



INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**Proyecto previo a la Obtención del Título de Ingeniero en
Mecánica Automotriz**

Autor: Manuel Bryan Asencio Zurita

Tutor: Ing. Edgar Vera Puebla

**Estudio del Comportamiento Estructural por Impacto
Frontal sobre un Chasis de Kart a través del Método de
Elementos Finitos**

Certificación de Autoría

Yo, Manuel Bryan Asencio Zurita, 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.

Manuel Bryan Asencio Zurita

C.I: 0928366392

Aprobación del Tutor

Yo, Edgar Gustavo Vera Puebla certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su seguridad y autenticidad, como de su contenido

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla

Director del Proyecto

Dedicatoria

Quiero dedicar mi tesis a Dios por ser el orientador de mi carrera, a mis padres María y Manuel, por apoyarme siempre y brindarme buenos consejos, todo lo que soy hoy se los debo a ellos.

A mis hermanos Carolina y Gary por depositar toda su confianza en mí, siempre motivándome de la mejor manera a seguir adelante.

A mi abuelita Laura que es como mi segunda madre, gracias por estar pendiente de mí.

Manuel Bryan Asencio Zurita

Agradecimientos

Cuando decidí seguir esta carrera sabía el esfuerzo y sacrificio que debía hacer, fue muy duro ya que vivía en un cantón lejano a Guayaquil y viajaba todos los días, pero siempre tuve la convicción y certeza que iba a llegar el día de alcanzar esta meta.

Agradezco a Dios en primer lugar por verme permitido culminar mis estudios universitarios, a mi madre por ser un pilar fundamental en mi vida, sin ella no hubiese podido alcanzar esta meta, a mi hermana por brindarme su apoyo incondicional, a mi familia por poner toda su confianza en mí, a mis amigos que durante los fines de semanas nos reuníamos y me daban buenas vibras, a mis compañeros de aula por compartir buenos momentos y demostrar compañerismo, a mis docentes por compartir todos sus conocimientos, en especial a mi tutor el Ing. Edgar Vera por guiarme en este proceso y a todas las personas que fueron parte de esto mil gracias.

Manuel Bryan Asencio Zurita

Índice General

| | |
|---|------|
| Dedicatoria..... | v |
| Agradecimientos..... | vi |
| Índice General..... | vii |
| Índice de Figuras..... | xi |
| Índice de Ecuaciones..... | xiv |
| Índice de Tablas..... | xv |
| Resumen..... | xvi |
| Abstract..... | xvii |
| 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..... | 3 |
| 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 | 4 |
| 1.6.1. | Justificación Teórica..... | 4 |
| 1.6.2. | Justificación Metodológica..... | 5 |
| 1.6.3. | Justificación Práctica | 6 |
| 1.6.4. | Delimitación Temporal..... | 7 |
| 1.6.5. | Delimitación Geográfica..... | 7 |
| 1.6.6. | Delimitación del Contenido..... | 7 |
| 1.7. | Alcance..... | 8 |
| Capítulo II..... | | 10 |
| 2. | Marco de Referencia..... | 10 |
| 2.1. | Ficha Técnica de Kart 125 cm ³ | 10 |
| 2.1.1. | Material Aplicado para Chasis de Kart..... | 12 |
| 2.1.2. | Pruebas de Impacto en Kart..... | 13 |
| 2.1.3. | La Naturaleza de un Kart..... | 15 |
| 2.1.4. | Tipología de las Pruebas..... | 15 |
| 2.1.5. | Accidentología con Aplicación en el Karting..... | 17 |
| 2.2. | El Chasis..... | 17 |
| 2.3. | Efectos de Seguridad..... | 19 |
| 2.4. | Modelado de Chasis de Kart | 19 |
| 2.5. | Características de la Colisión Frontal de un Kart..... | 20 |

| | | |
|-------------------|--|----|
| 2.6. | Procedimiento de Análisis Estructural | 22 |
| 2.7. | Modelación de Impacto | 23 |
| 2.8. | Modelado de Transferencia de Inercia | 25 |
| 2.9. | Aspectos Generales de la Modelación Estructural | 27 |
| 2.10. | Creación de la Malla..... | 28 |
| 2.11. | Ingeniería Asistida para Análisis de Impacto | 29 |
| 2.12. | Modelos Matemáticos Aplicados al Impacto Frontal de un Kart..... | 31 |
| 2.13. | Influencia del Peso y Masa en un Kart | 33 |
| 2.14. | Antropometría Estática | 35 |
| Capítulo III..... | | 36 |
| 3. | Método de Modelado | 36 |
| 3.1. | Método | 36 |
| 3.2. | Análisis Estructural del Chasis de Kart por Impacto Frontal..... | 37 |
| 3.3. | Construcción de Geometría del Chasis de Kart | 39 |
| 3.3.1. | Datos de Entrada..... | 39 |
| 3.3.2. | Construcción de la Geometría del Kart a través de Inventor Pro | 41 |
| 3.3.3. | Generación de Simulación Estructural de Chasis de Kart..... | 52 |
| 3.3.4. | Determinación de Esfuerzos Aplicados sobre el Chasis de Kart..... | 56 |
| 3.3.5. | Generación de Mallado en Chasis de Kart | 58 |
| 3.3.6. | Proceso de Simulación..... | 59 |

| | |
|--|----|
| 3.4. Obtención de Resultados | 61 |
| 3.4.1. Resultados de Colisión al 100 % | 62 |
| 3.4.2. Resultados de Colisión al 50 % | 62 |
| Capítulo IV | 64 |
| 4. Análisis de Resultados | 64 |
| 4.1. Análisis Transitorio | 64 |
| 4.1.1. Análisis de Material Utilizado | 64 |
| 4.2. Análisis de Carga Estática..... | 65 |
| 4.2.1. Análisis de Resultados de Simulación con Impacto al 100 % | 66 |
| 4.2.2. Análisis de Resultados de Simulación con Impacto al 50 % | 70 |
| 4.3. Análisis General de Resultados Obtenidos | 73 |
| Conclusiones..... | 75 |
| Recomendaciones | 76 |
| Bibliografía..... | 77 |
| Anexos | 79 |
| Anexo 1: Informe de Resultados: Análisis Estructural de Chasis de Kart Sometido a un Impacto de Tipo Frontal al 100 % a través de AutoDesk Inventor Pro..... | 79 |
| Anexo 2: Informe de Resultados: Análisis Estructural de Chasis de Kart Sometido a un Impacto de Tipo Frontal al 50 % a través de AutoDesk Inventor Pro..... | 86 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 <i>Inicio de Prueba de Impacto en Estructura de Kart</i> | 14 |
| Figura 2 <i>Partes del Chasis del Kart</i> | 18 |
| Figura 3 <i>Pruebas de Colisión Frontal entre Karts Realizadas en Laboratorio</i> | 22 |
| Figura 4 <i>Modelado Clásico del Comportamiento Estructural de un Kart</i> | 25 |
| Figura 5 <i>Mallado de un Sólido</i> | 29 |
| Figura 6 <i>Obtención de Datos Dimensionales del Chasis del Kart</i> | 40 |
| Figura 7 <i>Creación de Proyecto Nuevo en Inventor Pro</i> | 41 |
| Figura 8 <i>Creación de Nuevo Archivo en Inventor Pro</i> | 42 |
| Figura 9 <i>Creación de Boceto del Chasis de Kart</i> | 43 |
| Figura 10 <i>Construcción de Boceto 2D del Chasis de Kart</i> | 43 |
| Figura 11 <i>Perspectiva de Boceto 2D del Chasis de Kart</i> | 44 |
| Figura 12 <i>Perfil Boceto de Tubería sobre Boceto 2D del Chasis de Kart</i> | 44 |
| Figura 13 <i>Perfil 3D de Tubería del Chasis de Kart</i> | 45 |
| Figura 14 <i>Creación de Curvaturas Tubulares del Chasis de Kart</i> | 45 |
| Figura 15 <i>Aplicación de Herramienta de Simetría en Construcción de Chasis de Kart</i> | 46 |
| Figura 16 <i>Incidencia de Simetría en Chasis de Kart</i> | 46 |
| Figura 16 <i>Incidencia de Tubería Frontal de Chasis de Kart</i> | 47 |
| Figura 18 <i>Construcción de Soporte para Bases de Motor de Kart</i> | 47 |
| Figura 19 <i>Construcción de Transversales del Chasis de Kart</i> | 48 |
| Figura 20 <i>Dimensiones de Tubo Transversales del Chasis de Kart</i> | 48 |
| Figura 21 <i>Construcción de Base para Chumaceras del Chasis de Kart</i> | 49 |
| Figura 22 <i>Detalles de Base para Chumaceras del Chasis de Kart</i> | 49 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 Creación de Base Paralela..... | 50 |
| Figura 24 Creación de la Tercera Base para Chumacera..... | 50 |
| Figura 25 Creación de Bases Delanteras para Ruedas | 51 |
| Figura 26 Creación de Bases Delanteras para Ruedas | 51 |
| Figura 27 Culminación de Modelado de Chasis de Kart | 52 |
| Figura 28 Análisis de Tensión sobre Chasis de Kart | 53 |
| Figura 29 Creación de Simulación sobre Chasis de Kart..... | 53 |
| Figura 30 Asignación de Material en Inventor Pro | 54 |
| Figura 31 Propiedades de Material Seleccionado para Chasis de Kart | 55 |
| Figura 32 Designación de Restricciones sobre Chasis de Kart..... | 56 |
| Figura 33 Designación de Fuerza sobre Chasis de Kart..... | 58 |
| Figura 34 Creación de Mallado sobre Chasis de Kart | 59 |
| Figura 35 Herramienta de Simulación..... | 60 |
| Figura 36 Proceso de Simulación | 60 |
| Figura 37 Resultado de Tensión de Von Mises con un Impacto al 100 %..... | 66 |
| Figura 38 Resultado de Primera Tensión con un Impacto al 100 %..... | 67 |
| Figura 39 Resultado de Tercera Tensión con un Impacto al 100 %..... | 67 |
| Figura 40 Resultado Total de Deformación con un Impacto al 100 % | 68 |
| Figura 41 Resultado Deformación sobre el Eje X con un Impacto al 100 % | 68 |
| Figura 42 Resultado Deformación sobre el Eje Y con un Impacto al 100 % | 69 |
| Figura 43 Resultado Deformación sobre el Eje Z con un Impacto al 100 % | 69 |
| Figura 44 Resultado Coeficiente de Seguridad con un Impacto al 100 % | 70 |
| Figura 45 Resultado de Tensión de Von Mises con un Impacto al 50 %..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Figura 46 <i>Resultado de Primera Tensión con un Impacto al 50 %</i> | 71 |
| Figura 47 <i>Resultado de Tercera Tensión con un Impacto al 50 %</i> | 72 |
| Figura 48 <i>Resultado Total de Deformación con un Impacto al 50 %</i> | 72 |
| Figura 49 <i>Resultado Coeficiente de Seguridad con un Impacto al 50 %</i> | 73 |

Índice de Ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 Modelo Matemático para Determinar la Fuerza de Impacto | 32 |
| Ecuación 2 Modelo Matemático para Determinar la Aceleración al Momento del Impacto | 32 |
| Ecuación 3 Modelo Matemático para Movimiento Rotatorio | 33 |

Índice de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Clasificación de los Elementos Estructurales | 27 |
| Tabla 2 Resultados Propiedades Físicas del Chasis en Análisis..... | 64 |
| Tabla 3 Propiedades del Material sobre el Chasis de Kart | 65 |
| Tabla 4 Diferencia entre Colisión del Tipo Frontal al 100 % y 50 % de un Chasis de Kart | 74 |

Resumen

El presente estudio tiene el fin de experimentar el comportamiento estructural por impacto frontal sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos, el mismo que se desarrolla a través de fases que poseen una secuencia metodológica experimental la cual inicia con la obtención de información de normativas y reglamentos que determinan cada una de las características y propiedades de un chasis de un kart homologado, para luego extraer cada una de las medidas así como la forma geométrica con la que cuenta este tipo de monoplaza de competencias automovilísticas.

Posteriormente a través de un programa computacional de AutoDesk Inventor Pro se desarrolla la fase de boceto, modelado 3D, simulación y generación de informe completo de análisis estructural del chasis de kart sometido a un fenómeno de colisión del tipo frontal en el que se compromete al 100 % y otro al 50 % con el fin de generar la respectiva comparativa bajo las mismas condiciones de restricción y cargas de la simulación.

Finalmente se procede a que el programa de ingeniería asistida por ordenador realice la solución del problema a través del método de elementos finitos determinando que la afectación que percibe un chasis de kart al experimentar un impacto del tipo frontal completo o al 100 % son considerables y afectan a toda la estructura, pero es aún mayor su afectación cuando el impacto se produce en un menor porcentaje como lo es el caso del estudio realizado con un impacto frontal al 50 %.

Palabras clave: Kart, método de elementos finitos, impacto frontal, chasis.

Abstract

The present study has the purpose of assessing the structural behavior by frontal impact on a kart chassis through the finite element method, which is developed through phases that follow an experimental methodological sequence which begins with obtaining information about the rules and regulations that determine each of the characteristics and properties of an approved kart chassis, to then extract each of the measurements as well as the geometric shape of this type of single-seater for automobile competitions.

Subsequently, through a computer program of AutoDesk Inventor Pro, the sketching phase, 3D modeling, simulation and generation of a complete report of structural analysis of the kart chassis subjected to a frontal type collision phenomenon are developed; during these trials, a 100% and 50% compromise levels are set to generate the respective comparison under the same restriction conditions and simulation loads.

Finally, using a Computer-aided Engineering program, the problem is solved through the finite element method, determining that the damage perceived by a kart chassis when experiencing a full or 100% frontal impact is considerable and affects the entire structure, but its affectation is even greater when the impact occurs in a lower percentage, as is the case of the study carried out with a 50% of frontal impact.

Keywords: Kart, finite element method, front impact, chassis.

Capítulo I

Problema de la Investigación

1.1. Tema de Investigación

Estudio del comportamiento estructural por impacto frontal sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos.

1.2. Planteamiento del Problema

Una de las competencias automovilísticas a nivel mundial es el Karting la misma que es una disciplina que es practicada por los karts que son vehículos monoplazas que se desplaza en circuitos denominados Kartódromos y son considerados como la cuna de las competencias automovilísticas de alto rendimiento como lo es los tipo Fórmula, la velocidad que alcanzan en competencia depende de las categorías que participan pero estos monoplaza pueden llegar a alcanzar velocidades de hasta los 80 a 120 kilómetro sobre hora.

Se debe tomar en cuenta que la innovación y el avance tecnológico en este tipo de vehículos es constante lo que permite que se aumente las velocidades y así mismo la tendencia a sufrir accidentes que repercuten directamente en el piloto, así como en la estructura del monoplaza, siendo en su mayoría colisiones por alcance y frontales en este tipo de modalidad y muy poco de manera lateral o volcamiento.

Por este motivo es que la presente investigación pretende conocer e interpretar el comportamiento estructural en caso de una colisión frontal, y con los valores que arroje sirva de soporte para estudios futuros en el mejoramiento estructural y de minimización de daños para pilotos de karting.

Uno de los mayores inconvenientes que se presentan durante una competencia de karting son las colisiones ya sea por arranque de carrera, adelantamientos o despiste en trayectoria, lo que repercute directamente en daños estructurales del monoplaza, así como afectaciones a la integridad de los pilotos.

Por estos motivos es que se plantea en el presente proyecto investigativo realizar un estudio minucioso del comportamiento de la estructura de un kart en condiciones de colisión y esto se determina por medio de modelos matemáticos, así como la ayuda de programas en los que se desempeñan claramente el método de elementos finitos.

Esta propuesta de conocer el comportamiento estructural sobre el chasis de un kart a través de este estudio bajo las características de una colisión frontal puede ser analizado desde dos criterios como lo son la configuración del diseño estructural así como el comportamiento de la estructura utilizada para la elaboración de este componente que para este caso es el espesor de la tubería que se emplea en la elaboración de un chasis de kart y a través de este estudio observar su comportamiento, por parte de la cantidad de energía que se absorba la estructura, intentando así relacionar esta con lo que podría llegar a repercutir sobre el piloto.

En cuanto a la parte del comportamiento estructural se pretende analizar según algunos puntos de vista y resultados obtenidos si es correcto cada uno de los niveles e absorción de energía o que en este caso sea un punto negativo o positivo este comportamiento estructural, sin caer en un error de debilitamiento de la estructura como tal, tomando en cuenta que al momento de que a mayor es la absorción de energía, también la deformación es mayor, y perjudicando de esta manera a los espacios destinados para el piloto que en este tipo de monoplazas es muy reducido, comprometiendo de esta manera a la integridad física del conductor del kart.

1.3. Formulación del Problema

¿Por medio del método de elementos finitos se puede conocer el comportamiento estructural de un chasis de un kart sometido a una colisión frontal y así analizar la afectación que tendrá la estructura y el piloto?

1.4. Sistematización del Problema

- ¿Cuáles son los beneficios que brinda el aplicar el método de elementos finitos sobre el comportamiento estructural de un chasis de kart sometido a una colisión del tipo frontal?
- ¿Cuáles son los factores que influyen de manera directa e indirecta sobre un chasis de kart durante una colisión del tipo frontal?
- ¿Qué ventajas proporciona el uso de un software de ingeniería asistida por ordenador en la que se aplica el método de elementos finitos dentro del análisis estructural de un chasis de kart cuando esté involucrado en una colisión del tipo frontal?
- ¿Cuáles son los modelos matemáticos que se requieren para validar los resultados luego de haber simulado el comportamiento estructural de un chasis de kart luego de haber experimentado una colisión del tipo frontal?
- ¿Qué ventajas brinda la realización de un estudio del comportamiento estructural sobre un chasis de kart luego de experimentar una colisión del tipo frontal para en estudios futuros generar soluciones estructurales, así como preservar considerablemente la integridad del piloto?

1.5. Objetivos de la Investigación

1.5.1. Objetivo General

- Determinar el comportamiento estructural de un chasis de kart que es sometido a una colisión del tipo frontal a través del método de los elementos finitos.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Extraer características y parámetros dimensionales, así como cargas y materiales de un kart homologado.

- Realizar el modelado de la estructura de un chasis de kart a través del software Autodesk Inventor.
- Obtener por medio del método de elementos finitos los valores del comportamiento de las deformaciones de la estructura de un chasis de kart homologado cuando este es sometido a una colisión del tipo frontal.

1.6. Justificación e Importancia de la Investigación

El presente trabajo investigativo referente al estudio del comportamiento estructural de un chasis de kart cuando es sometido a una colisión del tipo frontal a través de ingeniería asistida por ordenador y aplicando el método de elementos finitos es fundamentada por parte de un conjunto de fuentes investigativas para así obtener soluciones a la perspectiva metodológica, en la parte teórica y práctica como se detalla a continuación:

1.6.1. Justificación Teórica

El constante avance tecnológico en cada uno de los sistemas de seguridad de un vehículo exige a cada investigador experimentar, observar y analizar cada uno de sus componentes, para de esta manera poder mejorar su eficiencia así como su desempeño con un sustento teórico bien fundamentado basado en la búsqueda y revisión de fuentes bibliográficas, fichas técnicas y artículos científicos en los que han realizados estudios relacionados que ayuden al desarrollo del presente trabajo investigativo y por este motivo a continuación se presenta algunos de estos estudios:

(Exzar, 2019), en su estudio se basa en “Evaluar el estado de operatividad de los sistemas de frenado del tipo tambor y disco, realizar pruebas de frenado a diversos regímenes de trabajo para frenos de disco y frenos de tambor en vehículos de servicio público”.

(Rojas & Jaramillo, 2012), generó su investigación en “El estudio de las características de diseño y construcción de los sistemas de dirección y frenos de un

automóvil, seleccionando las aplicaciones más factibles para su implementación y modificación de los sistemas originales del vehículo Toyota 1000”.

(Ortiz, 2018), basó su estudio en “El estudio de frenado de un automóvil, a partir de su evolución histórica y así obtener un conocimiento amplio de los componentes del sistema, así como de los fallos que se producen habitualmente y que afectan a la seguridad vial”.

1.6.2. Justificación Metodológica

Existen algunos estudios que se han llevado a cabo en el ámbito del comportamiento estructural sobre vehículos de transportación como lo son automóviles en serie, de maquinaria pesada, transportación pública, competencias automovilísticas, entre otros en los que se han realizado su respectivo estudio para luego con esos valores obtenidos, se permita tomar acciones y mejorar en la parte estructural el aspecto de absorción de energía y en el caso de los pilotos que esta energía en caso de una colisión frontal no afecte su integridad de manera parcial o total.

Entre algunos de los estudios que se pueden observar se encuentran los siguientes:

Según el estudio de (Rodríguez & Quille, 2022) trabajaron en “Determinar el funcionamiento del cinturón sobre un piloto en una competencia automovilística durante una colisión”. Esto involucra directamente en el comportamiento de cada uno de los elementos durante un determinado tipo de colisión y como estos se transmiten al sistema de retención del piloto durante una competencia automovilística y para esto está involucrado conceptos como lo son de biomecánica, física, mecánica, entre otros.

En el estudio de (Cuasapud, 2018) establece que: “Por medio de una metodología de simulación se puede determinar el análisis estructural de la carrocería de un bus sometido a impacto posterior con el fin de evaluar su desempeño, cuando se encuentra sometida a este tipo de evento”, el modelado de la estructura se realizó con la ayuda del programa LS-Dyna

aplicando cada una de las condiciones de borde para de esta manera generar el respectivo análisis.

