

Universidad Internacional del Ecuador

Escuela de Ingeniería Automotriz



**Análisis del Comportamiento Estructural en un Chasis de Kart
Homologado con Aplicación de un Programa en Sistema de
Diseño Asistido por Ordenador**

**Proyecto de Titulación para la obtención del Título de Ingeniero en Mecánica
Automotriz**

Álex Fabricio Montesdeoca Vera

Director: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MSc.

**Guayaquil-Ecuador
Noviembre, 2021**

Universidad Internacional Del Ecuador
Escuela De Ingeniería Automotriz

Certificado

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MsC

CERTIFICA

Que el trabajo titulado “Análisis del Comportamiento Estructural en un Chasis de Kart Homologado con Aplicación de un Programa en Sistema de Diseño Asistido por Ordenador”, realizado por el estudiante: **Álex Fabricio Montesdeoca Vera**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estipuladas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional. El mencionado trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza a la Sr. **Álex Fabricio Montesdeoca Vera**, que lo entregue a biblioteca de la Escuela, en su calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, 23 de noviembre de 2021

Ing. Edgar Vera Puebla, MsC.

Director de Proyecto

Universidad Internacional Del Ecuador**Escuela de Ingeniería Automotriz****Certificado y Acuerdo de Confidencialidad**

Yo, **Álex Fabricio Montesdeoca Vera**, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet; según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Álex Fabricio Montesdeoca Vera
C.I: 1317394870

Dedicatoria

A Dios, por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera, darme buena salud, fortaleza y sabiduría en todo momento, a mis padres Fabricio Montesdeoca y Alexandra vera por ser los pilares fundamentales en mi formación como profesional, por su amor, consejos, y motivación constante he podido tener la fuerza suficiente para poder salir adelante. Siempre estuvieron a mi lado brindándome ese apoyo incondicional en mis estudios, motivándome cada día para poder alcanzar este triunfo que hoy por hoy es lo que me apasiona mi profesión, muchos de mis logros se los debo a ellos entre los que incluye este.

Agradecimientos

Le doy gracias a Dios por sus bendiciones, haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por darme la voluntad y fuerza de no haber dejado que me rinda en ningún momento, para que fuera posible alcanzar este logro.

Agradezco a mis padres por el apoyo incondicional que me brindaron, por todo el sacrificio que hicieron durante estos años que ha permitido que pueda terminar mi carrera.

Finalmente agradezco la ayuda y apoyo de quien ha sido mi tutor de proyecto Ing. Edgar Vera, Dios lo bendiga.

Índice General

Certificado.....	iii
Certificado y Acuerdo de Confidencialidad	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos	vi
Índice General.....	vii
Índice de Figuras.....	xii
Índice de Ecuaciones.....	xvi
Resumen.....	xvii
Abstract.....	xviii
Capítulo I	1
Problema de la Investigación	1
1.1. Tema de Investigación	1
1.2. Planteamiento del Problema.....	1
1.3. Formulación del Problema	2
1.4. Sistematización del Problema	2
1.5. Objetivos de la Investigación	3
1.5.1. Objetivo General.....	3

1.5.2.	Objetivos Específicos	3
1.6.	Justificación e Importancia de la Investigación	3
1.6.1.	Justificación Teórica.....	3
1.6.2.	Justificación Metodológica.....	5
1.6.3.	Justificación Práctica	6
1.6.4.	Delimitación Temporal.....	6
1.6.5.	Delimitación Geográfica.....	6
1.6.6.	Delimitación del Contenido.....	7
1.7.	Hipótesis.....	7
1.7.1.	Variables de Hipótesis	8
1.7.1.1.	Variables Independientes	8
1.7.1.2.	Variables Dependientes.....	8
1.8.	Alcance.....	8
Capítulo II.....		9
2.	Marco De Referencia	9
2.1.	Historia del Kart.....	9
2.2.	Concepto de Kart.....	12
2.3.	Componentes que Conforman un Kart.....	13
2.3.1.	Carrocería	13
2.3.2.	Bandeja de Chasis.....	14

2.3.3.	Pedalera	14
2.3.4.	Barras de Sujeción	15
2.3.5.	Aros	16
2.3.6.	Neumáticos	17
2.3.7.	Motor	18
2.3.8.	Butaca	20
2.3.9.	Cables y Cañerías	21
2.3.10.	Sistema de Dirección	22
2.3.11.	Sistema de Escape.....	24
2.3.12.	Sistema de Frenado	25
2.3.13.	Sistema de Alimentación de Combustible	26
2.3.14.	Sistema de Transmisión	27
2.3.15.	Chasis.....	29
2.4.	Evolución del Chasis.....	31
2.5.	Tipos de Chasis	33
2.6.	Altura de Chasis	39
2.7.	Normativa de Regulación CIK/FIA-2021	41
2.7.1.	Prescripciones Generales	42
2.7.2.	Normas para Diseño en el Ecuador	47
2.7.3.	Cargas	48

2.7.4.	Carga Muerta (M).....	48
2.7.5.	Carga Viva (V)	48
2.7.6.	Carga de Frenado (F).....	49
2.7.7.	Carga de Aceleración Brusca (Ab).....	49
2.7.8.	Carga de Giro (G).....	49
2.7.9.	Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)	50
2.8.	Criterios de Diseño.....	50
2.8.1.	Factor de Seguridad	51
2.9.	Fuerzas a las que Está Sometido el Chasis.....	51
2.9.1.	Rigidez.....	51
2.9.2.	Rigidez a Flexión.....	53
2.9.3.	Rigidez a Torsión.....	53
2.10.	Modelado Estructural	54
2.10.1.	Modelado Geométrico	54
2.10.2.	Módulos	54
2.11.	Sistemas de Ingeniería Asistida por Ordenador - CAE.....	55
Capítulo III.....		56
3.	Metodología Aplicada.....	56
3.1.	Procesos Metodológicos para el Diseño del Chasis	56
3.2.	Ideación, Análisis y Selección	59

3.2.1.	Modelado de la Estructura del Chasis	59
3.3.	Cálculos de Carga.....	65
3.4.	Análisis Estructural del Chasis Mediante Inventor Profesional.....	67
Capítulo IV.....		74
4.	Análisis e Interpretación de Resultados	74
4.1.	Análisis de Diseño.....	74
4.2.	Descripción de Simulación Realizada.....	74
4.3.	Resultado de Pruebas Realizadas.	76
4.4.	Comparativas de las Pruebas Realizadas.	79
Conclusiones		80
Recomendaciones		81
Bibliografía		82
Anexos		85

Índice de Figuras

Figura 1 Delimitación Geográfica de la Investigación	7
Figura 2 Art Ingels Creador del Primer Kart	9
Figura 3 Logo de la Primera Comisión Internacional de Kart.....	11
Figura 4 Competencia de Karts.....	12
Figura 5 Kart Homologado	12
Figura 6 Carrocería	13
Figura 7 Bandeja de Chasis.....	14
Figura 8 Pedalera	14
Figura 9 Barra de sujeción	15
Figura 10 Barra de torsión	16
Figura 11 Aros	16
Figura 12 Neumáticos.....	17
Figura 13 Tipos de neumáticos.....	18
Figura 14 Motor	18
Figura 15 Motor eléctrico	19
Figura 16 Butaca.....	20
Figura 17 Cables y cañerías	21
Figura 18 Cables y cañerías	21
Figura 19 Manguetas.....	22
Figura 20 Rótulas.....	23
Figura 21 Varilla de dirección	23
Figura 22 Columna de dirección.....	24

Figura 23 Volante	24
Figura 24 Escape.....	25
Figura 25 Sistema de frenos.....	26
Figura 26 Carburador.....	26
Figura 27 Reservorio de combustible	27
Figura 28 Sistema de transmisión.....	28
Figura 29 Rodamientos de apoyo	28
Figura 30 Conjunto motriz.....	29
Figura 31 Chasis	30
Figura 32 Factor de geometría	33
Figura 33 Chasis tipo Open.....	34
Figura 34 Chasis tipo Caged.....	35
Figura 35 Chasis Offset	35
Figura 36 Chasis Straight.....	36
Figura 37 Primeros modelos de kart	37
Figura 38 Kart.....	38
Figura 39 Altura de piso a chasis.....	40
Figura 40 Reglamento de CIK/FIA.....	41
Figura 41 Autodesk Inventor Profesional.....	55
Figura 42 Chasis Homologado.....	57
Figura 43 Generación de Proyecto Nuevo en Inventor Profesional	58
Figura 44 Selección de Unidades con que se Trabaja la Pieza	58
Figura 45 Selección de Plano con que se Trabaja la Pieza.....	59

Figura 46 Representación Alámbrica.....	60
Figura 47 Boceto.....	61
Figura 48 Operación Barrido	61
Figura 49 Operación Extrusión.....	62
Figura 50 Operación Revolución	63
Figura 51 Operación Simetría.....	63
Figura 52 Operación Empalme	64
Figura 53 Creación de Soldadura en el Chasis	64
Figura 54 Selección de Normativa.....	65
Figura 55 Creación de Simulación.....	67
Figura 56 Selección de Material	68
Figura 57 Restricción.....	68
Figura 58 Aplicación de Restricciones	69
Figura 59 Aplicación de Cargas.....	70
Figura 60 Aplicación de Cargas Dinámica de Giro	70
Figura 61 Determinación del Mallado	71
Figura 62 Generación de Simulación.....	72
Figura 63 Resultado de la Simulación	72
Figura 64 Resultado de la Simulación por Deformación.....	75
Figura 65 Resultado de la Simulación por Tensión de Von Mises.....	77
Figura 66 Resultado de la Simulación por Deformación Comportamiento I	78
Figura 67 Resultado de la Simulación por Coeficiente de Seguridad	78

Figura 68 Resultado de la Simulación por Concentración de Esfuerzos en la Base de Eje

Posterior 79

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1 Carga Muerta.....	48
Ecuación 2 Carga Viva	48
Ecuación 3 Carga de Frenado	49
Ecuación 4 Carga de Aceleración Brusca.....	49
Ecuación 5 Carga de Giro	49
Ecuación 6 Carga por Resistencia.....	50
Ecuación 7 Rigidez	52
Ecuación 8 Elasticidad.....	52
Ecuación 9 Rigidez a Flexión	53
Ecuación 10 Rigidez a Torsión.....	53

Resumen

Por medio del presente proyecto investigativo se presenta un estudio del comportamiento estructural en un chasis de kart homologado con aplicación de un método de diseño asistido por ordenador, utilizando el software Inventor Profesional que es una excelente herramienta que ayuda a crear modelados, renderizados y simulación con un excelente análisis estructural a través de elementos finitos.

Así mismo la presente investigación recopila la información precisa para conocer los parámetros, reglamento y especificaciones técnicas que conlleva la creación de un kart homologado por parte de normativa CIK – FIA siendo estos dos los organismos reguladores a nivel mundial, siendo los encargados de regular cada uno de las competencias de karting a nivel mundial en sus distintas subcategorías.

En lo concerniente a la metodología aplicada se constituyó en realizar con cálculos por medio de modelos matemáticos los mismos que lograron que se obtengan los valores de cargas en las condiciones tanto estáticas como dinámicas sobre sus puntos de mayor consideración y aplicados sobre el chasis de kart de manera virtual aproximándole de esta manera a las condiciones cuando este monopla se encuentre en una competencia o pruebas de entrenamiento reales.

Posterior a la simulación del chasis de kart a través del software Inventor Profesional se obtienen los parámetros fundamentales para su respectivo análisis como lo son: Tensión de Von Mises, máximo desplazamiento de la estructura después de ser aplicadas las cargas y el coeficiente de seguridad, para de esta manera llegar a la generación de un criterio sobre el desempeño estructural del chasis del kart.

Palabras clave: Automovilismo. kart, chasis, simulación, análisis estructural.

Abstract

Through this research project, a study of the structural behavior in an approved kart chassis is presented with the application of a computer-aided design method, using the Inventor Professional software, which is an excellent tool that helps to create modeling, rendering and simulation with an excellent structural analysis through finite elements.

Likewise, this research compiles the precise information to know the parameters, regulations and technical specifications that the creation of a kart homologated by the CIK - FIA regulations imply, these two organizations are in charge of regulating the worldwide karting competitions of karting in their different subcategories.

Regarding the applied methodology, it was constituted for carrying out the calculation of load values calculations through mathematical models, the purpose was achieved for both static and dynamic conditions of the points of greatest consideration to be applied on the kart chassis in a virtual way. It got closer the approximated conditions when this car is in a real competition or real training tests.

After the simulation of the kart chassis through the Inventor Professional software, the fundamental parameters were obtained for their respective analysis, such as: Von Mises tension, maximum displacement of the structure after applying the loads and the safety coefficient, in this way the generation of a criterion on the structural performance of the kart chassis were obtained.

Keywords: Motorsports. kart, chassis, simulation, structural analysis.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Análisis del Comportamiento Estructural en un Chasis de Kart Homologado con Aplicación de un Programa en Sistema de Diseño Asistido por Ordenador.

1.2. Planteamiento del Problema

En el mundo de las competencias automovilísticas siempre se están buscando un sin número de métodos y formas de mejorar el rendimiento de sus vehículos para de esta manera reducir tiempos en carrera sin perder la fiabilidad ni la eficiencia de sus autos y dentro de nuestro país algunas entidades educativas de nivel superior se encuentran investigando como mejorar estos comportamientos lo que induce a realizar este proyecto investigativo, para poder determinar la forma en cómo se aplican procesos modernos y lograr este objetivo a través de sistemas de dibujo asistido por computador e ingeniería asistida por ordenador, desarrollando conocimientos sólidos en el paso a paso de un proceso de modelado así como del estudio estructural en el comportamiento de un chasis para el cual está seleccionado el de un kart homologado que es uno de las estructuras que en competencia se hallan desplazándose a grandes velocidades y por ende los esfuerzos que soporta también son considerables y aplicables al presente estudio.

Dentro de la presente investigación se fundamenta de manera puntual el concepto de análisis estructural, refiriéndose en este campo al estudio de los puntos críticos internos y externos de un elemento estructural de un chasis homologado de kart, con lo que permite usar modelos matemáticos en el área de resistencia de materiales y así poder analizar esfuerzos internos, deformaciones y tensiones que actúan sobre una estructura muy resistente del elemento en estudio.

Así mismo el presente proyecto investigativo ayudará a nuevas investigaciones a determinar y aplicar su estudio ya que proyecta valiosa información para diversos campos de estudios como lo son las energías renovables, disminución de cierto porcentaje de niveles de contaminación ambiental y poder de esta manera presionar al uso de la energías sustentables y amigables al medioambiente.

Cabe también recalcar que a través del estudio del comportamiento de un chasis de kart homologado y con ayuda de sistemas computacionales se pretende llegar a la conclusión de generar propuestas de diseño para ser implementadas o a su vez desechadas por no observar un correcto comportamiento o al prestar atención que a través de su simulador se puede ayudar a crear nuevas y mejores formas de construcción en chasis de los karts homologados o artesanales, siempre y cuando se respeten normativas y reglamentos de instituciones certificadas a nivel nacional e internacional, las mismas que permitan participar en competencias automovilísticas.

1.3. Formulación del Problema

¿Cuál será la influencia que generará el modelado y estudio del comportamiento estructural en un chasis de kart homologado con aplicación de sistemas CAD (Diseño asistido por ordenador) y CAE (Ingeniería asistida por ordenador), para los estudiantes y personal docente investigativo de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador?

1.4. Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los factores que influyen en el análisis estructural del comportamiento en un chasis de karting homologado con aplicación de sistemas de diseño asistido por ordenador?
- ¿Qué tan efectivo resultaría la realización del proceso de modelado y estudio del comportamiento de un chasis de un Kart aplicado el uso de sistemas CAD y CAE en la

formación de futuros profesionales de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil?

- ¿De qué manera mejorarán las habilidades de la comunidad universitaria en la UIDE extensión Guayaquil con el uso de la metodología de modelado y simulación virtual de a través de sistemas CAD y CAE?

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. *Objetivo General*

Analizar a través de programas de ingeniería en diseño asistido por ordenador el comportamiento estructural de puntos críticos internos y externos en un chasis de kart homologado.

1.5.2. *Objetivos Específicos*

- Investigar especificaciones técnicas e información bibliográfica que fundamente la forma y tipo de material utilizado en la construcción de un chasis de kart homologado.
- Modelar a través de un sistema de dibujo asistido por ordenador un chasis homologado en tres dimensiones.
- Interpretar por medio del programa Inventor el comportamiento estructural, comparando valores de puntos críticos sobre el chasis de kart homologado.

1.6. Justificación e Importancia de la Investigación

1.6.1. *Justificación Teórica*

Dentro de las competencias automovilísticas existe una disciplina denominada Karting la cual se practica con vehículos monoplaza denominados Karts, los mismos que se desplazan sobre circuitos o pistas llamados Kartódromos que en un promedio suelen poseer longitudes que oscilan entre los 600 y 1800 m y un ancho que se encuentra entre los 8 y 15 m.

Definiendo al elemento denominado Kart, no es más que un pequeño vehículo de competición que tiene un embrague automático y no posee caja de cambios o velocidades, una

carrocería ni suspensión, pero está constituido por un conjunto de tubos de acero doblados y soldados, que no son atornillados, para lo cual forma una estructura muy rígida bajo un principio de barras estabilizadoras y dentro de sus demás componentes se tiene una columna de dirección, transmisión, frenos, neumáticos, llantas, motor y un conjunto de elementos que ayudan a la conducción y seguridad al momento de ser conducidos. Así mismo estos vehículos dentro de su conformación no cuentan con cockpit o techo, sus ruedas posteriores se encuentran conectadas de manera directa al motor a través de un eje de una sola pieza el cual transmite la potencia y la velocidad promedio que alcanzan tanto en prácticas como en competencia suele llegar a 120 km/h y los Súper Kark bordean los 250 km/h.

En lo concerniente a la unidad de potencia que utilizan pueden ser motores de combustión interna de dos tiempos, cuatro tiempos, motores eléctricos o cualquier otro tipo de unidad de potencia, pero tomando siempre en consideración lo que establezca la reglamentación de la competencia a la cual se va a participar.

A nivel mundial existe una comisión internacional de Karting la cual cumple la función de ser el principal organismo sancionador para esta modalidad de competencias la misma que se anexó a la Federación Internacional del Automóvil con sus siglas FIA en el año 2000.

Un aspecto importante para la realización del presente proyecto investigativo es que a través de estudios y criterios fundamentados en pilotos profesionales y equipos de competencias automovilísticas a nivel mundial han definido al karting como la base de todas las competencias porque es de donde se aprenden y desarrollan destrezas importantes de pilotaje de vehículos monoplazas motorizados y de alto rendimiento. Por este motivo la ingeniería siempre se encuentra en constante mejoramiento en todos sus aspectos y cada una de sus partes, pero entre todas estas la más importante es el bastidor o chasis que es la base principal para cada uno de los componentes fijos y móviles del kart, la misma que se pretende aprovechar todas sus características de diseño estructural y mecánicas para de esta manera

aprovechar mejoras de los sistemas simplificados de suspensión, dirección de alta fiabilidad y tecnología.

Por estos motivos es de mucha importancia generar un estudio del comportamiento estructural de sus fallas mecánicas y todos los datos obtenidos permiten alcanzar el objetivo por lo que fueron diseñados a través de una mejora continua.

El presente estudio domina cálculos estáticos y dinámicos, lo que ayuda al entendimiento y desarrollo del aprendizaje que puede ser aplicado no solo a esta modalidad de competencia dentro de sus distintas categorías, si no a muchas otras y en cuanto a los investigadores les permite adquirir habilidades que les ayudará a mejorar aspectos en sus vidas profesionales.

1.6.2. *Justificación Metodológica*

El presente proyecto investigativo se basa en la aplicación de modelos matemáticos que permiten el cálculo del desempeño estructural sobre la base de un kart homologado y los valores obtenidos permites compararlos con los resultados que presente el desarrollo del software que ayuda al desempeño del sistema de ingeniería asistida por ordenador luego de haber aplicado el respectivo modelado a por parte del sistema de dibujo asistido por ordenador de la base estructural del kart y de esta manera poder observar el comportamiento de cada uno de sus partes y sobre todo de sus nodos.

Todo este estudio al final permite concluir en que parte de la estructura es permitido modificar o tomar decisiones de acuerdo a su comportamiento que material se propone usar o que modificaciones se requiere para finalizar haciendo un análisis con la trayectoria de desplazamiento por donde se va moverse el vehículo , pero lo más importante es tener toda la información que pueda obtener ya en la práctica como es el desempeño del piloto al utilizar el tipo de bastidor o chasis ya con las respectivas modificaciones.

Por todo lo expuesto la determinación del presente proyecto se realiza a través de un método teórico, experimental y descriptivo, el mismo que se lleva a cabo en distintas etapas según la forma geométrica del elemento en estudio que sustenta la investigación científica y demuestra su validez, así como su fiabilidad.

1.6.3. *Justificación Práctica*

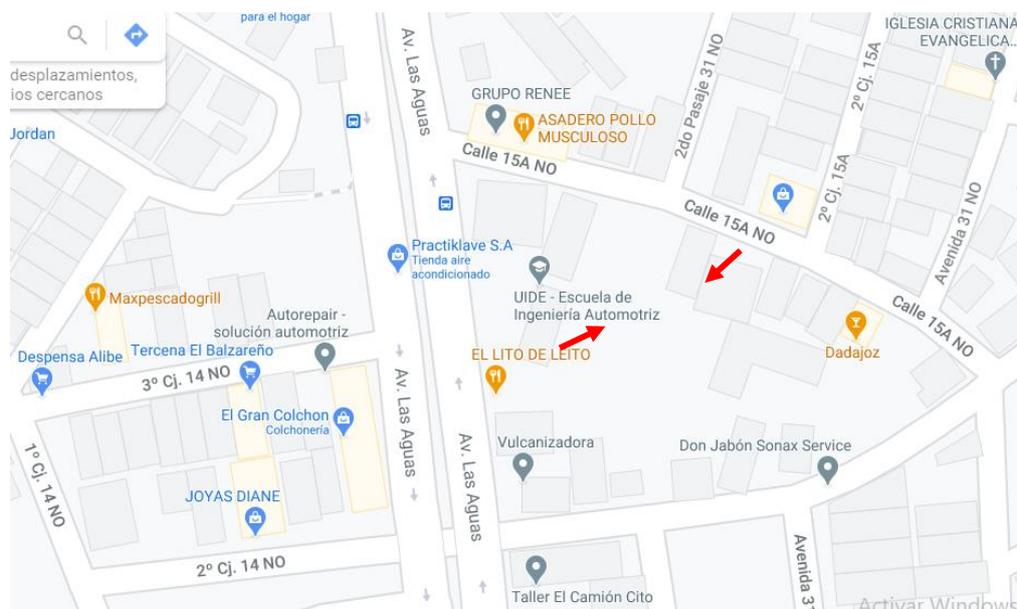
El presente trabajo investigativo sobre el estudio del comportamiento estructural de un bastidor o chasis de un kart homologado es realizado para conocer a través del modelado y uso de sistemas de ingeniería asistida por ordenador que permite observar su comportamiento y de esta manera emitir un criterio de mejora en la eficiencia del diseño de la estructura analizada así como el tipo de material a ser utilizado y así mejorar el desempeño en competencias sobre pista y conducción de su piloto para de manera conjunta disminuir tiempo de carrera, tanto el modelado como el análisis estructural se realiza con la ayuda del software denominado Inventor Profesional que pertenece a la empresa Autodesk, la misma que es una de las más prestigiosas en lo que corresponde programas de diseño asistido por ordenador a nivel mundial.

1.6.4. *Delimitación Temporal*

El desarrollo del presente trabajo investigativo se lo realiza a partir del mes de marzo de 2021 y se tiene planificado que se estaría concluyendo en el mes de marzo de 2022, lapso en el que permitirá realizar una importante investigación, así como desarrollar los objetivos planteados y el principal es de conocer el comportamiento estructural al que están sometidos los bastidores o chasis de un kart homologado.

1.6.5. *Delimitación Geográfica*

En cuanto a la limitación geográfica pues la presente investigación se realiza en el Ecuador, provincia del Guayas, cantón Guayaquil dentro de las instalaciones de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil que se encuentra ubicada en la Avenida Las Aguas y 15va., como se muestra en la figura 1.

Figura 1***Delimitación Geográfica de la Investigación*****1.6.6. Delimitación del Contenido**

El presente proyecto investigativo se lleva a cabo a través de un proceso investigativo minucioso y se encuentra fundamentado por medio de bibliografía, entrevistas a directores de equipos, pilotos y técnicos especialistas, artículos científicos y proyectos investigativos que se han realizado por equipos de karting que en su mayoría son universidades a nivel mundial que se encargan de modelar y simular el comportamiento de un sinnúmero de estructuras usadas en diversas modalidades de competencias automovilísticas en el que sus vehículos son monoplasas, adicional se conoce y aplica el desempeño del software que permiten el manejo de sistemas de diseño asistido por ordenador, que ayuda a llegar al objetivo de la presente investigación.

1.7. Hipótesis

La creación del modelado y estudio del comportamiento estructural sobre la base de un bastidor o chasis de un kart construido bajo reglamento de la comisión internacional de karting determinará cómo es el desempeño de su estructura según los esfuerzos a los que se encuentra sometido en competencia y así mejorar su eficiencia.

1.7.1. Variables de Hipótesis

1.7.1.1. Variables Independientes

- Sistema de diseño asistido por ordenador.
- Software

1.7.1.2. Variables Dependientes

- Chasis homologado de kart
- Manejo de software
- Modelos matemáticos

1.8. Alcance

La logística del presente proyecto denominado Análisis del Comportamiento Estructural en un Chasis de Kart Homologado con Aplicación de un Programa en Sistema de Diseño Asistido por Ordenador, se lleva a cabo gracias a la coordinación entre el autor y personal investigativo de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, el mismo que estuvo subdividido en dos fases, para así poder alcanzar el objetivo y estas fueron la búsqueda de la estrategia metodológica óptima para lograr la aplicación del software a ser utilizado para el modelado y la segunda fase estuvo relacionada al uso de software que permite consolidar el proceso correspondiente a ingeniería asistida por ordenador diseño y modelado estructural del chasis que permite observar los esfuerzos a los que se encuentra sometido, para luego relacionarlos con los resultados de los modelos matemáticos.

Capítulo II

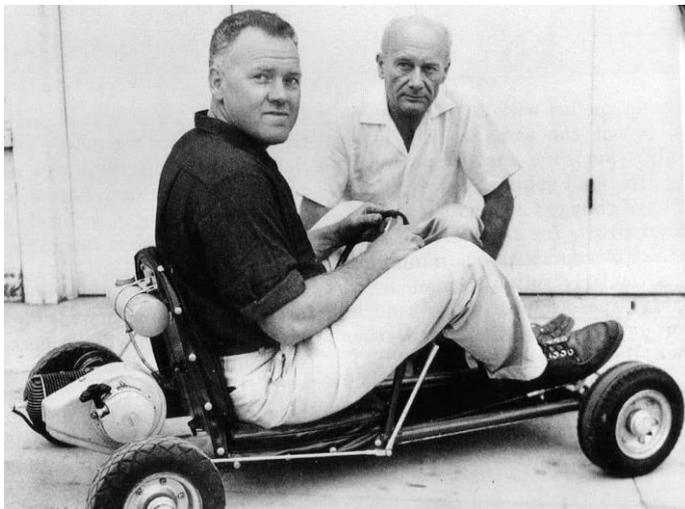
Marco De Referencia

2.1. Historia del Kart

La invención de los Karts tiene sus inicios en la década de los años 1950 en Estados Unidos al sur de California. El amante por el automovilismo Art Ingels, como se muestra en la figura 2 fue un fabricante y colaborador de la empresa Kurtis Kraft, que era una reconocida compañía de carreras responsable de construir cinco vehículos competitivos en la categoría Indy 500, además de los denominados “enanos exitosos”, que su característica principal era la de ser vehículos récord de velocidad de Bonneville y autos deportivos.

Figura 2

Art Ingels Creador del Primer Kart



Pronto, las carreras comenzaron a aparecer en otros lugares, incluso en superficies de tierra. Dean Moon de los famosos Mooneyes congregó a corredores y amigos para el “Moonza” (un ingenioso juego de palabras del famoso circuito italiano de Monza) con superficie de tierra cerca de su tienda.

El interés fue muy grande por los vehículos pequeños, pero muchos carecían de los conocimientos técnicos y mecánicos para construir los suyos propios. Entonces, más tarde, Livingston, Desbrow y Bill Rowles (un frecuentador de la tienda de silenciadores de Livingston

y Desbrow), crearon Go Kart Manufacturing Co. en Monrovia, CA, para satisfacer esta nueva demanda.

El nombre de "Go-Kart" fue denominado por Lynn Wineland, ex editora de Hot Rod Magazine . El primer kart de producción, el Go Kart 400 racer, se vendió por \$ 129.50 (alrededor de \$ 1100 en dinero de hoy). Como pago por el nombre de Go Kart, Wineland recibió \$ 2 por kart vendido.

Kurtis Kraft se había negado a crear su propia división de fabricación de karts, a pesar de la creación de Ingels, por lo que Ingels pronto se fue para crear Ingels & Borelli Kart Company, que fabricaba karts impecablemente hechos a mano llamados Caretta, construyendo solo seis magníficos karts para la temporada navideña de 1958.

Con otras compañías de karts apareciendo para participar en la acción, se formó una Asociación Estadounidense de Fabricantes de Karts para gobernar la calidad y trabajar junto con la GKCA (Go Kart Club of America).

Finalmente, la competencia necesitó un poco más de regulación técnica y gobernabilidad, por lo que el corredor de karts Don Broberick, redactó las regulaciones, inspiradas en las que se encuentran en el Sports Car Club of America, y junto con otros 12, formó el Go Kart Club of America (GKCA: ahora International Karting Federación).

