAL:	Acero S355JR	N.º DE DIBUJO	A3	
PESO:	ESCALA:1:10	Cuadro chasis		Nº2
		HOJA 2 DE 6		



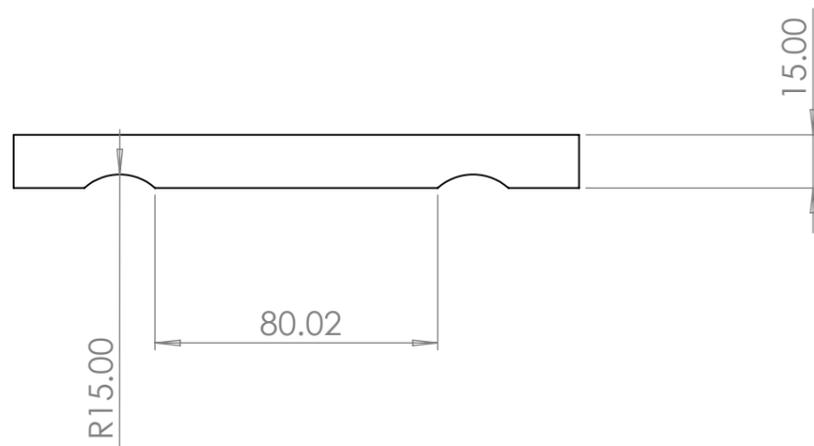
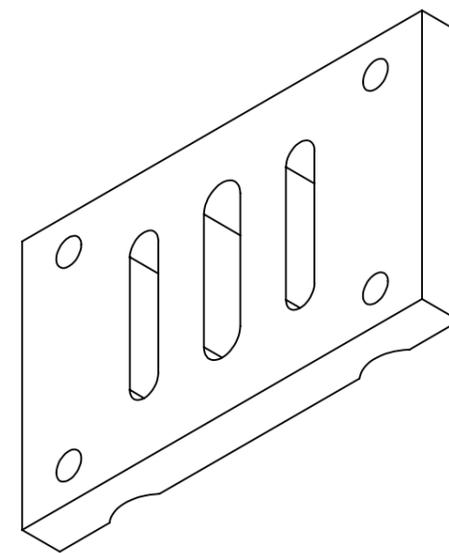
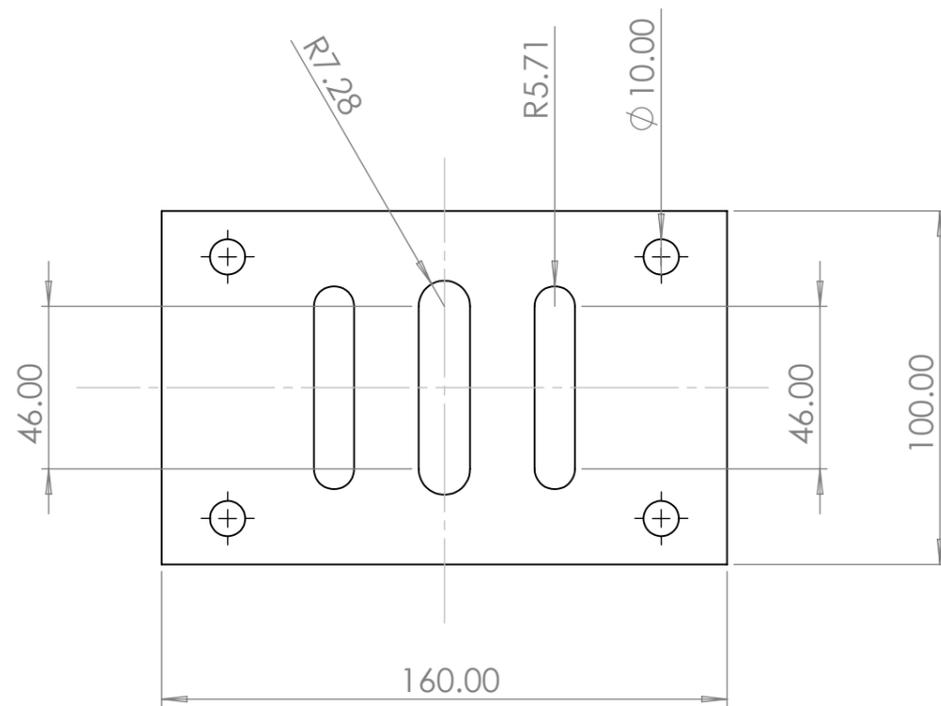
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ACABADO:	Nombre		Fecha		
	N8	Dibujado	Daniel Ortiz Rojas	23/04/2024		
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	Tolerancias generales		TÍTULO:			
	Lineales	±0,1	Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK en la categoría KF			
	Angulares	±0,1				
MATERIAL:		Acero		N.º DE DIBUJO	A3	
PESO:		ESCALA:1:2		Soporte eje trasero		
		HOJA 3 DE 6		Nº3		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ACABADO:	Nombre	Fecha	
	N8	Dibujado Daniel Ortiz Rojas	23/04/2024	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	Tolerancias generales		Proyecto:	
	Lineales	$\pm 0,1$	Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK en la categoría KF	
	Angulares	$\pm 0,1$		
MATERIAL:	Acero	N.º DE DIBUJO		A3
		Soporte mangueta		Nº4
PESO:	ESCALA:1:1	HOJA 4 DE 6		



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ACABADO:	Nombre		Fecha		
	N8	Dibujado	Daniel Ortiz Rojas	23/04/2024		
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	Tolerancias generales		Proyecto: Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK en la categoría KF			
	Lineales	±0,1	N.º DE DIBUJO Anclaje asiento			
	Angulares	±0,1				
	MATERIAL:	Acero		ESCALA: 1:1		A3 N°5
PESO:			HOJA 5 DE 6			



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM	ACABADO: N8	Nombre Daniel Ortiz Rojas	Fecha 23/04/2024	
	Tolerancias generales Lineales ±0,1 Angulares ±0,1		Proyecto: Propuesta de chasis de un kart para competición FIA/CIK en la categoría KF	
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI		MATERIAL: Acero	N.º DE DIBUJO Soporte motor	A3 N°6
PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 6 DE 6