Otro estudio lo presenta (Villafuerte, 2017) en el que determina “la resistencia durante la vida útil de operación en un bus, verificando el comportamiento de los miembros estructurales y determinar así deformaciones y fallas posteriores en estructuras autoportantes a través del método de elementos finitos y la normativa INEN 1323:2009” así mismo por esta investigación se tomó como parte metodológica el uso del modelado en tres dimensiones por medio de herramientas computacionales apropiadas.

En la investigación presentada por (Avilés, 2017) se presenta “Un estudio de ensayos de colisión sobre una estructura de un autobús urbano considerando tres puntos básicos de impacto lateral delantera, media y posterior, teniendo en cuenta la normativa UNECE R95R02, y como se genera la afectación a los ocupantes”.

Cada uno de estos estudios ayudan al presente proyecto investigativo a desarrollarse de manera sincronizada para así alcanzar los objetivos planteados, teniendo en cuenta también bibliografía complementaria en la que se extrae conceptualizaciones, modelos matemáticos y procesos teóricos que enriquecen a esta investigación.

1.6.3. Justificación Práctica

De acuerdo a los objetivos planteados para el presente proyecto investigativo referente al análisis estructural de un chasis de un kart sometido a esfuerzos generados por una colisión del tipo frontal se lleva a cabo de acuerdo a una secuencia de fases consecutivas de avance, con un proceso que inicia en la obtención de la información y verificación de cada uno de los parámetros y características del elemento en estudio así como las condiciones externas al momento de generarse la colisión del tipo frontal, posteriormente la siguiente fase es la generación de un modelado de la estructura del chasis del kart el cual se inicia a través del dibujo en dos dimensiones y se prosigue con el modelado en tres dimensiones para luego

generar las condiciones adecuadas así como restricciones que permiten generar la simulación correspondiente a través de softwares como lo es Inventor de AutoDesk.

Dentro de la fase de simulación y para finalizar con la parte práctica se obtiene los resultados y simulación del proceso, así como la generación del respectivo informe, el mismo que se lo extrae del mismo software.

1.6.4. Delimitación Temporal

Según lo planificado y establecido para la realización del presente estudio investigativo referente al análisis estructural del chasis de un kart cuando se presenta bajo las condiciones de una colisión del tipo frontal y cumpliendo cada una de sus respectivas fases de avance para el logro absoluto de los objetivos planteados se ha establecido que el presente estudio se realiza en un rango de tiempo que va desde su inicio en octubre de 2022 hasta llegar a su culminación en abril de 2023.

1.6.5. Delimitación Geográfica

La realización del presente estudio relacionado al análisis estructural del comportamiento del chasis de un kart al ser sometido a una colisión del tipo frontal se lo llevar a cabo en el país de Ecuador, provincia del Guayas, cantón Guayaquil, siendo este un lugar estratégico ya que se toma de referencia a los talleres y laboratorios de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil con su dirección en la avenida Raúl Gómez Lince y calle 15.

1.6.6. Delimitación del Contenido

El presente estudio investigativo denominado: Estudio del comportamiento estructural por impacto frontal sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos, se lo desarrolla a través de un proceso meticuloso de investigación basado en fuentes bibliográficas teóricas y técnicas, así como entidades normativas, revistas especializadas, artículos científicos, fichas técnicas, entrevistas a investigadores, proyectos de titulación, páginas web

y blogs especializados, lo que permite fundamentar de manera correcta el alcance del proyecto y estructurarlo de la mejor manera para así lograr alcanzar los objetivos planteados dentro de esta investigación.

Cabe tener en cuenta que la presente investigación se lo presenta básicamente con una sección de cuatro capítulos como cuadro de cuerpo de texto y sus respectivas conclusiones y recomendaciones.

1.7. Alcance

A través del presente proyecto investigativo con el tema: Estudio del comportamiento estructural por impacto frontal sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos se enfoca en generar un la simulación del comportamiento de este tipo de estructura al momento de colisionar de forma frontal por el motivo que estos tipos de vehículos son aplicados a competencias automovilísticas como lo es el karting, por ende están siempre condenados a la posibilidad de sufrir un accidente, teniendo en cuenta que la integridad de los pilotos es prioridad, para que no sufra mayores lesiones.

Para minimizar las consecuencias que se ocasionan las colisiones frontales de la estructura de los karts y por consiguiente de los pilotos, en la actualidad se aplica el desarrollo de la tecnología sobre todo con programas computacionales que permites de manera cuantitativa y gráfica visualizar el comportamiento de los fenómenos que se van generando en una colisión a través de un proceso de simulación matemática y más aún con aplicación de una metodología relevante como lo es el método de elementos finitos.

La consideración que se tiene para el presente estudio es el análisis del comportamiento estructural del chasis del kart por medio de una colisión del tipo frontal, por el motivo que es una de las más comunes dentro de la accidentabilidad en este tipo de competencias al igual que la colisión por alcance que se generan en la parte posterior del kart,

pero las condiciones son diferentes por ese motivo solo se realizará el análisis de la colisión frontal.

En lo concerniente al desarrollo del presente proyecto investigativo, este se llevará a cabo por fases, iniciando por la toma de medidas de un kart homologado, el mismo que permite establecer cada una de las medidas, así como su geometría para posteriormente iniciar con el proceso de modelado en dos y tres dimensiones por parte del programa Inventor que es una herramienta importante para aplicar la metodología virtual.

Una vez generada la carrocería tubular del kart se procede a determinar cada una de las restricciones y condiciones para generar el respectivo análisis, posteriormente se procede a generación del mallado de toda la estructura para poder empezar con el proceso de solución del método de elementos finitos y obtener el resultado de su comportamiento.

Finalmente se procede a generar los respectivos informes para poder analizar cada uno de los valores generados y poder emitir los criterios técnicos de los resultados, estos brindaran la justificación pertinente para emitir un criterio fundamentado para su mejora y de esta manera usarlos para la optimización de su modelo considerando las distintas formas que con los resultados obtenidos durante su respectivo proceso de manera interactiva, se generará una consideración como conclusión del presente estudio investigativo.

Capítulo II

Marco de Referencia

Para una correcta interpretación y entendimiento se ha tenido en cuenta cada uno de los principios y conceptos teóricos como científicos que se emplean en el desarrollo del presente trabajo investigativo los mismos que se potencializan en cada uno de sus capítulos con que cuenta el presente texto.

2.1. Ficha Técnica de Kart 125 cm³

Uno de los factores importantes para el desarrollo de la investigación planteada sobre el análisis estructural del comportamiento de chasis de un kart que percibe una colisión de tipo frontal, lo es tener cada una de las características técnicas de la estructura, la misma que de manera generalizada se plantea a continuación:

Un kart no es más que un vehículo de desplazamiento terrestre monoplaza que no posee techo, así mismo no posee un sistema de suspensión y no posee elementos que normalmente conforman un tipo de carrocería, otra de las características que son fundamentales es que es un vehículo conformado por cuatro ruedas las mismas que entre las delanteras y posteriores no se encuentran alineadas que se encuentran en contacto con la superficie del suelo, la función que cumplen las dos ruedas delanteras es que estas ejercen el control del desplazamiento en cuanto a dirección del monoplaza y por ende las dos ruedas posteriores se encuentran conectadas por un eje hueco o macizo, siendo de esta manera como se presenta la transmisión de la potencia del motor para impulsar al vehículo.

Al igual que una configuración de un vehículo de serie de cuatro ruedas distribuidas las delanteras para la dirección y las posteriores para la tracción. Su peculiaridad fundamental se encuentra radicada que el piloto para su desempeño al momento de operarlo va sentado a muy pocos centímetros del suelo que por lo general no es más de 6 cm, esto hace que se

provoque una sensación al pilotarlo de mucha velocidad aumentando de manera rápida la generación de adrenalina y por ende alucinante.

En lo concerniente al peso de este tipo de monoplace dependerá mucho de la categoría a la que se encuentre clasificado, pero tomando como ejemplo a un kart con un motor de 125 cm³ en conjunto con pilotos con un rango de edad mayores a 12 años, el peso total entre el kart y el piloto normalmente suele ser de 150 kg, pero igualmente también esto puede variar según el reglamento de cada una de las carreras de karting.

La influencia que se crea por el peso de un kart en el instante el este monoplace experimenta una aceleración al momento de salir de una curva y en cada una de las rectas, es un aspecto importante por el motivo que cuanto menor sea el peso del piloto pues mayor será la aceleración del vehículo y este factor permite que en menor tiempo el monoplace alcance su velocidad de punta.

Normalmente entre las categorías que participan en karting los más utilizados se encuentra el uso de motores monocilíndricos de 125 cm³ y de 2 tiempos con cambios de transmisión automática con encendido electrónico, sin caja de cambios, por lo general son motores refrigerados por aire o de manera mixta que lo es refrigerante y aire. Se debe tomar muy en cuenta que dependiendo de la categoría o reglamentación de esta se puede contar con distintas especificaciones técnicas en lo concerniente al límite de las revoluciones, tipos de carburadores, formas de silenciadores, entre otras.

Para poder analizar la potencia que suele poseer un kart se debe tomar en cuenta que las mayorías son comerciales y dependiendo de un motor básico de 250 cm³ esto no suele superar los 10 CV (caballos de vapor) de potencia, pero ya uno motor de dos tiempos de kart trucado para competencias de 125 cm³ tranquilamente genera unos 55 CV y suelen desempeñarse con un régimen promedio de giro de unos 20000 rpm, tomando en cuenta que se posee un par máximo que es disponible de manera instantánea.

Bajo estas características también se determina un promedio de velocidad que en competencia suele alcanzar un kart que puede oscilar entre los 80 a 120 km/h gracias a su tipo de motor que se encuentre implementado.

En cuanto a los pedales que posee este tipo de monoplace de competición suelen ser dos que por lo general el que se encuentra ubicado al lado derecho es el de acelerador y el que se encuentra al lado izquierdo suele ser el que controla el sistema de freno.

2.1.1. Material Aplicado para Chasis de Kart

En lo relacionado al material utilizado en la fabricación de los chasis de kart son diversos, pero entre estos en la investigación realizada por (Quezada, 2018) indica que: “los chasis de kart de la marca Tony con su modelo Kriptón para la categoría KF4 usa acero molibdeno o también conocido como acero 4130, que posee altas propiedades mecánicas como resistencia a la tracción y su ductilidad”, cabe tener en cuenta que este tipo de material se utiliza en varios modelos de la propia marca siendo esta una de las más reconocidas en el mundo de las competencias automovilísticas como lo es el karting a nivel mundial.

Según (Erazo, y otros, 2017), el desglose de la composición química del acero 4130 es el siguiente según el grado SAE:

| | |
|---------------|---------|
| Hierro, Fe | 97.03 % |
| Cromo, Cr | 0.800 % |
| Molibdeno, Mo | 0.150 % |
| Carbono, C | 0.280 % |
| Manganeso, Mn | 0.400 % |
| Fósforo, P | 0.035 % |
| Azufre, S | 0.040 % |
| Silicio, Si | 0.150 % |

Las ventajas adicionales que brindan el uso de este tipo de material es que es de un costo promedio, es más receptivo a distintos tratamientos térmicos y mecánicos en comparación a los aceros al carbono.

Al tener en su composición mayor cantidad molibdeno y cromo que cumplen una función de agentes de refuerzo y al tener bajo contenido de carbono esto permite soldar sus elementos fácilmente.

Dentro de las dimensiones del tubo utilizado para la construcción del chasis del kart está el de diámetro de $\frac{3}{4}$ in y con un espesor de 1.5 mm.

2.1.2. Pruebas de Impacto en Kart

De acuerdo con la revista especializada de karting (Vroomkart, 2022), presenta el estudio denominado “Crash Test in karting: how they take place”, con su traducción Pruebas de impacto en karts: ¿Cómo se las realiza?

En la que el autor de la investigación determina que en el mundo de las competencias automovilísticas todo el equipo que trabaje en su desempeño convive con cada uno de los diferentes tipos de colisiones y accidentes, siendo esto algo muy común en este tipo de deporte de competencias automovilísticas, teniendo en cuenta que su constante evolución técnica y con cada vez mayor cantidad de circuitos en los que son elaborados para que sean mucho más agresivos y rápidos logran un mejor rendimiento pero a cambio también de un aumento significativo de accidentes.

La Federación Internacional del Automóvil – FIA, que es el órgano regulador de todos los deportes automovilísticos a nivel mundial, así como de las federaciones de las principales organizaciones automovilísticas del mundo, exige a las marcas que fabrican karts homologadas realicen de manera obligatoria pruebas del comportamiento de parachoques, carenados y carrocerías de forma dinámica y estática como se puede observar en la figura 1, que corresponde a la marca CRG.

Figura 1

Inicio de Prueba de Impacto en Estructura de Kart



Página oficial CRG (CRG, 2022).

En el tema de las molduras de un kart o también denominados como carenados, estos siempre han tenido una connotación polémica sobre todo por la interpretación dentro de la reglamentación de este tipo de deporte automovilístico, pero más a un por la controversia que se genera en cuanto a los cambios de diseño entre uno y otro modelo o marca ya que se unos lo consideran de la vieja o nueva escuela del karting, lo que afecta al enfoque y desempeño de los pilotos y sus escuderías porque esto influye de forma significativa en los tiempos de clasificación, o también si este es apto o no para la competencia, siendo un tema contradictorio en muchos aspectos ya que un kart es considerado como un auto de competición único dentro de su género por el motivo que no es un conjunto de sistemas o elementos que se fabriquen dentro de una línea de producción en serie.

Cabe mencionar el un kart es un monoplaza es la base sobre todo de todos los monoplazas utilizado en las competencias tipo Fórmula como lo son: Fórmula E y de la Fórmula 4 a la Fórmula 1.

2.1.3. La Naturaleza de un Kart

Al momento que se habla de lo que es el karting, este es un deporte que se conjugan entre un vehículo monoplace que posee cuatro ruedas que se lo podría a llegar a comparar como un deporte de carreras de vehículos y uno conocido como motociclismo, con la consideración que el piloto presenta una exposición física con este conjunto.

Básicamente cuando se analiza el comportamiento de un tipo de colisión en algunos deportes automovilísticos se llega a la conclusión que la mejor forma de proteger al conductor no es más que diseñar o implementar una carrocería de seguridad o también conocida como célula de protección y justamente en este punto es donde se genera la diferencia abismal por el motivo que por la naturaleza que posee un kart este nunca podrá serlo.

Justamente por lo expuesto anteriormente y ya conociendo la naturaleza de lo que involucre el karting, en este caso la consideración que se debe tener en cuenta es que para un análisis de colisión no se lo debe considerar como un vehículo normal de serie sino más bien la consideración es que el piloto o conductor está desprotegido en el momento de una colisión, considerando que las molduras no generan mayor protección, quedando como la única opción la de limitar las energías provocadas durante el impacto del monoplace.

2.1.4. Tipología de las Pruebas

Según el reglamento de homologación de la FIA para vehículos en serie se establecen algunas consideraciones como lo son el de generar colisiones que simulen el impacto y para este caso lo realizan teniendo en cuenta los paragolpes delanteros en los que el monoplace se desplaza a una velocidad según (Vroomkart, 2022) de : “10 km/h contra una pared rígida para que el conjunto del parachoques y el soporte trabajen en conjunto durante el impacto”, de manera básica así es como se lleva a cabo este tipo de pruebas de impacto dinámicas en seguridad pasiva, siendo esta la combinación para alcanzar la máxima deformación entre toda su carrocería y la parte estructural.

Este tipo de ensayo que presenta (Vera, Morales, Peña, & Rodríguez, 2019), pretende alcanzar un objetivo común y es el de determinar la desaceleración máxima que puede alcanzar un monoplaza tipo kart y ver como esta puede ser disminuida al máximo al inicio del impacto, para así poder evaluar tanto el desplazamiento que se genera como la deformación que se produce en cada uno de sus elementos que son los que se diseñan para que cumplan la función de absorber la energía adquirida durante una competencia.

De acuerdo con parámetros establecidos por la FIA en cuanto a energía de impacto con sus respectivas tolerancias, lo que se pretende es una evaluación de la capacidad que posee sus parachoques en cuanto a disipación y absorción de la mayor cantidad de energía posible.

El fin que se pretende alcanzar con este tipo de evaluación no es más que mantener el pico de desaceleración para que este sea lo más bajo posible para así poder aguantar un desplazamiento del paragolpes, que en definitiva y bajo estudios realizados para un kart y según (Vroomkart, 2022) no puede ser “mayor de 40 mm del chasis y que al momento del impacto debe retraerse para luego tratar que vuelva a su posición, pero no se garantiza que esto se cumpla”.

En cuanto a los criterios de evaluación que se generan por lo expuesto en los párrafos anteriores este es muy similar a los tomados en cuenta cuando se evalúan otros tipos de monoplazas ya que sus datos son interpretados de similar manera pero pretendiendo sin duda alguna salvaguardar sobre todo las extremidades inferiores del conductor, con la consideración que al ser un vehículo monoplaza de menores dimensiones posee menos capacidad de disipar energía en comparación a una celda de seguridad utilizada en otros vehículos de competición monoplaza.

2.1.5. Accidentología con Aplicación en el Karting

Este es un concepto importante para el presente trabajo investigativo y no es más que la ciencia que se encarga del estudio integral de los accidentes que se llevan a cabo en competencias de karting, basándose constantemente en el estudio propio de esta ciencia.

Lo que se obtienen son datos de suma importancia que permiten establecer y definir posibles nuevas causas para poder evaluar los riesgos generados que anteriormente no se hayan generado.

Los distintos tipos de análisis en este tipo de laboratorios de colisiones se realiza para cada uno de los paragolpes que posee un kart como lo es frontal, posterior, lateral derecho y lateral posterior, con la consideración de que se realizan tomando en cuenta los peores escenarios posibles que simulen una colisión, pero tomando en cuenta las condiciones metabólicas del piloto, así como su seguridad.

2.2. El Chasis

Dentro del conjunto de elementos y mecanismos que conforman un kart se encuentra una de las partes fundamentales como lo es el chasis que es el elemento mecánico que soportará cada uno de los elementos fijos y móviles del monoplaza incluyendo sin duda alguna a los del piloto y dentro de su desplazamiento la función de soportar tanto los esfuerzos estáticos como dinámicos a los que se ve constantemente en repasos o competencias.

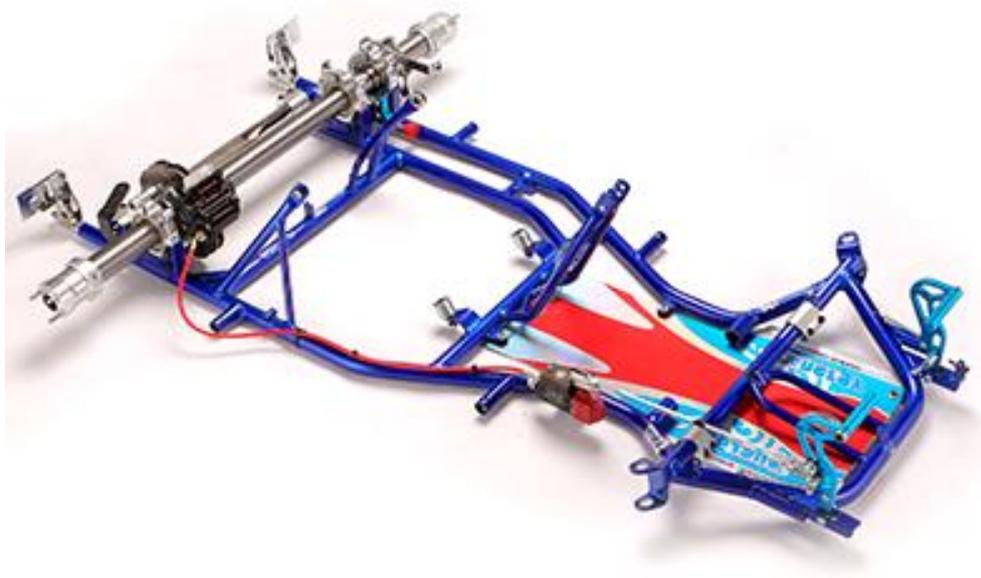
Un chasis de kart cuenta con algunas partes integradas al mismo y se las conoce como partes principales, chasis cuadro y monobloque del chasis, como se muestra en la figura 2.

Una de las exigencias que determina la normativa en un kart es que este monoplaza no puede poseer un sistema de suspensión ya que no se encuentran permitidos, esto este motivo el único mecanismo que genera cierto tipo de suspensión lo es entre el neumático y el chasis del kart.

Dentro de su conformación un chasis de kart se fabrica a través de un conjunto de tubos metálicos normalmente de acero estructural o en otros casos se suele elaborar de acero estructural, para las uniones de los elementos se lo realiza por medio de proceso de soldadura el mismo que le brinda la rigidez adecuada y forma estructural.

Figura 2

Partes del Chasis del Kart



Página oficial TKART- Italia (TKART, 2018)

Según (Borja & Enríquez, 2014) entre las marcas a nivel mundial homologadas que se encargan de la fabricación de estos tipos de chasis para kart bajo las normas y procesos de fabricación idóneos para este tipo de chasis están las siguientes:

- Tony Kart
- Arrow
- CRG
- Birel

2.3. Efectos de Seguridad

La protección de la integridad física de un piloto en este tipo de competencia automovilística es de suma importancia por lo que al momento de diseñar un kart se debe considerar este factor para de esta manera dotarlo de elementos de seguridad pasiva los mismos que están prediseñados a proteger al monoplaza y al piloto en caso de que presente una colisión ya sea con un objeto o con otro kart.

Entre los elementos básicos que se aplican en un kart están los paragolpes los mismos que se encuentran contruidos a través de unas barras metálicas que se encuentran fijadas al chasis para de esta manera poder resistir a los impactos.