Mientras tanto, Go Kart Manufacturing Co. se expandió con su éxito y se mudó a una sede mucho más grande en Azusa, CA, donde construyeron el primer circuito de karting permanente en 1959 que podría usarse para pruebas y competencias.

En julio de 1959, GKCA organizó su primer gran evento nacional en el nuevo Go-Kart Raceway, y aumentó aún más la visibilidad de los nuevos deportes y provocó más y más publicaciones de hot rod/car para escribir sobre el floreciente pasatiempo.

A partir de aquí, el karting pasó de ser un entretenimiento del sur de California a un deporte nacional y luego mundial. Los karts continuarían evolucionando a los tipos de karts

que se ven hoy en día, pero todos llevan la influencia notable de la primera creación de Art Ingels, incluidos los karts totalmente eléctricos de K1 Speed .

Con el tiempo, Go Kart Manufacturing cerraría, junto con Ingels & Borelli, pero su contribución al mundo del karting y el automovilismo nunca se olvidará.

Luego de tres años de la creación del kart en Estados Unidos ya existían más de 300 fábricas de estos vehículos para luego ampliarse para el mundo europeo con mayor acogida en Inglaterra y Francia, esto provocó también que la federación Internacional de Automovilismo (FIA) determinó organizar en el año 1962 la Comisión Internacional de karting (CIK), su emblema se muestra en la figura 3.

Figura 3

Logo de la Primera Comisión Internacional de Kart



El karting llegó al Ecuador a mediados de los años 70 gracias a su pionero: Pascal Michelet, quien trajo el primer kart como equipaje desde Bogotá, Colombia. A partir de esa fecha, el karting se desarrolló a pasos lentos, pero seguros. Por ese tiempo, el automovilismo tuvo su época de oro con pilotos, trofeos y competencias importantes dentro y fuera del país.

Como se muestra en la figura 4, en la actualidad el karting en el Ecuador cuenta con algunos clubs, pero lamentablemente con la falta del apoyo gubernamental y privado, siendo este una gran limitante para obtener grandes logros y magnificarlo.

Figura 4*Competencia de Karts***2.2. Concepto de Kart**

Pueden existir varias definiciones pero luego de revisar algunas fuentes se llega a la conclusión que se describe a un vehículo monoplaza que no posee carrocería y de suspensión, pero posee ruedas que permiten mantener contacto directo con la pista de competencia, así mismo cuenta con un sistema de dirección que comanda las ruedas delanteras y las posteriores o de arrastre; estas, se encuentran conectadas a un eje el mismo que transmite de manera directa la potencia suministrada por el sistema de potencia o conocido como motor, como se muestra en la figura 5.

Figura 5*Kart Homologado*

2.3. Componentes que Conforman un Kart

2.3.1. Carrocería

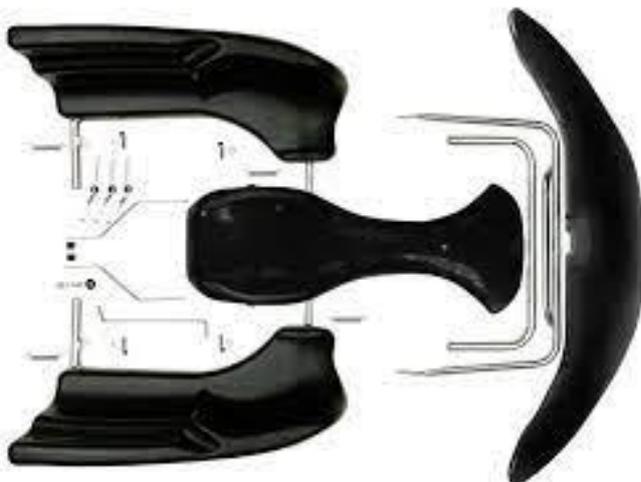
El concepto de carrocería aplicado a los kart difiere mucho a los conocido en otros vehículos ya que como se indicó en párrafos anteriores se indica que estos vehículos no cuentan con carrocería encapsulada ni techo pero se lo podría relacionar a este elemento de manera indirecta a los elementos que se encuentran anexados al chasis formando de esta manera al cuerpo del vehículo y su finalidad sería la de proteger al conductor y su forma mejorar el rendimiento del auto en competencia como lo es el consumo de combustible, mejoramiento en el motor, dirección, sistema de frenado, neumáticos, etc.

Por lo general los elementos que se los considera como carrocería en un kart son elaborados con materiales compuestos como lo son: polímeros, fibras resistentes y plásticos, debido a que estos brindan excelentes características como un bajo peso y muy flexibles, dentro de estos elementos tenemos los siguientes y se pueden apreciar en la figura 6:

- Protectores de volante.
- Pontones o protectores laterales
- Bumpers o protectores delanteros y posteriores.

Figura 6

Carrocería



2.3.2. Bandeja de Chasis

Este componente se encuentra colocado en la bandeja o piso del chasis y su función es la de brindar seguridad y soporte, dentro de sus características es que suele ser de material metálico como el aluminio aeronáutico el mismo que tiene una densidad de 2.7 g/cm^3 con un espesor promedio de 1 a 2 mm y suele ser también de plástico y no posee perforaciones aparte de las de sujeción, como se muestra en la figura 7.

Figura 7

Bandeja de Chasis.



2.3.3. Pedalera

Dependiendo del tipo y la modalidad de karting estos vehículos pueden contar con una pedalera de 2 o 3 elementos, como se muestra en la figura 8 y se encuentran ubicados en la parte delantera inferior y distribuida de la siguiente manera: un pedal para aceleración, uno para freno y dependiendo de tipo de transmisión en algunos modelos se puede un tercero que es para activar el sistema de embrague, permitiendo de esta manera al piloto aplicar de manera adecuada tomar la reacción tanto para acelerar, desacelerar, frenar o realizar cambio respectivamente durante un entrenamiento o la competencia.

Figura 8

Pedalera



En la fase de diseño de estos componentes se debe tomar en cuenta que no debe sobrepasar el soporte delantero y su respectivo ajuste no debe sobrepasar el ajuste necesario para que se pueda generar sin dificultad sus movimientos. Así mismo dentro del campo del mantenimiento continuo se debe está comprobando periódicamente el estado de los muelles de retorno y de esta manera asegurar que los topes de la luz del pedal se encuentren ajustados en la posición correcta.

2.3.4. Barras de Sujeción

Estos componentes normalmente suelen estar elaborados de tubería cromada o tropicalizada, los mismos que cumplen la función de sujetar al chasis brindando de esta manera estabilidad y soportan algunos elementos de la carrocería, esta barra al atornillarse en la parte frontal del chasis ayuda protegiendo los pies del piloto y soporta al bumper delantero, como se muestra en la figura 9. La parte posterior en cambio sirve de soporte para el bumper posterior y también sirve como parachoques.

Figura 9

Barra de sujeción



En el caso de las barras laterales cumplen la función de servir de soporte a los protectores laterales y con este conjunto permiten cuidar la integridad del piloto en el caso de una colisión, así mismo en este conjunto se tiene una pequeña barra de torsión, como se muestra en la figura 10, que cumple la función de generar mayor rigidez al kart y suele estar colocada

en la parte posterior al eje y de esta manera genera estabilidad al momento que el vehículo se encuentre en desplazamiento o en pista.

Figura 10

Barra de torsión



2.3.5. Aros

Estos componentes son metálicos y generalmente suelen estar contruidos de aluminio y aleaciones de magnesio o cromo lo que brindan gran resistencia con lo mínimo de peso, siendo por lo general un promedio de 1.3 libras, como se muestra en la figura 11. Su perímetro es de forma circular, los mismos que se adhieren a los neumáticos.

Figura 11

Aros



2.3.6. Neumáticos

Los neumáticos en un kart son de suma importancia ya que cumplen la función de permitir el desplazamiento, pero a más de esa función es el único elemento que se podría considerar como sistema de suspensión en este tipo de vehículos. Son elaborados de caucho y se amoldan al perfil de los aros como se muestra en la figura 12 y su finalidad es la de permanecer en contacto por fricción y adherencia al asfalto o superficie de la pista, permitiendo de esta manera el desplazamiento direccional, el frenado y arranque. Se debe aclarar que el conjunto aros y neumáticos en la parte delantera cumplen la función de mantener el control del sistema de dirección y los posteriores o llamados de arrastre, permiten la propulsión cuando el piloto lo necesite en este tipo de vehículos como lo son los karts.

Figura 12

Neumáticos



En lo concerniente a tipos de ruedas que se refiere al conjunto aros y neumáticos utilizados en el karting este dependerán sin duda alguna del tipo de pista y de las condiciones meteorológicas donde se desarrolle la competencia como se muestra en la figura 13, para lo cual dentro de las competencias reglamentarias monomarchas y KZ se suelen utilizar los siguientes:

- MXC: Utilizado en pistas que no generen mucho esfuerzo sobre el kart, se fabrican de magnesio.

- MXL: Muy similar a las MXC y su característica es la de disminuir la cantidad de aire entre el aro y el neumático.
- MXJ: También son elaboradas de magnesio, pero su proceso de fabricación es por fundido bajo presión. Son utilizadas cuando las condiciones meteorológicas en temperatura son bajas, ya que estas alcanzan en menor tiempo la temperatura de funcionamiento y de esta manera el kart puede tener mejor agarre en pista.
- AXP: Son elaboradas de aluminio, son utilizadas especialmente en temperaturas bajas y si la pista se encuentra mojada o con presencia de nieve.

Figura 13

Tipos de neumáticos



2.3.7. Motor

La unidad de potencia utilizada para los karts no tiene límite en lo concerniente al tipo de motores, pero los más utilizados han sido los de combustión interna y dentro de estos se destacan los monocilíndricos de dos tiempos y en la que su potencia oscila entre 8 y 40 caballos de fuerza, los mismos que han evolucionado y han alcanzado su mejor rendimiento debido a modificaciones y mejoras de los motores, como se muestran en la figura 14.

Figura 14

Motor



Estos motores son elaborados con materiales aleados que mejoran la resistencia a los esfuerzos que se encuentran continuamente sometidos para su régimen de giro.

Existen algunas marcas que se encargan de fabricar los ya mencionados motores y entre estas encontramos a:

- ROTAX
- AGA RACING
- HONDA
- IAME
- PARILLA
- COMET, etc.

Cabe recalcar que, sin lugar a duda, no se pueden dejar de lado los motores eléctricos que otros tipos de motores utilizados en los últimos años en esta modalidad del deporte tuerca, su cabida en el mundo automotor se están realizando con mayor frecuencia en competencias, dando paso a la innovación para futuras generaciones y nuevas categorías; como se muestra en la figura. 15

Figura 15

Motor eléctrico



2.3.8. *Butaca*

Este elemento es normalmente elaborado de fibra de vidrio, material que le brinda las características de ser resistente y de muy bajo peso, también se utiliza el kevlar que es una poliamida sintetizada y presenta baja rigidez estructural, una alta fuerza extensible, bajo peso, alta dureza y baja contracción termal, este elemento cumple la función de brindar al conductor facilidad de acoplamiento y maniobrabilidad, postura adecuada y cómoda durante la conducción del kart, como se muestra en la figura 16.

La butaca no puede ser diseñada en serie, debido a que cada piloto cuenta con diferentes medidas corporales y eso afecta a su ergonomía por este motivo las butacas deben ser personalizadas en su fabricación.

Figura 16

Butaca



La posición y ajuste de la butaca es trascendental entre el piloto y el kart debido a que el centro de gravedad es crucial para el manejo en competencia, lo que generará estabilidad y disminución de esfuerzos físicos.

2.3.9. Cables y Cañerías

Como se muestra en la figura 17, los cables son elementos que cumplen la función principal de conectores del acelerador y freno, pero un factor principal es el ajuste o tensión correcta que deben tener y así evitar la fatiga de su material, evitando que se arranquen, en lo correspondiente a su distribución esta debe ser lo más directa y libre para su recorrido esto quiere decir tratar que no se generen ángulos pronunciados o codos.

Figura 17

Cables y cañerías



De acuerdo al tipo de chasis, puede darse el caso que el sistema de freno sea por accionamiento hidráulico, para lo cual no se utilizarían cables si no cañerías rígidas o flexibles como se muestran en la figura 18, las mismas que están diseñadas para soportar altas presiones y tomar la forma que genere la conexión hasta llegar a las mordazas del sistema de freno.

Figura 18

Cables y cañerías



2.3.10. Sistema de Dirección

Este sistema con el que cuenta el kart permite el control del viraje del monoplaza sobre la pista con la ayuda de las ruedas delanteras, para lo cual requiere un correcto proceso de diseño que permita soportar cargas dinámicas y permitir que en el caso de viraje no pierdan tracción los neumáticos y esto se logra con un correcto análisis de geometría en sus componentes en conjunto con el chasis.

Este sistema está conformado por manguetas, rótulas, columna de dirección y un volante los mismos se definen de la siguiente manera:

Las manguetas o también conocidas como puntas de ejes se encuentran conectadas por medio de tornillería al chasis generando de esta manera un punto de pivote entre el varillaje de la dirección con las ruedas y esto permitirá el radio de giro del vehículo, como se muestra en la figura 19.

Dentro de su conformación estos elementos cuentan con reguladores de posición lo que permitirá que al momento de girar el varillaje no tope con los neumáticos.

Figura 19
Manguetas



Otro elemento son las rótulas como se muestra en la figura 20, estas se encuentran colocados en los extremos de los tirantes y dentro de su conformación poseen un eje roscado el mismo que permite la regulación del sistema de dirección y su correcto acoplamiento como tal.

Figura 20*Rótulas*

En el caso de las varillas de dirección como se muestra en la figura 21, estos son elementos que permiten el acoplamiento con las manguetas y a través de estos elementos el conductor controla el giro de las ruedas, así mismo este elemento posee en sus extremos un roscado interno que permite el ajuste de su longitud y la alineación del vehículo controlando de esta manera la regulación de la divergencia y convergencia de las ruedas.

Figura 21*Varilla de dirección*

En lo concerniente a la columna de dirección como se muestra en la figura 22, esta no es más que una barra fabricada con materiales como molibdeno, níquel, cromo y aleaciones al carbono logrando así una mayor tenacidad y bajo un tratamiento térmico su templabilidad, permitiendo de esta manera tener un elemento que soporte fuerzas considerables que generan sus extremos de acoplamiento por un lado la barra de dirección y por el otro el volante de la dirección, a través de acoples. En lo concerniente a su geometría esta permite transformar el movimiento rotacional del volante de dirección en longitudinal.

Figura 22

Columna de dirección



El volante de dirección es un elemento del kart que está en contacto directo con el conductor, normalmente es de forma semicircular o circular como se muestra en la figura 23 y se encuentra acoplado a la columna de la dirección y de esta manera controla a todo el sistema de dirección del vehículo.

Figura 23

Volante



2.3.11. Sistema de Escape

Los karts contarán con este sistema únicamente cuando su unidad de potencia sea un motor de combustión interna y la función principal es que permitirá evacuar los gases combustionados de la cámara de combustión de los motores hacia el exterior como se muestra en la figura 24, así mismo su correcto diseño y dependiendo de la pista estos permitirán tener mejores prestaciones en aprovechamiento de combustible, torque, potencia y desempeño, sin dejar de lado la disminución del impacto ambiental como los es a través de un confort acústico que el mismo proporciona.

Figura 24*Escape*

2.3.12. Sistema de Frenado

Este sistema es uno de los más utilizados e importantes durante la conducción de un kart; ya que, aporta a la seguridad del piloto durante su recorrido en el vehículo como se muestra en la figura 25, por esta razón es sometido a grandes esfuerzos permitiendo de esta manera desaceleraciones como detención definitiva del monoplaza por lo que su precisión y efectividad debe ser uno de sus factores primordiales. Consta de varios elementos que lo conformar; de esta forma se puede mencionar a los siguientes componentes:

- Cañerías
- Bomba de freno
- Pastillas
- Disco de freno
- Morzada
- Líquido de freno

Figura 25*Sistema de frenos*

Existen algunos tipos de estos sistemas y no todos los karts poseen frenado a todas las ruedas, pueden estos contar con frenos a un solo disco directo al eje de trasero del kart o de tres puntos que serían distribuidos de la siguiente manera, un freno al eje trasero y un freno a cada una de las ruedas delanteras.

2.3.13. Sistema de Alimentación de Combustible

En el caso que el kart posee un motor de combustión interna este sistema es el encargado de suministrar la mezcla aire y combustible necesario para la combustión a través de un carburador como se muestra en la figura 26, el cual atomiza esta mezcla y en el caso del motor a dos tiempos adiciona el aceite necesario que debe llevar la combinación, consiguiendo de esta manera que sea homogénea y de manera óptima a través de un principio denominado Venturi.

Figura 26*Carburador*

Para todos este el kart requiere de un reservorio de combustible y para eso el elemento con que cuenta es un tanque para combustible como se muestra en la figura 27 el cual suele ser elaborado de plástico y se lo suele colocar debajo de la columna de dirección permitiendo de esta manera mantener no modificar el centro de gravedad del monoplaza.

Figura 27

Reservorio de combustible



2.3.14. Sistema de Transmisión

Existen algunos tipos de transmisión en vehículos de competición, pero en el caso de un kart por lo general suele ser por un mecanismo piñón cadena el cual enlaza directamente a un eje que conecta a las ruedas posteriores proporcionando de esta manera la tracción que requiere el vehículo, como se muestra en la figura 28, este eje antes mencionado debe poseer ciertas características y dimensiones para que pueda cumplir con su objetivo y dentro de estas suelen ser las siguientes: promedio de diámetro exterior 50 mm y espesor mínimo de 1.9 mm, cabe recalcar que estas dimensiones también dependerán del tipo de categoría en la que se va a competir; es decir, donde se va a desempeñar el vehículo; es importante mencionar que, en ciertas modalidades se permite que el eje del sistema de transmisión sea completamente macizo; es decir, que sea un sólido junto al chasis del karting.

Figura 28*Sistema de transmisión*

En lo concerniente a los rodamientos de apoyo que soportan a todo el sistema de transmisión como se muestra en la figura 29, permitiendo de esta manera que gire libremente, estos se encuentran anclados al bastidor y suelen estar elaborados de materiales duraderos y otra de sus funciones es la de aislar vibraciones que se soportaría el chasis ya en competencia.

Figura 29*Rodamientos de apoyo*

El conjunto motriz en un kart que tiene la finalidad de transmitir el movimiento y torque que genera la unidad de potencia se le conoce como piñón, cadena y catarina, como se muestra en la figura 30 basándose en la relación entre estos elementos como lo son el número de dientes,

diámetro y distancia entre sus centros, lo que permitirá obtener la velocidad de rotación en el eje de salida, siendo sus funciones independientes las siguientes:

Figura 30

Conjunto motriz



El piñón está conectado al eje de la unidad de potencia del kart siendo una rueda dentada que determina la transmisión directa o indirecta y su número de dientes varían de acuerdo a la transmisión determinada y establecida.

El porta catarina se encuentra fijado a la catarina y su principal función es la de impedir el ingreso de polvo y agua de manera directa como la de alojar a la tornillería del elemento.

Por último, la cadena brinda el respectivo movimiento de arrastre de engranajes y sus características variarán de acuerdo al número de eslabones requeridos.

2.3.15. Chasis

La estructura interna de los diferentes karts tiene la finalidad de soportar los distintos sistemas y mecanismos, denominándolo como chasis o bastidor, como se muestra en la figura 31 y en el caso de un vehículo posee un armazón que integra entre si y soporta tanto al grupo motopropulsor, suspensión de las ruedas y componentes mecánicos con la carrocería.

El bastidor o chasis es la estructura fundamental de este tipo de vehículos a tal punto que se le considera como su esqueleto, el mismo que está construido por tubos cilíndricos de acero, doblados y conectados a través de procesos de soldadura y su resistencia y flexibilidad dependerá del material y medidas con que están elaborados debido a que en pista están sometidos a esfuerzos de torsión, flexión, compresión y demás esfuerzos propios de las cargas a las que están sometidos.

A esta estructura se adhieren otros componentes fijos y móviles como: motor, barras de dirección, bandeja de chasis, columna de dirección, asiento, etc.

Los diseñadores y fabricantes de este tipo de vehículo de competición poseen un objetivo claro y es el de lograr un vehículo versátil, eficiencia y seguridad, brindándole de esta forma al conductor facilidad y comodidad al momento de conducir en pista.

Figura 31

Chasis



De su comportamiento estructural dependerá sin duda el control de su trayectoria durante su conducción y proporcionando un gran porcentaje en el factor de integridad estructural lo que hace que el vehículo no colapse bajo demasiadas cargas de tensión que son generadas por aceleraciones, desplazamiento por curvas, momentos de frenado o

desaceleración y de la carga que puede estar sometido, etc., pero el factor de mayor importancia es que este elemento está directamente encargado de contribuir con protección al conductor en caso de una colisión, para lo cual se posee con factores tres de suma importancia que al momento de diseñar un chasis estos son: costo, rigidez y peso.

En lo concerniente al peso de un bastidor o chasis existen características importantes que se debe tener en cuenta durante su fase de diseño en un vehículo ya que si esta estructura es realizada tomando en cuenta optimización de peso esto se traduce en ganancia de potencia y reducción considerable en costos, por este motivo los fabricantes siempre buscan encontrar un equilibrio entre peso y resistencia, llegando al objetivo de obtener un bastidor alivianado y sin exceder los límites de fiabilidad.

Una de las características más relevantes que se deben tomar en cuenta al momento de diseñar un bastidor o chasis es la rigidez puesto que es un factor que denota la diferencia en las sensaciones al instante de conducir este tipo de vehículo por parte del piloto y cabe aclarar que no existe una regla específica que determine el punto exacto que permita equilibrar el factor de rigidez para cualquier tipo de vehículo ya que este varía de acuerdo a factores internos o externos como lo son: tamaño, peso, intensidad del vehículo, complejidad y para finalizar el costo.

Para la fabricación de los chasis de karts este debe ser variable en términos de costo por el motivo de que no se puede poseer una versión óptima en términos de peso o rigidez que se transforme en elevadas sumas de inversión económica y si se este factor fuera influyente debería ser solo en caso que la producción fuese industrializada y masificada lo que compensaría una fuerte esta fuerte inyección de capital.

2.4. Evolución del Chasis

La evolución en cada componente de un vehículo se encuentra siempre en constante evolución y no puede ser la excepción el chasis y de acuerdo a los registros estos indican que

primero fueron elaborados de madera los mismos que tenían mucha similitud a los marcos de los carruajes los mismos que eran arrastrados por animales por lo que bajo estos diseños y principios se tomó como ejemplo los largueros donde se soportó la carrocería y demás elementos fijos y móviles con los que consta un vehículo.

Para los primeros vehículos su diseño no era tomado como un factor primordial dentro de su funcionamiento e importancia en la industria automotriz, ya que tanto diseñadores como dueños de las fabricas se enfocaban en el mejorar otros sistemas o componentes como lo fueron la suspensión, sistema de frenos, dirección, motor, aspectos estéticos, etc.

El mejoramiento indiscutible que empezaban a lograr los fabricantes en sus nuevos vehículos permitió que empezaran a centrar sus esfuerzos en mejorar los chasis ya que por estos motivos se requería que este soporte mayores cargas y por este motivo dan un gran paso sustituyendo la madera por el acero, permitiendo de esta manera tener un elemento con mayor resistencia y sin duda alguna mayor grado de rigidez.

La primera empresa automotriz que se atrevió a fabricar un vehículo con su componente chasis y carrocería de acero en su totalidad fue Citroën en el año de 1934, siendo este un hito histórico para la evolución de la industria automotriz, posteriormente la marca Lotus en el año de 1962 muestra al mercado una nueva propuesta de bastidor el cual lo denominaron como Espina Dorsal, el mismo que su característica principal era que estaba conformado por una caja central de acero y la consolidación de la carrocería se encontraba construida de un material compuesto denominado fibra de vidrio.

Las consecuencias que produjo la Segunda Guerra Mundial en el sector automotriz fue considerable por el motivo que la producción de acero se lo limitó a su uso para la producción de elementos propios de la actividad bélica, por este motivo la industria automotriz promovió el uso de aleaciones de aluminio para la fabricación de los nuevos bastidores, esta evolución

generó un aspecto positivo por el motivo que los nuevos chasis fueron más ligeros en comparación a los que hasta ese momento eran fabricados de acero.

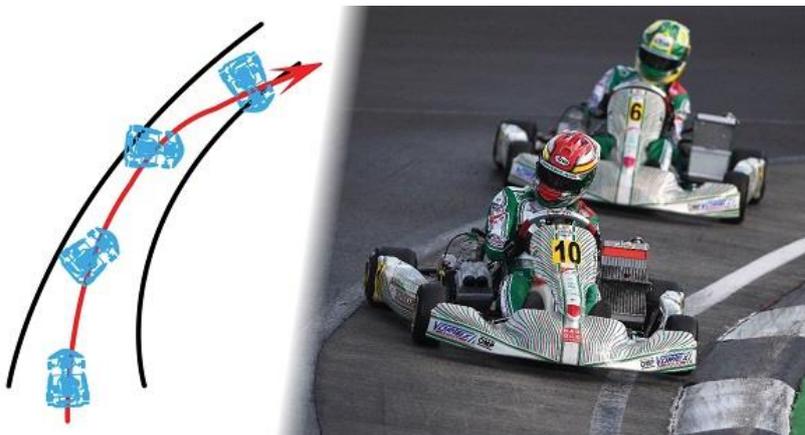
Otro de los grandes pasos en la evolución de los chasis para la industria automotriz se dio en Europa donde las grandes empresas se atreven a investigar y utilizar materiales compuestos con el propósito de fusionar el chasis y la carrocería en los nuevos modelos de vehículos y de esta manera aparecen las carrocerías que actualmente las conocemos como autoportantes, esta tendencia se fue expandiendo a todo el mundo ya que se logró obtener un elemento con disminución de peso, elevados grados de rigidez, disminución en costos de fabricación y con una perfecta interacción de todos los elementos con los que cuenta un vehículo sin dejar de la lado una mayor seguridad a los ocupantes en caso de colisión.

2.5. Tipos de Chasis

Un factor importante en el diseño de un chasis son las diversas formas como puede estar conformado dependiendo también de la reglamentación a la que esté sujeto a participar, otro factor es la geometría que en este caso influyen directamente en la distribución de cargas a las que está sometido como torsión, flexión, parámetros de resistencia, entre otros, uno de estos se muestra en la figura 32., al momento que se toma una curva.

Figura 32

Factor de geometría



Existen criterios erróneos que indican que la eficiencia en competencia de un kart está fundamentada en el motor que cuenta pero esto no es del todo verdadero ya que para que sea un kart competitivo dependerá de un factor muy importante como lo es el correcto diseño del chasis debido que bajo esta base o esqueleto se soportan todos los mecanismos y sistemas del kart.

Tomando como referencia las reglamentaciones de los Estados Unidos los chasis de los karts se encuentran clasificados de la siguiente manera:

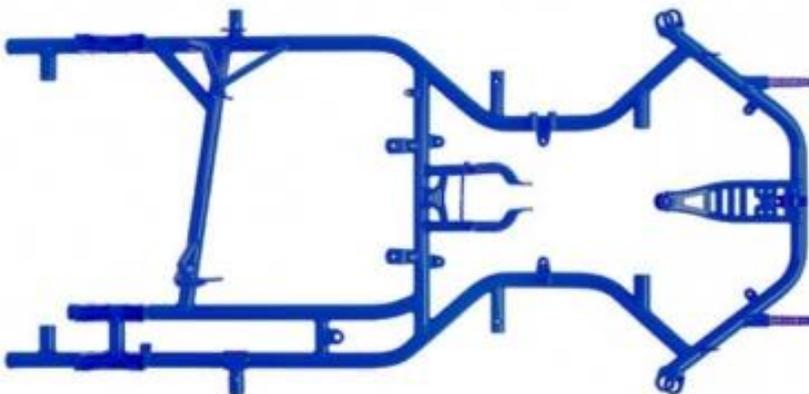
- Open
- Caged
- Offset
- Straight

De estos los únicos que hasta la fecha de la realización de este proyecto se encuentran aprobados por la CIK-FIA son el Open y Straight.

Los tipos Open no poseen cabina de piloto, como se muestra a continuación en la figura 33 .

Figura 33

Chasis tipo Open



Los tipos Caged, son una versión especial ya que poseen una cabina diseñada para que se encuentre al contorno del conductor y estas son más utilizadas en competencias con la modalidad de dirt, como se muestra en la figura 34.

Figura 34

Chasis tipo Caged



Para el caso de los chasis denominados Offset, la posición donde irá el piloto será al lado izquierdo del kart y son utilizados por lo general en competencias de velocidad y donde la trayectoria de la pista sea en sentido anti horario, como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Chasis Offset



Los chasis denominados Straight, la butaca del conductor se coloca en el centro del kart y son utilizados para carreras de Sprint, como se muestra en la siguiente figura 36.

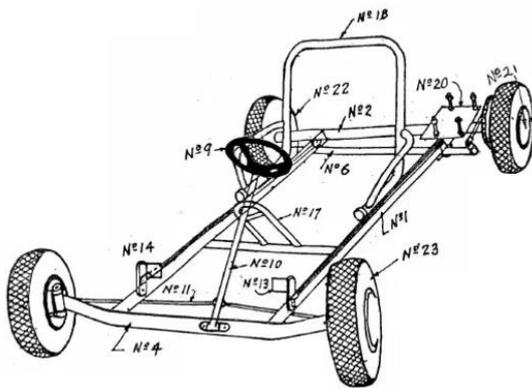
Figura 36

Chasis Straight



La importancia que tiene el diseño y construcción de un bastidor o chasis de un kart es fundamental para que este sea eficaz y eficiente dentro de una competencia. La obtención de buenas características de conducción con dependencia en las circunstancias en la que se conduce sin duda alguna es el factor de rigidez. Así mismo de manera ideal muchos autores de bibliografía técnica de karts establecen que el chasis debe ser aligerado en peso pero en la realidad esta estructura debe ser muy reforzada con el fin de soportar a todo el kart sumado el peso del piloto y las cargas dinámicas a las que se encuentra sometido en el momento de competencia.

Los primeros modelos con los que se construyeron los karts poseían marcos completamente rígidos, como se muestran en la figura 37 , estos básicamente constaban de barras cortas las mismas que se entrelazaban entre ellas y se terminan rompiendo, por la acción de que los kart no poseían tracción en los neumáticos o la deficiencia de la suspensión para poder minimizar los golpes a los que normalmente está sometido un kart al momento de frenar, tomar una curva, aceleración o los desniveles de la pista por donde se desplaza.

Figura 37*Primeros modelos de kart*

Unos de los fenómenos que se pueden presentar con la tracción de los neumáticos de manera errónea están influenciado por el peso incorrecto generando esto un manejo inestable. Estos errores de diseño en la actualidad han sido disminuidos con la implementación de barras de mayor longitud en el bastidor, logrando con esto aumento en la flexibilidad lo que permite que vehículo se desplace por superficies irregulares o toma de curvas en pista. Como conclusión en este punto se ha determinado que un buen diseño es cuando un kart brinda mayor tracción y flexibilidad y esto se ver reflejado en el tipo de pista donde se compite ya que en pistas de mayor exigencia se requiere un comportamiento de mayor flexibilidad y viceversa en los de menor exigencia.

En cuanto al diseño de la forma estructural del kart es de suma importancia debido a que si los rieles posteriores no son lo suficientemente anchos, esto provocará que haya menos deslizamiento, debido a que en pista este se debe adherir muy bien al piso evitando que el vehículo patine. Se acuerdo a los distintos diseños que se han elaborado y probado se ha determinado que los rieles posteriores deben tener dimensiones más anchas lo que hace que sea menos probable que se produzca un volcamiento por el motivo que alcanza mayor estabilidad, a continuación se analiza algunos criterios conceptuales que nos permiten entender de mejor manera estos principios

Una de las condiciones esenciales que se debe comprobar antes de proceder a realizar algún tipo de modificación o ajuste es equilibrar el chasis o bastidor, puesto que este debe ser construido sobre una superficie completamente plana donde se debe de apoyar sus ruedas sin presentar descompensaciones de equilibrio, como se muestra en la figura 38.

Figura 38

Kart



En lo concerniente a la rigidez de un kart, se debe tener presente que estos vehículos al no poseer suspensión esta aumenta por este motivo es un factor de mucha importancia para lograr una correcta conducción y también una correcta estabilidad.

A través de una análisis básico del comportamiento dinámico se puede deducir que si una estructura posee menor rigidez la misma va a generar mayor flexión y por lo tanto se reduce la posibilidad de producirse un deslizamiento, así como mejoramiento de su agarre con el piso, pero teniendo en cuenta que la actual tendencia de los neumáticos es que estos vayan con mayor presión de inflado y por ende se genera otro inconveniente y es que contradice a lo logrado por la disminución de rigidez, lo que causa es que todo el vehículo empiece a generar salto y constantemente brincos o botes al momento de tomar una curva.

Ahora si realizamos un análisis contrario a lo expuesto sobre el chasis, si este es más rígido, puede disminuir o perder completamente el agarre sobre el piso, por este motivo en la mayoría de categorías los diseñadores tratan que los chasis tengan mayor capacidad de flexión

y si se presentan competencias con otro tipo de pista poder adecuar el chasis con la ayuda de barras estabilizadoras.

En el caso que las exigencias de la pista sea de difícil agarre o deslizante es fundamental que el chasis sea lo más flexible, por este motivo el eliminar barras estabilizadoras o disminuir la tensión cediendo los enganches proporcionará un reglaje adecuado y si se presentan circunstancias extremas se puede proceder a aflojar la tornillería delantera o posterior ya que esto brinda mayor flexión del chasis.

Pero también se debe tomar en cuenta cuando se tiene un difícil deslizamiento y un mayor agarre, con saltos en curvas lentas, se debe aumentar la rigidez, por esto motivo se deben fijar de manera rígida a las defensas delantera y posterior.

En el caso de utilizar barras estabilizadoras extras en la parte delantera o posterior es una opción que logra estabilizar de mejor manera a los ejes, lo que se debe siempre tener en cuenta que cualquier modificación o adaptación que se realice en uno de los ejes directamente repercute en el otro y viceversa.

Estos ajustes que se realizan para lograr mayor deslizamiento, en la parte posterior generarán relativamente un mayor apoyo en el eje trasero. En casos extremos de ajuste delantero con un eje delantero demasiado blando y un eje posterior con mayor rigidez, se tiene la posibilidad que en pista se genere una sobreviradora extrema.

2.6. Altura de Chasis

Una consideración importante que se debe tener en cuenta al momento de diseñar y ajustar un chasis de kart es la altura que debe tener con referencia al piso debido a que esto permite controlar el centro de gravedad y distribuir de mejor manera las masas. Para el caso de los karts la mejor opción es la de tenerlo lo más cercano al piso como sea posible y la misma consideración con sus elementos laterales, como se muestra en la figura 39. Se debe tener presente que la altura depende en gran parte por la presión de aire con que se encuentran

inflados los neumáticos, sus dimensiones, peso de chasis, componentes de generación de potencia y peso del piloto.

Figura 39

Altura de piso a chasis



La importancia de regular la altura de chasis de un kart es que permite distribuir de mejor manera el peso del conjunto carrocería-piloto y poseer mejor agarre al piso, claro está que se puede poseer variación de altura entre el eje posterior y delantero o viceversa lo que permitirá un mejoramiento muy ligero en cuestión de agarre en el extremo que se incrementa el alza y disminuir hasta llegar a la altura de los rodamientos del eje posterior permite obtener un mejor deslizamiento de la parte posterior.

Pero todos estos criterios de ajuste de la estructura del kart dependerá estrictamente del tipo de competencia y del diseño de la pista, como por ejemplo: Si la competencia se realiza en un circuito que posee una pista de asfalto u hormigón, se requiere de un frente más largo y en la parte posterior más estrecha, si se realiza de la manera contraria lo que se obtiene es que generarán un anclaje los vehículos y puede participar en la modalidad Dirt.

En lo concerniente a las partes del chasis este se subdivide en tres partes fundamentales como son:

- Chasis o cuadro
- Partes fundamentales del chasis
- Partes auxiliares del chasis

2.7. Normativa de Regulación CIK/FIA-2021

El presente estudio se fundamenta de acuerdo al reglamento emitido por la CIK/FIA vigente para el año 2021, como se muestra en la figura 40; mismo que permite realizar el modelado y renderizado en el programa Inventor Profesional, con las especificaciones reglamentarias y bajo la consideración de puntos que determinan los detalles en el diseño estructural del chasis.

Figura 40

Reglamento de CIK/FIA

The screenshot displays the FIA Karting website interface. At the top, there is a navigation menu with options: DESCUBRIR, EQUIPO / CONDUCTOR, FABRICANTE, CIRCUITOS, AUTORIDADES DEPORTIVAS NACIONALES, and MEDIOS DE COMUNICACIÓN. Below this, a breadcrumb trail reads: Casa > Equipo / Conductor > Asuntos deportivos > Reglamento deportivo. A secondary navigation bar highlights 'REGLAMENTO DEPORTIVO' among other options like ANTIDOPAJE, RECONOCIMIENTO, RECOMENDACIONES, and ACTUALIZACIONES. The main content area is divided into two columns. The left column, titled 'REGLAMENTO DEPORTIVO', lists several documents: '2021 FIA KARTING DEFINITIONS & CLASSIFICATION (PUBLICADO EL 18 DE ENERO DE 2021)', '2021 FIA KARTING INTERNATIONAL KARTING LICENS FOR DRIVERS & CODE OF DRIVING CONDUCT (PUBLICADO EL 18 DE ENERO DE 2021)', 'PRESCRIPCIONES GENERALES DE KARTING DE LA FIA 2021 (PUBLICADO EL 18 DE ENERO DE 2021)', 'PRESCRIPCIONES ESPECÍFICAS DE KARTING DE LA FIA 2021 (PUBLICADO EL 18 DE ENERO DE 2021)', 'REGLAMENTO DEPORTIVO DE LOS CAMPEONATOS MUNDIALES DE KARTING DE LA FIA 2021 - OK (PUBLICADO EL 26 DE MAYO DE 2021)', and 'REGLAMENTO DEPORTIVO DE LOS CAMPEONATOS DEL MUNDO DE KARTING DE LA FIA 2021 - KZ'. The right column, titled 'PRÓXIMO EVENTO', features a banner for the '12-15 AGOSTO 2021 Adria Italia' event with a 'DETALLES DEL EVENTO' link, and a section for the 'FIA KARTING CHAMPIONSHIP'.

La Normativa de regulación de la CIK/FIA-2021, permite establecer algunos parámetros, así como determinar aspectos importantes para poder participar en competencias de karting como lo son las categorías las mismas que son agrupadas de la siguiente manera:

- Grupo I
 - KZ1 = cilindrada de 125 cm³
 - Superkart = cilindrada de 250 cm³
- Grupo II
 - KZ2 = cilindrada de 125 cm³
 - OK = cilindrada de 125 cm³

- OK-JUNIOR = cilindrada de 125 cm³
- Grupo III
 - MINI = cilindrada de 60 cm³

Cada uno de los grupos se encuentra subdivididos por categorías las mismas que son determinadas por la unidad de potencia con la que deben utilizar durante la competencia, el tipo de motor que puede ser de dos o cuatro tiempos, tipo de sistema de refrigeración que puede ser aire o mixto, con o sin caja de cambios, medidas del chasis, tipo de carburador a ser utilizado, modelos de sistemas de escape y limitación del peso del vehículo incluyendo piloto,

2.7.1. Prescripciones Generales

En lo concerniente al reglamento de la CIK/FIA-2021, dictaminan algunos aspectos que engloban todos los campos que conlleva una competencia automovilística a nivel mundial y entre estos aspectos se encuentran prescritos la formalización de los reglamentos que permite general la adquisición o extinción de obligaciones por parte de los equipos participantes así como los propios organizadores, los mismos que de acuerdo a este regulados puede ser modificado periódicamente.

Entre las prescripciones relevantes que establece el reglamento de la CIK/FIA 2021, en este tipo de competencia automovilística tenemos los siguientes:

Modificaciones.- Esta sección se refiere a cualquier modificación que no se encuentre regulada específicamente bajo el reglamento de la CIK, la misma que puede ser sancionada o causa de eliminación de la competencia.

Adición de materiales o elementos extras.- Basada en la aplicación o adaptación de materiales que no se encuentren autorizados exclusivamente por el reglamento de la CIK, incluyendo la remoción o adición de materiales al chasis que altere su desempeño a la competencia y a su vez también se encuentra reglamentado que no se puede reutilizar materiales

o elementos en un proceso de reconstrucción cuando estos hayan pasado por una acción de desgaste por factores de desgaste o luego de haber estado involucrados en un accidente.

Acero magnético.- Esta sección se refiere al tipo de acero a ser utilizado en la construcción del chasis o los elementos de la carrocería el mismo que debe ser de acero estructural que contemple el cumplimiento de las especificaciones según (FIA, 2021) la norma “ISO 4948 o ISO 4949, la cual prohíbe el uso de aceros en la que su aleación para construcción de sus elementos sea mayor o igual al 5%”.

Materiales Compuestos.- Para esta sección el reglamento de la CIK/FIA-2021 prohíbe la utilización de materiales compuesto en la construcción de cada una de sus partes a excepción de la butaca del piloto, piso, discos de fricción de embrague, válvulas de lengüeta, molduras de protección, disco de freno posterior y el protector de la cadena.

Condiciones generales para el kart.- Según la CIK define al kart como un vehículo monoplace, el mismo que está conformado por un bastidor o chasis, cuatro neumáticos, carenado y un motor, así mismo determina que la posición del piloto debe estar reclinada en la butaca y con los pies direccionados hacia el frente del kart.

Descripción de partes del chasis.- Este debe estar constituido por: marco, partes principales, partes auxiliares entre los cuales se pueden colocar perfiles de protección para pilotos.

Funciones que debe efectuar el chasis.- El reglamento establece que básicamente debe cumplir tres funciones y estas son: el chasis constituye la estructura principal del monoplace, debe ser el soporte de elementos fijos y móviles, debe proporcionar rigidez para que el kart soporte todas las fuerzas de carga que se pueden generar durante una competencia.

Requerimientos del chasis.- El chasis o bastidor debe estar elaborado con tubos de acero magnetizado con sección cilíndrica y para su unión debe ser por proceso de soldadura de

manera que sea rígido y no debe ser desmontable, esto determina que su estructura no debe poseer conexiones móviles.

Pruebas magnéticas.- Estas son pruebas en las que los comisarios de la competencia constatan minuciosamente y consiste en la aplicación de imanes que generan un campo magnético axial el mismo que debe permanecer sujeto a la estructura del chasis y determina si no se utilizó para su construcción algún tipo de tratamiento superficial y si por parte de los comisarios detectan alguna anomalía realizan otras pruebas estructurales a través de tratamientos químicos por fluorescencia.

Partes principales del chasis.- Los elementos que se consideran elementales o principales para un chasis son las partes de conexión delantera y posterior, aros y soportes, eje de tracción, soporte del eje, nudillo de dirección y el perno angular, a todo esto se tiene que tomar en cuenta algunos requerimientos que son de suma importancia y que deben cumplir estrictamente según el reglamento y son los siguientes:

- Se encuentra completamente prohibido el uso de cualquier tipo de dispositivo hidráulico o neumático que absorba algún tipo de oscilaciones.
- La estructura debes estar fijada sin la presencia de articulaciones móviles.
- Dentro de la estructura la única conexión de tipo articulada que se encuentra autorizada por el reglamento es para los soportes de la dirección del vehículo.
- Todas las partes del chasis deben estar unidas fijamente entre sí o al marco de la estructura.

Especificaciones del eje de transmisión.- Este elemento es muy importante dentro de la configuración del chasis para lo cual se establece que debe cumplir con algunas condiciones como ser elaborado de magnético y un diámetro de 40 mm con un espesor de pared de 2,9 mm, también debe constar estrictamente la placa de identificación de la CIK/FIA determinada para cada fabricante la misma que debe estar grabada o estampada y se debe tomar en cuenta que

este elemento como lo es el eje posterior no ser obligatorio que pertenezca al mismo fabricante del chasis.

Partes principales del chasis y croquis del marco.- Dentro de estos elementos con que debe constar el chasis están los siguientes: Soporte de manguetas, soporte para eje de transmisión, perno angular, manguetas, eje de transmisión y aros.

Partes auxiliares del chasis.- Dentro de los elementos que se los consideran auxiliares, se determinan que no deben no pueden transmitir las fuerzas por la pista al chasis. Por este motivo como parte de elementos auxiliares se tienen: dispositivos y conexiones, lastre, parachoques, platos y conexión, pedales, butaca, dirección, sistema de evacuación de gases, unidad de potencia y soporte para mordaza de freno.

Requerimiento para las partes auxiliares del chasis.- Los elementos que deben constar en el chasis están los siguientes: ser fijas sin articulaciones pobres, deben estar completamente sujetas para que no se conviertan en proyectiles en caso de accidente y que deben cumplir cada de sus partes o sistemas con lo que establezca el reglamento.

Dimensiones.- De acuerdo al reglamento de la CIK/FIA no está permitido que las dimensiones se excedan de lo establecido por el carenado tanto delantero como posterior y los neumáticos, siendo los rangos permitidos los siguientes: mínimo y máximo de batalla 101 cm y 127 cm respectivamente, vía al menos $\frac{2}{3}$ de la dimensión de la batalla, longitud total sin carenado posterior y/o delantero 182 cm, en caso de circuitos largos una longitud total de 210 cm, ancho promedio 140 cm, altura máxima con respecto al suelo con exclusión de butaca de 65 cm.

Parachoques.- Estos elementos son de uso obligatorio y sirven de protección tanto frontal, posterior y lateral, construidos de acero magnético y sus dimensiones están reguladas según el reglamento de la CIK/FIA, y sus consideraciones son las siguientes:

Para el parachoques delantero:

- Los anclajes de sujeción de las barras deben encontrarse sostenidos al chasis.
- Debe estar constituido por al menos dos elementos de acero.
- Diámetro mínimo de los elementos superior de 16 mm e inferior de 20 mm y las curvaturas deben ser constantes.
- El elemento superior no debe tener relación alguna con la conexión de pedales.
- Deben condenser la sujeción al carenado frontal.
- Se debe unir al chasis por al menos cuatro puntos de sujeción.
- Poseer un voladizo delantero mínimo de 350 mm.
- Ancho mínimo del elemento inferior 295 mm y máximo de 315 mm, tomando en cuenta el eje longitudinal del kart.
- Longitud mínima del ancho del elemento superior de 375 mm y máximo de 375 mm con relación al eje longitudinal del kart.
- Mínima altura al elemento superior de 200 mm y una máxima desde el suelo de 250 mm.
- Parachoques lateral:
 - Deben estar constituidos por una barra superior y una inferior.
 - Deben generar sujeción a los pontones.
 - Poseer un mínimo de diámetro correspondiente a 20 mm.
 - Estar sujetados al chasis por lo menos en dos puntos.
 - Permitir que exista una sujeción a los pontones como mínimo de 50 mm y poseer una distancia de 500 mm.
 - La longitud mínima de la barra inferior de 400 mm y de la superior de 300 mm.
 - Poseer un mínimo en altura de la barra de 160 mm tomando de referencia el suelo.

- Relación con el eje longitudinal inferior tomando de referencia su ancho de 500 mm con una tolerancia de +/- de 20 mm y para el superior de 500 mm con una tolerancia de +100 mm y -20 mm.
- Parachoques posterior:
- Este elemento debe estar constituido como mínimo por una barra antibloqueo y con un diámetro de 16 mm y una barra superior con una dimensión mínima de diámetro de 16 mm, tomando en cuenta que estas barras deben estar sujetas a la estructura principal del chasis al menos por dos puntos de sujeción.
- Mínimo un ancho de 600 mm.
- Poseer un voladizo posterior de 400 mm como mínimo.

2.7.2. Normas para Diseño en el Ecuador

Para el Ecuador el instituto que normaliza los estándares de procesos se denomina INEN, que es el Instituto Ecuatoriano de Normalización, el mismo que cumple la función de evaluar, controlar, dirigir, organizar y planificar los servicios de certificación y validación de productos a través de documentos normativos. Para el caso de diseño de karts en el país se establece a continuación que:

- En el Ecuador no existe hasta la fecha de la presente investigación ninguna normativa vigente refiriéndose al diseño y construcción de partes de karts y entre estos están los chasis.
- La única normativa que en algo tiene un lineamiento referente a vehículos livianos y buses es la NTE-INEN 1323:2009, permitiendo desarrollar investigación referente a cálculo de esfuerzos y análisis de cargas aplicadas al modelado estructural en la que se determinan adicionalmente los siguientes parámetros conceptuales de tipos de cargas.

2.7.3. Cargas

La definición de cargas según algunos autores de bibliografía destinada a elementos estructurales establece que son fuerzas externas que son ejercidas sobre elementos, mecanismos o sistemas así como su propio peso, las mismas que pueden presentar efectos de cargas como lo son: alargamiento o acortamiento, longitudinal, momento torsor alrededor de su eje y momento deflector sobre una curvatura.

2.7.4. Carga Muerta (M)

Definida como el peso total de la carrocería en condiciones dinámicas incluyendo elementos propios de la estructura y accesorios, donde su ecuación es la siguiente:

Ecuación 1

Carga Muerta

$$M = M_t * g$$

Para lo cual:

M = Carga muerta [N]

M_t = Peso total de los elementos [kg]

g = Gravedad [m/s²]

2.7.5. Carga Viva (V)

Se define como una carga por ocupación y esta es considerada por su distribución de manera uniforme de sus elementos de carrocería.

Ecuación 2

Carga viva

$$V = V_t * g$$

Para lo cual:

V = Carga viva [N]

V_t = Peso del piloto [kg]

g = Gravedad [m/s²]

2.7.6. Carga de Frenado (F)

Carga producida por una desaceleración del vehículo.

Ecuación 3

Carga de frenado

$$F = Mt * a$$

Para lo cual:

F = Carga de frenado [N]

Mt = Peso total de los elementos [kg]

a = Desaceleración de frenado [m/s²]

2.7.7. Carga de Aceleración Brusca (Ab)

Carga que soporta de manera adicional la estructura del vehículo al momento de adicionar una aceleración de manera violenta y progresiva.

Ecuación 4

Carga de aceleración brusca

$$Ab = (Mt) * (-a)$$

Para lo cual:

Ab = Carga de aceleración brusca [N]

Mt = Peso total de los elementos [kg]

a = Aceleración [m/s²]

2.7.8. Carga de Giro (G)

Dependiendo de la trayectoria que toma la dirección del vehículo se generan fuerzas denominadas carga de giro.

Ecuación 5

Carga de giro

$$G = (Mt + Vt) * \frac{V^2}{r}$$

Para lo cual:

G = Carga de giro [N]

M_t = Peso total de los elementos [kg]

V_t = Peso del piloto [kg]

V = Velocidad del vehículo [m/s^2]

r = Radio de curva [m]

2.7.9. Carga por Resistencia del Aire Frontal (Raf)

Fuerza con que el aire actúa sobre una determinada área el mismo que corresponde a la proyección del monoplaza en un plano perpendicular a su eje longitudinal.

Ecuación 6

Carga por resistencia

$$Raf = \frac{Cx * \rho * Af * V^2}{2}$$

Para lo cual:

Raf = Carga por resistencia del aire frontal [N]

Cx = Coeficiente de resistencia aerodinámica [N]

ρ = Densidad del aire [kg/m^3]

Af = Área correspondiente a la trayectoria [m^2]

V = Velocidad [m/s^2]

2.8. Criterios de Diseño

Básicamente son requerimientos fundamentados teóricamente que caracterizan a un sistema y de esta manera lograr los objetivos planteados en lo concerniente a potencia, disponibilidad, fiabilidad, etc., o también lograr alcanzar con las necesidades de diseño que plantean otros sistemas en análisis. Para el caso de la presente investigación se pretende dar una pauta que permitan predecir la resistencia generada o a su vez la deformación del elemento

del motor, permitiendo que esto pueda soportar la carga impuesta durante un determinado tiempo o de acuerdo a lo planificado.

2.8.1. Factor de Seguridad

Existen algunas interpretaciones referente al factor de seguridad, siendo este un coeficiente de seguridad el mismo que es definido como el cociente entre el valor de la capacidad máxima dentro del estudio de un sistema y el valor esperado o al que va a ser sometido el dicho sistema, siendo siempre este mayor a uno lo que determina la capacidad en demasía que tiene el sistema en estudio por sobre sus requerimientos.

Existen algunas recomendaciones de aplicación del factor de seguridad como son las siguientes:

- Diseños estructurales bajo carga estática y con alto grado de confiabilidad se aplica un factor $N = 1,25$ a $2,0$.
- Diseño de elementos de máquinas sometidos a cargas dinámicas y con un grado de confianza promedio se aplica un factor $N = 2,0$ a $2,5$.
- Diseños estructurales de elementos con cargas estáticas o dinámicas con incertidumbre referente a las cargas se aplica un factor $N = 2,5$ a $4,0$.
- Diseños estructurales de máquinas con cargas estáticas o dinámicas se aplica un factor $N = 4,0$ o mayor.

2.9. Fuerzas a las que Está Sometido el Chasis

2.9.1. Rigidez

En diseños y construcción de chasis para karts se define a la rigidez como la capacidad que soporta este elemento en cuanto a fuerzas sin que se doble o se generen deformaciones permanentes. Dentro de los tipos de rigidez se tiene las correspondientes a flexión y a torsión.

El modelo matemático definido para este componente es el siguiente:

Ecuación 7*Rigidez*

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

Para lo cual:

K = Rigidez [N/m]

F = Esfuerzo soportado por el chasis [N]

d = Desplazamiento o torsión [m]

Para estos cálculos se considera que la rigidez es proporcional al módulo de elasticidad tomando en cuenta el material, el área de la sección estructural o tubo y el momento de inercia.

Ecuación 8*Elasticidad*

$$K = E * I$$

$$K = E * A$$

Para lo cual:

K = Rigidez [N/m]

E = Módulo de elasticidad [N/m²]

I = Momento de inercia [kg * m²]

A = Área de la sección [m²]

Considerando que el monoplaza de un kart no posee un sistema de suspensión, se considera como un factor primordial su rigidez lo que permite influenciar en estabilidad y maniobrabilidad en conducción, en el caso que un chasis tenga menos rigidez posee mayor capacidad para que se produzca una flexión y esto permite lograr mayor adherencia en curvas pero una menor posibilidad de despliegue o deslizamiento, pero en el caso que se tenga mayor rigidez el chasis tendrá mayor resistencia a la flexión y por ende no se tendrá una correcta adherencia al tomar una curva y un mayor grado de deslizamiento.

2.9.2. Rigidez a Flexión

En este caso la sumatoria de todas las fuerzas a las que está sometido el chasis como lo es la gravedad y masa de los componentes que están adheridos al chasis generan cargas en el plano perpendicular al plano de estructura, lo que crea estructuralmente un momento flector produciendo de esta forma fuerzas puntuales de forma vertical y puede ser representada con el siguiente modelo matemático:

Ecuación 9

Rigidez a flexión

$$K = \frac{M}{\theta} = \frac{E * I}{L}$$

Para lo cual:

K = Rigidez de flexión [N*m/grados]

M = Momento flector [N/m]

θ = Ángulo de deformación [grados]

E = Módulo de elasticidad [N/m²]

I = Momento de inercia [kg * m²]

L = Longitud [m]

2.9.3. Rigidez a Torsión

Este tipo de rigidez se presenta por todas las cargas asimétricas las mismas que producen un momento torsor sobre el chasis y entre estas se presentan las cargas verticales u horizontales y se la puede determinar mediante el siguiente modelo matemático:

Ecuación 10

Rigidez a torsión

$$K = \frac{T}{\theta} = \frac{G * J}{L}$$

Para lo cual:

K = Rigidez de torsión [$N \cdot m / \text{grados}$]

M = Momento flector [N/m]

Θ = Ángulo de deformación [grados]

G = Módulo de cizallamiento [N/m^2]

J = Módulo de torsión [N/m^2]

L = Longitud [m]

2.10. Modelado Estructural

Cuando se refiere al modelado geométrico en elementos estructurales como lo es el del kart este es conceptualizado a través de modelos matemáticos o analíticos, por medio de representación de elementos físicos, los mismos que se encuentran almacenados en una base de datos y dentro de estos se cuenta con los siguientes:

2.10.1. Modelado Geométrico

Este tipo de modelado se lo realiza a través softwares que permiten trabajar con sistemas CAD y CAE, con los que se obtiene este objetivo tanto en dos dimensiones como en tres dimensiones, generando de esta manera cualquier elemento estructural en forma virtual, permitiendo de esta manera generar un entorno paramétrico e integrado, maximizando productividad en caso que se aplique un proceso de manufactura.

Cada vez los software utilizados en procesos CAD poseen un sinnúmero de herramientas que permiten crear, administrar datos, simular, mejorar la innovación y productividad en la ingeniería, de mejor manera y en menores tiempos siendo un proceso rentable y económico, brindando así soluciones a las distintas fases del diseño y obteniendo mejorar la productividad y eficiencia como es este caso para un chasis del monoplaça.

2.10.2. Módulos

En lo referente a los softwares utilizados estos brindan poder trabajar con tres módulos básicos como lo son:

- Pieza
- Ensamble
- Dibujo

2.11. Sistemas de Ingeniería Asistida por Ordenador - CAE

Formado por un conjunto de softwares que tienen como objetivo realizar un análisis y simulación de diseños ingenieriles, los mismos que incorporan características propias para obtener como resultado análisis cinemáticos y estáticos a través de elementos finitos.

Para el caso del presente estudio el software que es utilizado se denomina Inventor y pertenece a la marca Autodesk, como se muestra en la figura 41.

Figura 41

Autodesk Inventor Profesional



Capítulo III

Metodología Aplicada

3.1. Procesos Metodológicos para el Diseño del Chasis

Como idea inicial para diseñar o modelar el monoplaza kart es fundamental saber que de manera básica este tipo de vehículo debe poseer características fundamentales como lo es que debe estar en contacto con el suelo a través de cuatro ruedas que no están alineadas las delanteras que son las directrices con las posteriores que son las de arrastre.

Así mismo el modelado se encuentra fundamentado bajo lo reglamentado por la homologación de la CIK-FIA el mismo que brinda las especificaciones técnicas y dimensionales del chasis, descripciones del modelo e ilustraciones técnicas, todas estas características deben ser respetadas por el fabricante sin extenderse de las medidas establecidas.

Factores externos para el presente estudio pero que inciden sobre el mismo son los siguientes: altura máxima, longitud máxima, ancho máximo, distancia entre ejes y características del motor.

Dentro de las exigencias que también se deben tener en cuenta y según (FIA KARTING, 2020) que establece las siguientes: “Material de construcción tubos de sección cilíndrica de acero, estructura monolítica para piezas soldadas, flexibilidad de chasis con límites de elasticidad, todas las piezas deben estar fijadas completamente al chasis, necesariamente su construcción debe ser rígida, conexiones articuladas no son admitidas con la dirección y el soporte convencional de manecillas del eje, se encuentra prohibido de manera absoluta el uso de cualquier tipo de amortiguación, el eje posterior debe ser de 50mm de diámetro máximo y espesor del tubo de 1,9mm.