Existen otros elementos de seguridad adicional como lo son los protectores de ruedas posteriores, en los que su función es el pretender minimizar la contaminación de pequeñas partículas que se encuentran en la pista los mismos que al adquirir energía se convierten en proyectiles y afectan al estado de los neumáticos cuando estos se encuentran en movimiento y debilitándolo hasta alcanzar a destruirlo y de esta manera llegar a provocar un accidente durante un entrenamiento o competencia.

2.4. Modelado de Chasis de Kart

En el presente estudio investigativo se basa en el estudio del comportamiento estructural de un chasis al simular una colisión frontal por lo que se requiere de un software que a través del proceso de elementos finitos se alcance su objetivo, para lo cual el programa a utilizar es Inventor el mismo que posee varias herramientas para lograr lo propuesto y entre las opciones que permite realizar están las siguientes:

- Dibujo en 2 dimensiones
- Modelado en 3 dimensiones
- Ensamble
- Creación de simulación

- Designación de material
- Designación de cargas
- Designación de restricciones
- Generación de mallado
- Generación de simulación
- Visualización de resultados
- Elaboración de informe de resultados

2.5. Características de la Colisión Frontal de un Kart

Cabe aclarar que para el presente estudio investigativo referente a un análisis de impacto frontal que soporta un chasis de un kart, primero se debe conocer ciertos conceptos y definiciones sobre los tipos de colisiones que se pueden presentar o existen y entre los más comunes se tienen los siguientes:

- Pérdida de pista o trayectoria, esta acción se suele presentar un kart o vehículo de competencia abandona la superficie de rodamiento dirigiéndose hacia las zonas de seguridad o laterales de la pista.
- Del tipo frontal, esta acción ocurre siempre y cuando cierta o todas las partes frontales del kart se involucran en la colisión.
- Del tipo lateral, esta acción ocurre cuando una sección p las partes laterales del kart se involucran en una colisión.
- Por alcance, esto ocurre siempre y cuando la parte frontal del kart entra en contacto directo con la parte posterior del otro kart.
- Del tipo oblicuo, esto ocurre siempre y cuando las partes laterales entre los karts entran en contacto, ya sea por la acción cuando estos se encuentran desplazándose en el mismo sentido o uno de ellos se desplaza en el sentido contrario.

- Volcadora, este tipo no es el menos frecuente por la forma estructural del kart, pero se da por el motivo de elevación a velocidad o al encontrarse un punto de pivote generándose así un vuelco ya sea de manera oblicua o lateral.

También se debe tener en cuenta para un análisis los tipos de impactos que pueden presentarse en una colisión y estos suelen intervenir entre dos objetos en desplazamiento los mismos que ejercen fuerzas mutuas; por ejemplo, mientras en un kart en movimiento impacta contra un elemento estático ya sea una valla publicitaria o un kart que se encuentre detenido en la pista.

Por estos motivos se realizan algunos estudios referentes a pruebas de impacto que son ensayos destructivos que lo que se pretende es reproducir las acciones graves que se pueden generar en una colisión que se encuentren involucrados uno o varios karts.

Lo que si toca tener en claro es que no es lo mismo el referirse a un choque o una colisión ya que un choque es protagonizado por un vehículo que se encuentra en movimiento contra un objeto que se encuentra estático, en cambio que una colisión se refiere cuando se produce este impacto entre dos vehículos que se encuentran en movimiento, así mismo se debe considerar que una colisión puede ser simple o múltiple, refiriéndose a cuando se involucran varios vehículos que se encuentran en movimiento y esto se da con mucha frecuencia en competencias automovilísticas sobre todo a la largada o inicio de la competencia ya que muchos vehículos se encuentra corriendo de manera conjunta.

Como se puede apreciar en la figura 3, dentro de varios estudios realizados referente a colisiones vehiculares, pruebas de colisión, Dummys, estructuras tubulares de competencias entre otros, se llegan a presentar varios factores a ser considerados para poder realizar una evaluación al momento de realizar una simulación de una colisión y entre estas son si la prueba a realizar en un vehículo monoplace o biplace y las características físicas del conductor o piloto, así mismo se determina un modelo que cuente con transmisión de inercia

y los elementos de sujeción de anclaje, pero con la condición de que estos no cuenten con el sistema de efecto látigo ya que esto facilita el modelado, permitiendo de esta manera obtener la peor condición que se puede generar en una colisión frontal que permitirá obtener así mejor información para el análisis estructural del chasis en estudio.

Figura 3

Pruebas de Colisión Frontal entre Karts Realizadas en Laboratorio



Estudio realizado por: (Grzebieta, Rechnitzer, Simmons, & Hicks, 2017)

Cabe indicar que todo este proceso se lo lleva a cabo a través de un laboratorio de colisiones especializado y programas computacionales de dibujo e ingeniería asistida por ordenador.

2.6. Procedimiento de Análisis Estructural

Para la realización de un análisis estructural se tiene en cuenta que este se refiere al uso de las ecuaciones o modelos matemáticos pertinente a resistencia de materiales, logrando como resultado encontrar cada uno de los esfuerzos internos, las tensiones que actúan sobre una estructura resistente y las deformaciones que se generan en una estructura.

Según (Fryśkowski, 2017) en un análisis estructural se puede llevar a cabo de dos formas ya sea de manera lineal si es estático o no lineal si es dinámico, esto dependerá de la

complejidad que presente la estructura en estudio y de la respuesta estructural que se vaya a desear analizar, como: aceleraciones, fuerzas internas, derivaciones, entre otras.

Los elementos de un análisis estructural tratan de individualizar cada uno de los elementos o partes del producto, así como el observar cada una de sus relaciones. A este tipo de análisis consideran al producto tecnológico como un solo conjunto de elementos interconectados, interactuantes, cuyas conexiones solo responden al propósito para el que fueron construidos.

Dentro de los procesos que se aplican para el presente estudio investigativo del análisis estructural del chasis del kart con los siguientes:

- Modelado clásico referente al impacto
- Modelado referente al empleo de modelos de transferencia de inercia
- Aspectos generales de modelación
- Procedimientos de modelación

2.7. Modelación de Impacto

Con el pasar del tiempo se han realizado muchos estudios sobre impactos de vehículos, pero para el caso del kart son muy pocos los estudios sobre este tema. Al tratar solo de los vehículos en forma general.

Al tratarse de vehículos de manera globalizada sus fabricantes han venido realizando un sinnúmero de actividades que involucran el mejoramiento de sus carrocerías tratando que pasen de ser duras o robustas a que se conviertan en más seguras para sus ocupantes y conductor a través de las carrocerías denominadas de deformación programada, que no son otra cosa que estructuras que permiten absorber la mayor cantidad de energía que se produce a consecuencia de un choque o impacto, pero sacrificando de esta manera, todos los elementos o mecanismos que se encuentren involucrados en su periferia.

Lo que se logra en definitiva con este tipo de carrocería no es más que absorber la mayor cantidad de energía generada cuando se produce un choque y frenando de esta manera la energía liberada del impacto, que se produce en una colisión y así poder disminuirla de manera significativa, para evitar que esta energía se traslade directamente a su conductor u ocupantes del vehículo.

En los últimos años se ha venido utilizando un término en el área de la fabricación de carrocerías en la industria automotriz y esta son las Carrocerías Inteligentes, la misma que se fundamenta en la variación de todos sus elementos con los que se fabrican de acuerdo a sus espesores y el tipo de material, en los que cada uno de estos elementos cuenta con un tipo de deformación programada.

Se debe tomar en cuenta que cada uno de los elementos estructurales con que conforman un vehículo y su diseño, poseen un análisis previo como lo es la geometría con la que se dispone cada uno de los puntos denominados puntos fusibles, logrando de esta manera que se genere durante su deformación una correcta absorción de energía, tanto en magnitud como en intensidad, dirigiendo de manera programada la energía a los puntos que los diseñadores han establecido.

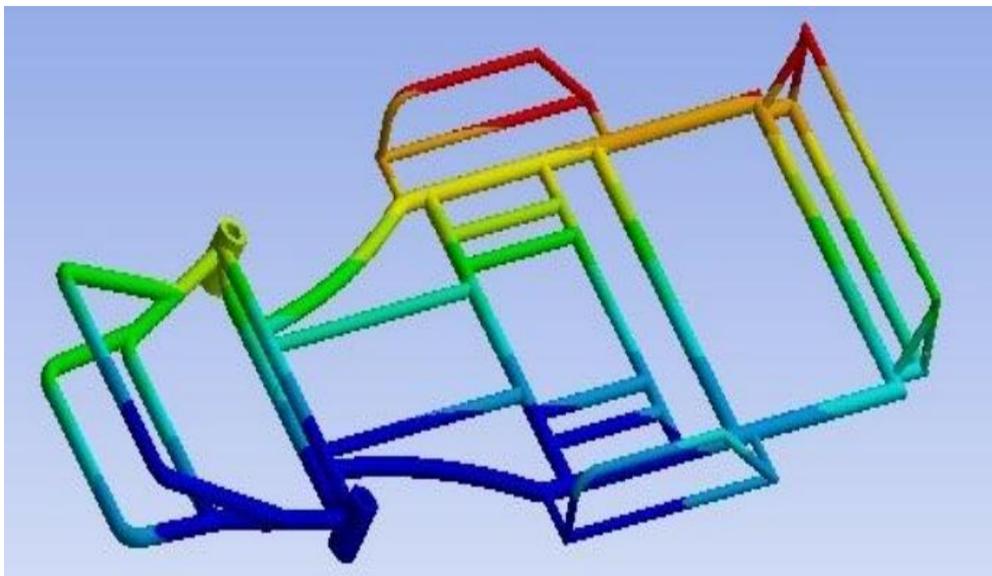
Este tipo de comportamiento es logrado a través de canales, pliegues, largueros, orificios y refuerzos, en donde su ubicación tiene que estar bien definida, por este motivo es que por parte de una estrategia de diseño se logra su objetivo de actuar de manera progresiva, la distribución de esfuerzos que se adquieren durante una colisión por parte de los denominados concentradores de refuerzos.

Para el caso del comportamiento de un vehículo ante un impacto frontal, los primeros elementos que van a absorber la energía del impacto son los largueros, tanto superiores como los inferiores, los mismos que se doblan de manera controlada, absorbiendo energía y atenuando la fuerza del impacto.

Al referirse a estructuras de vehículos monoplaça o biplaça de competencias en el que su conformación es diferente, los estudios se refieren un análisis de elementos finitos y los autores han determinado algunos criterios y entre estos están: los modelados se han realizado con estructuras con modelado sólido, los análisis han sido estáticos, modelado del comportamiento de vigas, modelando de esta manera las características en las que su geometría es sometida a este tipo de cargas, un ejemplo visual de este tipo de comportamiento se puede apreciar en la figura 4.

Figura 4

Modelado Clásico del Comportamiento Estructural de un Kart



Tomado de (Kher & Dixit, 2016)

Este tipo de modelado se basa fundamentalmente de un comportamiento rígido el cual es restringido de forma fija y rígida en la misma estructura como la consideración de una condición inicial de desplazamiento a cada uno de los elementos que conforman la estructura del kart que son las vigas.

2.8. Modelado de Transferencia de Inercia

Cuando una estructura está sometida a un tipo de colisión de su carrocería, se procede a realizar un estudio referente al modelado de transferencia de inercia, pero de manera transitoria ya que en la realidad no se podrá satisfacer todos los objetivos planteados de

manera real, por este motivo los parámetros empleados y la modelación, la transmisión de contacto por superficies, el estudio de las condiciones de frontera, cada uno de estos parámetros fueron replanteados ya que la modelación es probable que no sean satisfactorios.

Para el presente proyecto investigativo la consideración a tomar en cuenta es que el kart en un monoplaza esto quiere decir que solo se considera un ocupante que ejerce esfuerzos sobre su estructura.

Entre algunos de los factores que se involucran en este tipo de cálculos, se detallan a continuación:

- Masa del vehículo
- Resistencia que ofrece la estructura producto del impacto
- Masa del conductor
- Distancia de colisión del conductor
- Resistencia que ofrece
- Desplazamiento del vehículo
- Desplazamiento relativo del conductor del vehículo

Otra consideración a tomar en cuenta cuando se realiza el análisis de una colisión de un vehículo monoplaza es la de ser una doble colisión, por el motivo que en primer lugar colisiona la estructura que para este caso es la del kart, la misma que inicia con una desaceleración influenciada directamente por sus propiedades, así mismo influye el cuerpo del conductor el cual viaja a la misma velocidad de la estructura del kart, generándose de esta manera una velocidad relativa del conductor con respecto a la desaceleración brusca que se genera por la desaceleración del kart.

El segundo impacto que se considera lo es de gran importancia debido a que genera una segunda desaceleración a la que se encuentra sometido el conductor, la cual es relacionada con la segunda ley de Newton.

La variación de esta energía depende de la segunda desaceleración y de los factores que intervienen durante la colisión del monoplaça, siendo mucho más compleja que cuando se realiza un análisis de condición estática.

Una situación para tomar en el presente estudio estructural es que cuando el monoplaça no es capaz de cargar este tipo de carga inicial al conductor, del modelo de análisis de elementos finitos no suele ser lo suficientemente descriptivo como para hacer un análisis de interacción de la colisión en conjunto entre la estructura del kart como las características del conductor.

2.9. Aspectos Generales de la Modelación Estructural

Un modelo estructural es conocido como la representación o esquema simplificado de una estructura, la misma que es creada con la finalidad de analizar su comportamiento, a un modelo estructural también se lo conoce como esquema estructural o de cálculo y ciertas veces como estructura ideal.

Existe una clasificación de los elementos estructurales y esta se presenta en la tabla 1.

Tabla 1

Clasificación de los Elementos Estructurales

| | Unidimensionales | Bidimensionales |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|
| Solicitaciones predominantes | Rectos | Planos |
| Flexión | Viga recta, dintel, arquitrabe | Losa, placas, muro de contención, forjado |
| Tracción | Cable tensado | Membrana elástica |
| Compresión | Pilar | Muro de carga |

Para el inicio de un modelado estructural se debe tener en cuenta luego de haber definido el modelo estructural como lo es el kart que será sometido a condiciones de colisión frontal, se procede a realizar el modelo a través de un programa de dibujo asistido por

ordenador CAD de forma descriptiva y concreta con cada uno de los datos técnicos como de dimensiones de su geometría respetando su ficha técnica.

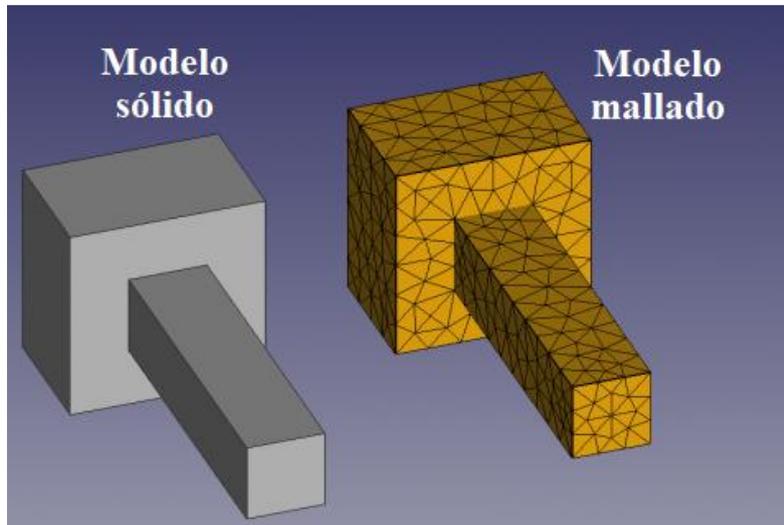
Luego se procede a crear una tabla en la que debe constar datos como: materiales a ser utilizados, velocidades a la que se simulará el impacto, cada una de sus restricciones, características del cuerpo que soportará la estructura, refiriéndose este punto a los datos del conductor.

Posterior a la recaudación de toda la información requerida se procede a integrar el sistema CAD de acuerdo con las herramientas que el programa computacional lo brinde para crear el modelado con la interfaz de elementos finitos, una vez definida esta sección se continua con la fase de ensamble de cada uno de los elementos involucrados, obteniendo de esta manera el sólido del modelo, para continuar con la discretización de la estructura y así proceder a crear el mallado de la estructura.

2.10. Creación de la Malla

Este proceso es un modelo continuo, en el que una pieza, mecanismo, estructura o ensamble sobre el cual se va a realizar un análisis se procede a generar una división finita de elementos individuales, obteniendo los denominados elementos de malla, los mismos que interactúan entre sí por parte de los nodos, a todo esto, en un solo conjunto se lo conoce como malla estructural y se lo puede apreciar en la figura 5, en la que se muestra al sólido con base de modelo y el mismo elemento pero con la creación del mallado estructural en todo su volumen estructural.

De debe tomar en cuenta cada una de las propiedades que se deben aplicar en la creación del mallado para un cuerpo ya que de esto dependerá el tiempo de resolución por parte del programa computacional, así como de la geometría o forma del tipo de malla del elemento a ser simulado para que así no se produzca algún tipo de complicación durante el proceso de simulación.

Figura 5*Mallado de un Sólido*

2.11. Ingeniería Asistida para Análisis de Impacto

En las últimas décadas los usos de programas computacionales aplicados al diseño en el área de la ingeniería automotriz han permitido analizar y elaborar simulaciones de nuevos diseños en el área de la ingeniería con el fin de valorar su comportamiento, viabilidad, propiedades, características, y así poder calcular su rentabilidad en cada uno de los diseños, logrando de esta forma minimizar considerablemente los costos de fabricación y cada una de sus pruebas de funcionamiento.

Tanto los ingenieros como los diseñadores normalmente utilizan programas computacionales los mismos que les permiten elaborar estudios y análisis fundamentados directamente en métodos implícitos y explícitos, logrando de esta manera trabajar con fenómenos físicos que hace algunos años eran considerados como imposibles de analizar con la aplicación de procesos tradicionales o simples de cálculo.

La ingeniería asistida por ordenador es utilizada a menudo en el área de la industria automotriz y como una subdivisión de esta, es aplicada en el campo de la preparación de vehículos de competencias automovilísticas por el motivo que este tipo de vehículos constantemente se encuentran involucrados en accidentes por lo que muchos equipos y

fabricantes invierten recursos para poder disminuir los daños de los competidores así como de su estructura, a través de buscar soluciones para mejorar la seguridad de los conductores y la única manera de alcanzar este objetivo de manera obligatoria contar con todo un equipo humano así como paquetes informáticos que resuelva problemas del modelado, simulación y así lograr elaborar estudios virtuales, antes que se proceda a la elaboración de algún tipo de comprobador de este tipo de análisis.

Al detallar todo lo concerniente al análisis de impacto así como la simulación estructural para llegar a la mejora indiscutible del diseño basado en ingeniería asistida por ordenador, en el chasis del kart sometido a un impacto del tipo frontal para su estudio de las características de deformación así como la mejora de los sistemas de seguridad, se procede a analizar la energía que fue absorbida, la deformación generada por el impacto y las lesiones a las que puede estar sometido el conductor del monoplaça.

Inicialmente los paquetes computacionales utilizaban técnicas matemáticas basadas en las diferencias finitas para llegar a las soluciones de los problemas generados y llegar a la interpretación de las simulaciones de análisis estructurales como de la mecánica de fluidos, posteriormente se procedió a utilizar el método de elementos finitos, el mismo que se ha convertido en el más utilizado en la actualidad por métodos de diseño, así como de ingeniería asistida por un ordenador en casi la totalidad de la industria de ingeniería automotriz a nivel mundial.

Para cuando se realiza una investigación con la finalidad de evaluar un problema de resistencia estructural de un kart, así como de sus características de deformación luego de que esta estructura haya sufrido un impacto frontal se debe considerar de manera estricta la norma a la que está rigiendo para la modalidad de su categoría, también se requiere determinar cada uno de los elementos que se necesitan en el caso de hacer algún tipo de modificación o fortalecimiento de esta.

El realizar cada uno de los análisis del modelo en su totalidad conlleva de un elevado valor de inversión computacional, por lo que el aplicar este tipo de método de elementos finitos es simplificado y por ende disminución de recursos. En el caso de la utilización de modelos de elementos finitos simplificados se toma en consideración dos aspectos, los mismos que se detallan a continuación:

- La parte que va a recibir directamente el impacto por la colisión
- Todas las partes que no presentan efecto alguno como salida del impacto, por lo que estas se suelen eliminar del modelo

La mayoría de los programas computacionales al diseño asistido por ordenador poseen módulos específicos, los que permiten la realización de simulaciones, estudios del tipo lineal o del tipo no lineal y estudios del tipo estructural. Todo esto es aplicable para la realización de las simulaciones del tipo impacto, las mismas que se encuentran basadas en tres fases como lo son:

Preproceso. – Que consiste en el modelado de la estructura del chasis del kart de competición

Solución. – Que involucra a todas las soluciones matemáticas que se generan a través del Solver

Postproceso. – En este punto se obtiene los resultados y por ende su interpretación técnica.

2.12. Modelos Matemáticos Aplicados al Impacto Frontal de un Kart

Para la determinación de los valores a ser aplicados en una simulación de impacto frontal de un kart se deben tener en cuenta algunas consideraciones y entre las más importantes son el porcentaje del espacio frontal del vehículo, así como el ángulo de impacto, por ende, suelen generarse muchas formas de impacto frontal.

Por este motivo para el presente proyecto investigativo se toma en consideración que el impacto a la que está sometido el kart es al 100 % del área frontal para lo cual se utilizarán los siguientes modelos matemáticos que corresponden a la segunda ley del movimiento de Newton que determina la relación que se presenta entre la fuerza experimentada por un cuerpo, la masa de este y la aceleración.

Ecuación 1

Modelo Matemático para Determinar la Fuerza de Impacto

$$F = m * a$$

F corresponde a fuerza experimentada por el chasis del kart al momento del impacto [N]

m corresponde a la masa de todo el kart [kg]

a corresponde a la aceleración que se posee el kart justo antes del impacto [m / s²]

Pero también se debe tener muy en cuenta que el kart al momento del impacto experimentará una desaceleración que va desde una velocidad inicial propia de la competencia hasta llegar a ser un calor de cero al finalizar el impacto por ende se procede a utilizar el modelo matemático correspondiente a cálculos de velocidad como se presenta a continuación.

Ecuación 2

Modelo Matemático para Determinar la Aceleración al Momento del Impacto

$$v_f^2 = v_o^2 - 2ax$$

v_f corresponde a velocidad final del kart [m/s]

v_o corresponde a velocidad inicial del kart [m/s]

a corresponde a la aceleración del kart en el impacto [m / s²]

x corresponde a la distancia de desplazamiento del chasis durante el impacto [m]

2.13. Influencia del Peso y Masa en un Kart

Tomando en cuenta que un monoplaza como lo es el kart está constituido por un conjunto de elementos y de sistemas, pues cada uno de estos posee un peso el cual se traduce en un factor de inercia que es opuesta al desplazamiento, esto quiere decir que es una fuerza la cual se opone a la aceleración del kart. Este factor es de suma importancia para un análisis, así como para cuando se desea diseñar o rediseñar un monoplaza o un componente, por lo que se debe realizar un análisis de manera profunda.

Cabe mencionar que cada uno de los elementos que componen un kart posee con una masa el cual cumple estrictamente con las leyes de la física y sobre todo tiene mucha relación de manera partículas con el modelo matemático del movimiento, el mismo que si se lo resuelve de manera breve es de fácil aplicación, pero se debe tomar en cuenta que el análisis de cada una de las consecuencias en la parte práctica no lo es, convirtiéndose de esta manera en una forma compleja. Sobre todo, cuando el monoplaza debe cumplir cada una de sus expectativas para que el kart cumpla un correcto rendimiento o desempeño.

Según la ciencia de la física y de manera teórica, eso quiere decir que se excluye fenómenos o factores externos como lo es la fricción y otras pérdidas que se presentan en el desempeño real, los modelos matemáticos de movimiento se suelen simplificar de la siguiente manera:

Ecuación 3

Modelo Matemático para Movimiento Rotatorio

$$T = l * w$$

T corresponde a par aplicado al elemento [N*m]

l corresponde al momento de inercia angular [kg * m²]

w corresponde a la aceleración angular, esto quiere decir que es la aceleración de cada una de las masas rotatorias, que para un kart lo generan los siguientes componentes: placas, cadenas, frenos de disco, llantas, neumáticos, entre otros. [rad/s]

Se debe tener muy en cuenta la importancia del factor peso del combustible, accesorios, chasis, motor y piloto, para el estudio del comportamiento del kart ya que este determina la inercia al desplazamiento, tanto en movimientos rotatorios como los movimientos lineales.

En la determinación del funcionamiento de acuerdo a masas simples de cada uno de los elementos o ensambles específicos de un kart, se puede establecer que la inercia es determinada por todas las masas (peso del combustible con su depósito, peso de chasis, peso de motor y peso de piloto) las cuales por medio de la suma de cada una de estas se establece el parámetro de masa así como los elementos de neumáticos, frenos de disco, llantas, cadena, entre otros en cambio conforman la inercia instantánea.

En lo concerniente a la masa la situación es básica ya que esta es determinada en definitiva por el peso total el kart incluido el piloto. Por otro lado, el momento de inercia en cambio no depende de manera exclusiva del peso de los elementos y sistemas que giran que también depende del cuadrado de la distancia de cada una de las masas al centro de rotación en el momento que el kart se desplaza por su trayectoria.

Por este motivo la consideración que se tiene en un estudio de estas características es que mientras más peso tenga todo el kart y también mayor sea la masa rotatoria, el resultado será que mayor será su inercia opuesta a la aceleración, y por este motivo se requiere mayor potencia por parte de su motor.

Otra consideración para tener muy en cuenta es la influencia del peso en un kart, ya que en el preciso momento que se genera una aceleración al salir de una curva o al desplazarse por una recta el peso del conjunto kart y piloto juega un papel preponderante ya que cuanto menor sea el peso del piloto mayor será la aceleración del kart y en definitiva lo que se obtiene es que en menor tiempo se alcanza la velocidad de punta del monoplaza.

Pero cabe aclarar que cada una de las competencias cuentan con distintos parámetros de reglamentación en las que ya sea por homologación o reglamentación el peso entre kart y piloto variarán de manera significativa y por ese motivo se debe trabajar bajo esos parámetros sin que estos salgan de lo reglamentado, motivo por el cual se podría llegar a una descalificación o penalización en términos de competencia.

De acuerdo con la categoría a continuación se presenta unos ejemplos de pesos promedios utilizados en distintas competencias:

- Kart 125 cm³, posee un peso promedio de 150 kg
- Kart 150 cm³, posee un peso promedio de 170 kg
- Kart X 30, posee un peso promedio de 158 kg

2.14. Antropometría Estática

Para la determinación del peso del piloto se debe tener en cuenta un factor importante como lo es la antropometría estática en la que según (Vera, Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student, 2017) establece que es “Una medición del cuerpo humano bajo posición fija, permite establecer distancias entre el ser humano y el área de trabajo. Las dimensiones estáticas se toman en condiciones estáticas ya sea de pie o sentado, según la postura que se necesita”.

Para la determinación de estos parámetros se establece de acuerdo algunas condiciones del percentil, como lo es condiciones físicas, metabólicas, mecánicas, edad, entre otras.

Capítulo III

Método de Modelado

3.1. Método

Para el presente trabajo investigativo referente al estudio del comportamiento estructural por impacto frontal sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos se aplica un enfoque de manera predominantemente cuantitativo y cualitativo, por el motivo que la mayor parte del estudio se aplican modelos matemáticos que se fundamentan en las propiedades mecánicas del chasis del kart, sus deformaciones y también la fractura de algunos componentes estructurales que se verán afectados, cada uno de los modelos matemáticos utilizados son enfocados según datos reales de operación o también conocidas como asignación numérica según sus variables.

Para el caso del enfoque cualitativo en cambio se fundamente en el comportamiento estructural de la forma geométrica que adquiere desde el momento que inicia el impacto hasta finalizar, así como el comportamiento de las propiedades de los elementos inmersos en la colisión de acuerdo con los materiales con los que se encuentran contruidos y su forma geométrica.

El método que se utiliza en el presente trabajo investigativo básicamente es experimental por el motivo que ya sea por medio de un simulador virtual se determina las deformaciones y cada uno de los esfuerzos, por lo que a través de esta metodología se permite establecer el análisis de la resistencia de la parte estructural del chasis del kart al momento que experimenta una colisión frontal.

Una de las mayores ventajas que brinda esta metodología de utilizar una herramienta de simulación virtual para el análisis estructural sin duda alguna es el ahorro de recursos siendo este el motivo por el cual esta tendencia se ha convertido una de las de mayor popularidad en el campo de la ingeniería aplicada a la realización de pruebas de impacto con

simulación de ordenador en el campo automotriz, así como una gran ventaja al aplicar el método de elementos finitos en el que su procesamiento es muy rápido en comparación a la realización de manera manual.

Por este motivo es que el presente proyecto investigativo realiza pruebas por medio del método de elementos finitos el cual consiste en la creación de un modelado en tres dimensiones de cada uno de los componentes que conforman el chasis de un kart de competencias automovilísticas para luego generar una discretización de sus elementos independientes para de esta manera crear un modelo matemático sobre el que se procede a la generación de condiciones de borde los cuales son valores que requiere el programa computacional para generar la respectiva simulación y entre estos valores se tienen los siguientes: presión de impacto, fuerza de impacto, aceleración del conjunto y otras propiedades físicas las cuales entran a un estado de resolución por parte de la aplicación del método de elementos finitos y así se obtiene los resultados del respectivo estudio que son los siguientes:

- Puntos críticos.
- Factor de seguridad.
- Desplazamientos de estructura.
- Deformaciones.
- Valores de esfuerzo.

Con cada uno de estos valores que se obtienen por parte del programa computacional son los suficientes para poder determinar el análisis estructural del chasis de kart al experimentar una colisión del tipo frontal.

3.2. Análisis Estructural del Chasis de Kart por Impacto Frontal

De acuerdo a los objetivos planteados por parte del presente trabajo investigativo y con la ayuda del uso del proceso de diseño e ingeniería asistida por ordenador se logra la

realización del diseño y de cada una de las aplicaciones prácticas dentro de la evaluación estructural de cada uno de sus esfuerzos estáticos y de impacto sobre el chasis del kart, logrando de esta manera mejorar y desarrollar propuestas y aplicaciones de metodologías en las que se permite determinar si existe la presencia de algún tipo de error en el proceso de generación del modelado del elemento, lo que permite asegurar que al momento de construirlo los defectos son minimizados o hasta llegar a una eliminación de dichos errores, logrando de esta manera una eficiencia del elemento.

En lo concerniente a la determinación que si existe algún tipo de normalización en el Ecuador para el análisis o diseño en el comportamiento de chasis en vehículos de competencia, esta es nula, la más cercano según (Cuasapud, 2018) afirma que “La norma NTE INEN 1323:2009, establece de manera general para diseño, montaje y fabricación de carrocerías pero aclarando que es para buses y la NTE INE 2415 para lo que corresponde a materiales aplicados a carrocerías de transporte interprovincial”, en lo referente a normalización para impactos de vehículo no existe normativa dentro del país, por lo que es toma de referencia a organismos internacionales como lo es la EURO-NCAP el cual es un programa de seguridad destinado exclusivamente para automóviles el cual tiene el respaldo de varios países europeos, así como fabricantes y organizaciones de todo el mundo que trabajan directamente con el sector automotriz y para lo concerniente a los vehículos comercializados en América Latina se creó un subprograma denominado LATIN-NCAP. Pero para karts a nivel mundial no lo hay solo como reglamentación por parte de la Federación Internacional del Automóvil FIA.

Para la aplicación de la metodología que se aplica en el presente proyecto investigativo en la que se simula el comportamiento del chasis de un kart ante un impacto frontal se lo realiza con el programa de AutoDesk Inventor Pro, el cual permite evaluar el

diseño de la parte frontal del chasis del kart cuando este sufre un evento de impacto de forma frontal.

3.3. Construcción de Geometría del Chasis de Kart

Cuando se refiere a la construcción de una geometría de un elemento estructural se debe tener en cuenta que esta se encuentra constituido por placas que conforman su forma o de elementos predefinidos como lo son: chapas, arcos, vigas, pilotes, pilares, entre otros.

En el caso geométrico del kart en estudio se establece que este elemento posee una geometría estructural sobre la que utilizando algunos métodos analíticos los que permiten realizar el estudio de las figuras geométricas que posee de manera regular en lo concerniente a cuatro o más dimensiones para posteriormente ser comparadas con figuras similares, pero de tres o menos dimensiones.

Cabe aclarar que toda estructura posee cuatro elementos, como se lo expresa a continuación:

- Estados libres
- Inestabilidad elástica
- Rigidez
- Resistencia

3.3.1. Datos de Entrada

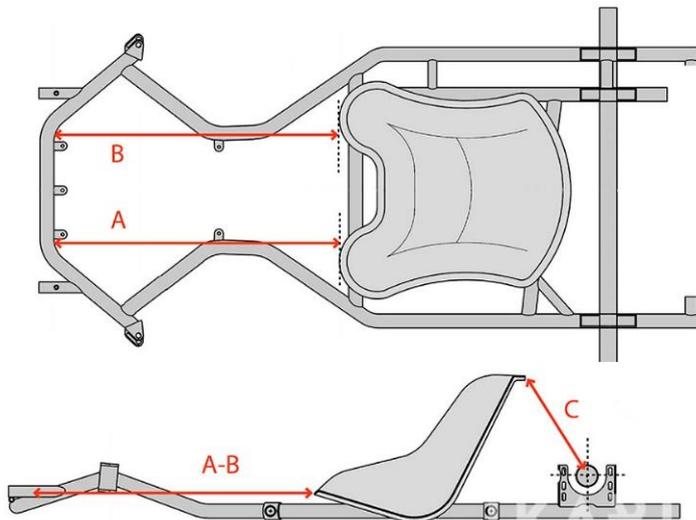
Continuando con la metodología para la realización del presente proyecto investigativo para el análisis del comportamiento del chasis del kart al momento que experimento una colisión frontal se procede a iniciar la siguiente fase como lo es la obtención de datos denominados de entrada los mismos que permiten la generación del modelado del chasis de kart con la ayuda del programa computacional Inventor Pro y luego generar la respectiva simulación, para lo cual se procede a la proyección de la geometría del chasis de acuerdo con la siguiente secuencia:

- Presentación completa del sistema físico que se analizará.
- Consideración de cada una de las dimensiones y forma geométrica.
- Tipo de elemento a ser utilizado
- Consideración y aplicación de las restricciones
- Aplicación del tipo de material sobre el modelado de acuerdo con las propiedades del material, así como de los perfiles.
- Generación del modelado.
- Generación de mallado.
- Consideración en las relaciones de contacto.

Como se puede apreciar en la figura 6, forma y dimensiones a ser aplicada al modelado del chasis del kart homologado.

Figura 6

Obtención de Datos Dimensionales del Chasis del Kart



Tomado de (TKART, 2018)

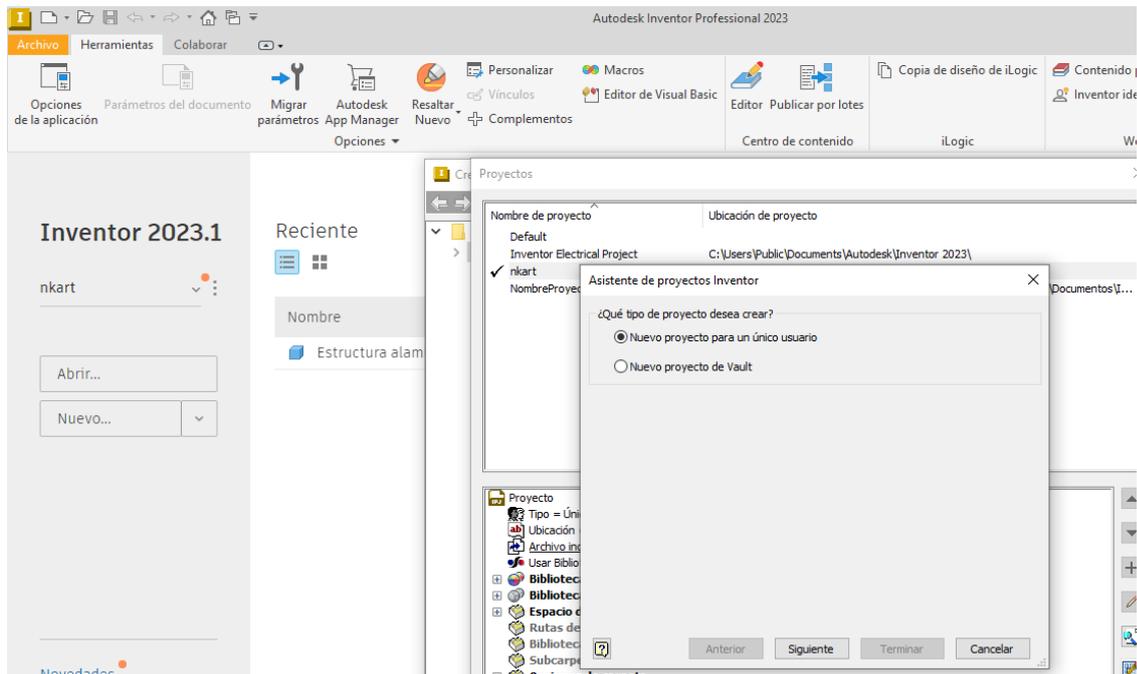
Otro aspecto importante en la toma de datos que se considera en las unidades con las que se van a utilizar ya que éstas deben ser las mismas, para el presente proyecto se trabaja en milímetros.

3.3.2. Construcción de la Geometría del Kart a través de Inventor Pro

Una vez extraídas las medidas del chasis del kart se procede a la creación de un nuevo proyecto en el programa computacional Inventor Pro en el que se almacenará cada uno de los componentes que se vayan creando, tanto como elementos, mecanismos, sistemas, ensambles y simulación, como se puede apreciar en la figura 7.

Figura 7

Creación de Proyecto Nuevo en Inventor Pro



Luego de haber creado el proyecto se procede a generar un nuevo archivo por el cual se pueden crear los siguientes:

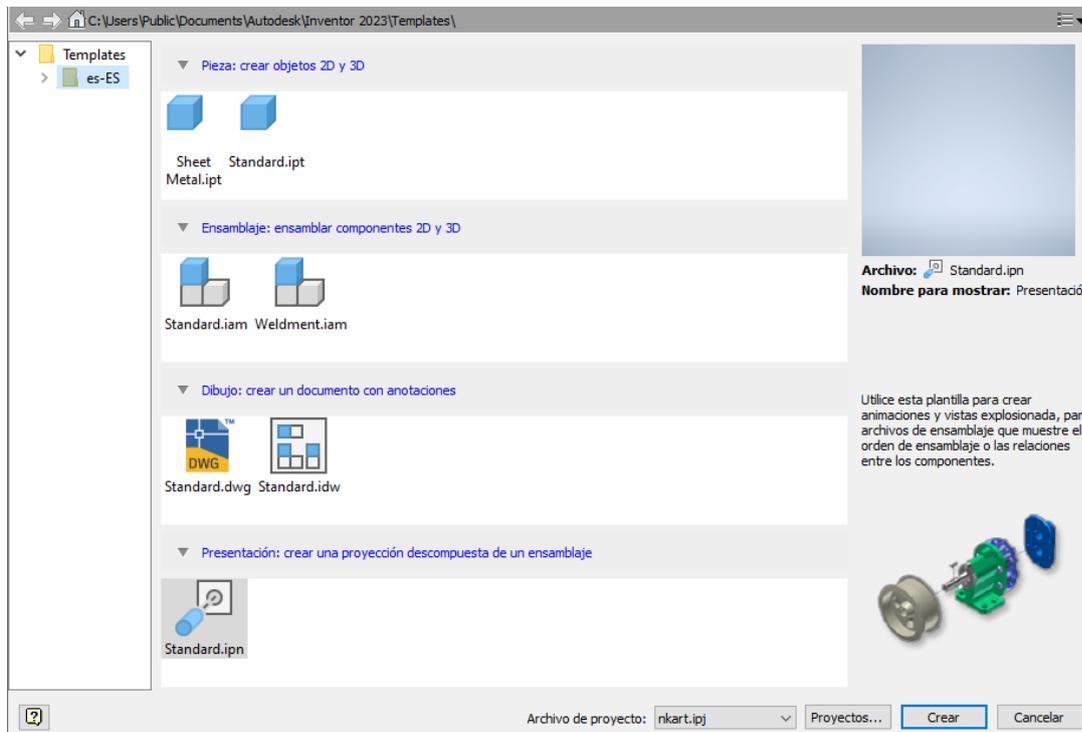
- *Hoja de metal*, con esta opción se puede crear objetos 3D elaborados a partir de un material de grosor uniforme el cual se puede desplegar.
- *Pieza*, con esta opción permite crear objetos 2D y 3D que se conforman por operaciones y de uno o varios cuerpos.
- *Ensamble estándar*, con esta plantilla crea una colección de piezas perfectamente alineadas y de otros ensambles.

- *Ensamble de soldadura*, crea ensambles perfectamente alineados y ensambles unidos mediante soldadura.
- *Creación de planos*, permite generar planos con anotaciones con características técnicas.
- *Creación de presentación*, se genera animaciones y vistas extorsionadas con la secuencia del ensamble.

Cada una de estas opciones que permite generar un nuevo archivo a través de Inventor Pro, se puede apreciar en la figura 8.

Figura 8

Creación de Nuevo Archivo en Inventor Pro



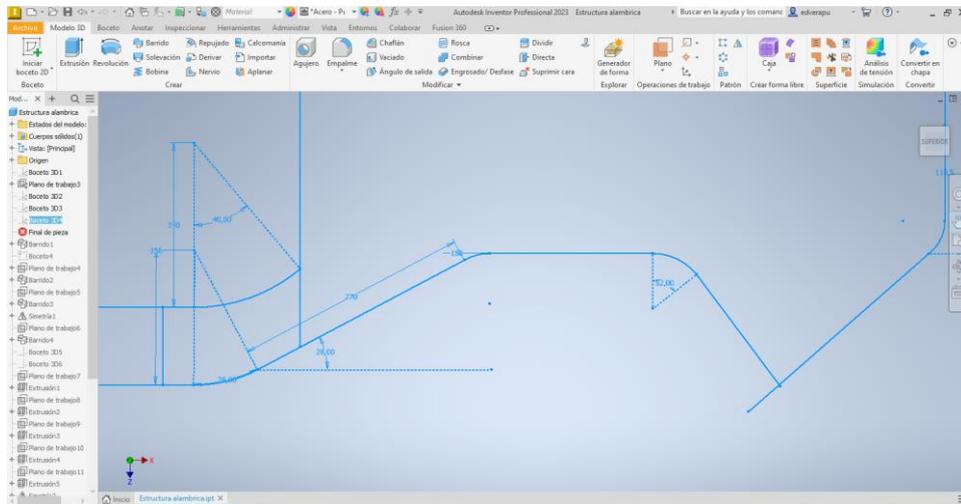
Para iniciar con el presente boceto del chasis de kart para el estudio se aplica la opción de nueva pieza estándar, la cual que se le coloca un nombre, el mismo que cuenta con una extensión del archivo .ipt, propio del programa, en lo concerniente a las unidades estas se trabajan en milímetros y en lo concerniente al material este se utiliza como genérico ya que en otra etapa del proceso se lo aplicará a todos los elementos que lo conformen, teniendo en

cuenta que si el boceto tiene varios tipos de elementos cada uno de estos podría llevar diferente tipo de material.