Para el proceso de renderizado y simulación de la estructura sólida y soldada del chasis homologado, se requiere del programa Inventor Profesional, donde se comienza con la generación de geometrías en 2D para la obtención de un chasis homologado, tal como se

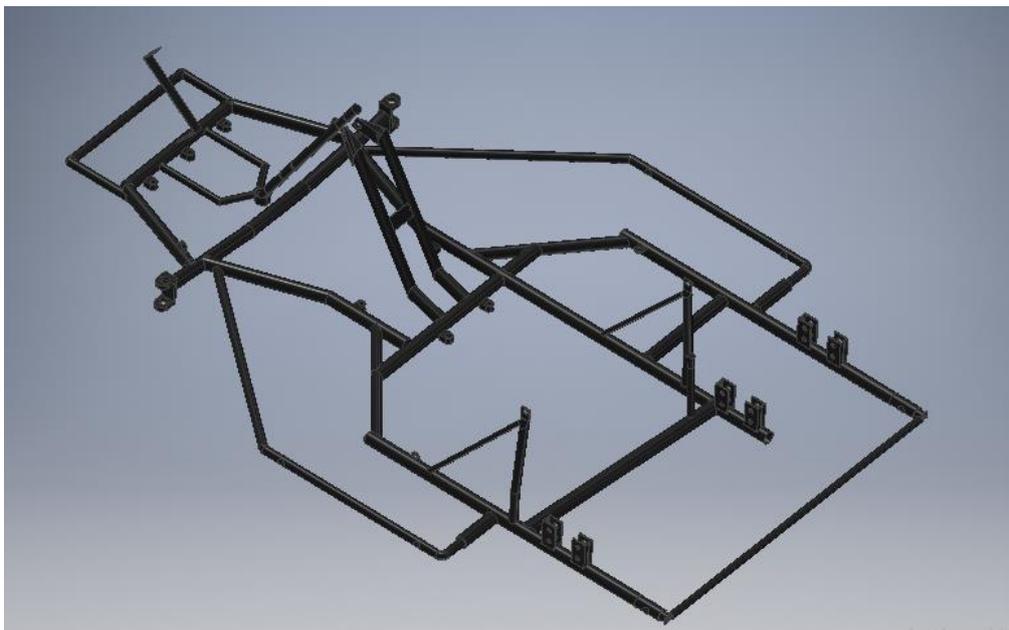
observa en la figura 42, donde paulatinamente se crean las respectivas formas en 3D; para posterior, realizar un análisis estructural y de esta manera determinar los esfuerzos a los que este se encuentra sometido la estructura del chasis del kart en investigación; de manera que, la secuencia de pasos a utilizar permita analizar el comportamiento estructural de puntos críticos internos y externos en un chasis de kart homologado.

Cabe tener en cuenta que al momento de tomar las características de homologación se ha definido realizar el kart del tipo RS12 ya que posee un buen peso, el material estructural es comercial lo que ayuda a su proceso de construcción, de esta manera se considera de manera estricta los tipos y número de curvas, peso estructural y número de juntas para soldadura.

Así mismo el tipo de chasis seleccionado permite una correcta adición de elementos que conforman un kart como por ejemplos: motor con dirección anti horaria u horaria, lugar apto para ubicación de cadena y catalina, posición adecuada para butaca con su respectiva regulación.

Figura 42

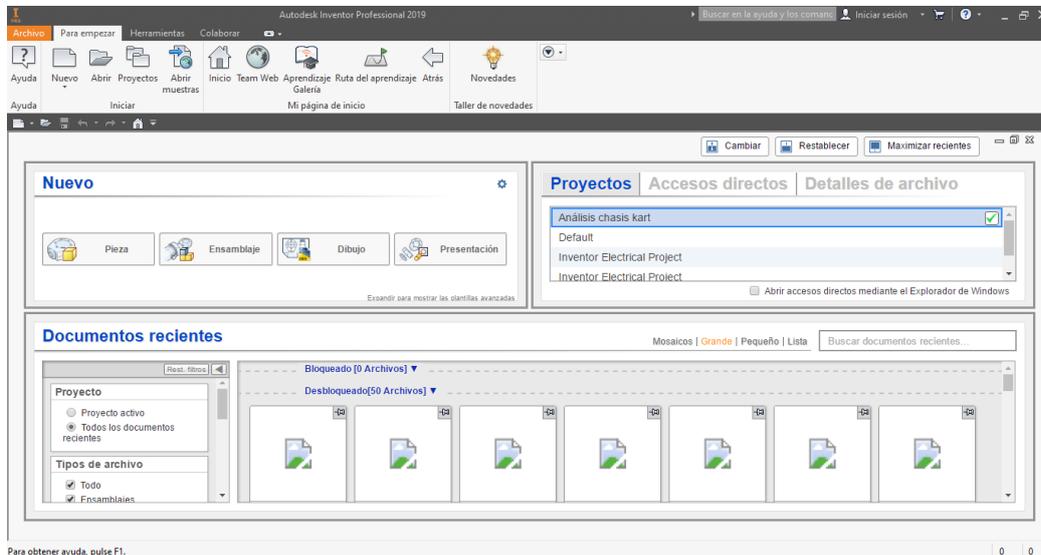
Chasis Homologado



Para dar inicio al modelado del chasis de kart en CAD, se debe crear un proyecto nuevo el mismo que permitirá almacenar los archivos que se vayan a crear y utilizar en el proceso CAD y CAE como se muestra en la figura 43.

Figura 43

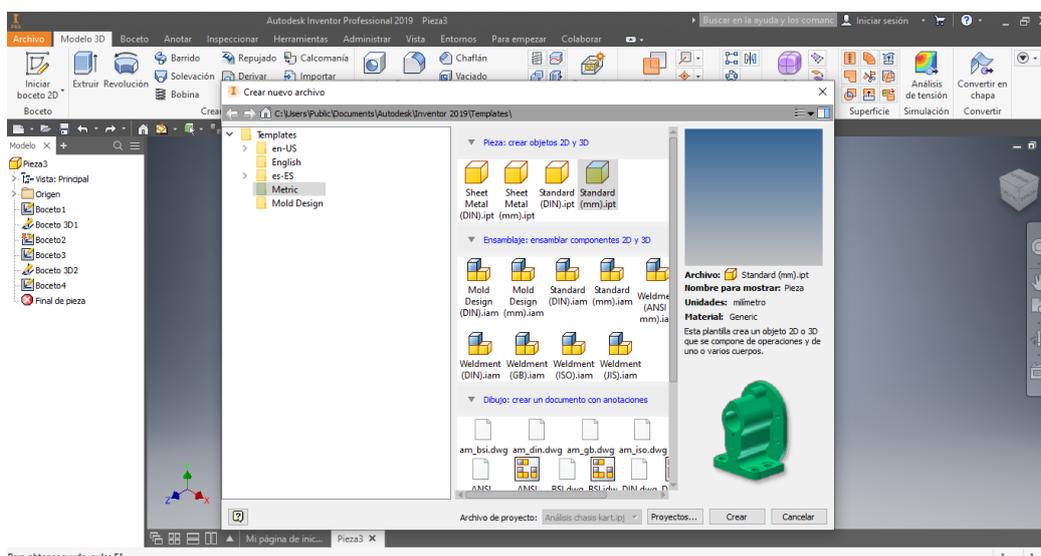
Generación de Proyecto Nuevo en Inventor Professional



Luego se procede a seleccionar el módulo de pieza, predeterminando las unidades con las que se trabaja que para el caso de este proyecto es milímetros, gramos y segundos o descrita como MMGS según Inventor Professional, como se aprecia en la figura 44.

Figura 44

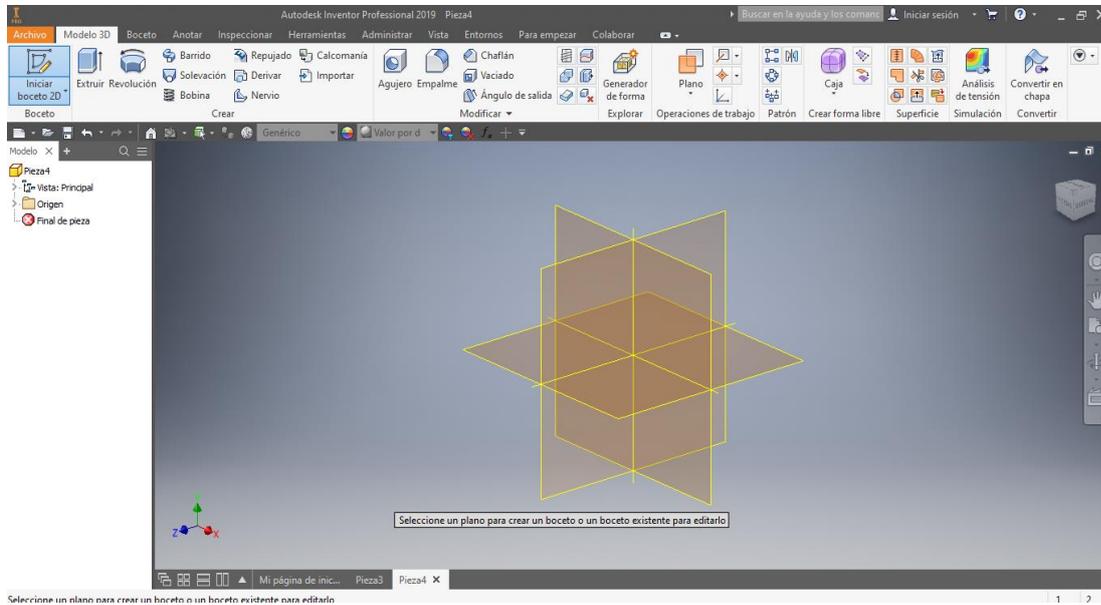
Selección de Unidades con que se Trabaja la Pieza



Para luego determinar el plano sobre el cual se va a iniciar el trabajo como se muestra en la figura 45.

Figura 45

Selección de Plano con que se Trabaja la Pieza

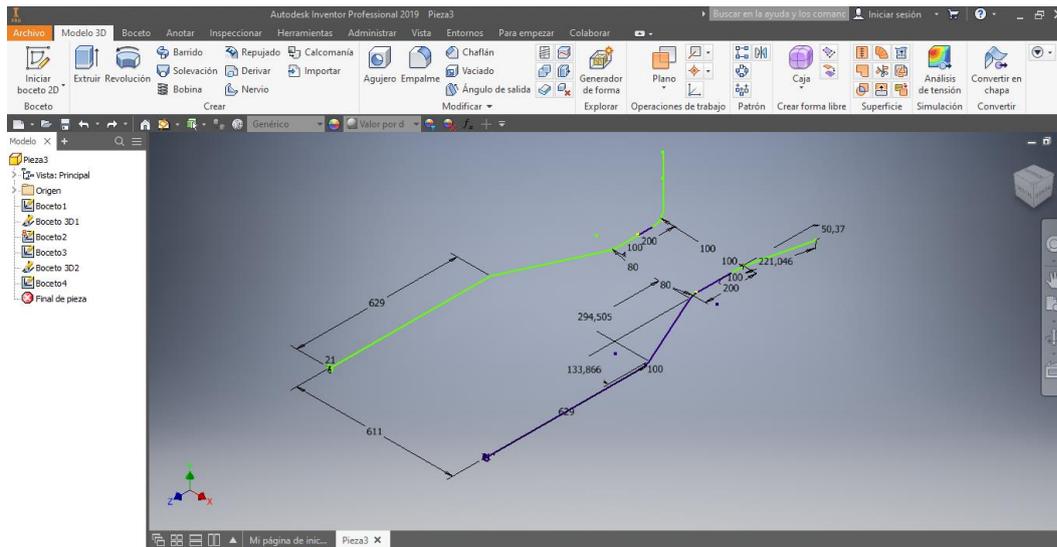


3.2. Ideación, Análisis y Selección

3.2.1. Modelado de la Estructura del Chasis

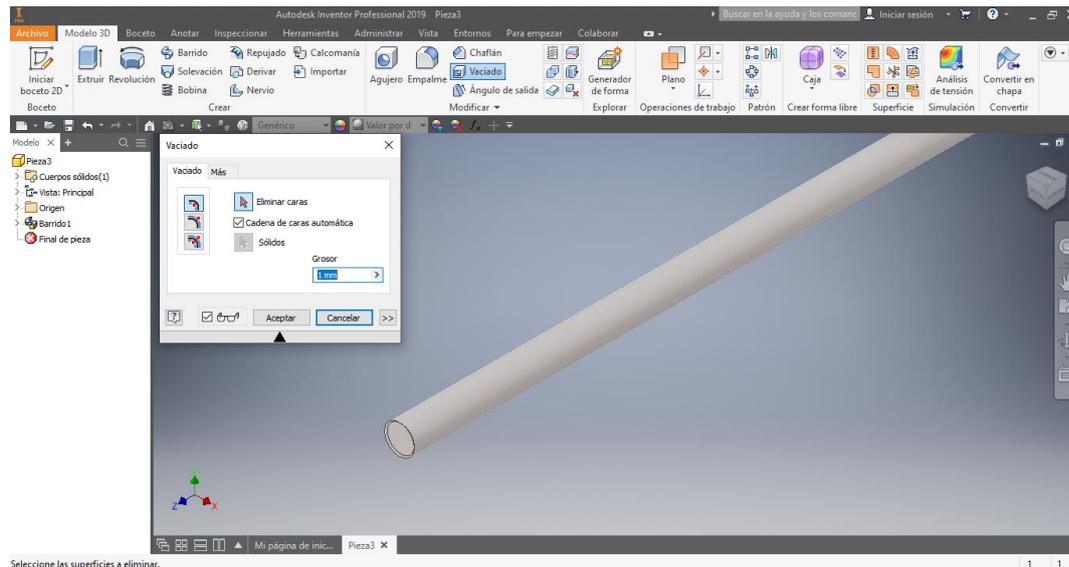
Se inicia realizando la estructura por partes en 2D, para lo cual se utilizó en programa Inventor profesional, herramienta de vital importancia en este proyecto ya que es la que permite la creación de las geometrías en 2D, 3D y adicional el análisis estructural para la verificación de los puntos críticos internos y externos en la pieza, para este proyecto se realizaron las partes del chasis paso a paso; es decir, por partes formando un solo elemento sólido, de forma que no se utilizaron ensambles para la unión de los bastidores, como se observa en la figura 46, el inicio del dibujo en dos dimensiones del chasis de kart homologado a través de una representación alámbrica la misma que tiene una gran ventaja y es que permite observar los mínimos detalles como características de líneas y aristas que son de gran ayuda al momento de dibujar.

Figura 46
Representación Alámbrica

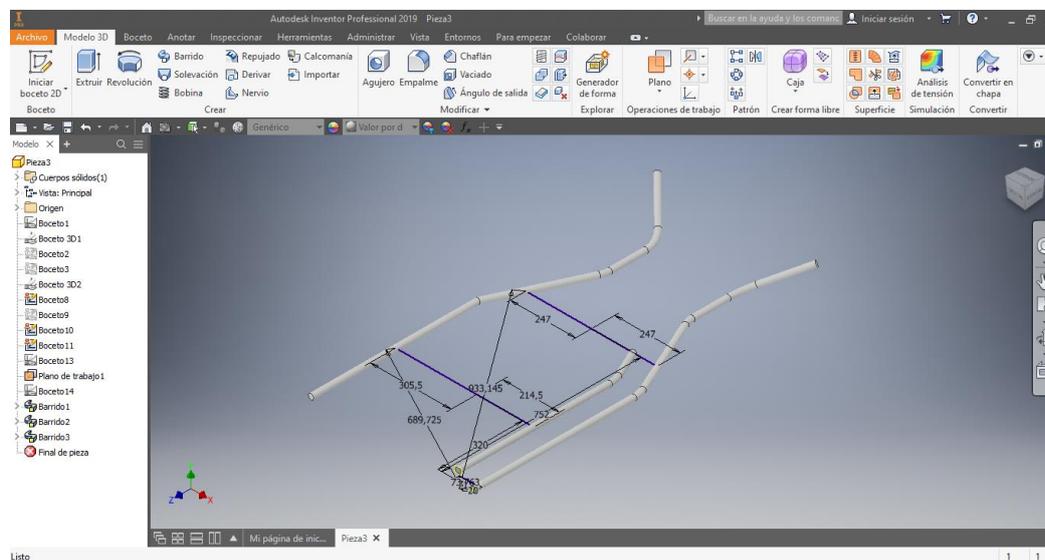


Una vez realizada la debida explicación en el párrafo anterior, se menciona que se efectúa la parte más susceptible a constantes esfuerzos por distintos tipo de masa a soportar; en este caso se indican, los bastidores largos del medio donde se ubica el asiento del piloto, motor, ejes de dirección y suspensión del kart, cumpliendo estos la función de soporte principal en el monoplaza durante una competencia; pero es importante recalcar, que para obtener resultados cercanos a la realidad es imprescindible realizar un dibujo con medidas precisas; por lo que, los tubos del vehículo son huecos y cuentan con un espesor de 1.9 mm; mientras que el diámetro en esta pieza varían según la ubicación del tubo en mención, por esta razón se procede a utilizar como herramientas principales de dibujo el barrido como se observa en la figura 47 , la extrucción, la revolución, chaflan, empalmes y simetría en las diferentes formas creadas, hasta obtener un solo elemento sólido, de acuerdo lo indique el diseñador que es el operador directo mediante el programa.

Pero lo que se debe siempre es tener en cuenta lo establecido por parte del reglamento de la CIK-FIA y respetando las dimensiones y especificaciones técnicas con las que se generan la construcción y simulación del kart en estudio.

Figura 47*Boceto*

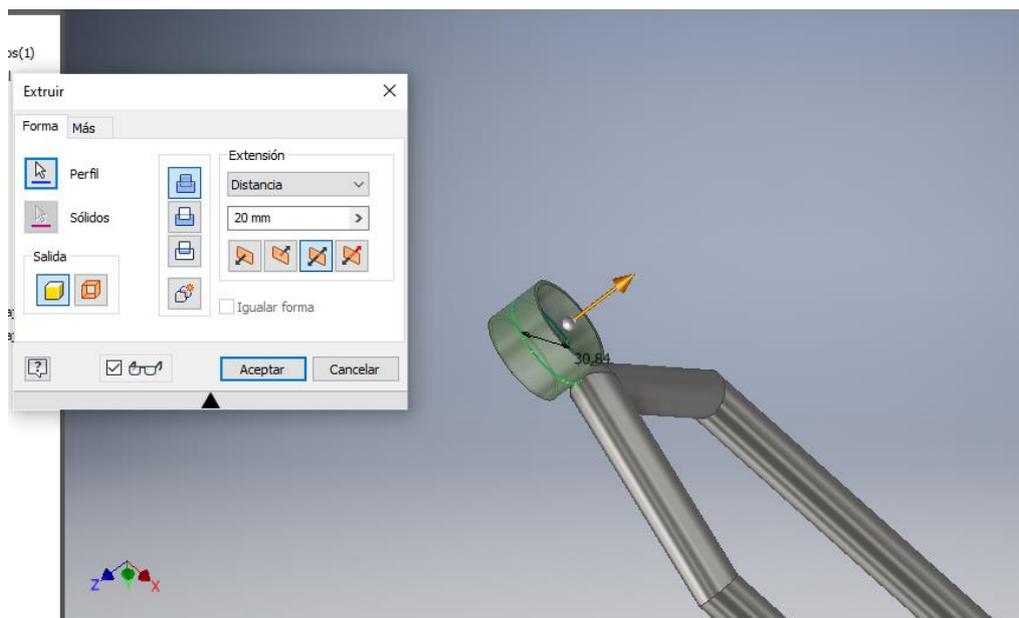
En la herramienta barrido, se encuentra la opción de obtener un estilo de geometría en una forma de recorrido por lo que fue utilizada en su gran parte para los bastidores, de manera que facilitó la creación del chasis de un karting homologado, tal como se observa en la figura 48, donde se determina la ruta o recorrido de una forma, según las especificaciones otorgadas al programa por el diseñador.

Figura 48*Operación Barrido*

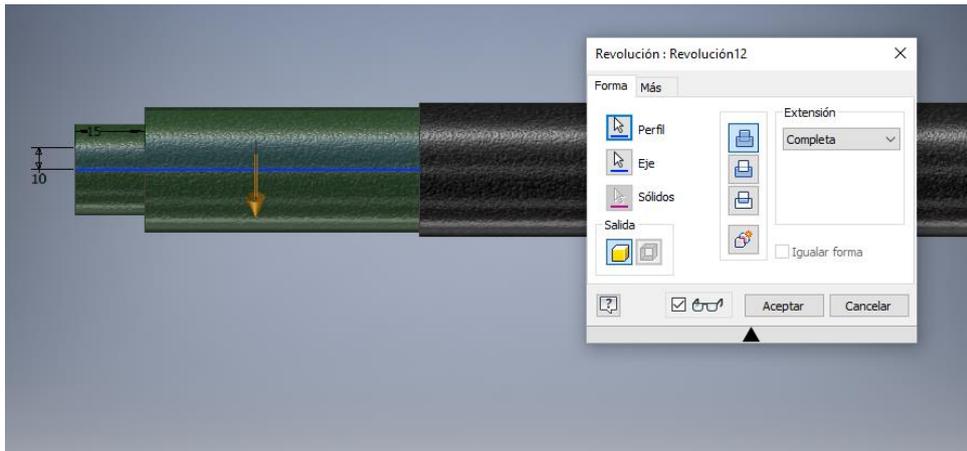
Por otro lado, es de suma importancia mencionar y describir el proceso de la utilización de la variedad de herramientas con la que cuenta el programa inventor profesional con el fin de aplicar los conocimientos adquiridos que aportan a gran escala al análisis a realizar en el proyecto; así pues, se indica como la extrusión al procedimiento de crear un sólido a partir de un modelo plano 2D; tal como se observa en la figura 49; de manera que, al igual que el barrido es una de las herramientas más utilizadas durante la generación del chasis homologado de kart.

Figura 49

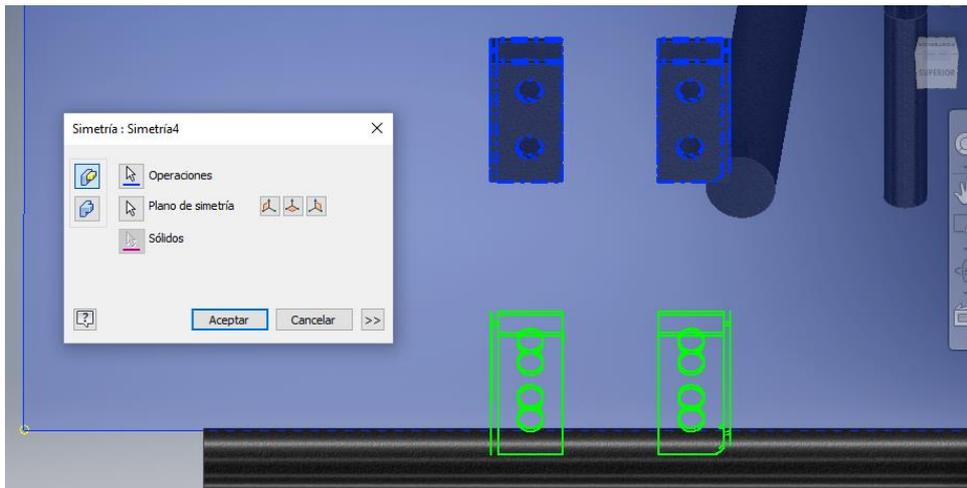
Operación Extrusión



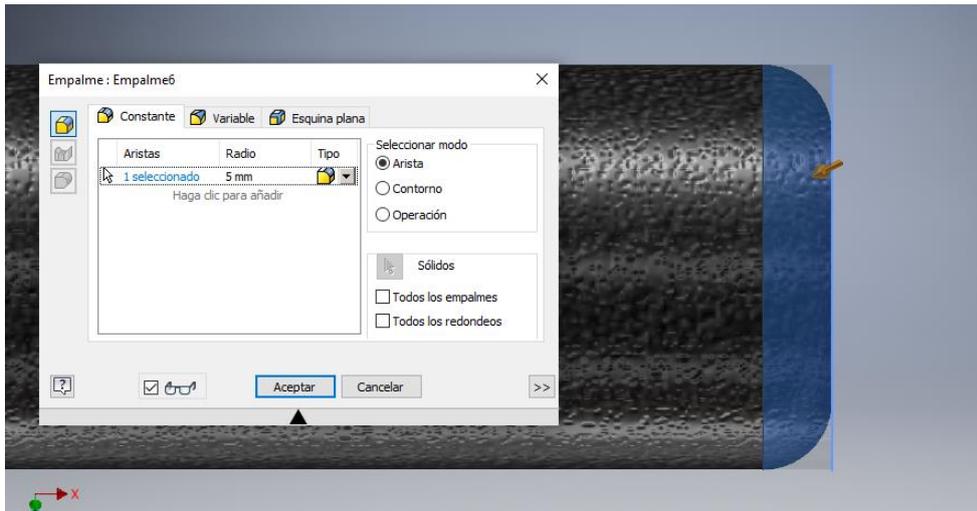
Para seguir con el detalle del proceso de creación del sólido, se muestra como otra herramienta utilizada de la misma forma que las anteriores mencionadas la revolución, que permite la creación de un cuerpo a partir de un perfil con una rotación de hasta 360° tal como se muestra en la figura 50, lo que se debe tener en cuenta que existen algunas herramientas dentro del programa Inventor Profesional que permiten hacer la misma operación de distintas maneras y el dibujante debe conocer cuál de estas le acerca en menor tiempo a lograr su objetivo de modelado o de simulación.

Figura 50*Operación Revolución*

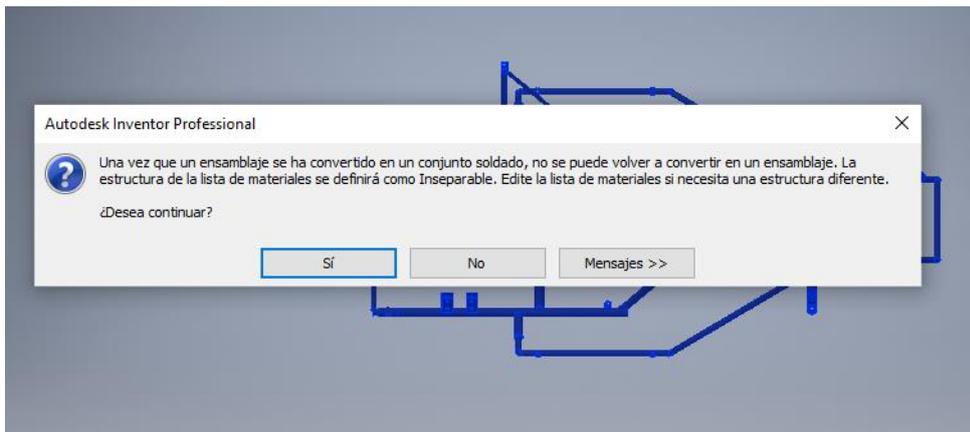
A continuación, para obtener uniformidad en la generación del sólido para este proyecto se procede a utilizar la herramienta simetría de modo que se duplicaban las piezas a la misma distancia según donde se requiera, teniendo muy en cuenta el eje de simetría, como se muestra en la figura 51.

Figura 51*Operación Simetría*

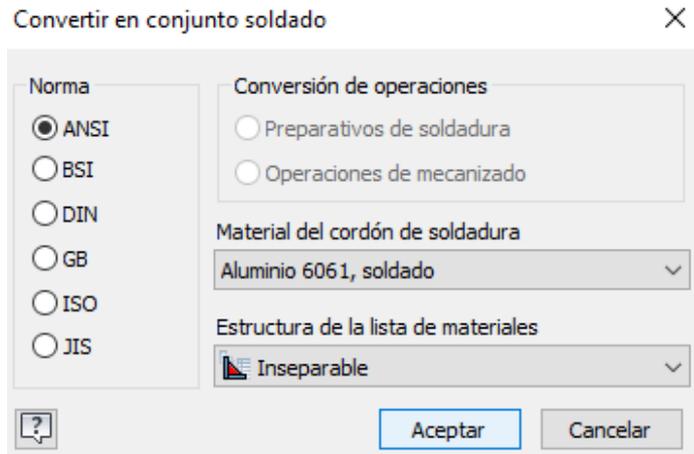
Para finalizar la fase de creación de la geometría, mediante las herramientas chaflan y empalmes, esta última se puede observar en la figura 52, se moldean las piezas que conforman el chasis para un mejor acabado y resultado.

Figura 52*Operación Empalme*

Una vez realizado el proceso anterior se procede a realizar la unión total y creación de un solo sólido mediante la herramienta de soldadura, que permite que los puntos intersectados se unan de manera uniforme, tal como se observa en la figura 53.

Figura 53*Creación de Soldadura en el Chasis*

Así mismo se selecciona la normativa a seguir para realizar el ya mencionado conjunto soldado del bastidor, donde se indica elegir normas ANSI, donde se utiliza un cordón de soldadura de aluminio, que se encuentra dentro de las especificaciones de la reglamentación de la CIK-FIA, la pantalla que presenta Inventor Profesional para esta herramienta se muestra en la figura 54.

Figura 54*Selección de Normativa.*

3.3. Cálculos de Carga

Dentro del estudio estructural para el kart en el presente proyecto investigativo es de suma importancia considerar las siguientes cargas estáticas y dinámicas como se detalla a continuación:

- Cargas estáticas: Carga muerta y carga viva.
- Cargas dinámicas: Carga de aceleración brusca, carga de resistencia al aire frontal, carga de giro y carga de frenado.