Posteriormente iniciamos con selección sobre el plano que se empieza la generación de boceto respetando cada una de las medidas de longitud y angulares del chasis como se muestra en la figura 9.

Figura 9

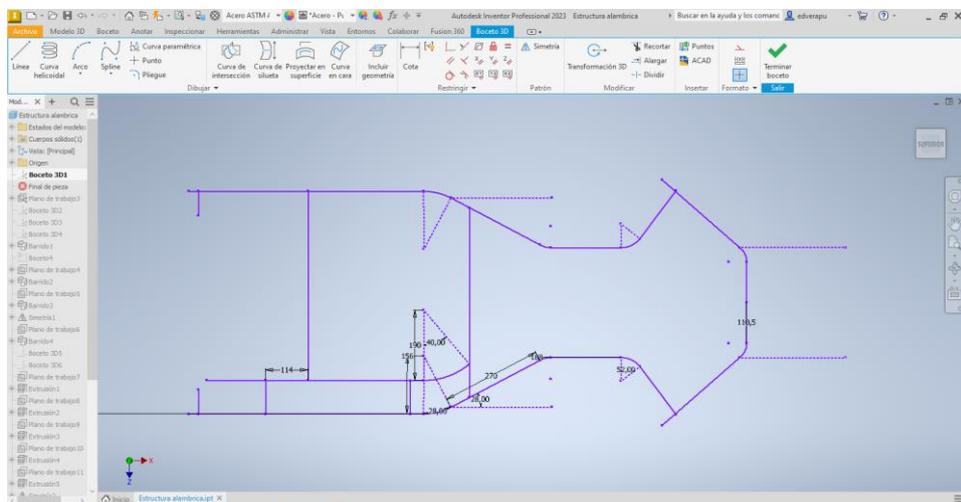
Creación de Boceto del Chasis de Kart



En esta etapa el boceto se encuentra generado solo en 2 dimensiones como se puede apreciar en la figura 10 y en los que sus líneas permiten construir la trayectoria de barrido donde se procederá a generar la parte tubular.

Figura 10

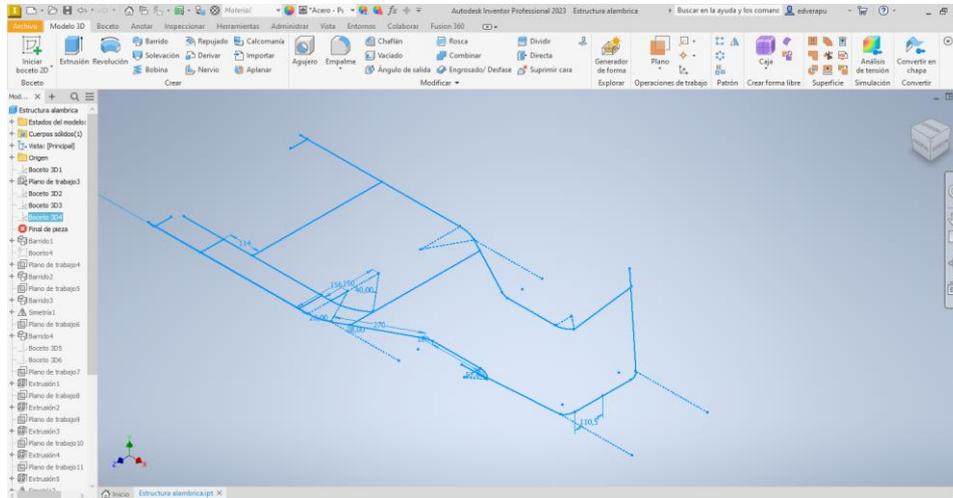
Construcción de Boceto 2D del Chasis de Kart



En la figura 11 se aprecia claramente la perspectiva del perfil del chasis de kart en el que se consta cada una de las formas que lo conforma.

Figura 11

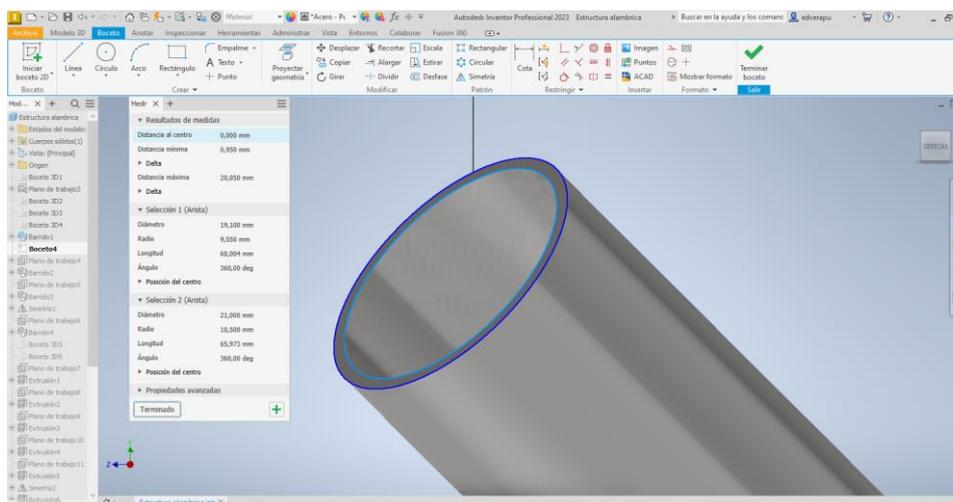
Perspectiva de Boceto 2D del Chasis de Kart



Una vez concluido la parte de generación de boceto inalámbrico se procede a finalizar esta sección y a construir una nueva en la que se coloca el diámetro externo e interno del tubo a utilizar para lo cual el diámetro interno lo es de 19.1 mm y el diámetro exterior de 21 mm, como se puede apreciar en la figura 12.

Figura 12

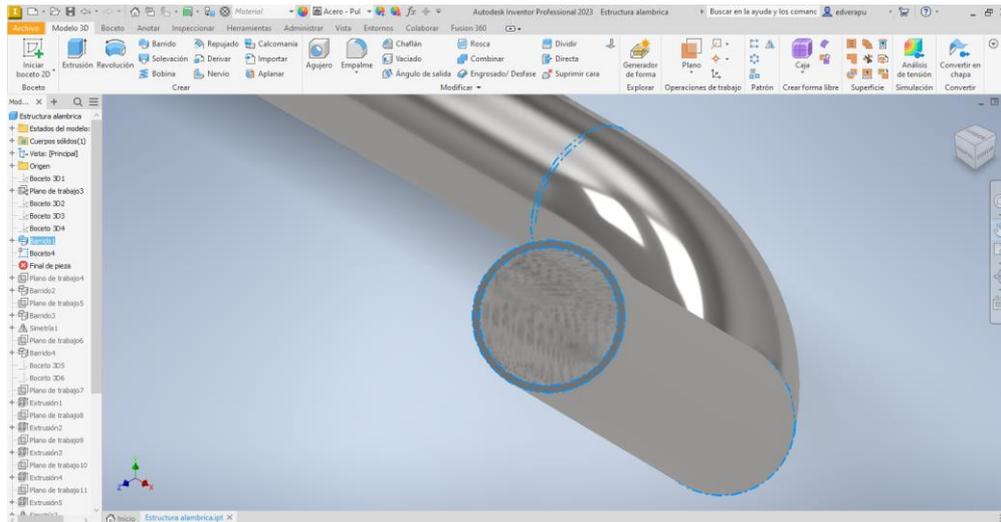
Perfil Boceto de Tubería sobre Boceto 2D del Chasis de Kart



Con la ayuda de la herramienta de extrucción y barrido se procede a generar la sección tubular, la misma que sigue la trayectoria generada en el boceto 2D para luego transformarla en 3D como se puede apreciar en la figura 13.

Figura 13

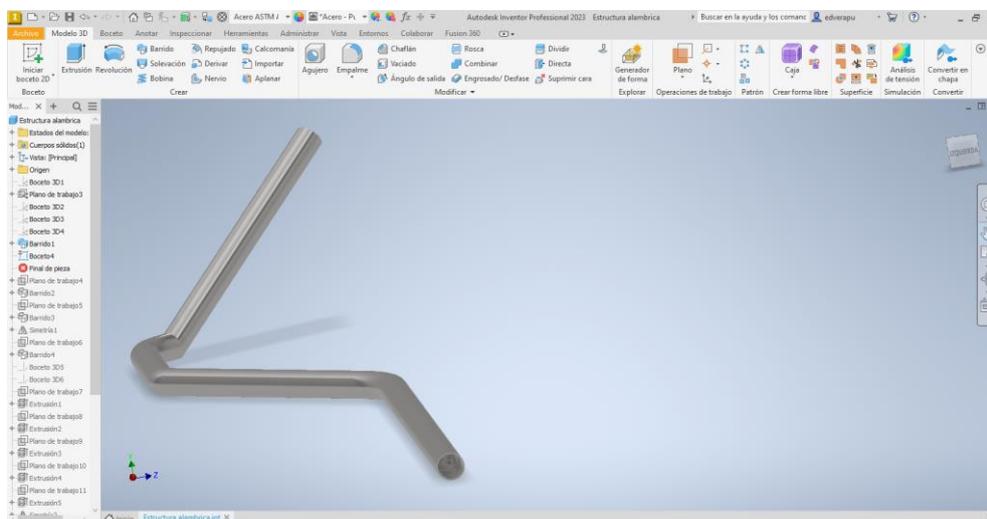
Perfil 3D de Tubería del Chasis de Kart



Para la generación del barrido y unión de cada uno de los elementos que representan la parte tubular se debe tener en cuenta cada una de las curvaturas, así como los ángulos de inclinación de estos sin que estos interfieran entre sus formas, como se puede apreciar en la figura 14.

Figura 14

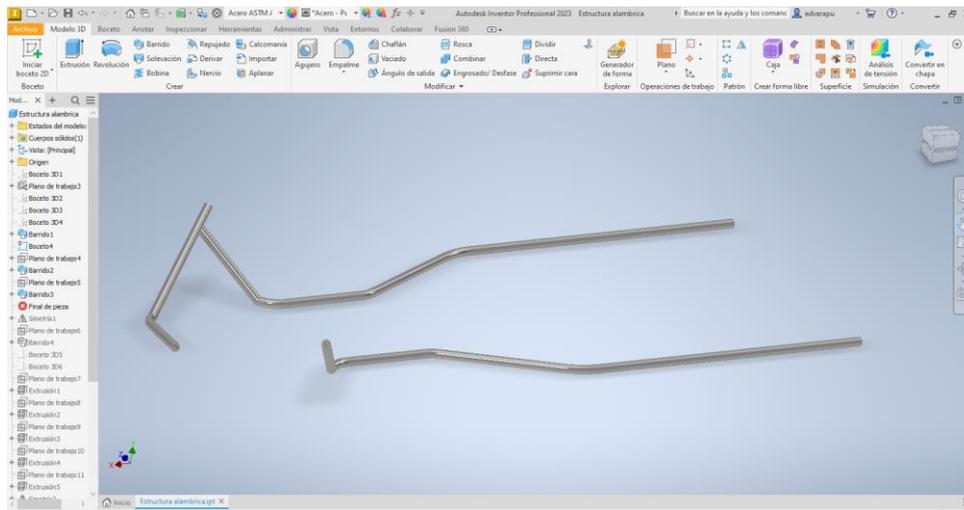
Creación de Curvaturas Tubulares del Chasis de Kart



Con la construcción de la parte lateral del chasis del kart se procede a utilizar otra herramienta la cual permite ahorrar recursos de tiempo como lo es la de creación de simetría por lo que con esta se aplica y se crea un segundo barrido, aclarando que solo es aplicada a la sección simétrica del chasis, como se puede observar en la figura 15.

Figura 15

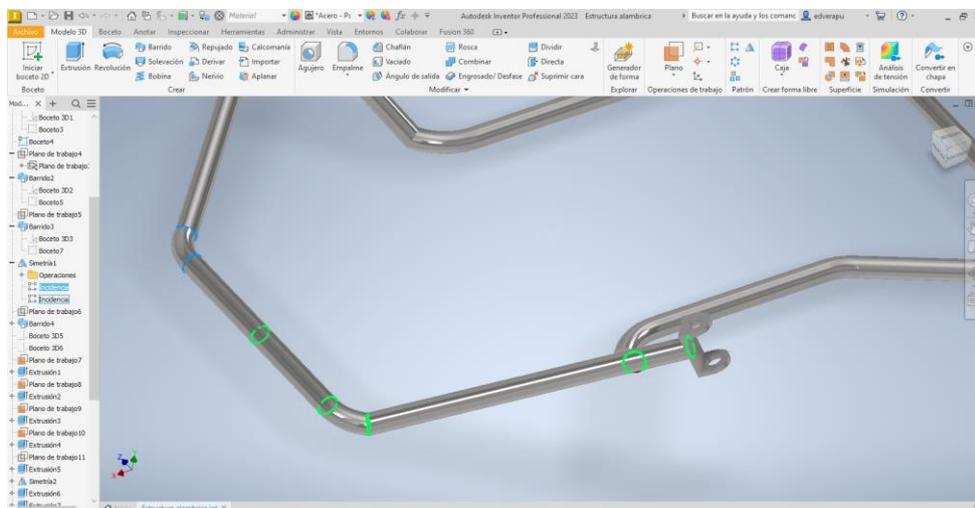
Aplicación de Herramienta de Simetría en Construcción de Chasis de Kart



Luego de haber generado la parte simétrica se procede a crear inserciones de simetría sobre tubería de enlace como se puede apreciar en la figura 16, en la que se debe tener en cuenta que deben quedar completamente unidas por que dentro de lo establecido en el kart se debe considerar esta característica.

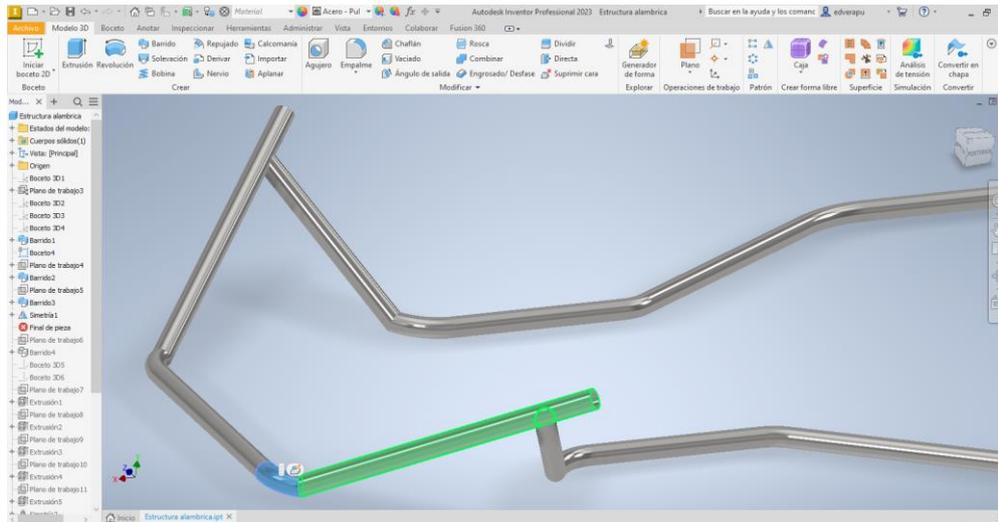
Figura 16

Incidencia de Simetría en Chasis de Kart



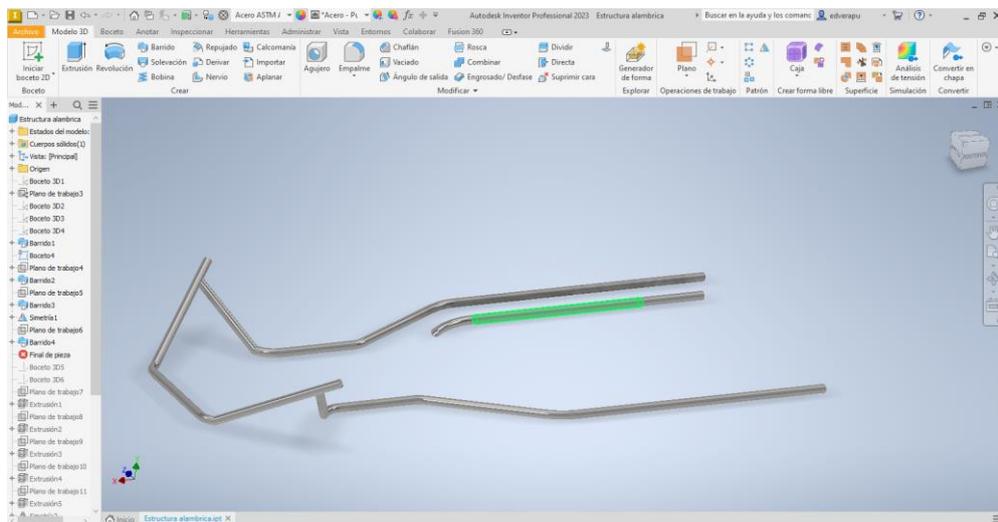
Esta sección corresponde a la parte delantera del kart la cual posee una inclinación positiva como se puede apreciar en la figura 17, la misma que debe tener en cuenta la unión que se debe aplicar de manera directa a los eslabones que se van creando.

Figura 17
Incidencia de Tubería Frontal de Chasis de Kart



Una vez generada la estructura periférica del chasis de kart se procede a la creación de la estructura en donde se suspende las bases del motor el mismo que se lo realiza con las mismas características del tubo, esto se puede observar en la figura 17.

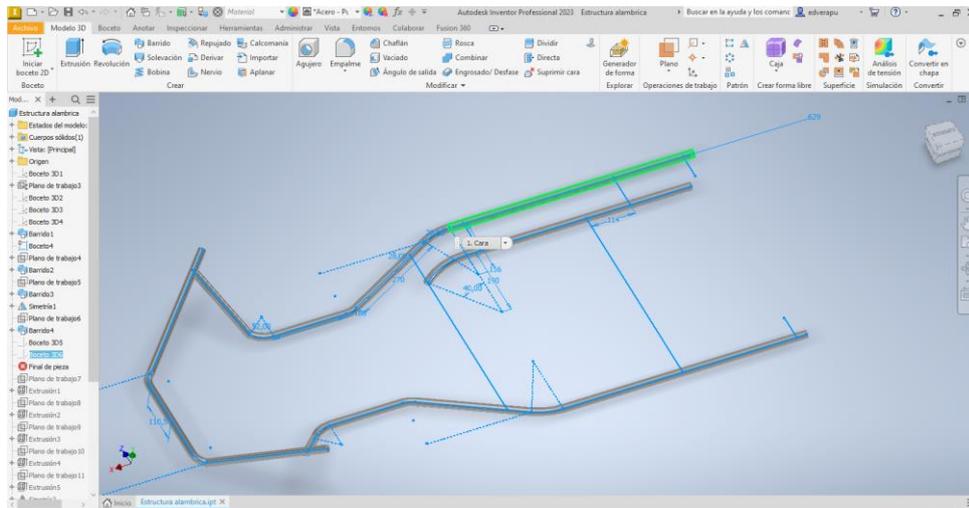
Figura 18
Construcción de Soporte para Bases de Motor de Kart



En este punto se debe tener en cuenta la comprobación de la geometría del chasis que permitirá encaminar bien el modelado de la estructura.

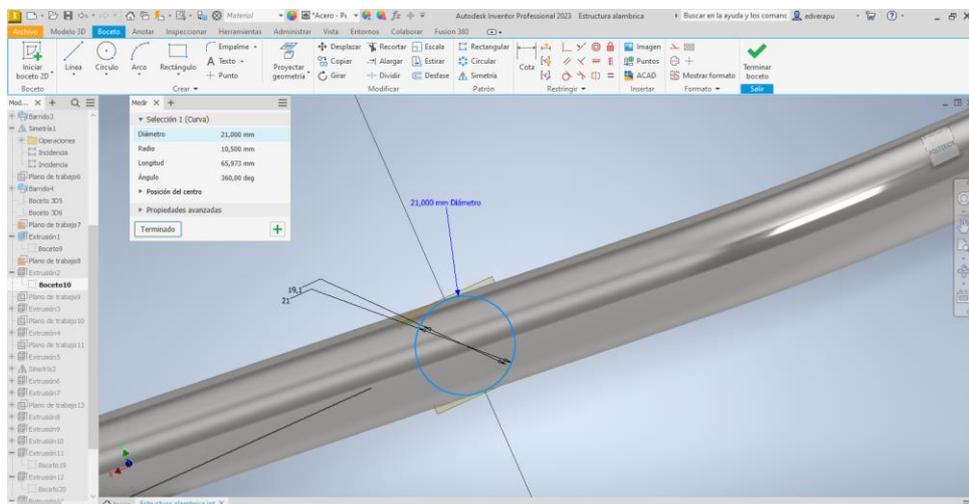
Posteriormente se procede a la generación de boceto de los transversales del chasis teniendo en cuenta las distancias, así como de los ángulos que se requieren en esta fase del diseño, como se puede ver en la figura 19.

Figura 19
Construcción de Transversales del Chasis de Kart



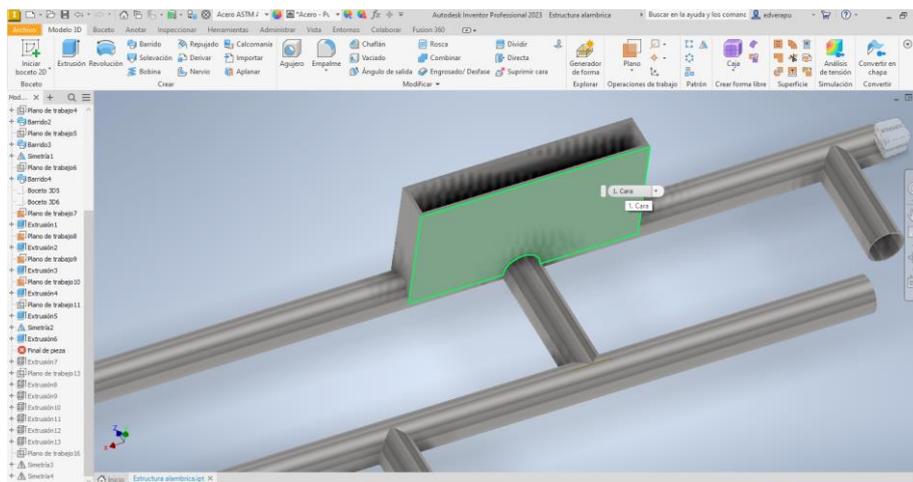
Las dimensiones del tubo en esta sección poseen las siguientes características: diámetro exterior de 21 mm y diámetro interior de 19.1 mm, pero teniendo en cuenta la sección de unión con el transversal, como se puede ver en la figura 20.

Figura 20
Dimensiones de Tubo Transversales del Chasis de Kart



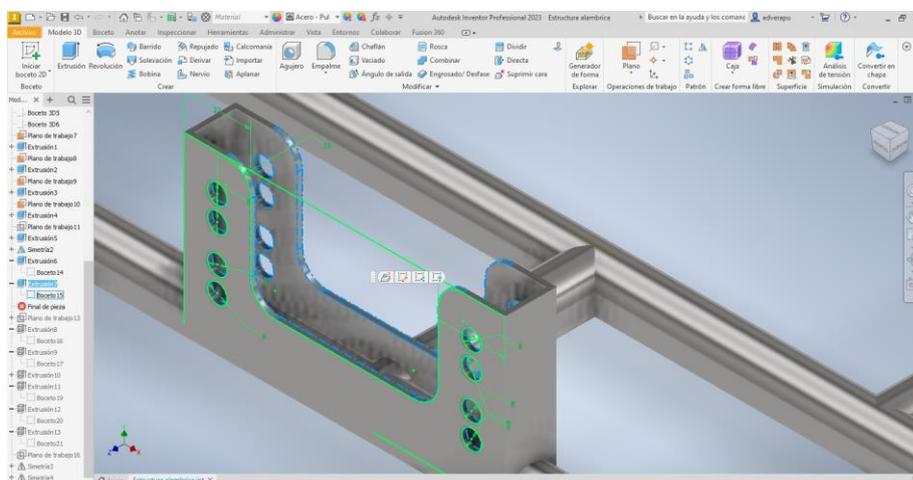
Una vez modelado los largueros y travesaños se procede a la creación del boceto para lo correspondiente que es la base para las chumaceras sobre las que se soportan el eje principal y las medidas con las que se elaboran son las siguientes: Altura 67.5 mm, ancho de 103 mm, separación entre placas de 21 mm y espesor de las placas de 2mm, como se puede ver en la figura 21.

Figura 21
Construcción de Base para Chumaceras del Chasis de Kart



Continuando con la construcción de la base de la chumacera se crean 8 orificios cada uno de 27 mm, radio de curvatura de 10 mm, espesor de perfil de 2 mm, distancia entre agujeros de 10 mm, separación vertical de 15 mm y desplazamiento horizontal de 103 mm, como se puede ver en la figura 22.

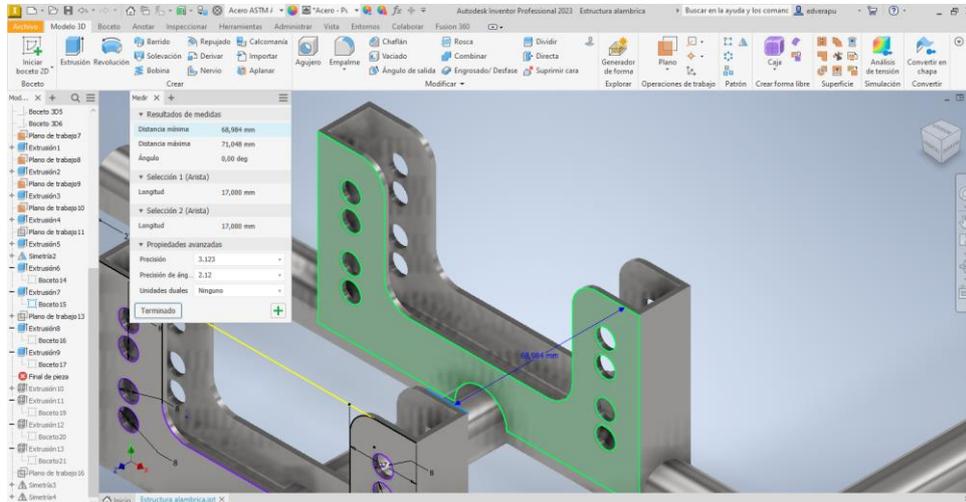
Figura 22
Detalles de Base para Chumaceras del Chasis de Kart



Una vez generada la primera base se procede a crear a través de simetría otra base con una separación de 68.98 mm, como se puede ver en la figura 23.

Figura 23

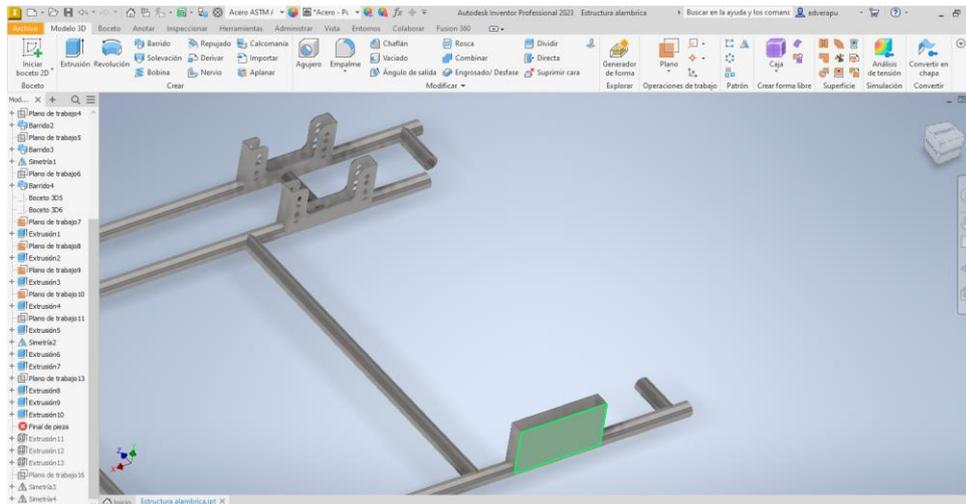
Creación de Base Paralela



El mismo procedimiento se aplica para la base del otro extremo del chasis y con las mismas consideraciones como se puede apreciar en la figura 24.

Figura 24

Creación de la Tercera Base para Chumacera

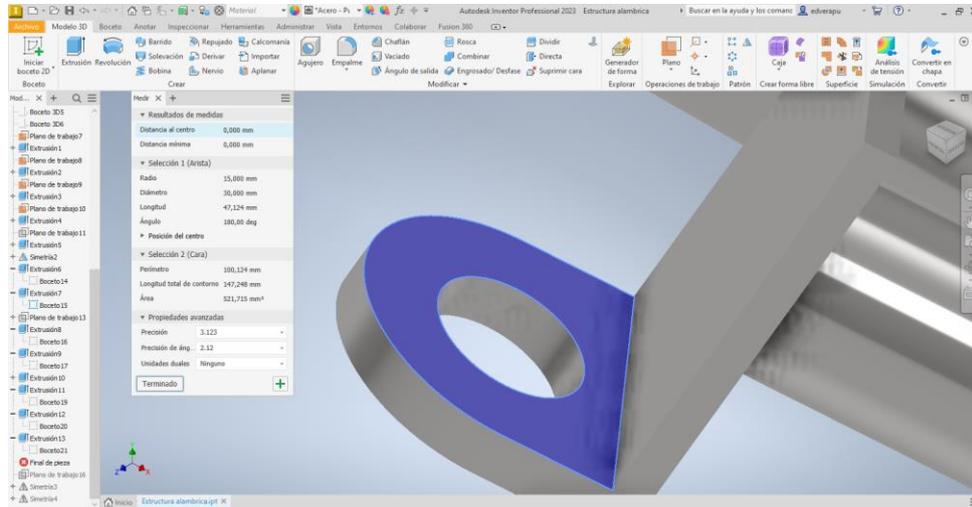


Una vez las bases posteriores se procede a la elaboración de las bases de sujeción para las ruedas delanteras como se puede apreciar en la figura 25, en las que las dimensiones son las siguientes: 50 mm de alto, 30 mm de ancho y un espesor de 3.5 mm y generación de

curvatura con un radio exterior de 30 mm y un diámetro interior de 30 mm y un espesor de la platina de 5 mm.

Figura 25

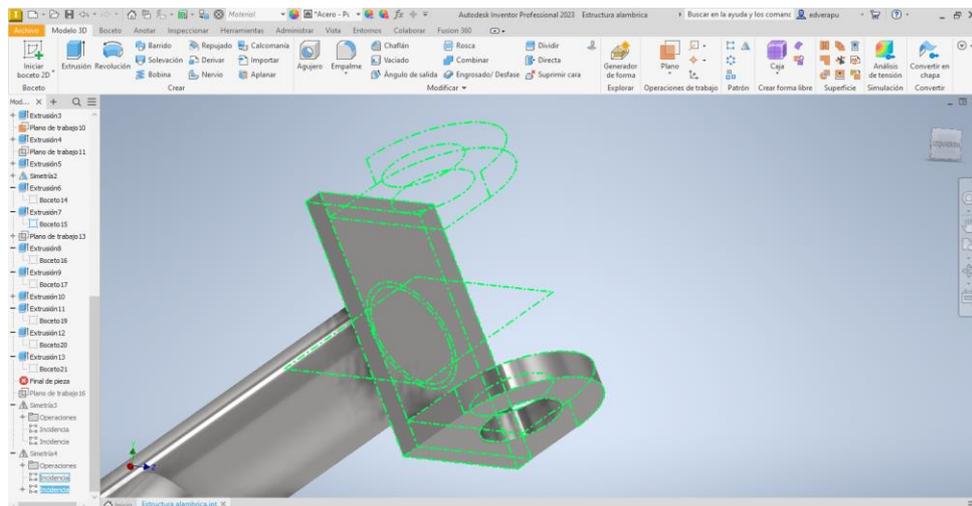
Creación de Bases Delanteras para Ruedas



Con la aplicación de la simetría se procede a generar la otra parte de la base como se puede apreciar en la figura 26.

Figura 26

Creación de Bases Delanteras para Ruedas

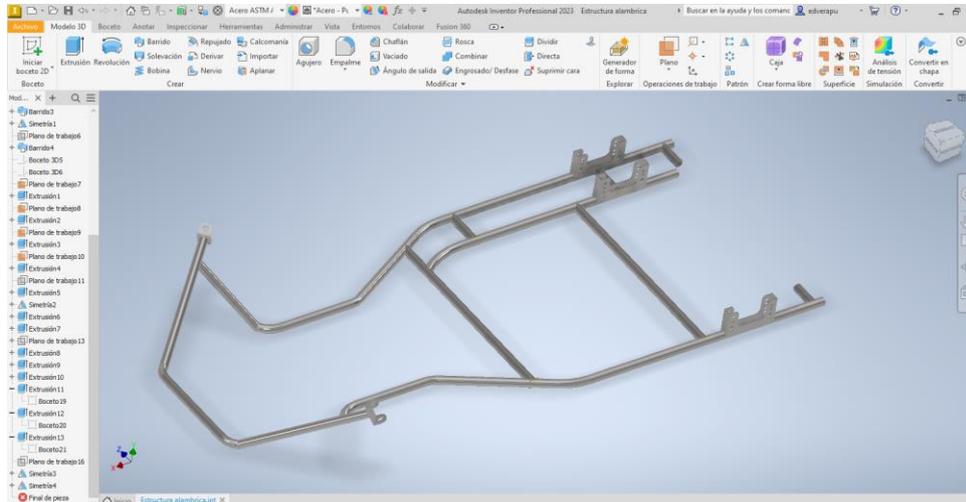


De esta manera se concluye del modelado en tres dimensiones del chasis de kart en mismo que cuenta con sus respectivas características dimensionales, así como geométricas, como se puede ver en la figura 27, pero se tiene en cuenta que aún no se aplica el tipo de

material con que está elaborado, el mismo que se designará en la fase de la simulación estructural.

Figura 27

Culminación de Modelado de Chasis de Kart en 3D



3.3.3. Generación de Simulación Estructural de Chasis de Kart

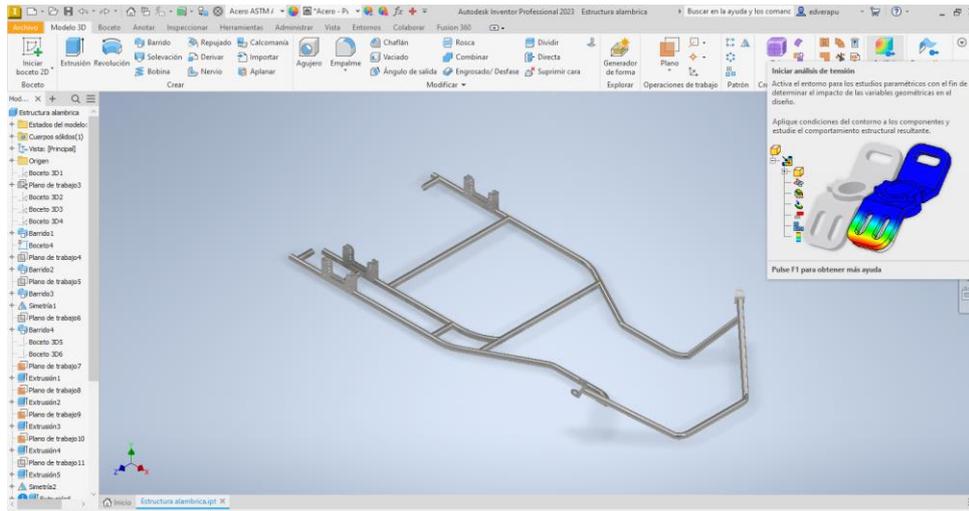
Luego de haber generado el modelo 3D del chasis del kart, la siguiente fase es la aplicación del proceso de ingeniería asistida por ordenador en la que con la ayuda del programa de Autodesk Inventor Pro se procede a la simulación del rendimiento del chasis del kart, el mismo que tiene un objetivo que es el de mejorar su diseño en caso de que este se encuentre sometido a una colisión frontal, para de esta manera contribuir a la resolución de los problemas que se generen por este tipo de fenómeno.

Lo que se realiza al momento de someter el chasis a este tipo de simulación estructural es el de aplicar un método matemático que permite estudiar, analizar y determinar cuál es el comportamiento mecánico que experimenta el chasis cuando este a sufrido una colisión de tipo frontal pero de manera virtual, logrando de esta manera optimizar el diseño y anticiparse a posibles fallas estructurales o mecánicas y o modificaciones que se pueden presentar en un futuro, mejorando de esta manera el desempeño de la estructura del chasis en este tipo de situaciones y por ende también el beneficio para la salud del piloto.

Para iniciar con este proceso se procede a abrir el archivo desde el proyecto y se selecciona la opción de generación de simulación, como se muestra en la figura 28, activando la herramienta análisis de tensión.

Figura 28

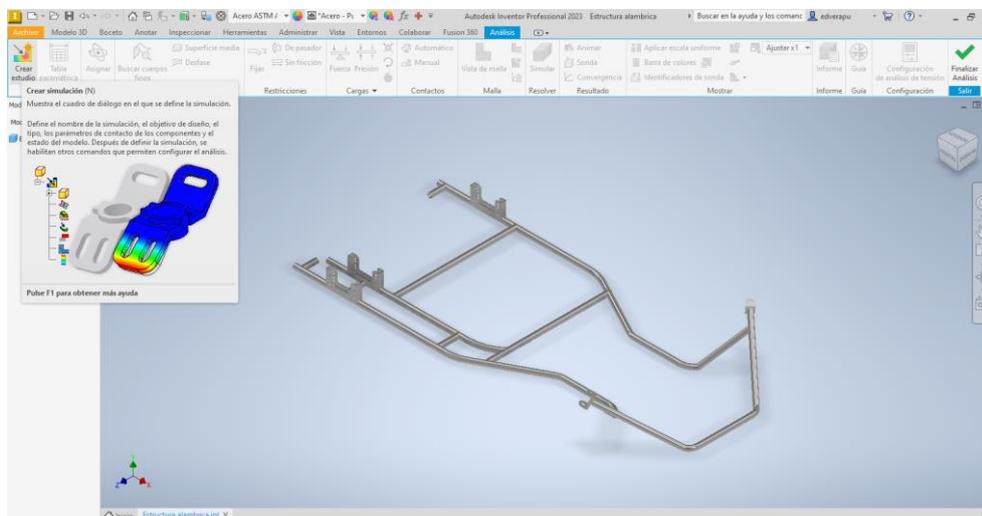
Análisis de Tensión sobre Chasis de Kart



En esta fase se da inicio al análisis de tensión de manera que se activa el entorno dentro del programa para el estudio paramétrico con la finalidad de determinar el impacto de cada una de las variables geométricas del chasis diseñado, para luego aplicar las condiciones de contorno. Luego se selecciona la opción crear estudio como se muestra en la figura 29.

Figura 29

Creación de Simulación sobre Chasis de Kart



Al iniciar con este proceso los datos que se ingresan son el nombre del diseño a realizar, el objetivo del diseño, características del tipo de estudio, se procedo a seleccionar el tipo de estudio que puede ser:

- Estático
- Modal
- Generador de forma

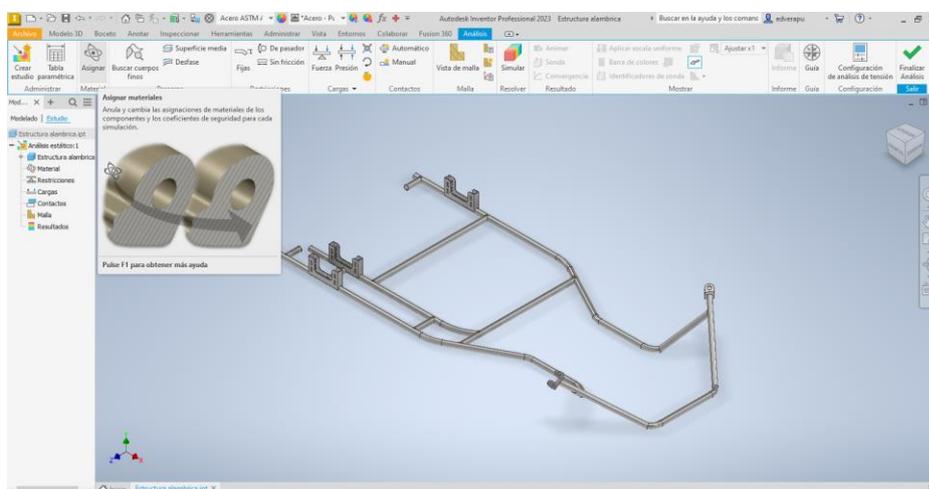
Así mismo el determinar las características de los contactos como lo es:

- Tolerancia
- Tipo
- Valor de rigidez normal
- Valor de rigidez tangencial
- Tolerancia de valor de vaciado

Una vez ingresado estos valores dentro del programa computacional se continua con el siguiente proceso que es el de determinar el tipo de material con que cuenta la estructuras el mismo que puede ser anulado o editado cada una de las características o propiedades del material, así como las condiciones de seguridad para cada una de las simulaciones que se requieran, esto se puede apreciar en la figura 30.