Carga Muerta (M), este tipo de carga corresponde a la sumatoria de todos los pesos que soporta y constituye la propia estructura que para el presente estudio es el chasis, teniendo en cuenta el tipo de material con el que están cada uno construidos, que para el caso del chasis en estudio es de 65 kg.

$$M = Mt * g$$

$$M = 65 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$M = 637 \text{ N}$$

Carga Viva (V), este tipo de carga en cambio es considerada por todos los pesos extras a la estructura del monoplaza como el peso del piloto incluido los aditamentos de protección y

seguridad, que en este caso según (NCD-RisC, 2020) establece que “el peso promedio de los hombres ecuatorianos es de 74.2 kg.

$$V = Vt * g$$

$$V = 74.2 \text{ kg} * 9.8 \text{ m/s}^2$$

$$V = 726.16 \text{ N}$$

Carga de Frenado (F), esta carga es normalmente considerada como el peso de la estructura del monoplaza, y para el presente estudio se extrajo el valor de la aceleración de la Norma INEN 2313, que es de 4 m/s^2 .

$$F = Mt * a$$

$$F = 65 \text{ kg} * 4 \text{ m/s}^2$$

$$F = 260 \text{ N}$$

Carga de Aceleración Brusca (Ab), considerada como el aumento súbito de la velocidad en un rango menor de tiempo.

$$Ab = (Mt) * (-a)$$

$$Ab = 65 \text{ kg} * (-4 \text{ m/s}^2)$$

$$Ab = -260 \text{ N}$$

Carga de Giro (G), cargas generadas por las curvas de la pista por donde se desplazará el monoplaza y para los valores promedios tomados para este estudio son de una velocidad de 90 km/h o 25 m/s y un radio promedio de las curvas de 350 m.

$$G = (Mt + Vt) * \frac{V^2}{r}$$

$$G = (65 \text{ kg} + 74.2 \text{ kg}) * \frac{(25 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{350 \text{ m}}$$

$$G = 344.5 \text{ N}$$

Carga de Resistencia del Aire de Manera Frontal (Raf), cargas generadas por la resistencia del aire cuando el monoplaza se desplaza en pista y se toma en cuenta para el

presente estudio los siguientes datos: densidad del aire $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$, coeficiente de resistencia aerodinámica $Cx = 0.7$ y un área de proyección promedio de $Af = 0.18056 \text{ m}^2$

$$Raf = \frac{Cx * \rho * Af * V^2}{2}$$

$$Raf = \frac{0.7 * 1.225 \text{ kg/m}^3 * 0.18056 \text{ m}^2 * (25 \text{ m/s})^2}{2}$$

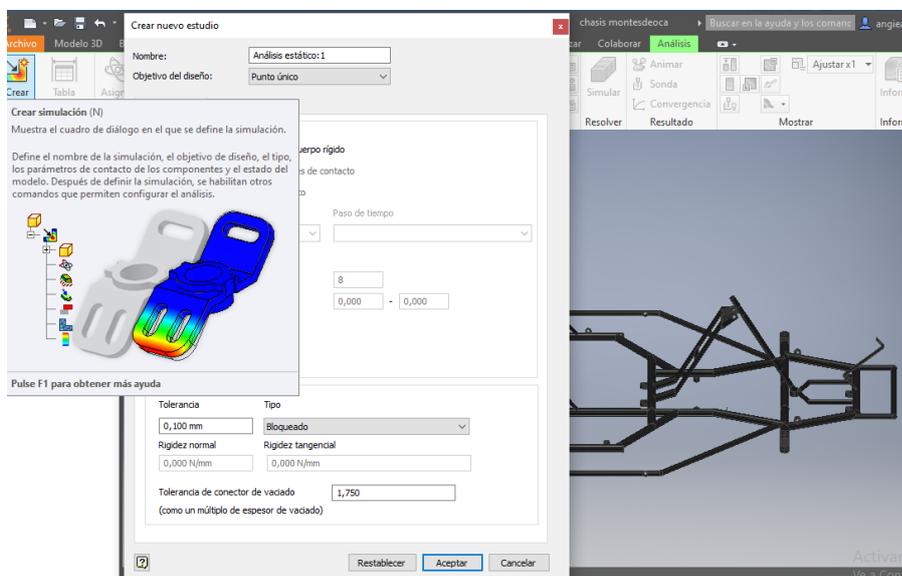
$$Raf = 48.38 \text{ N}$$

3.4. Análisis Estructural del Chasis Mediante Inventor Professional

Una vez realizado la estructura con las herramientas antes mencionada se procede a realizar la simulación estructural del chasis homologado de kart, para esto seleccionamos análisis, seguido de análisis de tensión, donde posterior se crea un estudio, donde se indica el estado en el que se realizará el mismo; es decir, se establecen las medidas a utilizar en el mismo, tal como se observa en la imagen 55, tomando en cuenta algunas características como lo es que parte de la estructura del chasis va a soportar las cargas, el tipo de material a ser utilizado o determinado por el reglamento de la competencia.

Figura 55

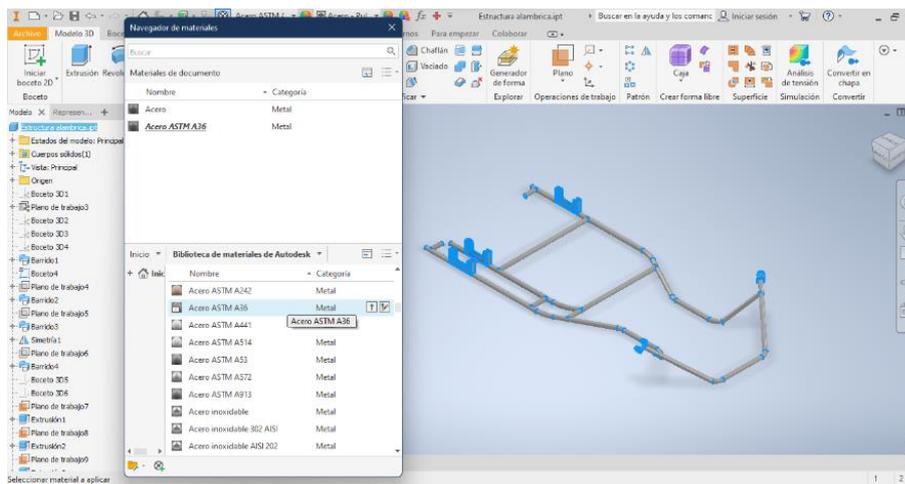
Creación de Simulación



Siiguiente a lo realizado se procede a seleccionar el material a utilizar en la herramienta asignar; en este caso, se colocó acero ASTM A36 a los elementos estructurales, el mismo que posee una densidad de 7.85 g/cm^3 , un límite de elasticidad de 248.225 MPa y una resistencia máxima a la tracción de 399.9 MPa , tal como se puede ver en la figura 56.

Figura 56

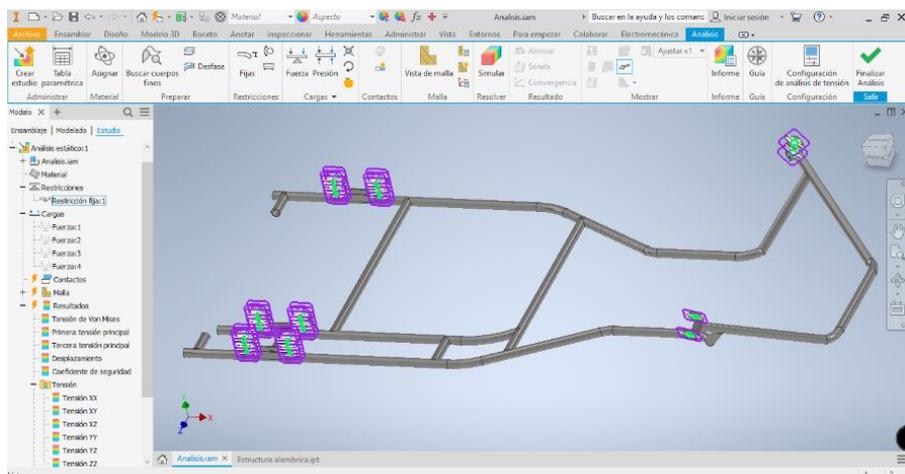
Selección de Material



Una vez seleccionado el material para el chasis de kart se restringen las sujeciones; es decir, se delimitan debido a que son los puntos de anclaje de las manguetas de dirección y el eje trasero del vehículo, tal como se observa en la figura 57.

Figura 57

Restricción



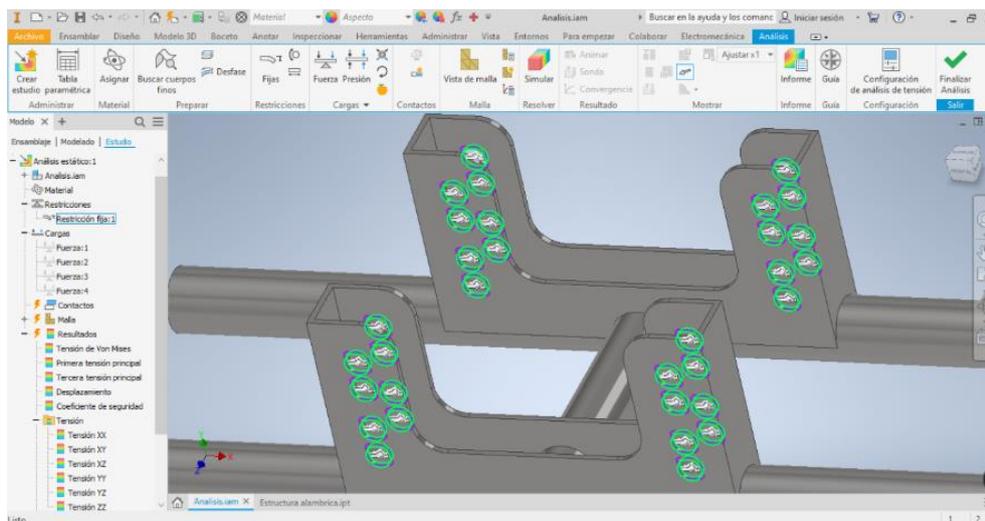
Una vez realizada las restricciones, se colocan las cargas sobre el elemento a analizar en este caso el chasis homologado, donde se ejercerán cargas de igual forma en los puntos de anclaje del vehículo; en este caso, se vuelve a mencionar las manguetas de dirección y el eje trasero del kart, así como se observa en la figura 58.

Para el caso de las restricciones frontales estas están determinadas en los anclajes de las ruedas delanteras y para al caso de las restricciones posteriores estas están situadas en las bases de los porta chumaceras, teniendo en cuenta que estas restricciones son fijas por motivos propios del estudio o simulación requerida para la presente investigación.

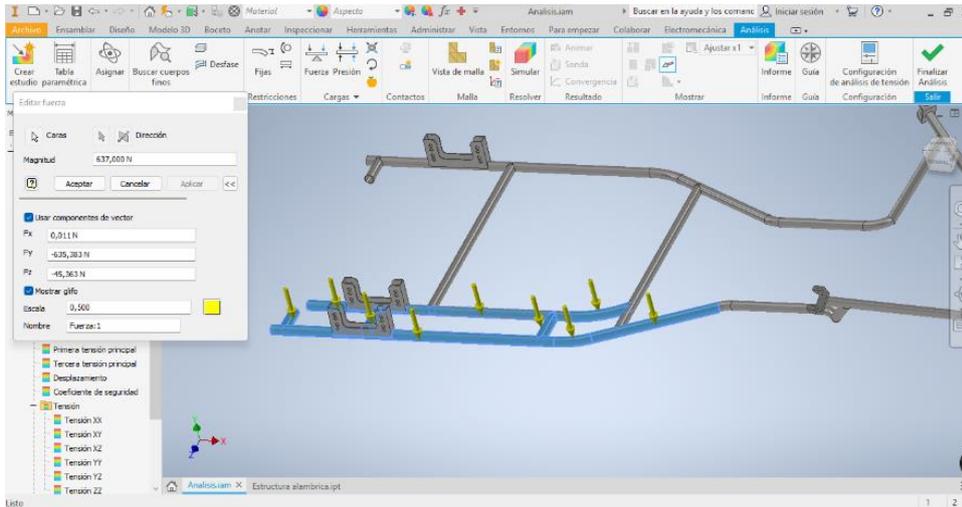
El criterio para colocar las restricciones es de suma importancia para el comportamiento de la estructura al momento de que se genere la simulación ya que si se las aplica con un criterio erróneo se presentarán un proceso con irregularidades o en casos extremos no se podrá realizar dicha operación.

Figura 58

Aplicación de Restricciones

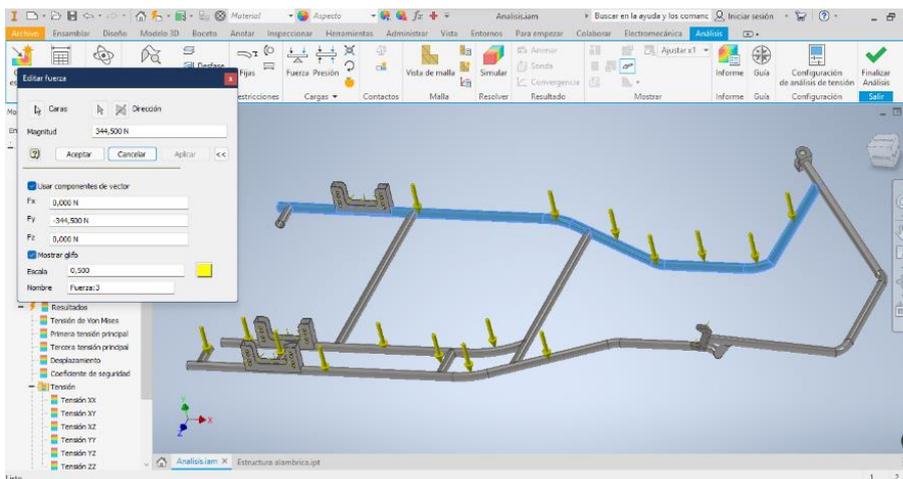


Luego de haber realizado los cálculos matemáticos y extracción de los valores de cargas, iniciamos aplicando todas las cargas que soporta la estructura del chasis y de igual manera la dirección según el correcto criterio de aplicación, como se muestra en la figura 59.

Figura 59*Aplicación de Cargas*

Luego de concluir con la aplicación de las respectivas cargas y continuando con el proceso correspondiente del estudio estructural, como por ejemplo la carga dinámica de giro como se muestra la figura 60.

La carga de giro es tomada en cuenta en la estructura del kart por la tangente de la directriz original del elemento y por la directriz de la tangente que se producirá en la deformación y para su análisis se da comparando las condiciones iniciales con las condiciones finales luego de la deformación.

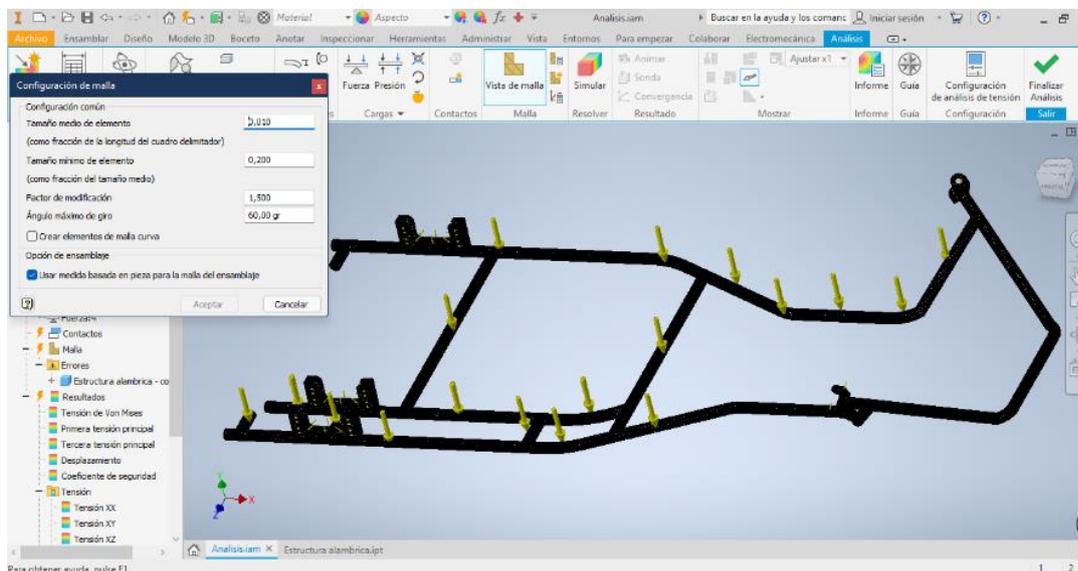
Figura 60*Aplicación de Cargas Dinámica de Giro*

Posteriormente de haber colocado sobre las estructura las cargas muertas, cargas vivas, se procede a determinar la malla y el tipo de mallado sobre la estructura realizada, donde se consideran los siguientes parámetros dentro de la configuración común: tamaño medio del elemento, tamaño mínimo del elemento, factor de modificación y el ángulo máximo de giro, tal como se observa en la figura 61.

Todas estas características son requeridas al momento de generar el mallado estructural; es decir, el mismo que es parte del análisis de elementos finitos que a su vez se indica que estos son puntos que se encuentran conectados o enlazados y se los denomina nodos o puntos nodales.

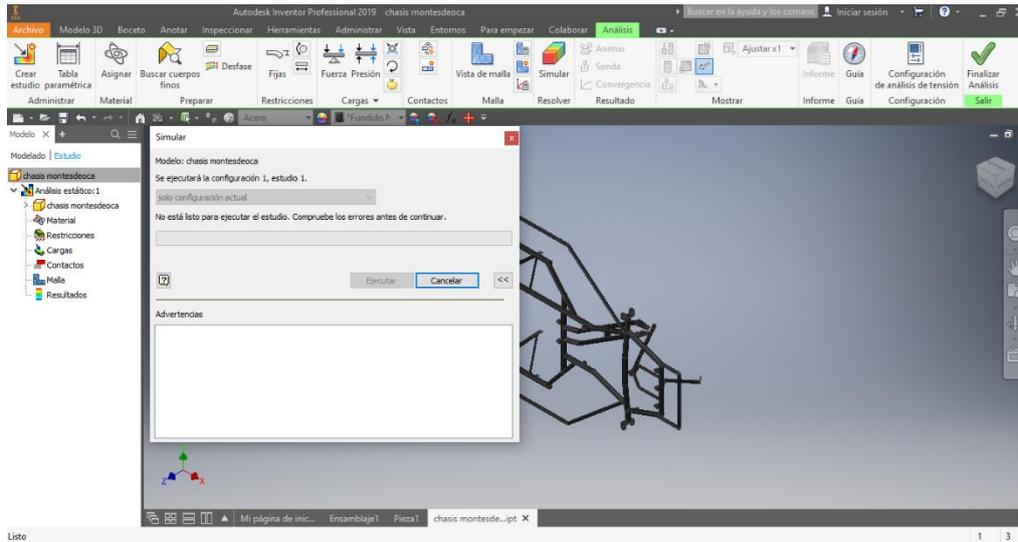
Figura 61

Determinación del Mallado



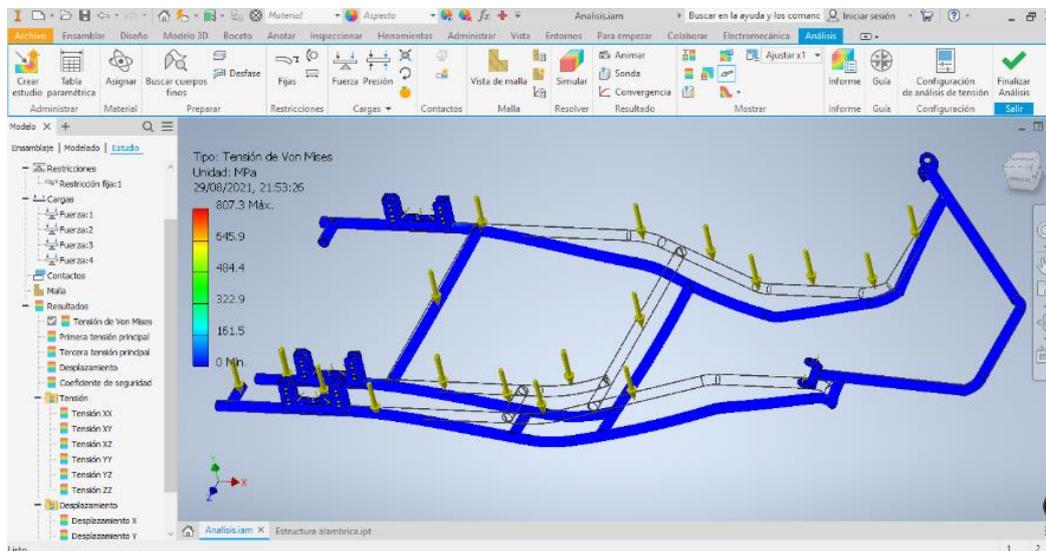
Luego de tener todos los parámetros tomados en cuenta durante la realización de este proyecto y aplicados sobre el software utilizado; en este caso, Inventor Professional se procede a ejecutar la activación del desarrollo de la simulación de la manera en cómo se puede observar en la figura 62.

Figura 62
Generación de Simulación



Este proceso normalmente dependiendo de la complejidad del análisis suele tardar un tiempo hasta que el software genere los cálculos y permita mostrar los resultados correspondientes a través de gráficos visuales y por lo general con rangos numéricos y un rango colorimétrico, como se muestra en le figura 62.

Figura 63
Resultado de la Simulación



De esta manera se concluye con la metodología para la obtención de resultados del análisis estructural del elementos en estudio que para el presente es el del chasis del kart, luego de esto lo que se realiza es el análisis de los resultados obtenidos.

Capítulo IV

Análisis e Interpretación de Resultados

4.1. Análisis de Diseño.

Como se presenta en el capítulo anterior a través de la respectiva metodología se generó la simulación del chasis del kart y esto permite proceder a realizar el análisis correspondiente a los resultados obtenidos pero considerando algunos parámetros de cada una de las partes y piezas que conforman el monoplaza en estudio que es donde son aplicadas las cargas determinadas con sus respectivas características del material que se seleccionó según la reglamentación de la competencia.

El análisis correspondiente a los lugares donde fueron ubicadas cada una de las cargas sobre la estructura fija fueron las manguetas en las que permiten el alojamiento de las ruedas delanteras y en las bases de los soportes posteriores donde descansará el eje posterior, a estos cuatro puntos se los determina como puntos de anclaje.

Este análisis correspondiente al proceso de diseño se debe tomar en cuenta los esfuerzos que debe soportar la estructura a través del diseño de carga y resistencia con sus siglas LRFD el mismo que es determinado por los factores de las combinaciones básicas, estructurales y consideraciones de diseño sin que estas excedan a los factores de cargas forzadas y respetando lo establecido en la normativa de la reglamentación.

Esta manera se conjugan los valores obtenidos por carga muerta, carga viva y la cargada e giro, las mismas que fueron definidas y calculadas con anterioridad, para luego ser aplicado los respectivos valores al software a través de las combinaciones seleccionadas, para luego ser ejecutadas y generar de esta manera los resultados para sus respectivo análisis.

4.2. Descripción de Simulación Realizada.

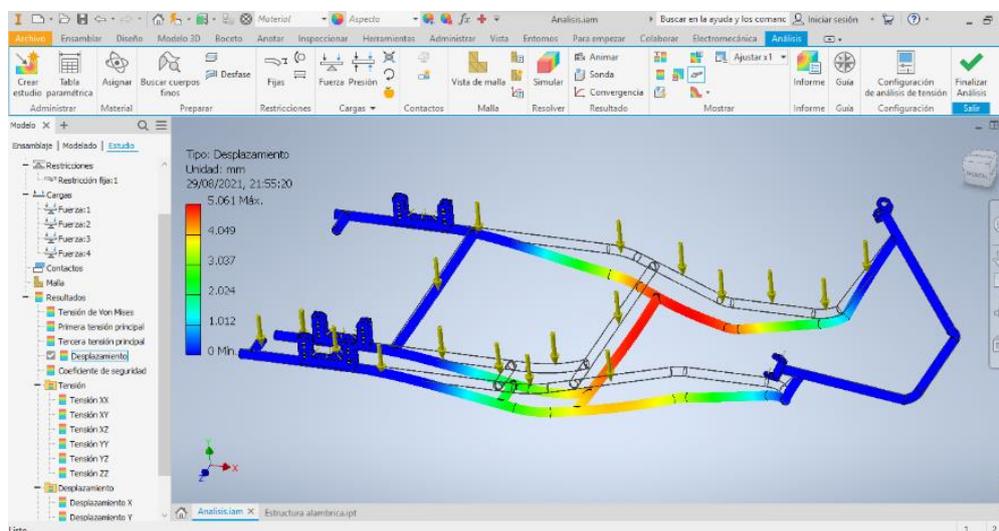
La descripción de combinación de factores con las cargas generadas sobre la parte estructural del chasis del kart y aplicadas según el método de diseño de carga y resistencia son

seleccionadas de acuerdo con algunas opciones que brindan la reglamentación de la competencia basadas en la norma aplicada que para el caso del presente estudio se determina de la siguiente manera: para carga muerta 1.2, para carga viva 0.5 y para carga de giro 1.6.

Estos factores permiten conocer cuál es la parte de la estructura que presenta mayor susceptibilidad a deformación, en la que primeramente se fijan las respectivas combinaciones con el valor más bajo de seguridad y en las que se determina cual es la que genera mayor deformación y de acuerdo a la simulación del software genera los siguientes resultados principales, como se puede observar en la figura 64:

Figura 64

Resultado de la Simulación por Deformación



Dentro de los valores obtenidos por el software y que también deben ser considerados en el análisis están las propiedades físicas del chasis del kart, pero considerando que estos valores físicos pueden ser diferentes a los valores físicos utilizados por el análisis de elementos finitos CEF como son:

- Masa = 3,45 kg
- Área = 819080 mm²
- Volumen = 439643 mm³

Centro de gravedad: $x = -93.8995$ mm, $y = -75.0427$, $z = 33.5105$ mm

4.3. Resultado de Pruebas Realizadas.

En los resultados obtenidos por parte de la simulación de la estructura del chasis del kart a través de Inventor Profesional son los siguientes:

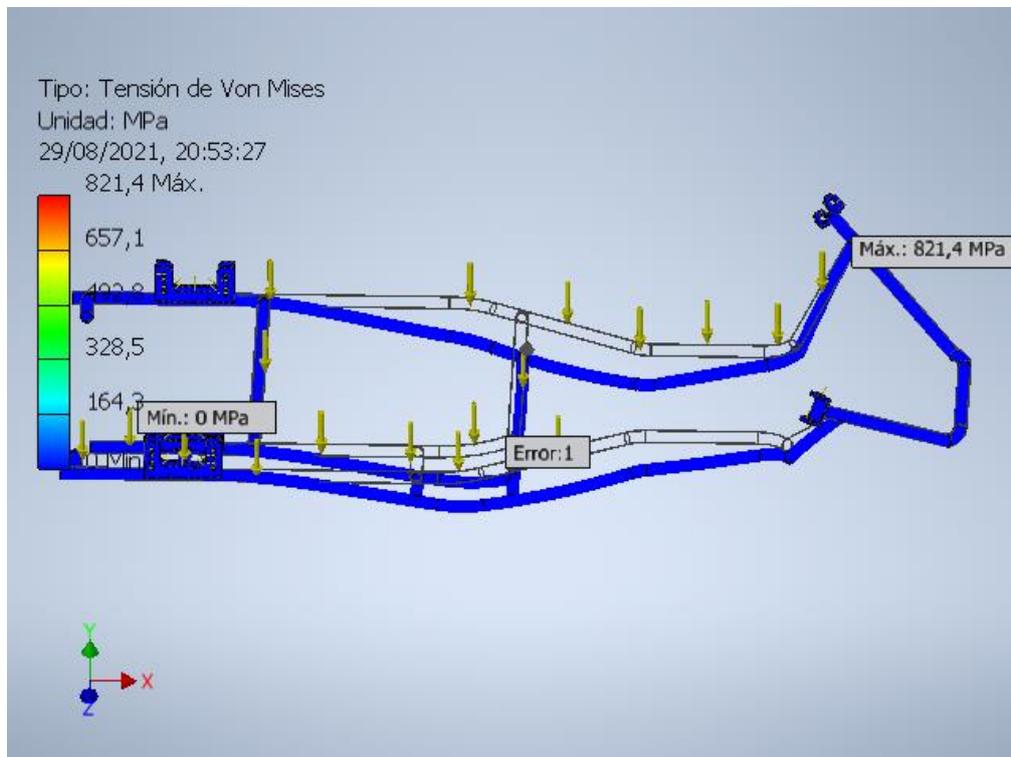
- Tensión de Von Mises
- Primera tensión principal
- Tercera tensión principal
- Desplazamiento
- Coeficiente de seguridad
- Tensión XX
- Tensión XY
- Tensión XZ
- Tensión YY
- Tensión YZ
- Tensión ZZ
- Desplazamiento X
- Desplazamiento Y
- Desplazamiento Z
- Deformación equivalente
- Primera deformación principal
- Tercera deformación principal
- Deformación XX
- Deformación XY
- Deformación XZ
- Deformación YY

- Deformación YZ
- Deformación ZZ

En lo concerniente al análisis de tensiones principales se tiene la de Von Mises máximas originadas por el CEF y de acuerdo con la tonalidad de colores esta arroja un valor máximo de 821.36 MPa que en definitiva es el esfuerzo equivalente el cual se encuentra por debajo al límite de fluencia para el material con que se colocó a la estructura y como se muestra en la figura 65, no presenta puntos críticos que a través de colores serían tonos rojos.