Figura 30

Asignación de Material en Inventor Pro



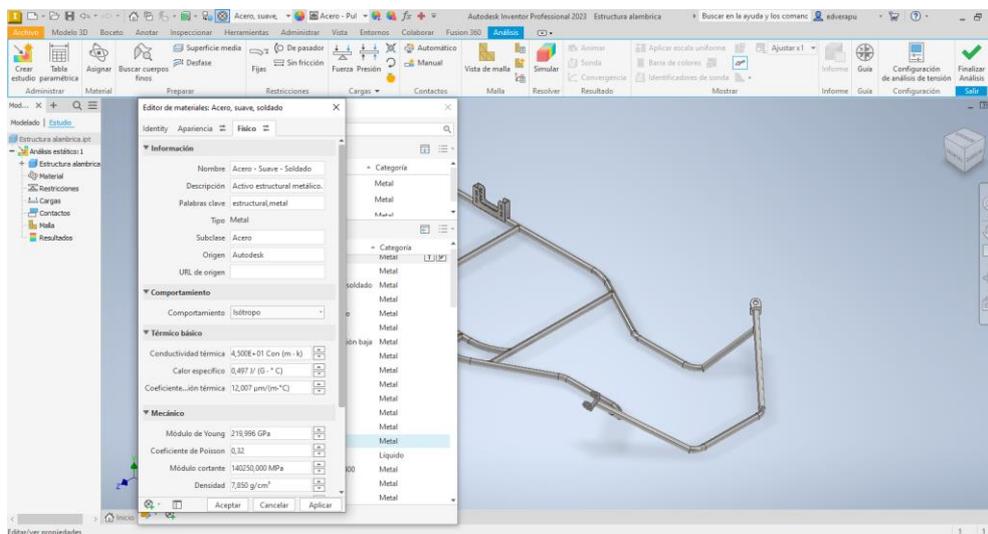
Para el tipo de chasis que se lo encuentra estudiante y de acuerdo con las propiedades del material que se aplica es el metal de acero, suave, soldado, que es un acero estructural metálico, el mismo que cuenta con las siguientes propiedades físicas:

- Posee un comportamiento isotrópico
- Una conductividad térmica de $4.500E+01$ con $(m \cdot k)$
- Calor específico de $0.497 J/(G \cdot ^\circ C)$
- Coeficiente térmico $12.007 \mu m/(m \cdot ^\circ C)$
- Módulo de Yung $219.996 GPa$
- Coeficiente de Poisson 0.32
- Densidad $7.850 g/cm^3$
- Coeficiente de igualamiento 0
- Límite de elasticidad $207.000 MPa$
- Resistencia a la tracción $345.000 MPa$

Esta selección de material de forma parcial en la que cuenta cada una de sus propiedades y características se puede apreciar en la figura 31.

Figura 31

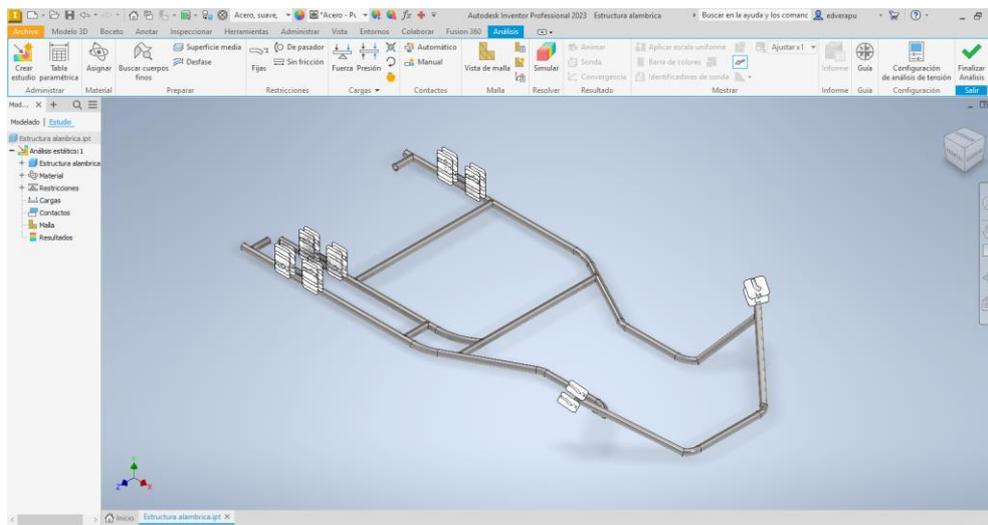
Propiedades de Material Seleccionado para Chasis de Kart



Luego de haber determinado el tipo de material para el chasis del kart se procede a determinar las restricciones que para el presente estudio lo son de la manera fija ya que dentro del análisis en el momento de la colisión de manera frontal este se comporta como fijación en la parte de sujeción en la parte de base del mecanismo que aloja a las ruedas del kart, como se puede observar en la figura 32.

Figura 32

Designación de Restricciones sobre Chasis de Kart



3.3.4. Determinación de Esfuerzos Aplicados sobre el Chasis de Kart

Una vez determinadas las restricciones sobre el chasis de kart, se procede a determinar cada una de las cargas o esfuerzos que se aplicarán en la simulación y estos se llevan a cabo con la aplicación de los modelos matemáticos que se expusieron en el capítulo II del presente estudio teniendo en consideración valores recomendados por normativas del sector automotriz como lo es la FIA y EURO-NCAP.

En lo concerniente al peso del monoplaza en competencia se determina de acuerdo con el reglamento de Karting que establece que se considera el peso del kart sumado el del piloto para lo cual se consideró que por reglamento el peso del kart debe ser de 88 kg y el del piloto según (Vera, Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student, 2017), por el “percentil de jóvenes

de entre 12 y 24 años de edad ecuatorianos cuentan con un promedio de peso de 62 kg” por lo que el total del peso es de 150 kg.

Así mismo se acuerdo con la EURO-NCAP en ensayos destructivos de impacto de manera frontal se establece que el valor de velocidad en este tipo de colisión se lo debe considerar con un valor de 50 km/h.

Una vez que se tiene estos datos se procede a determinar la respectiva aceleración a la que se desplazaría el monoplaza en un impacto del tipo frontal, como se calcula a continuación:

Aceleración:

$$v_f^2 = v_o^2 - 2ax$$

Utilizando este modelo matemático con su respectivo despeje de aceleración y considerando que la velocidad final al finalizar el impacto es de cero se obtiene una desaceleración correspondiente a:

$$a = 4.63 \frac{m}{s^2}$$

Con la obtención de los datos de masa y aceleración se sustituye dichos valores para la obtención de la fuerza de la siguiente manera:

$$F = m * a$$

$$F = 150 \text{ kg} * 4.63 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 694.4 \text{ N}$$

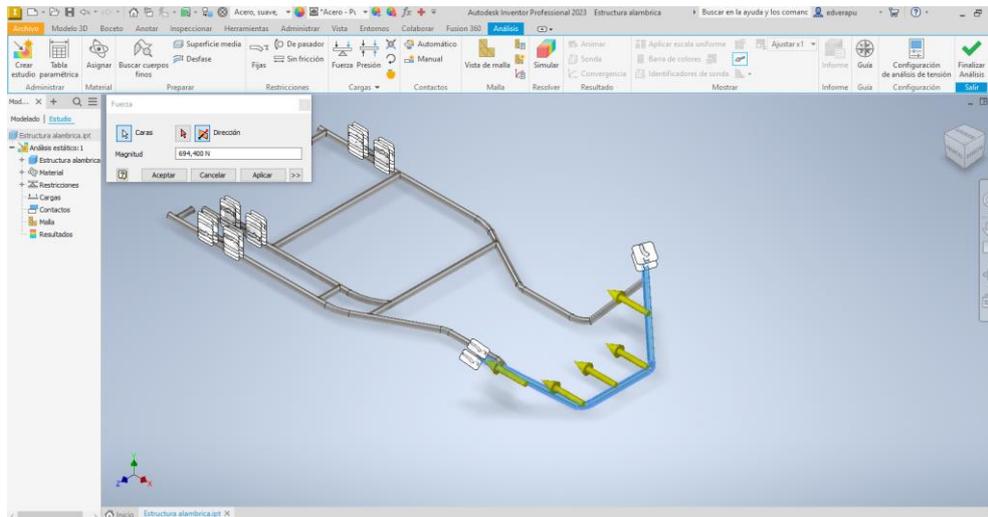
Y la consideración es que la colisión es de tipo de impacto frontal al 100%, que quiere decir que es un impacto que compromete a toda la parte delantera del kart al ocurrir este tipo de fenómeno.

Con el valor de la fuerza obtenida matemáticamente se procede a ingresar este valor dentro del programa como se puede apreciar en la figura 33, tomando en cuenta algunas

consideraciones como lo es sobre qué cara de la estructura se la aplica, la dirección sobre donde se aplica la fuerza y el valor de la magnitud que para el presente ejercicio que se obtuvo es de 649.4 N pero se debe tomar en cuenta la forma del impacto lo cual se debe considerar contra que elemento se realiza la colisión pero considerando que es con un sólido este valor será duplicado.

Figura 33

Designación de Fuerza sobre Chasis de Kart



3.3.5. Generación de Mallado en Chasis de Kart

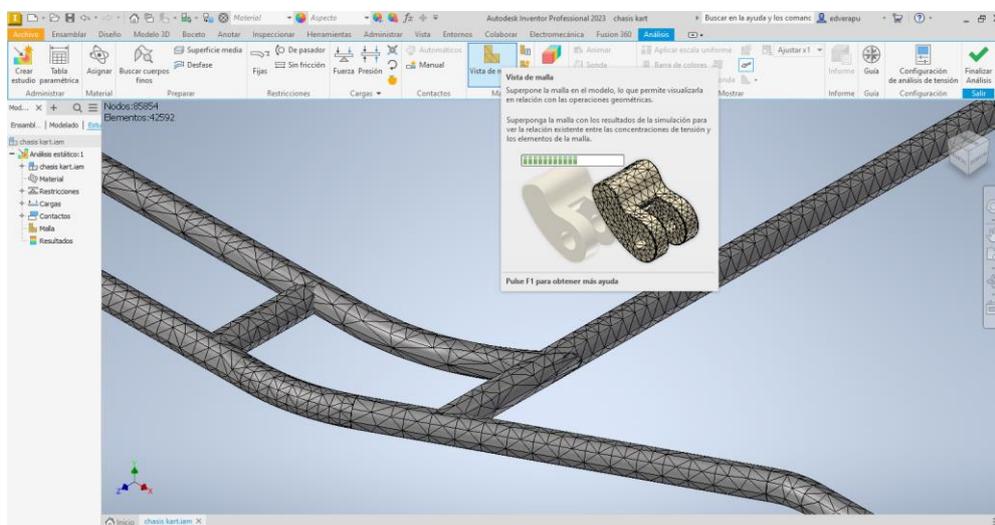
Para continuar con el proceso en este punto se aplica una fase que dentro de la dinámica de fluidos se conoce como mallado en la que a través de algoritmos y métodos numéricos sobre la estructura del chasis del kart se procede a resolver el problema generado con cálculos previo a la prueba de simulación, en la que consiste en discretizar toda la estructura en estudio siguiendo ciertos patrones programados que generalmente son cuadrangulares si se trabaja en dos dimensiones y hexaédricos si se trabaja en tres dimensiones, obteniendo de esta manera se generan triangulares y tetraédricos, esto se puede apreciar en la figura 34.

De acuerdo con la topología de red del elemento en estudio un mallado puede ser del tipo:

- Bus
- Híbrido
- Mesh
- Ring
- Star
- Tree

Figura 34

Creación de Mallado sobre Chasis de Kart



3.3.6. *Proceso de Simulación*

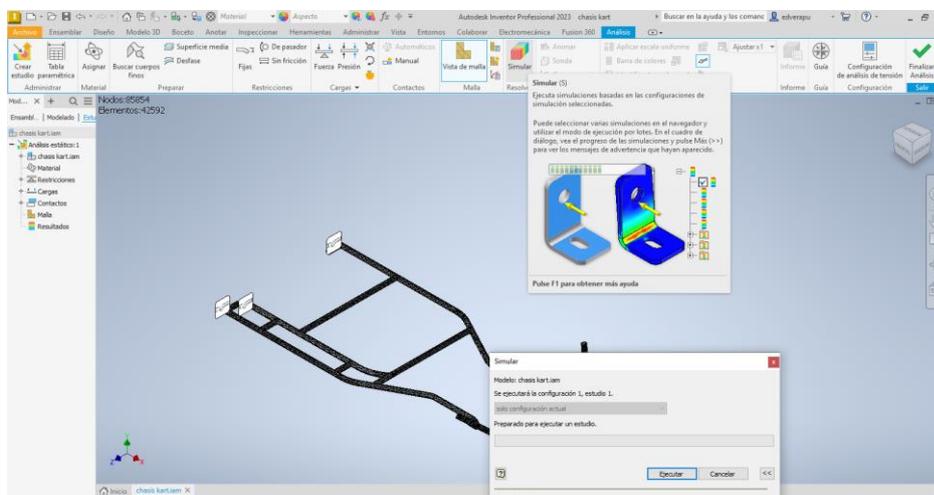
Una vez que se concluye con la generación del mallado en toda la estructura del chasis del kart se procesa a continuar con la siguiente etapa que es la generación de la simulación para lo cual este proceso se realiza por medio del proceso de cálculo de elementos finitos el mismo que lo realiza el programa directamente.

Esta herramienta permite al diseñador generar la respectiva simulación la cual se basa en configuraciones seleccionadas las cuales se pueden activarlas o desactivarlas a través de un cuadro de diálogo y así poder observar cada uno de los procesos que se van generando así como un despliegue de acciones que el proceso detecte como inconsistencias o advertencias, en las que el programa detecta y envía alarmas de los errores que tenga dicho proceso por

medio de mensajes, los cuales deberán ser corregidos para que el proceso sea realizado de manera exitosa.

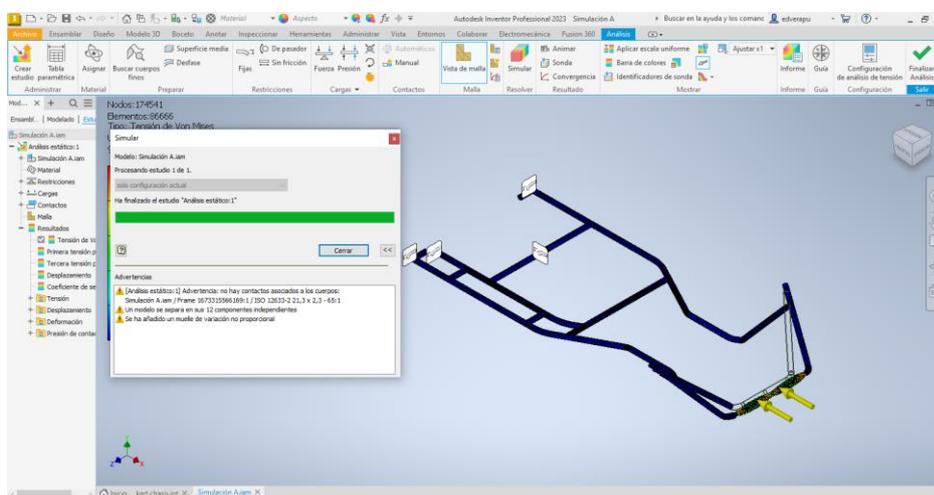
Esta herramienta de simulación se la puede apreciar en la figura 35, la cual presenta un mensaje de ejecución el mismo que dará inicio al proceso correspondiente y este tardará un determinado tiempo el que dependerá en gran medida de las características de procesamiento y de la tarjeta de video del computador.

Figura 35
Herramienta de Simulación



En la figura 36 se puede apreciar la finalización del proceso de simulación y como se va comportando la estructura, así como las cargas con que cuenta.

Figura 36
Proceso de Simulación



Una vez terminada la etapa de procesamiento el programa computacional AutoDesk Inventor Pro, brinda la opción de observar a través de modo cuantitativo los valores de su resultado, así como de forma cualitativa el comportamiento de la estructura por medio de una escala colorimétrica en la que el color azul representa los valores mínimos y el color rojo los valores máximos.

Dentro de los resultados principales que genera la simulación son los siguientes:

- Tensión de Von Mises
- Primera tensión principal
- Tercera tensión principal
- Desplazamientos
- Coeficiente de seguridad

Antes de describir cada uno de los resultados obtenidos se puede apreciar de forma directa que la estructura del chasis de kart al colisionar de manera frontal a una velocidad de 50 km/h, con un peso del monoplaza más el piloto que sumado es de 150 kg y con impacto de forma frontal al 100 %, este presenta una deformación considerable la cual se realiza una comparación con otra simulación pero con una colisión frontal al 50 % del lado derecho de chasis y así poder realizar el respectivo análisis comparativo de su comportamiento.

3.4. Obtención de Resultados

En esta fase se indica de manera directa los valores máximos y mínimos obtenidos en el proceso de una colisión del tipo frontal al 100 % y una al 50 %, pero sin la realización de cada uno de sus respectivos análisis ya que eso se realiza en el Capítulo IV, estos valores son los siguientes:

3.4.1. Resultados de Colisión al 100 %

Los valores que se presentan a continuación son los obtenidos por parte de una simulación de colisión de impacto en un porcentaje del 100 % de la parte frontal del chasis de kart en estudio.

Tensión de Von Mises

- Valor máximo: 108.9 MPa
- Valor mínimo: 0 MPa

Primera tensión

- Valor máximo: 78.88 MPa
- Valor mínimo: -32.02 MPa

Tercera tensión

- Valor máximo: 12.8 MPa
- Valor mínimo: -124.7 MPa

Desplazamiento

- Valor máximo: 1.786 mm
- Valor mínimo: 0.893 mm

Coefficiente de seguridad

- Valor máximo: 15 ul
- Valor mínimo: 1.9 ul

3.4.2. Resultados de Colisión al 50 %

Los valores que se presentan a continuación son los obtenidos por parte de una simulación de colisión de impacto en un porcentaje del 50 % de la parte frontal derecha del chasis de kart en estudio.

Tensión de Von Mises

- Valor máximo: 156.9 MPa

- Valor mínimo: 0 MPa

Primera tensión

- Valor máximo: 132.3 MPa
- Valor mínimo: -47.7 MPa

Tercera tensión

- Valor máximo: 27.7 MPa
- Valor mínimo: -184.3 MPa

Desplazamiento

- Valor máximo: 2.903 mm
- Valor mínimo: 0.893 mm

Coefficiente de seguridad

- Valor máximo: 15 ul
- Valor mínimo: 1.32 ul

Capítulo IV

Análisis de Resultados

4.1. Análisis Transitorio

Una vez finalizada la fase de simulación del estudio del comportamiento estructural estático por impacto frontal al 100 % y al 50 % sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos, con la ayuda del programa de AutoDesk Inventor Pro. En la tabla 2 se obtienen los siguientes valores de las propiedades físicas con que cuenta el elemento del chasis de kart para iniciar con el análisis respectivo:

Tabla 2

Resultados Propiedades Físicas del Chasis en Análisis

| Propiedades Físicas del Chasis de Kart | |
|---|--|
| Masa | 11.8098 kg |
| Área | 1318530 mm ² |
| Volumen | 1504430 mm ³ |
| Centro de Gravedad | x = -143.271 mm y = -42.9146 mm z = 51.8578 mm |

En lo respectivo al mallado del chasis este se realiza con una configuración la cual cuenta con tamaño medio de elemento de 0.1, un tamaño medio de 0.2, un factor de modificación de 1.5, un ángulo de giro de 60°, la cual no se le permite crear elementos de malla en curvas y se determina el uso de medidas basadas en el elemento para la malla de ensamblaje.

4.1.1. Análisis de Material Utilizado

Respecto al material utilizado para el presente estudio fue el Acero ASTM A36, o conocido como acero suave, el cual posee una densidad de masa de 7.85 g/cm³, un límite de elasticidad de 248,225 MPa, una resistencia máxima a la tracción de 399.9 MPa.

Con respecto a la tensión el material utilizado para este estudio posee un módulo de Young de 199.95 GPa, coeficiente de Poisson de 0.3 y un módulo cortante de 76.9073 GPa.

Estos datos corresponden directamente a las propiedades y características del material, pero una vez aplicado al diseño generado del chasis del kart, este material posee las siguientes especificaciones de acuerdo con el lo presentado por la generación de la simulación, las cuales se pueden observar en la tabla 3:

Tabla 3

Propiedades del Material sobre el Chasis de Kart

| Propiedades de Material en Chasis de Kart | |
|--|------------------------|
| Densidad de masa | 7.85 g/cm ³ |
| Límite de elasticidad | 207 MPa |
| Resistencia máxima a la tracción | 345 MPa |
| Módulo de Young | 220 GPa |
| Coefficiente de Poisson | 0.275 |
| Módulo cortante | 86.2745 GPa |

Con el aporte de las características del material dentro del comportamiento dentro de la estructura del chasis y bajos sus propiedades este nos brinda la confianza de su aporte ya que es un material de muy buenas características para el estudio para que su desempeño brinda la confianza para la realización de la simulación, así como su durabilidad en su construcción real.

4.2. Análisis de Carga Estática

Una vez que se determinó cada una de las condiciones de frontera que permitieron la generación de la simulación por parte del programa Inventor Pro, se generaron las siguientes soluciones aplicadas sobre el chasis del kart al experimentar una colisión del tipo frontal, una

con un impacto al 100 % y otra con un impacto frontal derecho al 50 % las cuales se analizan a continuación de manera independiente.

4.2.1. Análisis de Resultados de Simulación con Impacto al 100 %

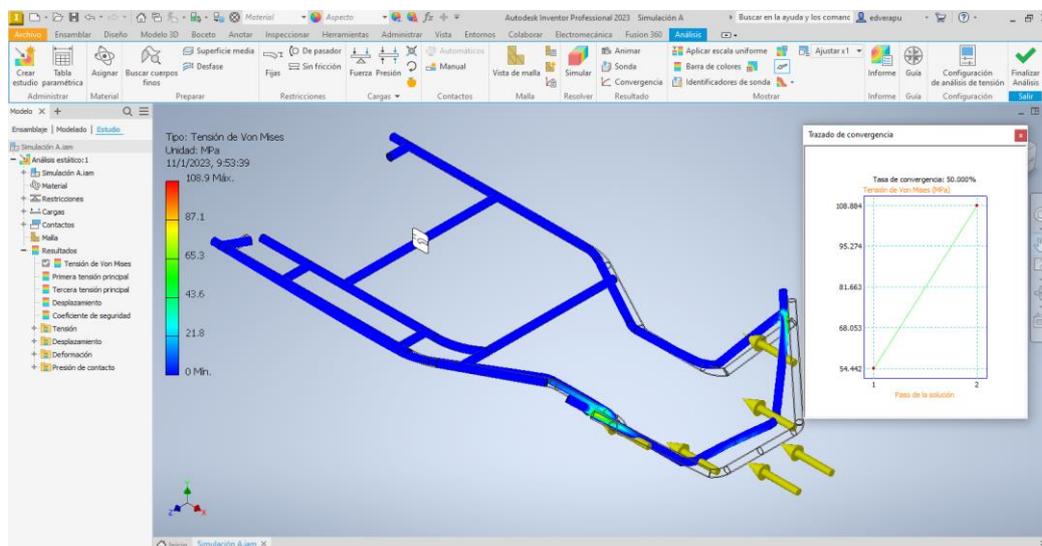
Según la (Latin NCAP, 2022) “promueve el diseño de vehículos cuya estructura y habitáculo del ocupante se comporte de forma estable durante un choque” y bajo este criterio el análisis que se realizó se consideró los parámetros que se establecen de acuerdo con su normativa por el motivo a mayor velocidad de 50 km/h de impacto los órganos internos del conductor no soportarían ocasionando lesiones fatídicas.