Figura 65

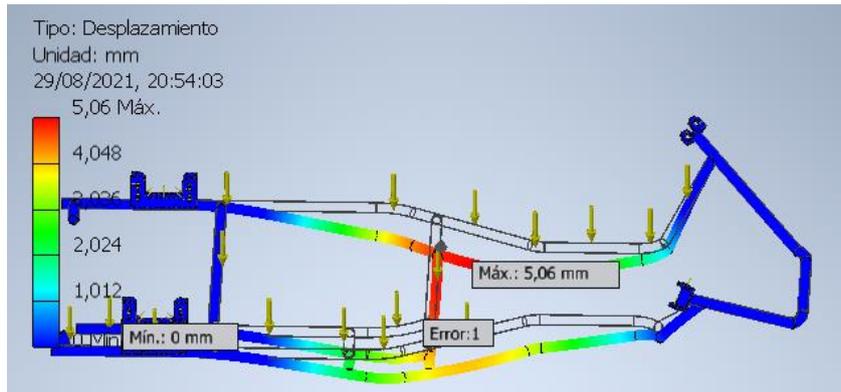
Resultado de la Simulación por Tensión de Von Mises



En lo concerniente a deformaciones estos son el producto de los desplazamientos máximos que se producen en la estructura del chasis del kart luego de ser aplicado las respectivas cargas y para el presente estudio el valor máximo por deformación es de 5.06 mm en la parte central del chasis con respecto al eje transversal central hacia la parte frontal y hacia abajo generado por efecto de la respectiva carga como se muestra en la figura 66.

Figura 66

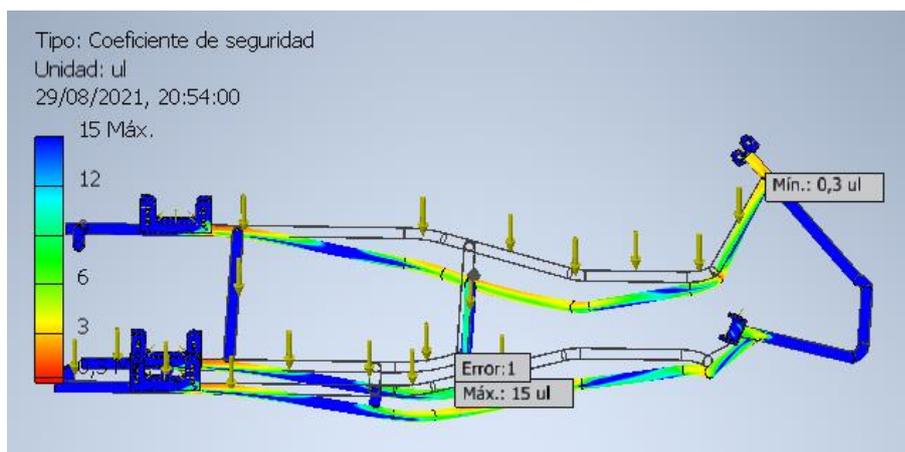
Resultado de la Simulación por Deformación Comportamiento I



También es análisis nos permite conocer y analizar el coeficiente de seguridad que de acuerdo al material y al tipo de perfil utilizado en el diseño del chasis del kart este deber estar en un valor menor a resistencia del material y de esta manera el chasis al momento del entrar en funcionamiento no genere rupturas y según bibliografía como estudios realizados estos recomiendan que este valor debe ser igual o mayor a 4, lo que para el presente estudio el valor obtenido es de 15, siendo este un dato muy importante como se muestra en la figura 67, tomando en cuenta que para poder interpretar este resultado de acuerdo a los colores el máximo en este caso es de 15 y va con color azul y el mínimo es 0 y va con color rojo, siendo este comportamiento contrario a los anteriores referente al valor máximo.

Figura 67

Resultado de la Simulación por Coeficiente de Seguridad

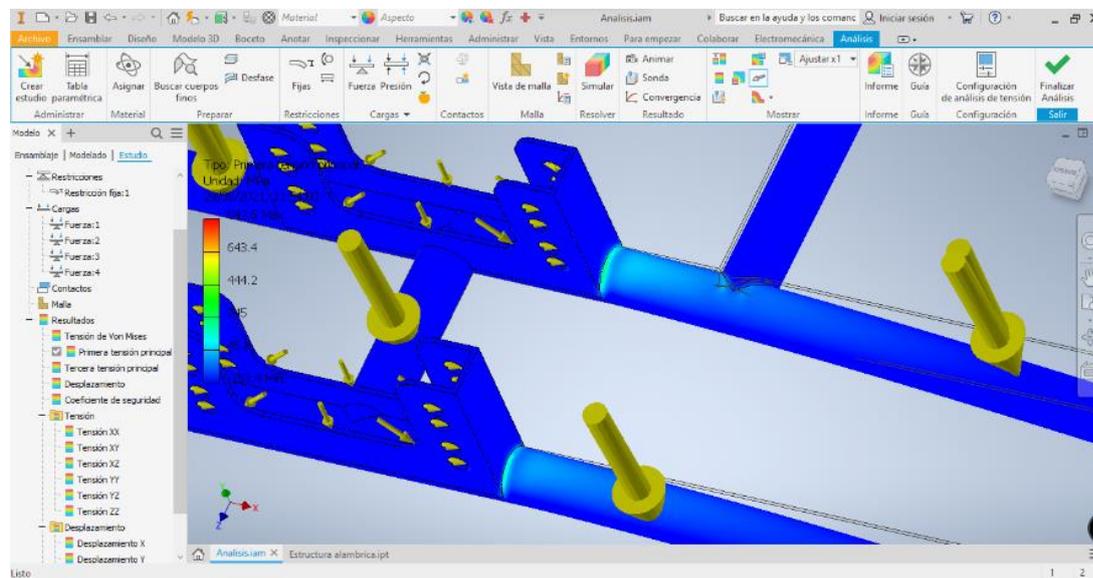


4.4. Comparativas de las Pruebas Realizadas.

Luego de haber observado y comparado los valores obtenidos de esfuerzos, tensiones máximas generadas, deformaciones y coeficiente de seguridad se genera un análisis comparativo llegando de determinar que la estructura del kart presenta mayores cargas en las bases del eje posterior como se muestra en la figura 68 y el mayor desplazamiento se presente en la parte central con dirección a la parte frontal con dirección a las manguetas y los puntos de soldadura de estas, las mismas que si se aplicaría una sobrecarga es probable que sea propenso a un punto de falla, pero con los parámetros obtenidos en la simulación la estructura en estudio soporta todos los parámetros en este tipo de competencia.

Figura 68

Resultado de la Simulación por Concentración de Esfuerzos en la Base de Eje Posterior



Conclusiones

- Por medio del presente proyecto investigativo se logró obtener información bibliográfica actualizada a la fecha del estudio en cuanto a reglamentación de competencias de karting a través de la CIK – FIA así como especificaciones técnicas que es la parte fundamental para poder modelar y simular cada una de las partes y estructura de un kart homologado así como designación del tipo de material como lo fue el acero ASTM A36.
- Luego de la simulación se determinó los puntos críticos internos y externos del análisis estructural del chasis de kart homologado así como su factor de seguridad y estos fueron los siguientes: Tensión de Von Mises con valor máximo de 821.36 MPa, desplazamiento máximo en la estructura de 5.06 mm que se produjo en la parte central con prolongación a la parte frontal y coeficiente de seguridad de 15 que a través de valores referenciales de bibliografías esta debe ser igual o mayor a 4, permitiendo de esta manera determinar que la estructura del chasis de kart no llegará a sufrir una deformación plástica.
- A través de la utilización del software Inventor Profesional se logró generar de manera virtual las pruebas estáticas y dinámicas para un chasis homologado de kart así como observar el comportamiento estructural bajo condiciones de funcionamiento a través de cargas, concluyendo de esta manera que el chasis brinda las condiciones adecuadas de funcionamiento bajo todos los parámetros establecidos por la reglamentación.

Recomendaciones

- En cuanto a la metodología aplicada se recomienda utilizar los datos de manera actualizada en lo referente a la reglamentación por parte de la CIK –FIA que es el ente regulador a nivel mundial para competencias de karting.
- Para lo concerniente al modelado y simulación a través del software Inventor Profesional es recomendable tener experiencia en su manejo así como aplicar el criterio correcto que permita alcanzar en menor tiempo y de manera correcta el objetivo del estudio.
- De manera técnica se recomienda contar con un equipo computacional idóneo en cuanto a características de procesamiento y tarjeta de video adecuada que permita realizar este tipo de trabajos caso contrario se podrían presentar dificultades al momento de modelar y simular la estructura.

Bibliografía

- Artés, D. (2018). Aerodinámica del automóvil: principios básicos. *Diario Motor*. Recuperado el 8 de Agosto de 2020, de <https://www.diariomotor.com/consejos/aerodinamica-del-automovil-principios-basicos/>
- AutoDesk. (2020). *Información corporativa*. Recuperado el 18 de Agosto de 2020, de <https://www.autodesk.com/company/newsroom/corporate-info>
- AutoDesk. (2020). *Inventor Professional*. Recuperado el 18 de Agosto de 2020, de <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>
- Ballesteros, R. (2004). *Turbulencia*. España: Universidad de Oviedo.
- Beléndez, A. (1992). *Acústica, Fluidos y Termodinámica*. España: Universidad de Alicante.
- Dassault Systemes. (2021). *SolidWorks*. Recuperado el 4 de Enero de 2021, de <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Definición.de. (2008). *Iteración*. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de <https://definicion.de/iteracion/>
- FIA. (20 de 04 de 2021). *fiakarting*. Obtenido de fiakarting: <https://www.fiakarting.com/page/home>
- FIA KARTING. (2020). *Federación Internacional del Automóvil Karting*. Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de <https://www.fiakarting.com/page/home>
- Fraija, I. (2006). *Estudio aerodinámico de los vehículos*. Colombia: Universidad Autónoma del Caribe.
- García, J., Gómez, T., Martín, J., & Águeda, E. (2002). *Automoción- Estructuras del vehículo*. España: Paraninfo.

- Gómez, E. (2009). *Desarrollo de un modelo de simulación vehicular para la mejora en la sincronización de semáforos*. México: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Recuperado el 17 de Julio de 2020, de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/679256/EM_32_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, S. (2017). *Mallado y simulacion de CFD de automovil*. Recuperado el 4 de Enero de 2021, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108947/Mallado_y_simulacion_CFD_de_automovil_-_GOMEZGONZALEZsamuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gutierrez M., J. M. (2016). *Desarrollo de una metodología computacional para el diseño del paquete aerodinamico de un superkart eléctrico*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill Education. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Modon, A. (2017). *Dinàmica de Fluidos*. Recuperado el 01 de Julio de 2020, de <http://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/apuntes-teoricos-de-mecanica-de-los-fluidos-rev9-doc-prot.pdf>
- Perales, A. (2015). *Sistemas CAD/CAE*. Recuperado el 17 de Enero de 2021, de <https://es.slideshare.net/alexiaperez7374/sistemas-cad-cam-cae-y-cnc>
- Plaza, D. (2020). Aerodinámica: capa límite, flujo laminar y turbulento. *Motor.es*. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de <https://www.motor.es/formula-1/aerodinamica-capa-limite-flujo-laminar-turbulento-202063700.html>

- PTC. (2018). *Turbulencia*. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/spanish/index.html#page/simulate/cfd/Turbulence/Definition.html
- Rojas, O., & Salas, J. (1999). Producción automatizada sistemas CAD/CAE/CAM. Recuperado el 17 de Julio de 2020, de https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm
- Satín, E., & Toro, D. (2013). *Diseño y construcción de un kart según las normas CIK/FIA*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- TKART MAGAZINE. (2017). Spoiler. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <https://www.tkart.it/es/magazine/enfoque-tecnico/nuevo-spoiler-birelart-estilo-formula-1/>
- Todo Fórmula 1. (2019). FIA propone aerodinámica activa para 2021. *Todo Fórmula 1*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <https://www.todoformula1.net/fia-propone-aerodinamica-activa-para-2021/>
- Xamán, J., & Guijón- Rivera, M. (2015). *Dinàmica de fluido para ingenieros*. Estados Unidos: Palibrio. Recuperado el 6 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=dwIDDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=cfd+dinamica+fluidos+computacional&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjUmqDQnbrqAhUySN8KHX-nAagQ6AEwAHoECAAQA#v=onepage&q=cfd%20dinamica%20fluidos%20computacional&f=false>

Anexos

Informe Generado por Inventor Profesional

Informe de análisis de tensión



Archivo analizado:	Análisis.iam
Versión de Autodesk Inventor:	2022 (Build 260153000, 153)
Fecha de creación:	29/08/2021, 20:53
Autor del estudio:	Montesdeoca Alex
Resumen:	

Análisis estático: 1**Objetivo general y configuración:**

Objetivo del diseño	Punto único
Tipo de estudio	Análisis estático
Fecha de la última modificación	29/08/2021, 20:48
Estado de modelo	Principal
Vista de diseño	Por defecto
Posicional	Principal
Detectar y eliminar modos de cuerpo rígido	No
Separar tensiones en superficies de contacto	No
Análisis de cargas de movimiento	No

iProperties**Resumen**

Autor	Montesdeoca Alex
-------	------------------

Proyecto

Nº de pieza	Análisis
Diseñador	Montesdeoca Alex
Coste	0,00 €
Fecha de creación	24/08/2021

Estado

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

Propiedades físicas

Masa	3,4512 kg
Área	819080 mm ²
Volumen	439643 mm ³
Centro de gravedad	x=-93,8995 mm y=-75,0427 mm z=33,5105 mm

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

Configuración de malla:

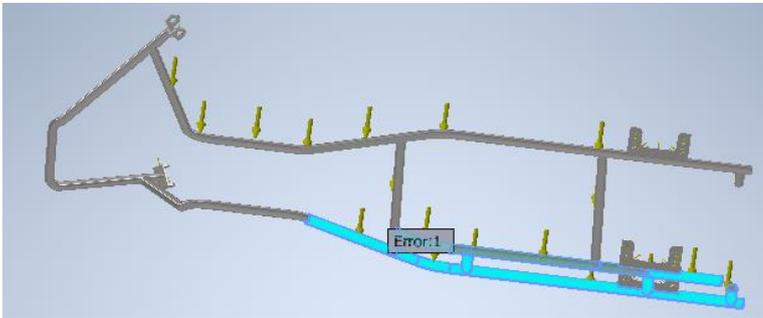
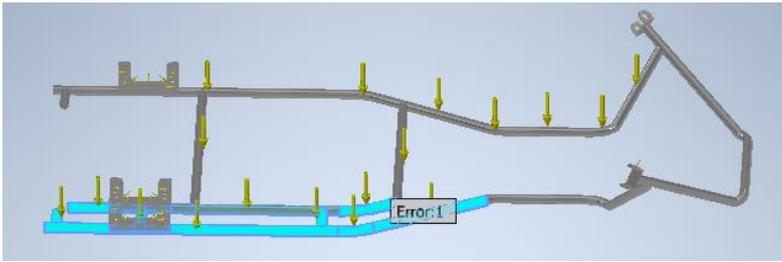
Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo)	0.01
Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio)	0.2
Factor de modificación	1.5
Ángulo máximo de giro	60 gr
Crear elementos de malla curva	No
Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje	Sí

Material(es)

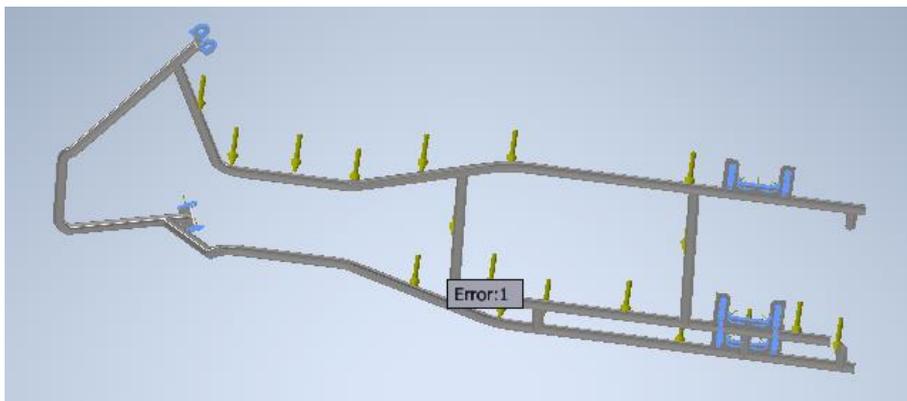
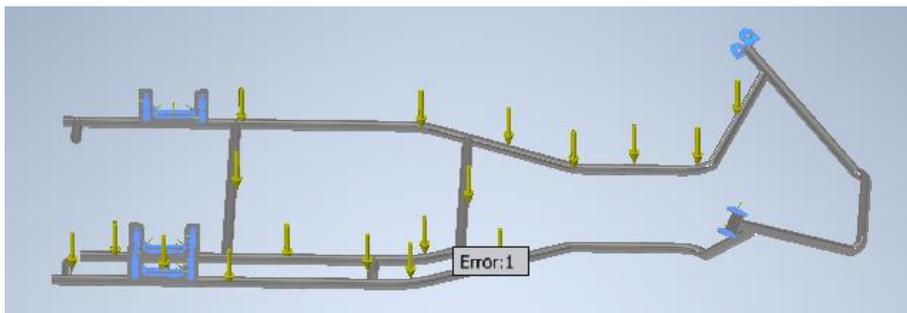
Nombre	Acero ASTM A36	
General	Densidad de masa	7,85 g/cm ³
	Límite de elasticidad	248,225 MPa
	Resistencia máxima a tracción	399,9 MPa
Tensión	Módulo de Young	199,959 GPa
	Coefficiente de Poisson	0,3 su
	Módulo cortante	76,9073 GPa
Nombre(s) de pieza	Estructura alambrica.ipt	

Condiciones de funcionamiento**Fuerza:1**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	637,000 N
Vector X	0,011 N
Vector Y	-635,383 N
Vector Z	-45,363 N

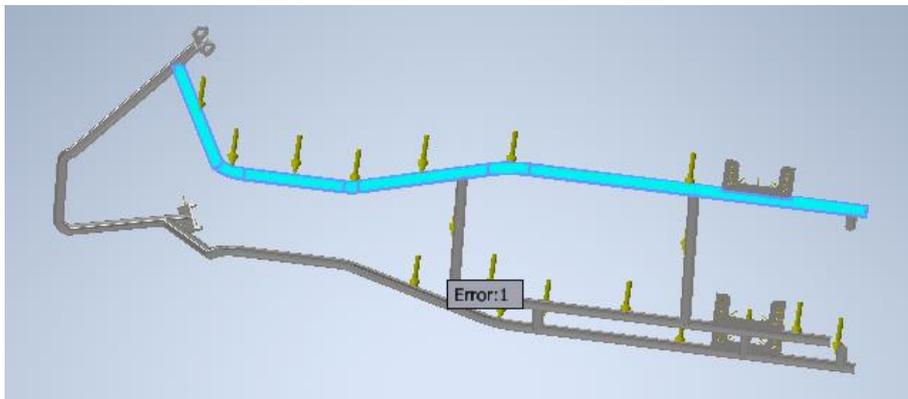
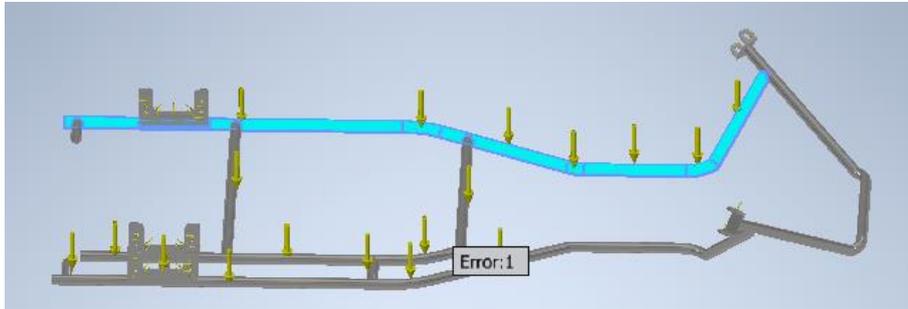
Cara(s) seleccionada(s)**Fuerza: 2**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	51,744 N
Vector X	-19,280 N
Vector Y	-44,915 N
Vector Z	16,981 N

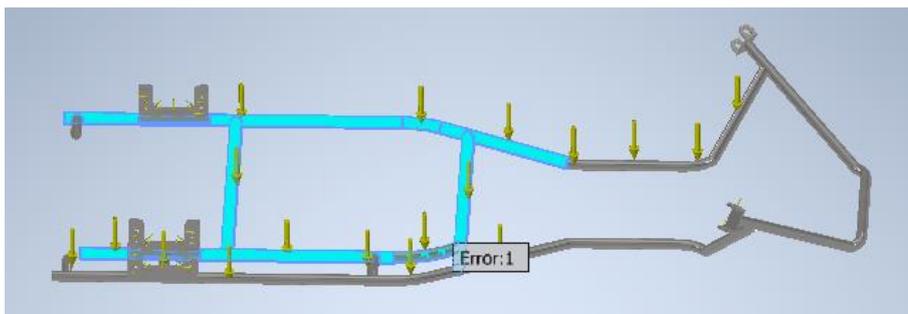
Cara(s) seleccionada(s)

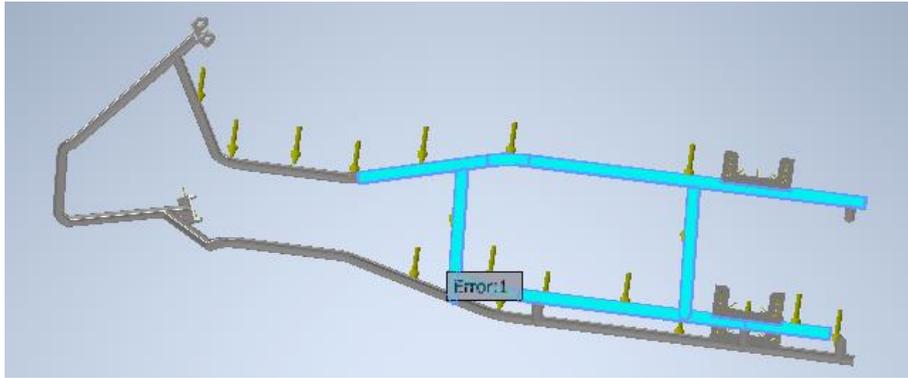
Fuerza: 3

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	344,500 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-344,500 N
Vector Z	0,000 N

Cara(s) seleccionada(s)**Fuerza: 4**

Tipo de carga	Fuerza
Magnitud	774,200 N
Vector X	0,000 N
Vector Y	-774,200 N
Vector Z	0,000 N

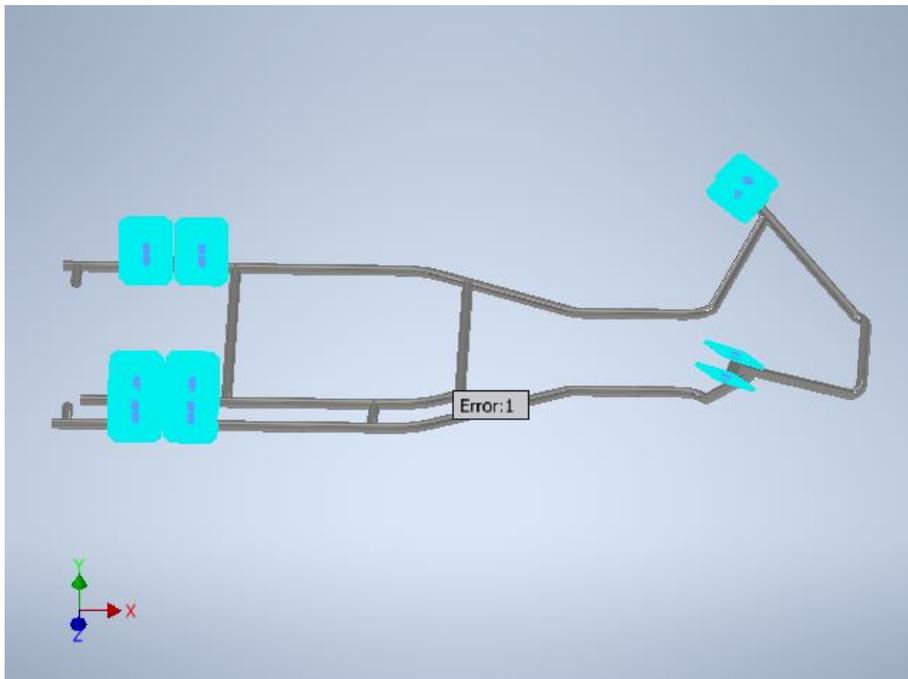
Cara(s) seleccionada(s)



Restricción fija: 1

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

Cara(s) seleccionada(s)



Resultados

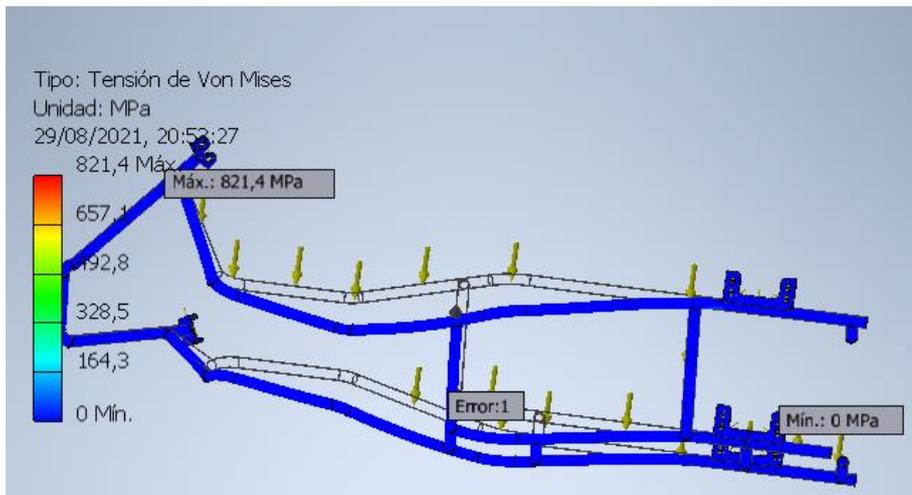
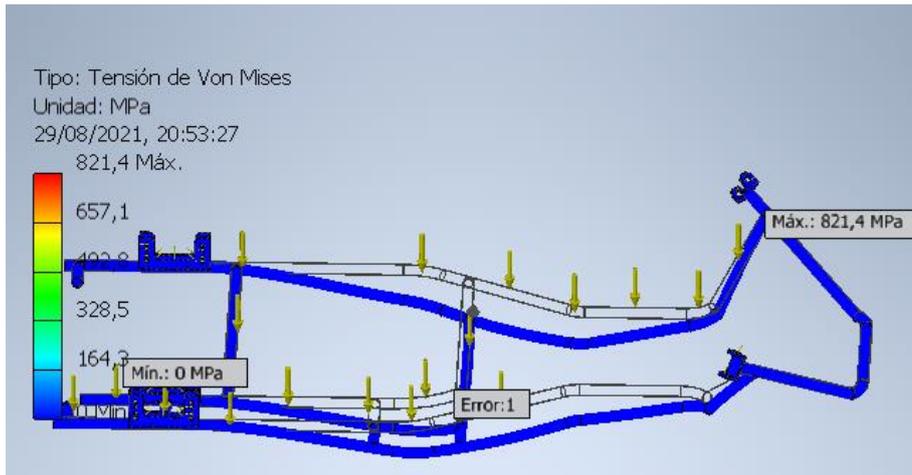
Fuerza y pares de reacción en restricciones

Nombre de la restricción	Fuerza de reacción		Pares de reacción	
	Magnitud	Componente (X, Y, Z)	Magnitud	Componente (X, Y, Z)
Restricción fija:1	1780,87 N	7,70747 N	74,6581 N m	55,6021 N m
		1780,28 N		0 N m
		45,3631 N		49,8221 N m

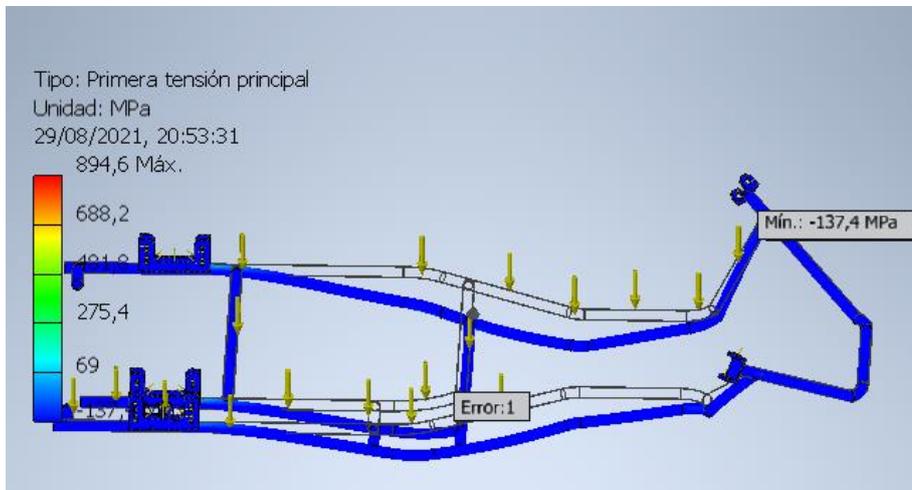
Resumen de resultados

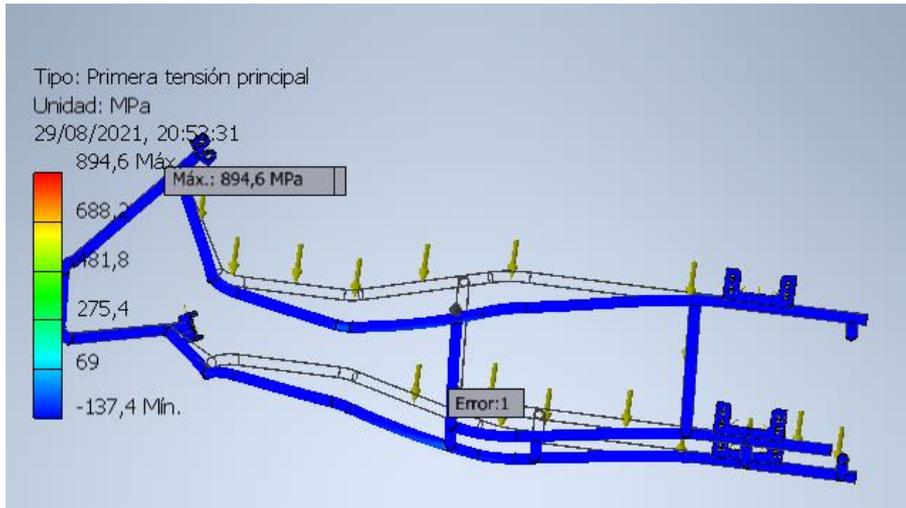
Nombre	Mínimo	Máximo
Volumen	439644 mm ³	
Masa	3,45121 kg	
Tensión de Von Mises	0,000496842 MPa	821,362 MPa
Primera tensión principal	-137,352 MPa	894,606 MPa
Tercera tensión principal	-554,217 MPa	298,473 MPa
Desplazamiento	0 mm	5,05985 mm
Coefficiente de seguridad	0,302211 su	15 su
Tensión XX	-396,994 MPa	408,943 MPa
Tensión XY	-140,561 MPa	186,416 MPa
Tensión XZ	-126,082 MPa	133,564 MPa
Tensión YY	-427,537 MPa	439,705 MPa
Tensión YZ	-242,303 MPa	346,188 MPa
Tensión ZZ	-278,455 MPa	689,87 MPa
Desplazamiento X	-0,144876 mm	0,532715 mm
Desplazamiento Y	-5,04721 mm	0,0247619 mm
Desplazamiento Z	-1,17126 mm	0,797344 mm
Deformación equivalente	0,00000000215741 su	0,00369382 su
Primera deformación principal	-0,0000137901 su	0,00424839 su
Tercera deformación principal	-0,00204137 su	0,000255587 su
Deformación XX	-0,00120252 su	0,00168636 su
Deformación XY	-0,000913834 su	0,00121195 su
Deformación XZ	-0,000819703 su	0,000868344 su
Deformación YY	-0,00147134 su	0,00178429 su
Deformación YZ	-0,00157529 su	0,00225068 su
Deformación ZZ	-0,00126827 su	0,00268356 su

Figuras
Tensión de Von Mises

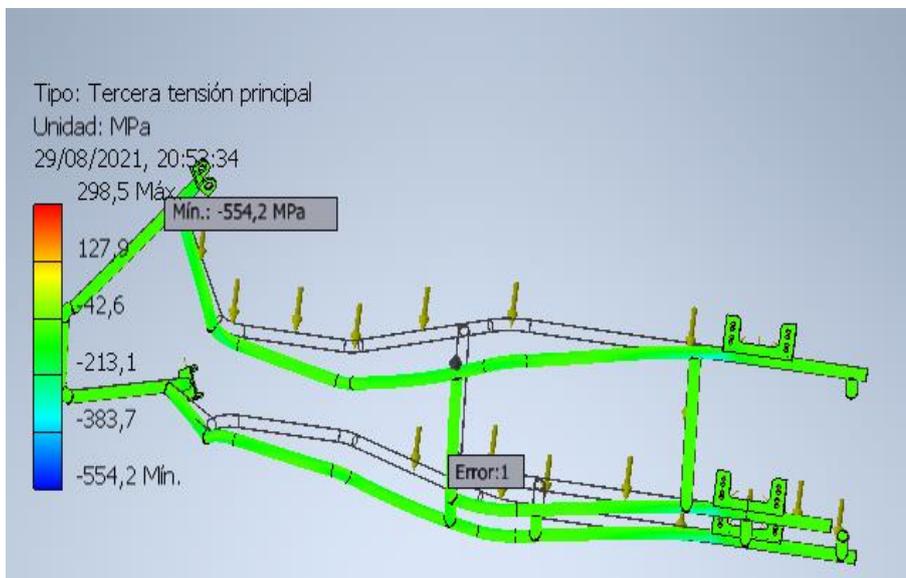
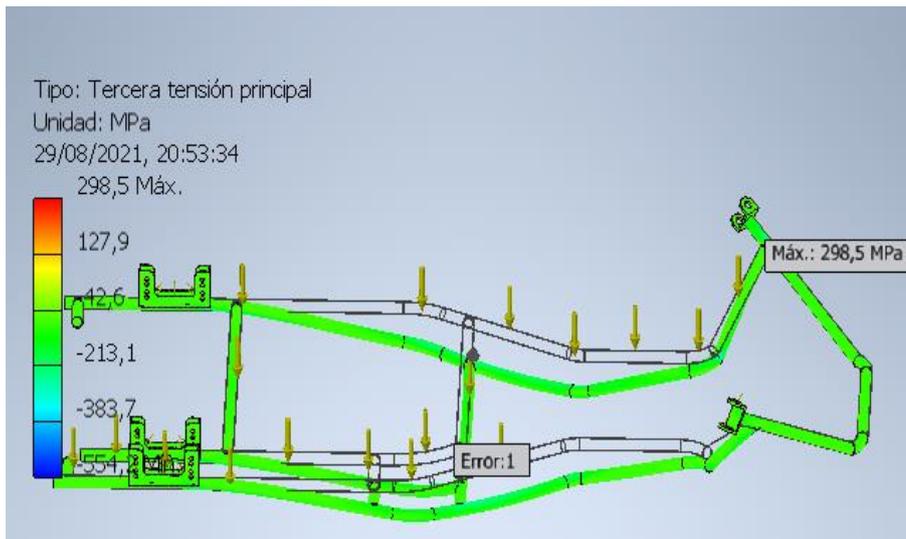


Primera tensión principal

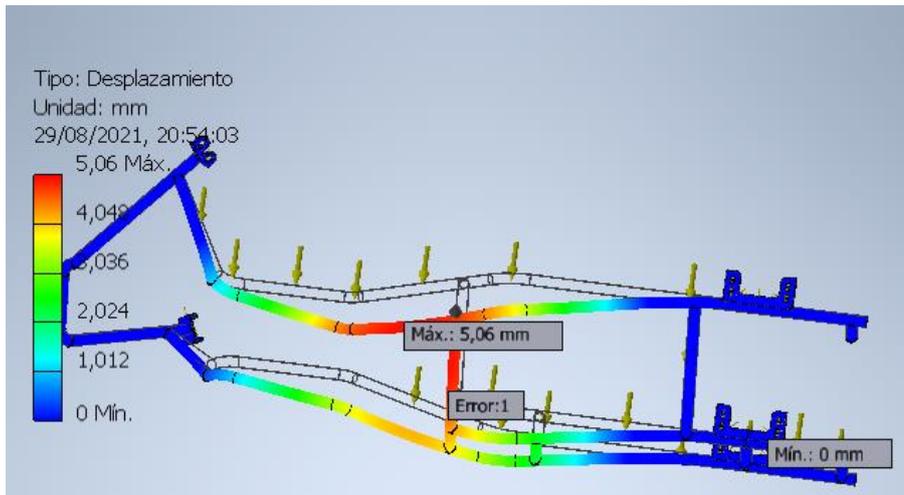
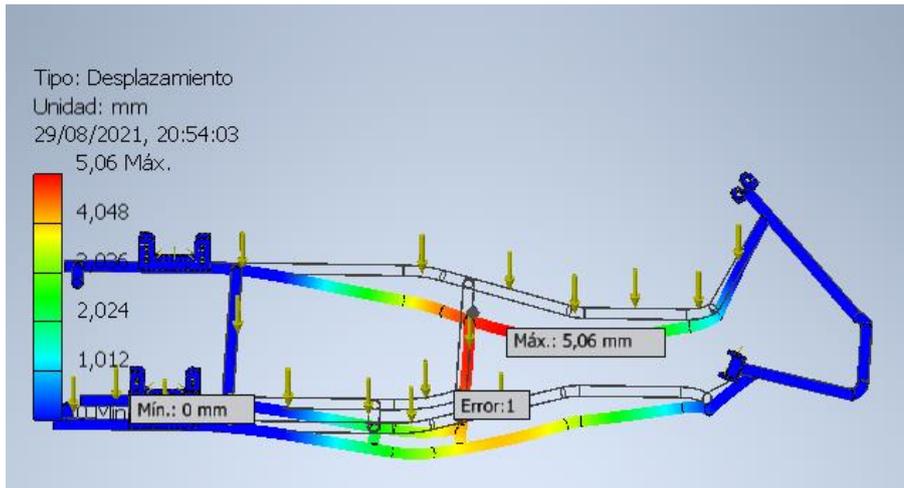




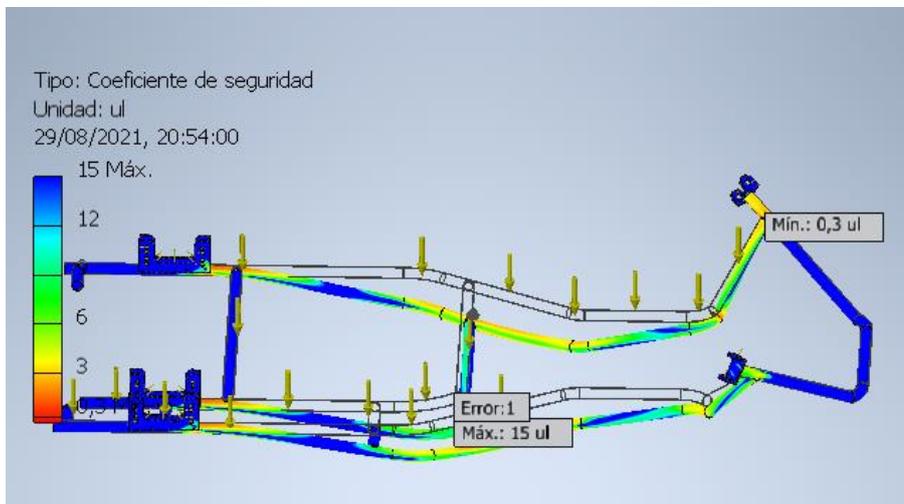
Tercera tensión principal

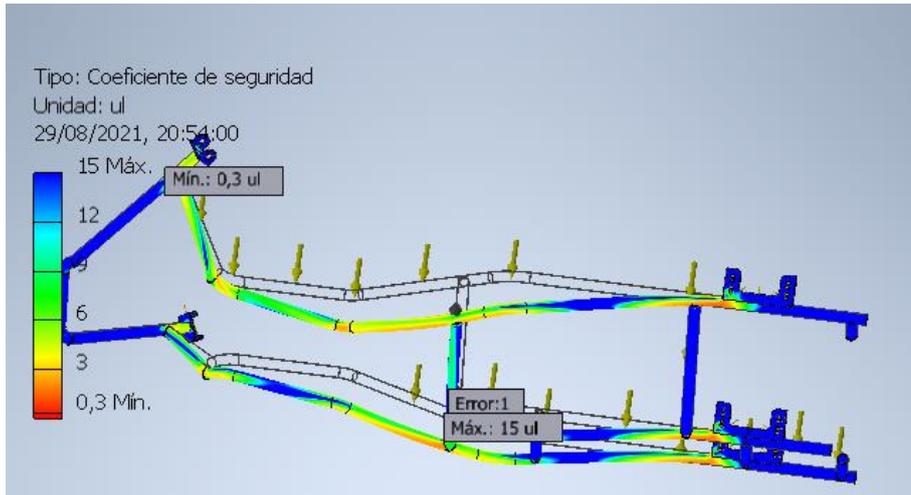


Desplazamiento

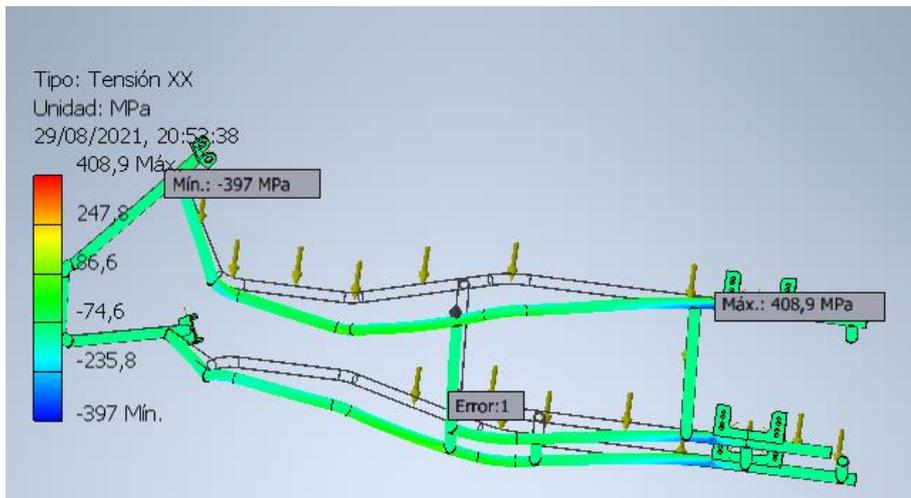
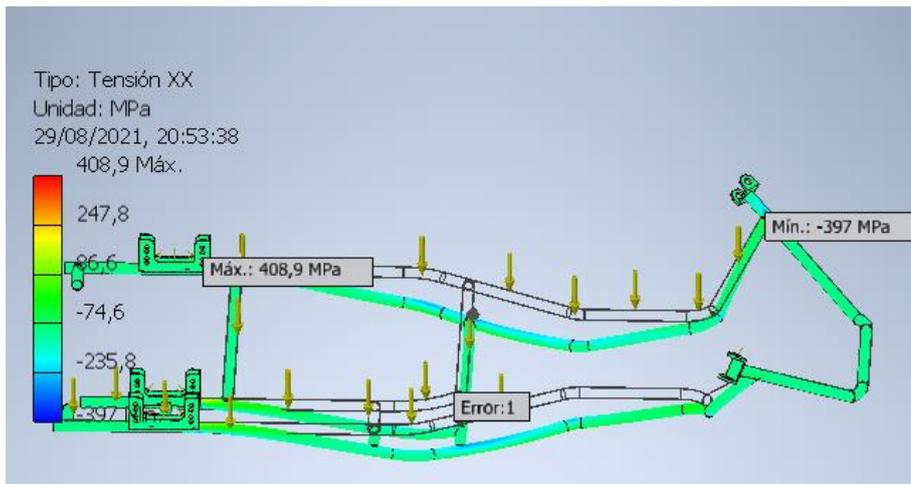


Coefficiente de seguridad

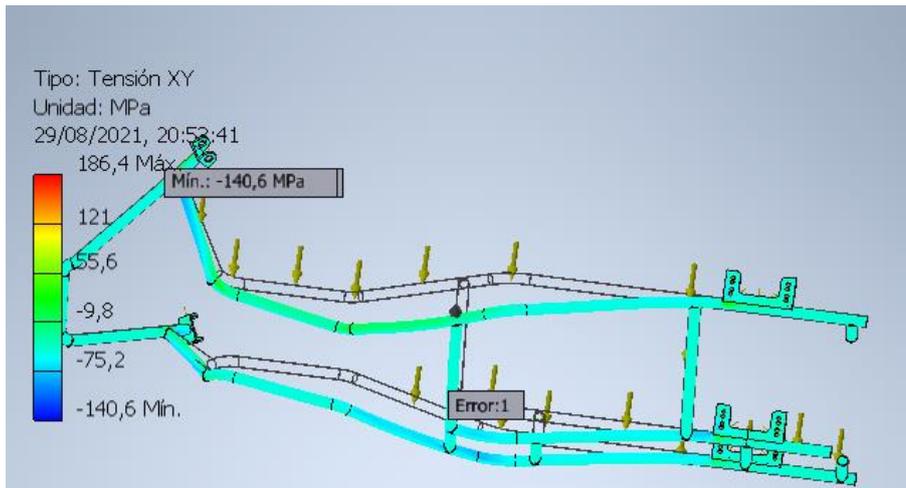
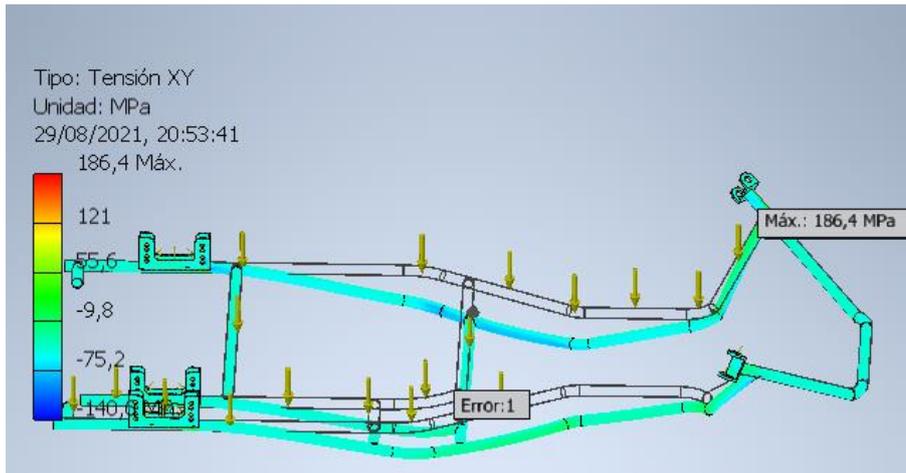




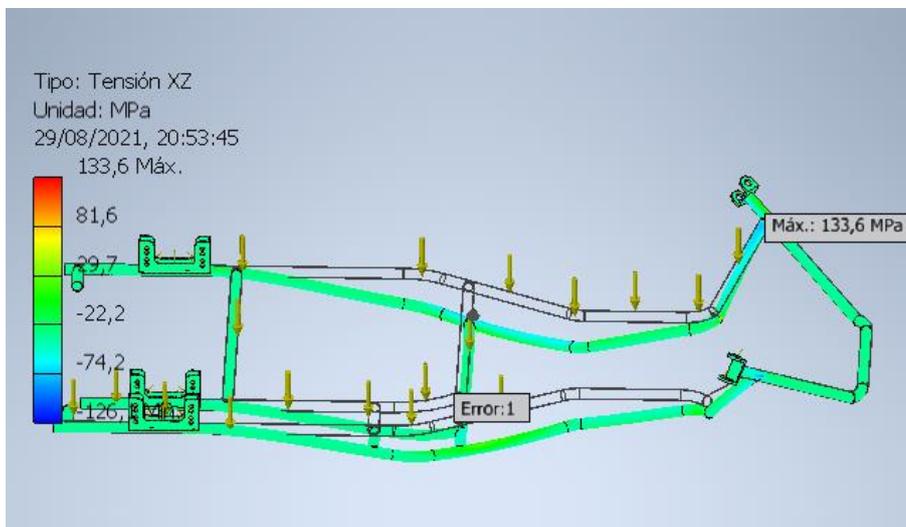
Tensión XX

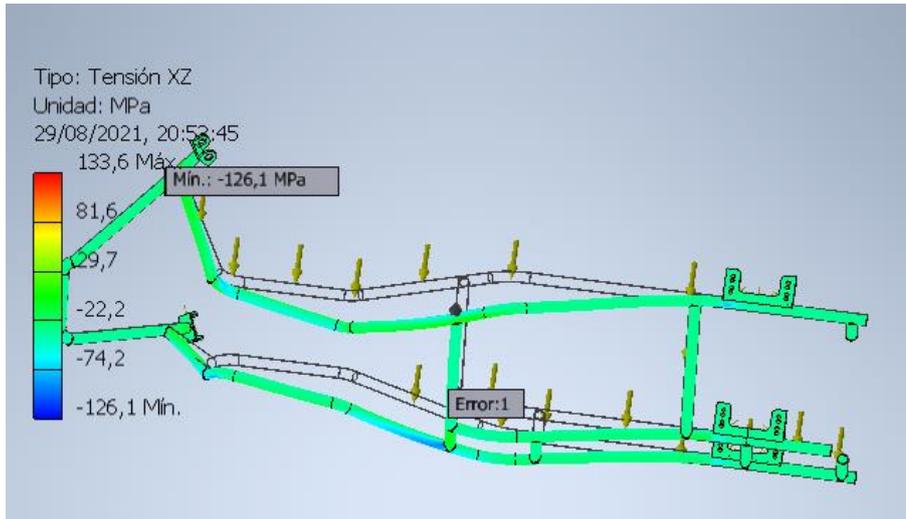


Tensión XY

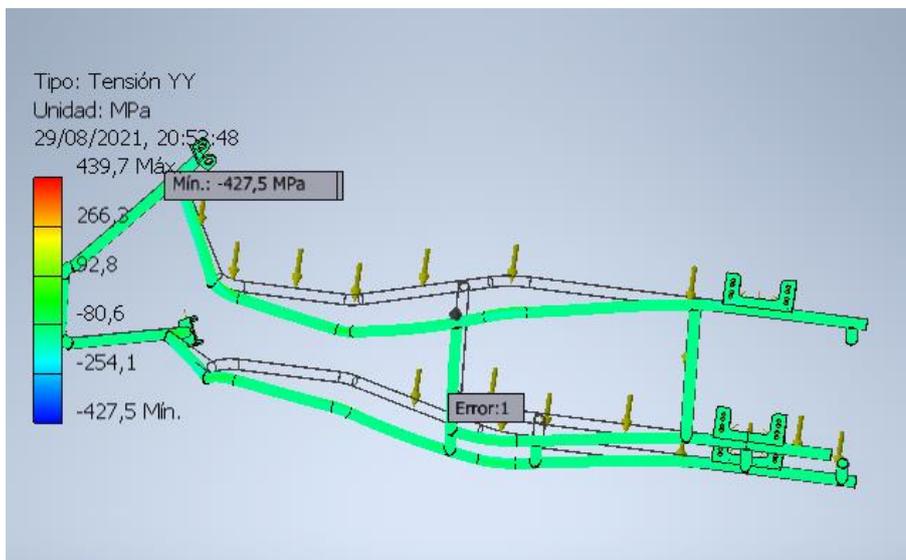
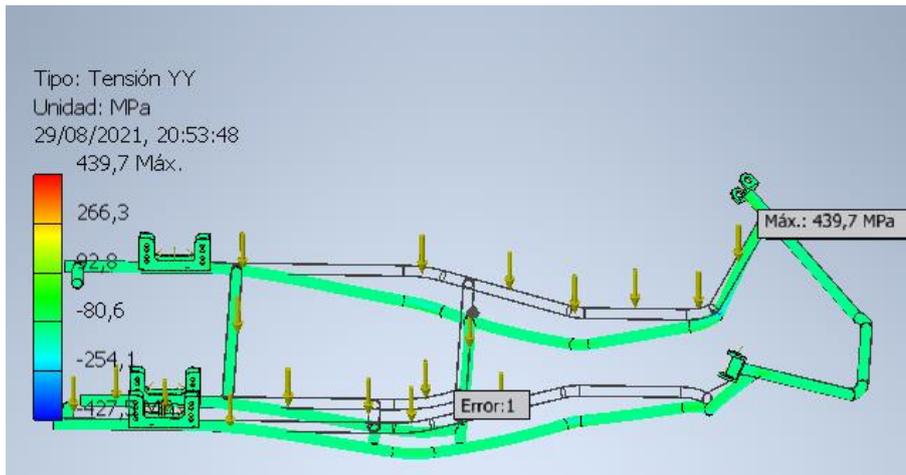


Tensión XZ

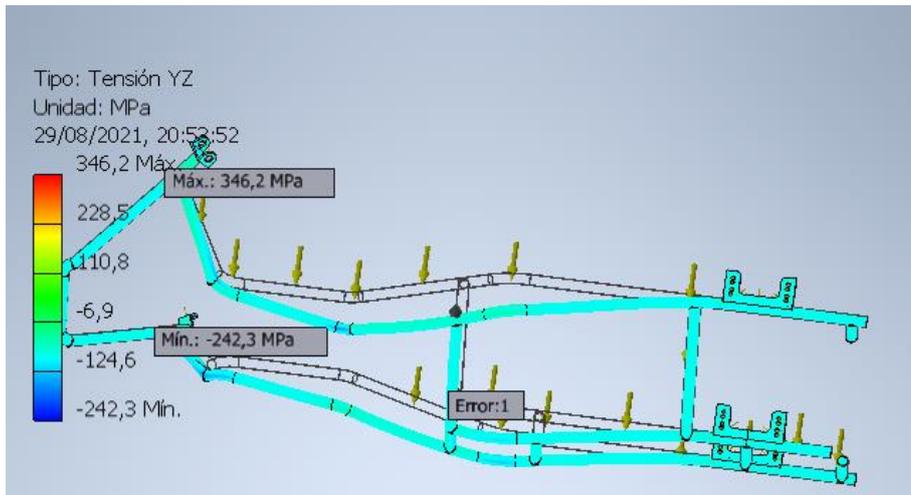
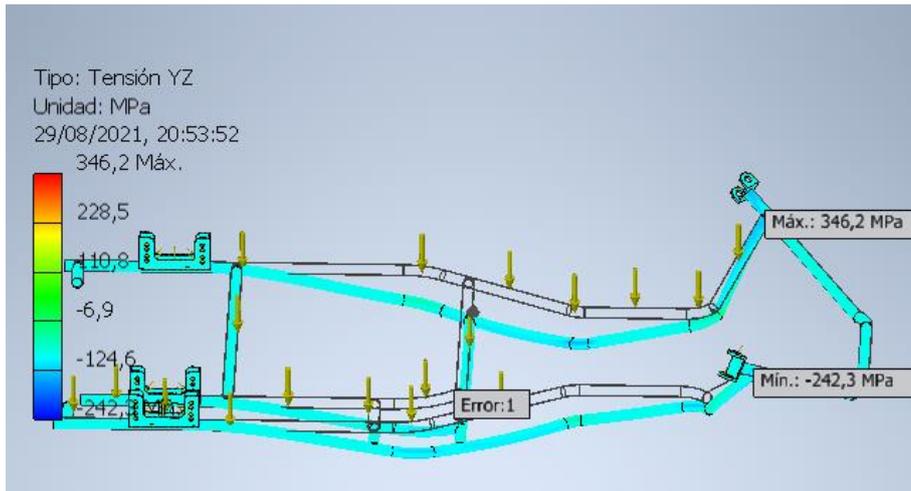




Tensión YY

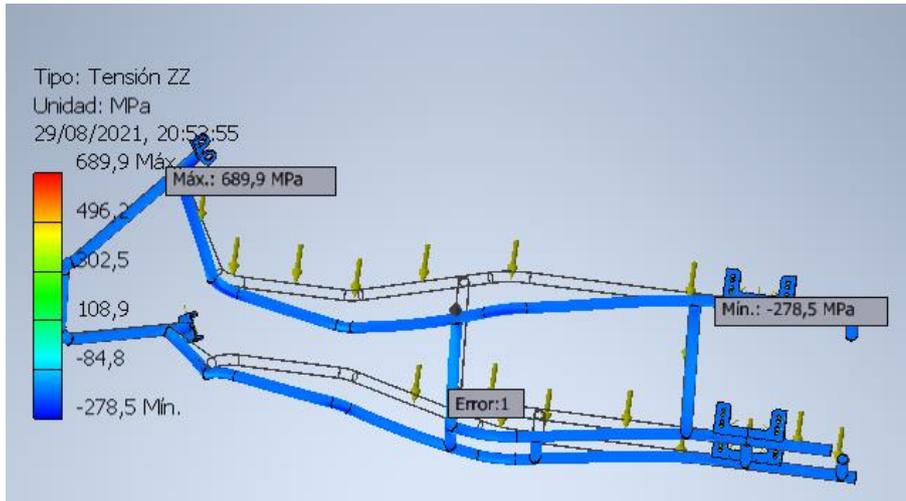


Tensión YZ

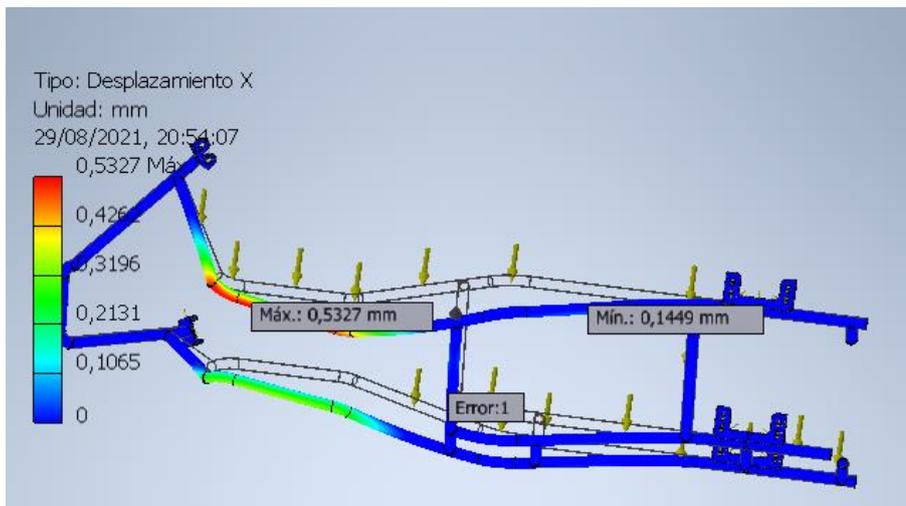
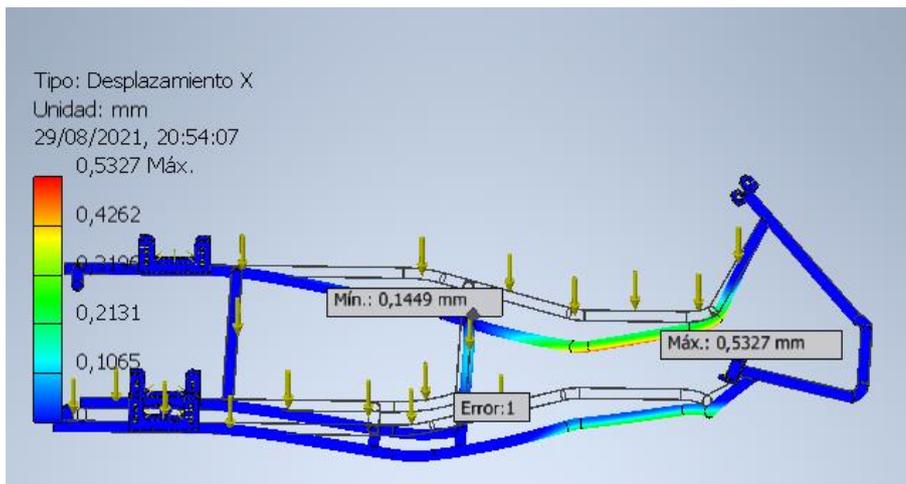


Tensión ZZ

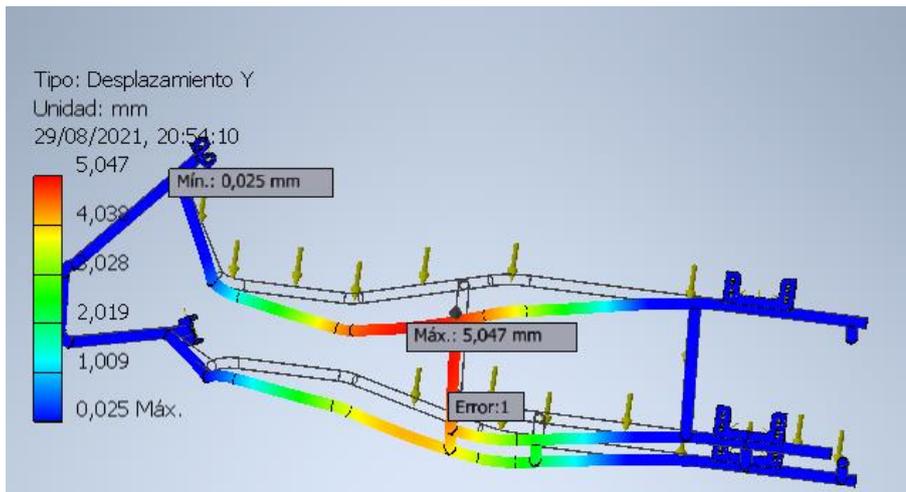
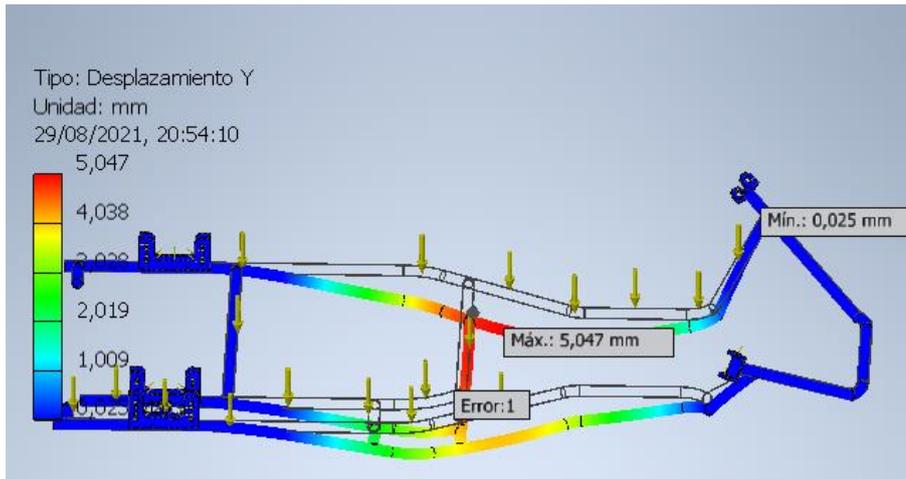




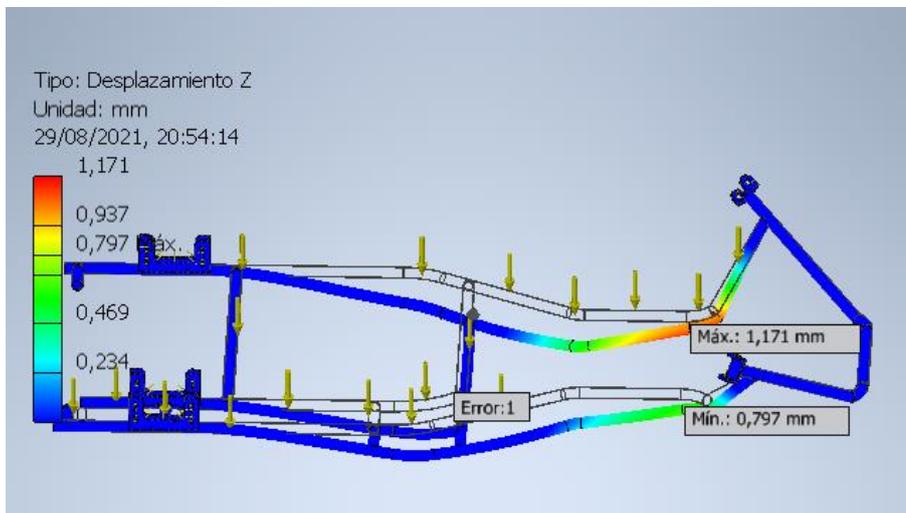
Desplazamiento X

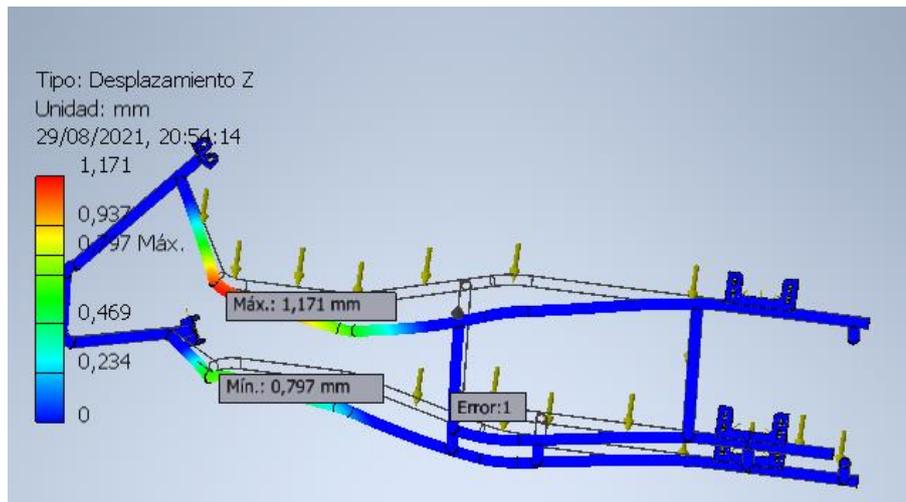


Desplazamiento Y

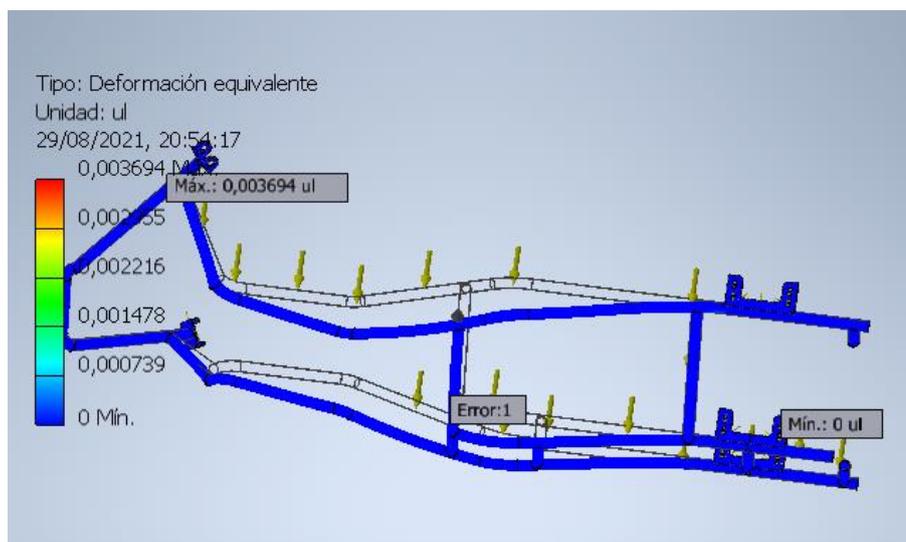


Desplazamiento Z

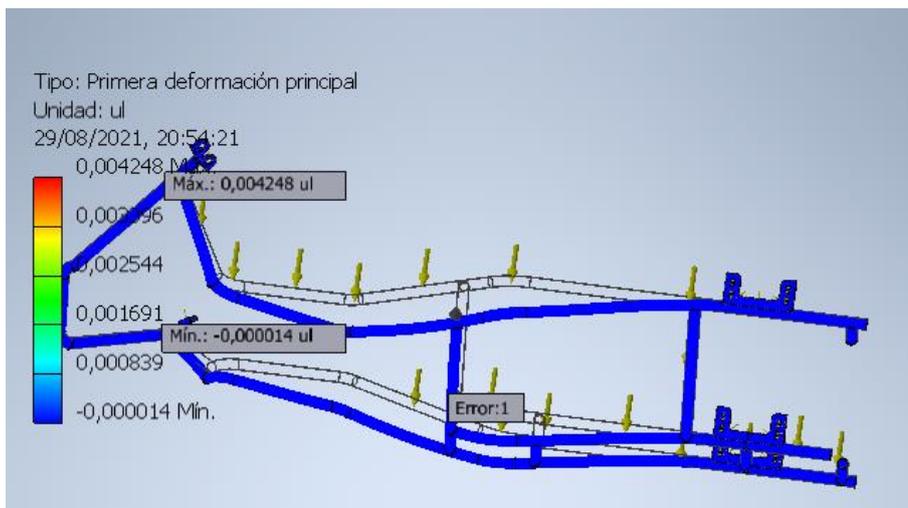
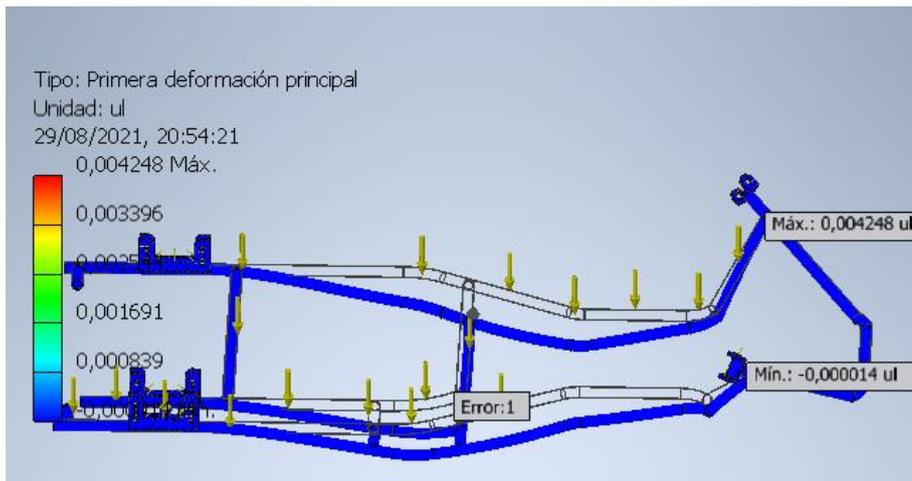




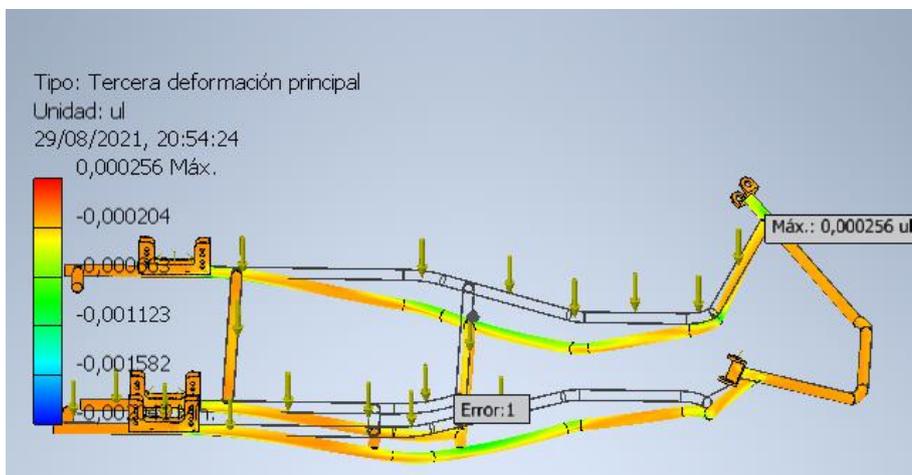
Deformación equivalente

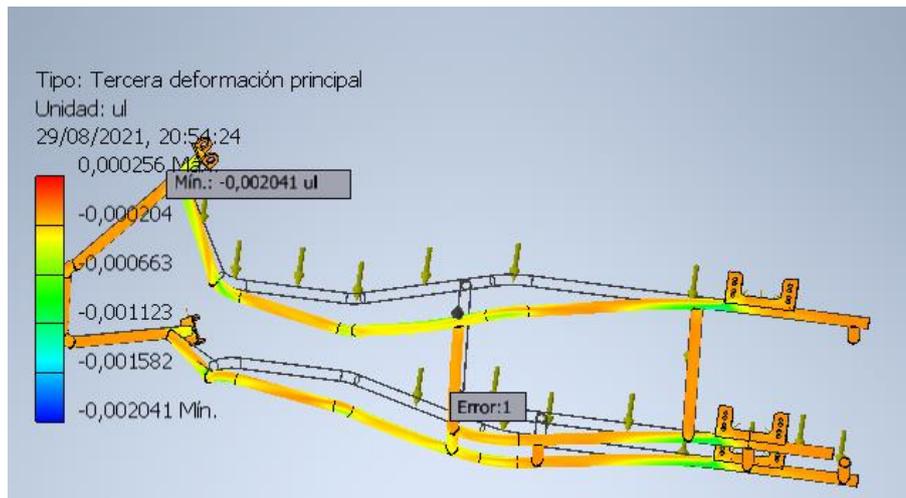


Primera deformación principal

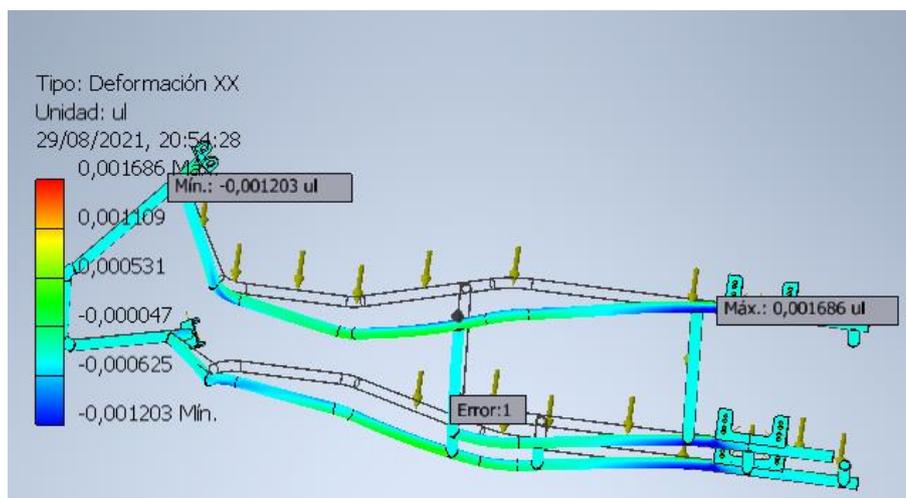
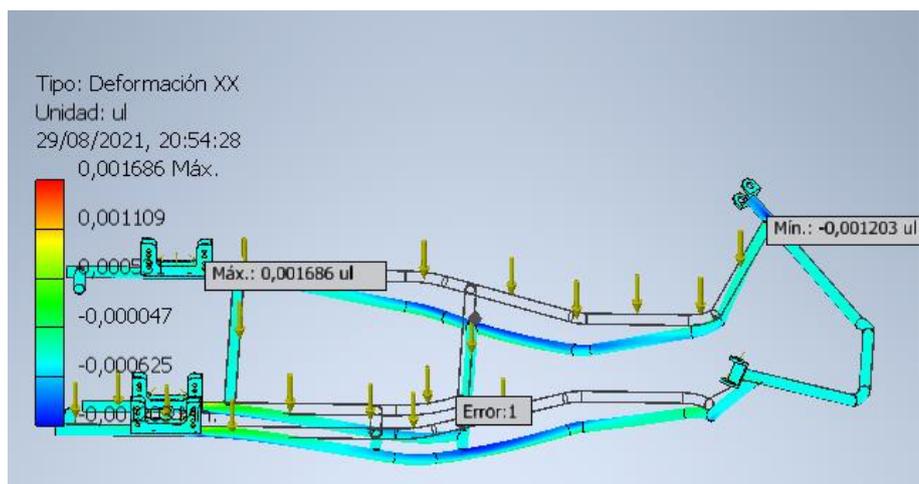


Tercera deformación principal

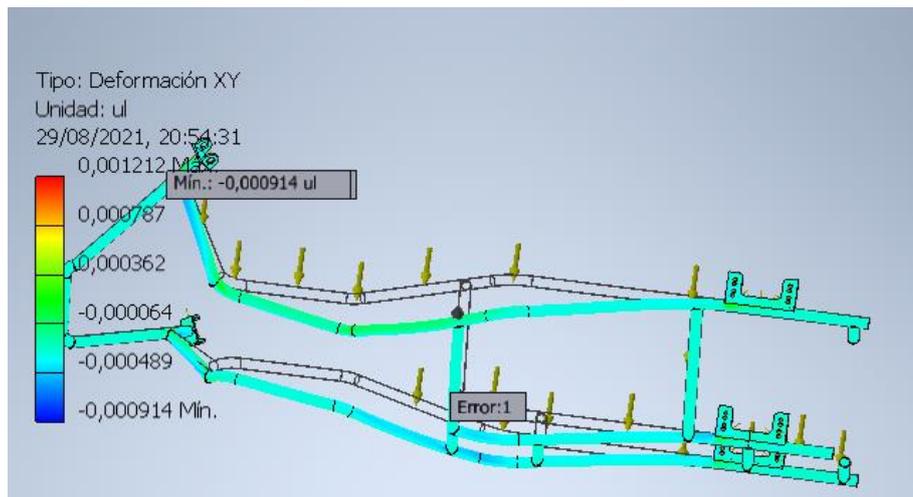
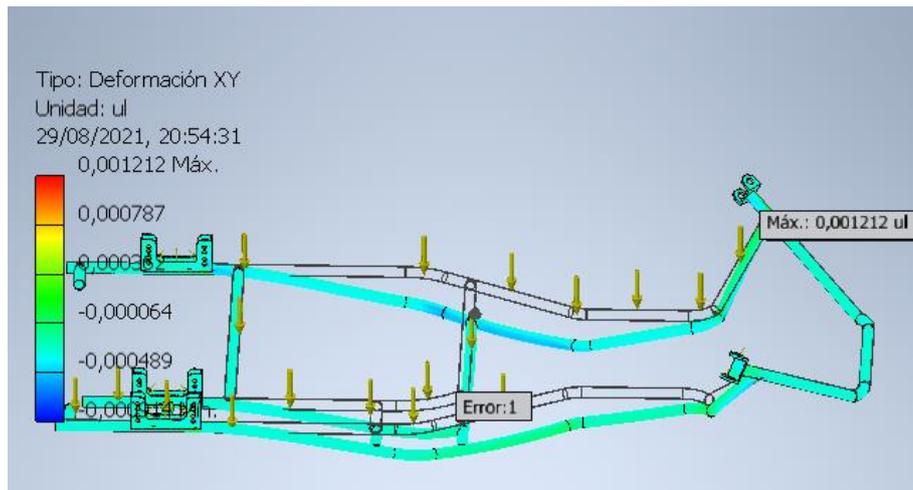




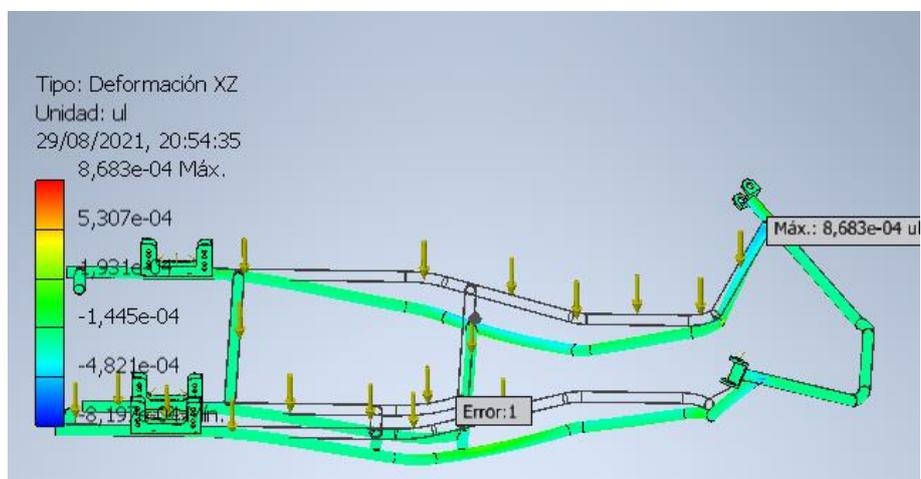
Deformación XX

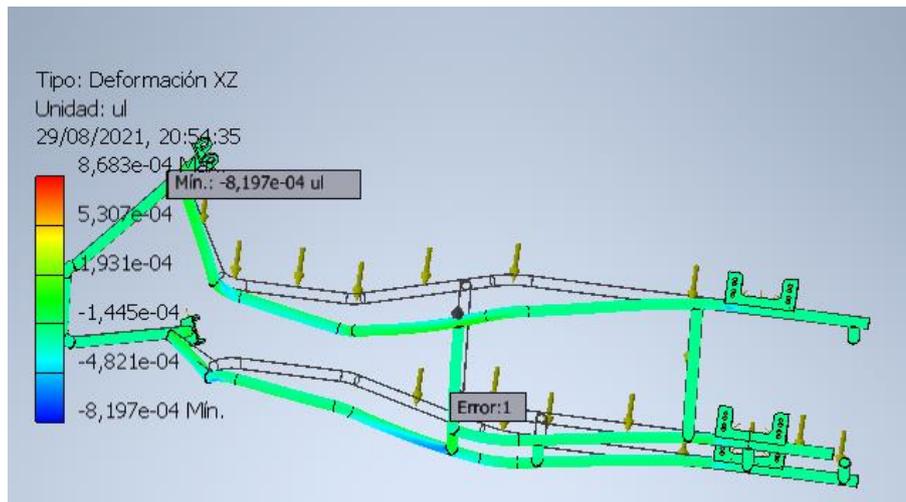


Deformación XY

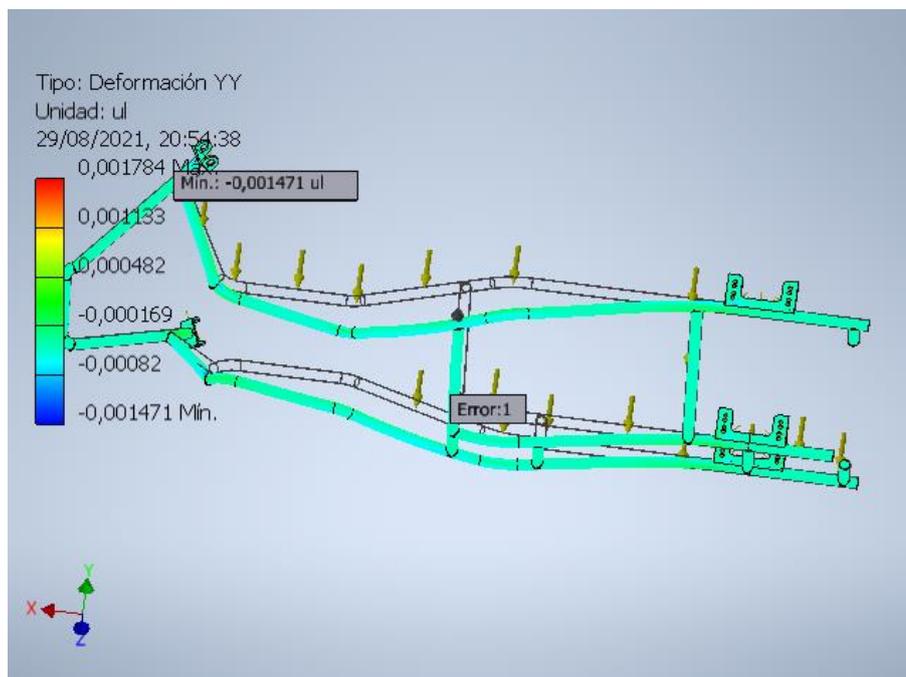
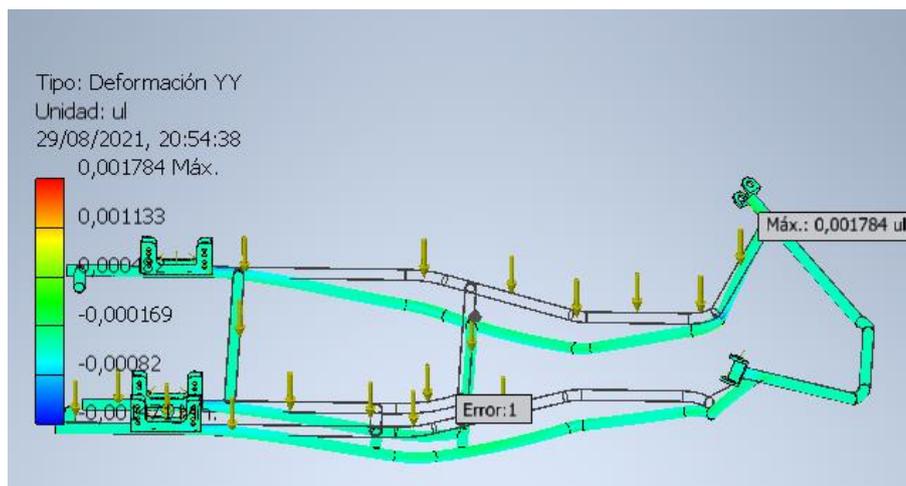


Deformación XZ

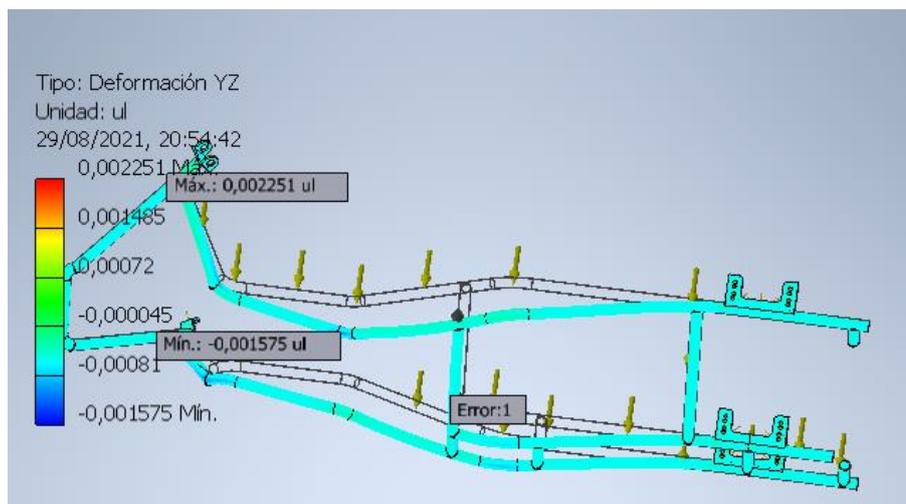
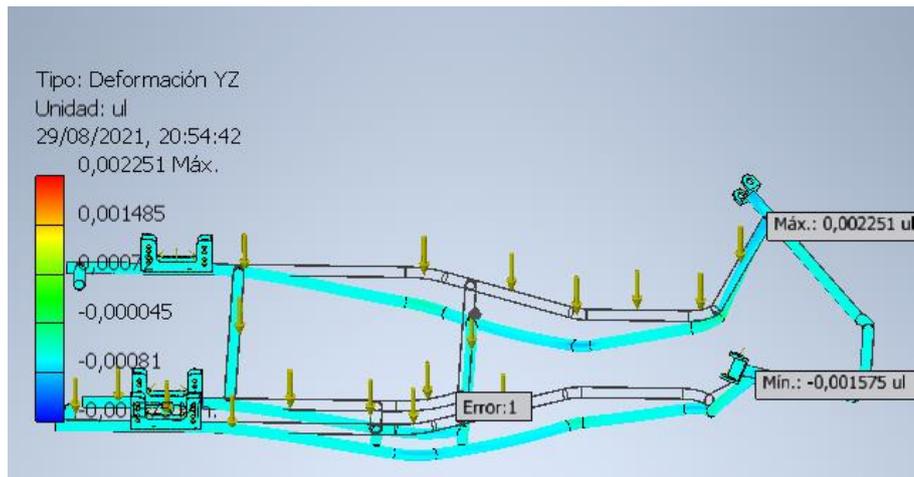




Deformación YY



Deformación YZ



Deformación ZZ