La consideración que también se toda se debe al porcentaje que la parte frontal se ve involucrada durante el impacto y esta se la determina de acuerdo con su totalidad por este motivo el primer ensayo se lo realiza al 100 %, obteniendo los siguientes resultados:

En la figura 37, se puede apreciar claramente el valor obtenido para la Tensión de Von Mises la cual se presenta su mayor concentración en los enlaces laterales del conector frontal con un valor máximo de 108.9 MPa lo que nos indica la proporción con que se generó dicha distorsión al momento del impacto la cual llega a que el elemento tenga una deformación plástica de su estructura.

Figura 37

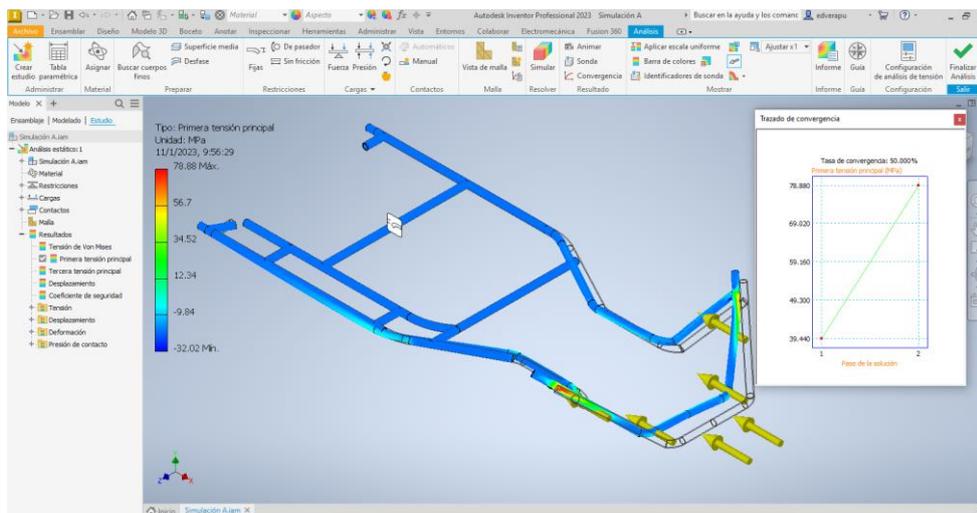
Resultado de Tensión de Von Mises con un Impacto al 100 %



En la figura 38, se puede apreciar otro resultado de la simulación como lo es la primera tensión en la que se puede apreciar un valor máximo de 78.89 MPa y un mínimo de tensión de -32.02 MPa la cual influye directamente en las uniones de la estructura frontal lateral y esta se propaga hacia los laterales centrales, concentrándose un valor mayor el lado derecho de chasis del kart.

Figura 38

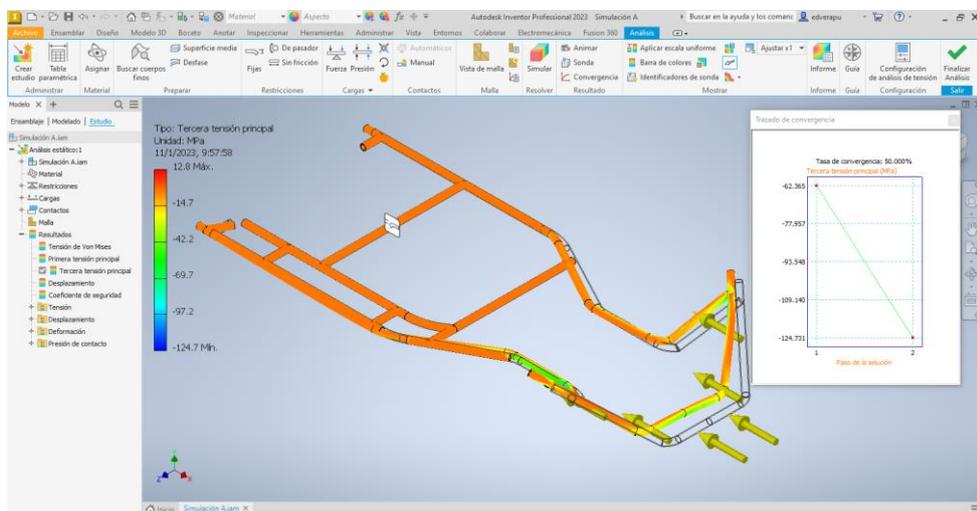
Resultado de Primera Tensión con un Impacto al 100 %



En la figura 39 se aprecia la tercera tensión la cual posee un valor de tensión máximo de 12.8 MPa y un valor mínimo de -124.7 MPa, la misma que nos indica que toda la estructura del chasis del kart percibe la tensión al momento de la colisión.

Figura 39

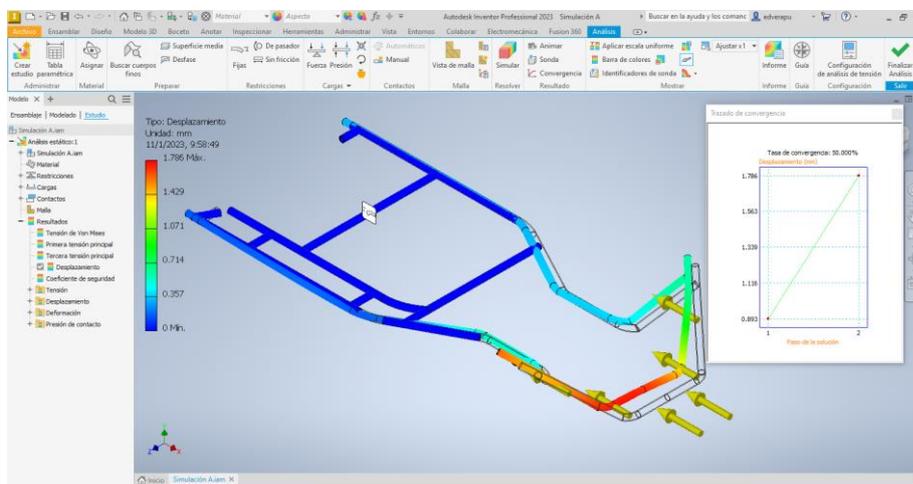
Resultado de Tercera Tensión con un Impacto al 100 %



En la figura 40 se puede apreciar de manera general el comportamiento de la deformación que se produce en la que después de ocurrido el impacto el desplazamiento máximo provocado es de 1.786 mm y el mínimo es de 0.893 mm lo que indica en durante una colisión de tipo frontal bajos los valores calculados e ingresados al programa, así como las respectivas restricciones nos indica que toda la estructura sufre una deformación estructural considerable.

Figura 40

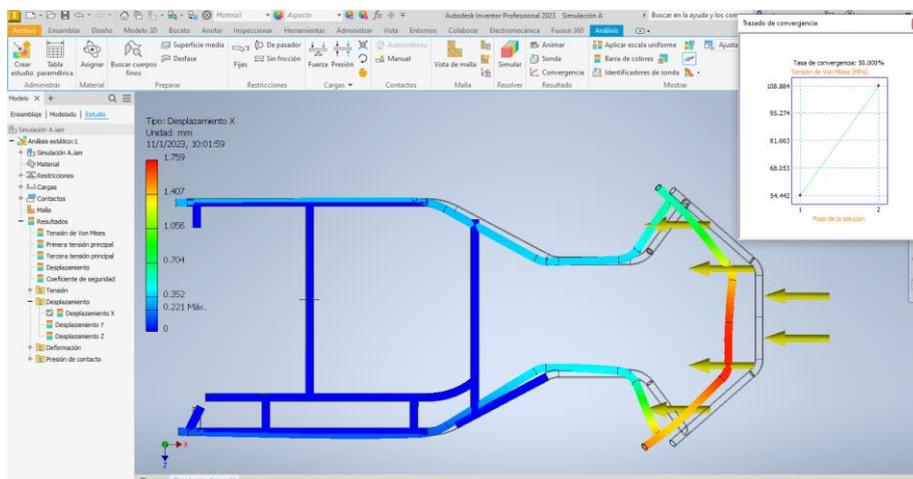
Resultado Total de Deformación con un Impacto al 100 %



Realizando el mismo análisis, pero de acuerdo con cada uno de los ejes se puede empezar con las deformaciones sobre el eje de las x el cual su valor máximo fue de 1.759 mm, como se puede observar en la figura 41.

Figura 41

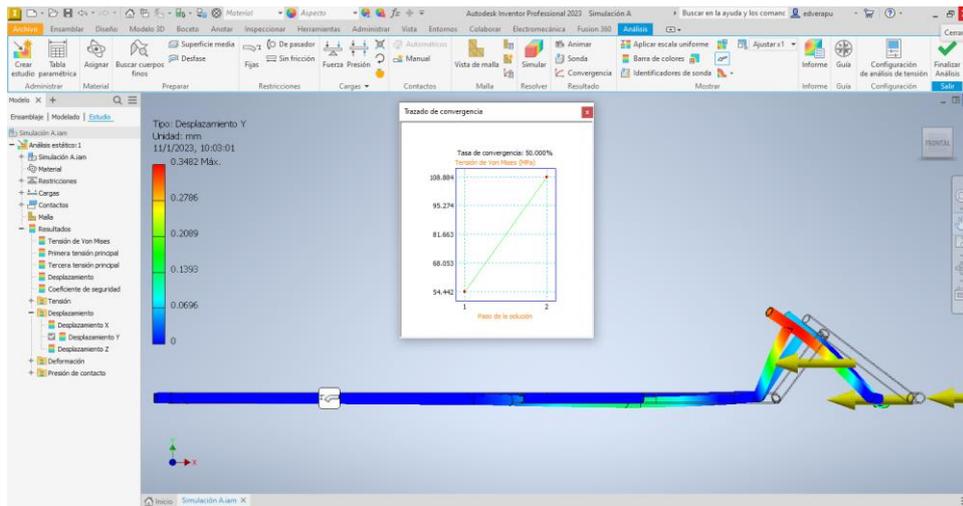
Resultado Deformación sobre el Eje X con un Impacto al 100 %



Los resultados sobre la deformación sobre el eje de las Y en cambio se presenta un valor máximo de 0.3482 mm el cual se experimenta en la parte frontal superior y produciéndose un pandeo en la parte central del chasis del kart, como se puede apreciar en la figura 42.

Figura 42

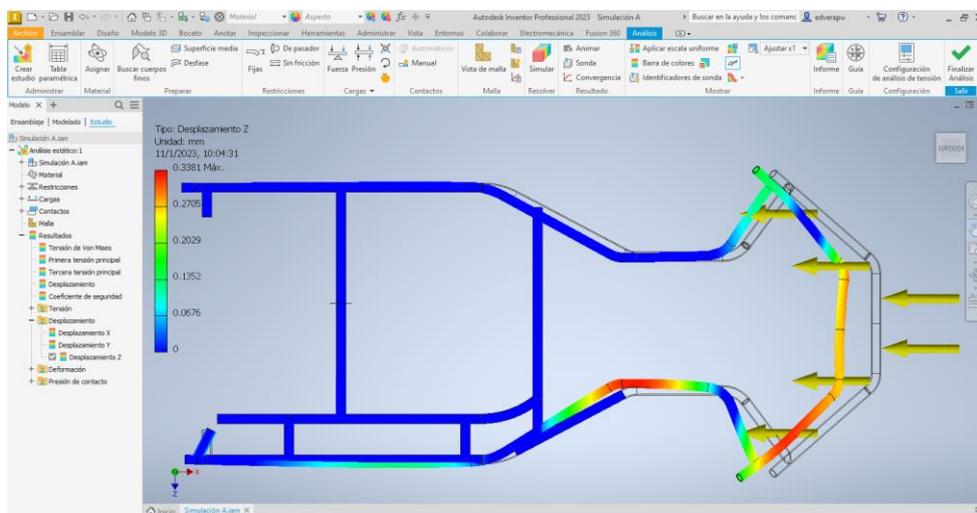
Resultado Deformación sobre el Eje Y con un Impacto al 100 %



Para finalizar con deformaciones el análisis del resultado sobre el eje de las Z se puede apreciar en la figura 43 en la que su valor máximo es de 0.3381 pudiendo observar que la concentración de esta deformación se da en la parte lateral y delantera derecha.

Figura 43

Resultado Deformación sobre el Eje Z con un Impacto al 100 %

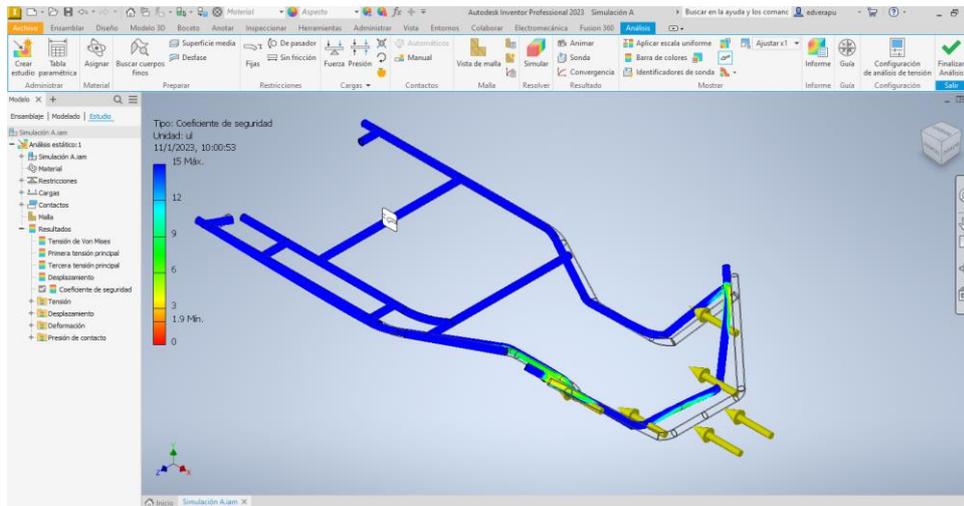


Concluyendo de esta manera que la mayor deformación que experimenta en este tipo de simulación lo posee sobre el eje de las X.

Para concluir con el análisis de la simulación con impacto al 100 % es el de conocer el valor que nos indica el programa que se debe considerar en un diseño como lo es el coeficiente de seguridad el cual es de 1.9 como se puede apreciar en la figura 44.

Figura 44

Resultado Coeficiente de Seguridad con un Impacto al 100 %



De manera extensa y completa se puede observar con detalles el informe generado por el programa AutoDesk Inventor Pro en el Anexo 1.

4.2.2. Análisis de Resultados de Simulación con Impacto al 50 %

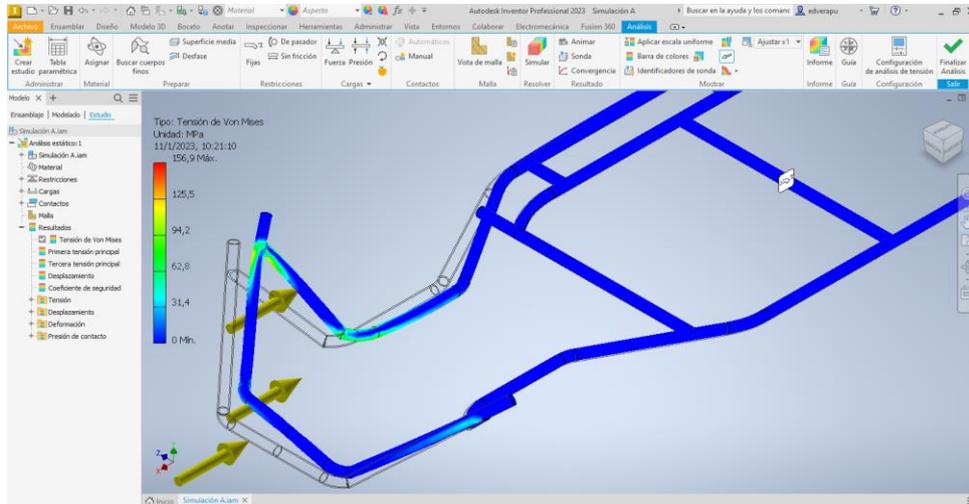
Para el análisis de los resultados de la simulación con un impacto del chasis de un kart al 50 % se conservan todas las condiciones de entorno con relación a la simulación realizada a un impacto del chasis al 100 % con la única variación es en la colocación de la disposición de la fuerza de impacto en la cual solo se la ubica desde el centro de la estructura frontal hacia al lado derecho manteniendo de igual manera la misma dirección es decir en sentido contrario al desplazamiento de la trayectoria del monoplaza.

De esta manera se puede apreciar el primer resultado como lo es la tensión de Von Mises en la figura 45 que presenta un valor máximo de 159.9 MPa la cual produce una

concentración de tensiones en los puntos de conexión de soldadura frontal lateral, así como en el doblez inferior del lado derecho.

Figura 45

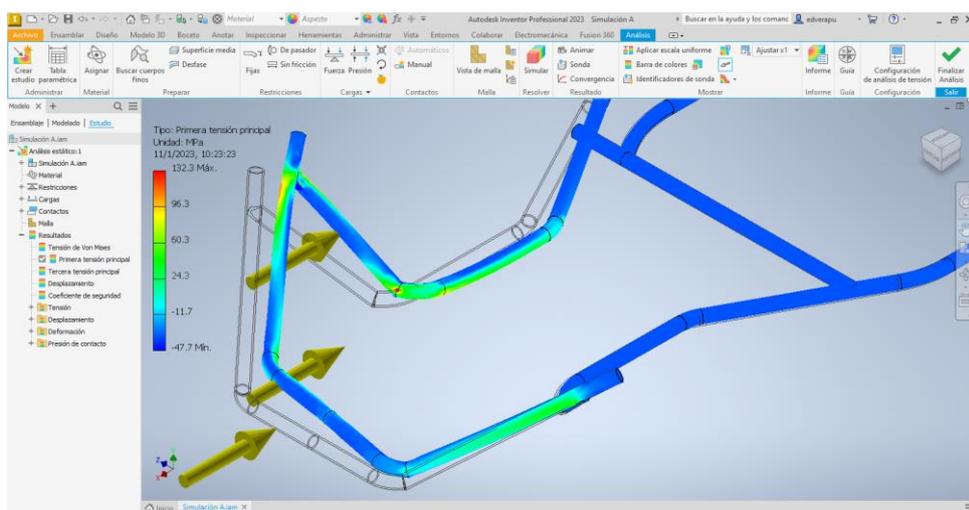
Resultado de Tensión de Von Mises con un Impacto al 50 %



En la figura 46 se aprecia claramente el resultado de la primera tensión la cual genera un valor máximo de 132.3 MPa y un valor mínimo de -47.7 MPa en la que se generan tres puntos críticos de concentración de este modo de esfuerzo que se aprecia como puntos de color rojo.

Figura 46

Resultado de Primera Tensión con un Impacto al 50 %

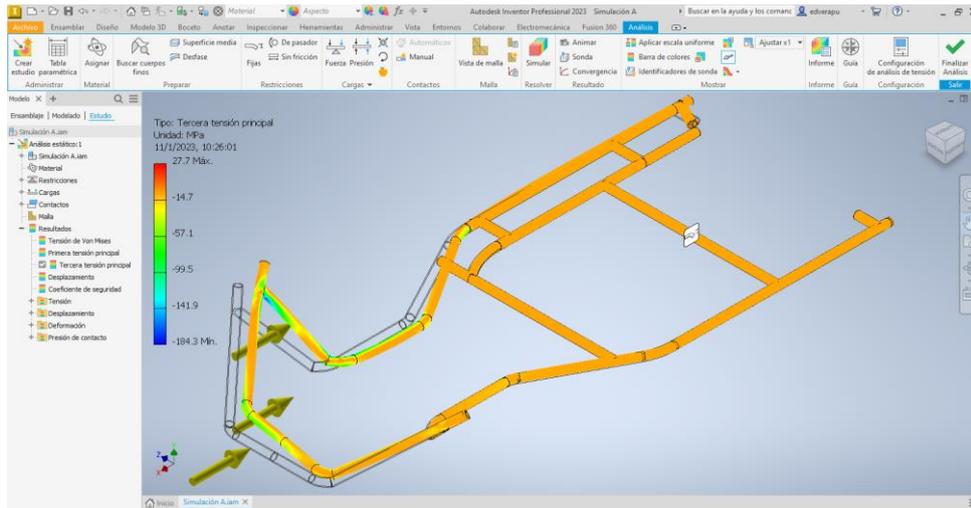


En el resultado de la tercera tensión se presenta una acción de la tensión en casi toda la estructura, pero con una pequeña observación que en los puntos en donde se producía

mayor esfuerzo anteriormente ahora en esos puntos se observa la menor concentración de esfuerzo los mismos que se presentan de color azul. En la figura 47 se puede apreciar el resultado de la tercera tensión con valores máximos de 27.7 MPa y un mínimo de -184.3 MPa.

Figura 47

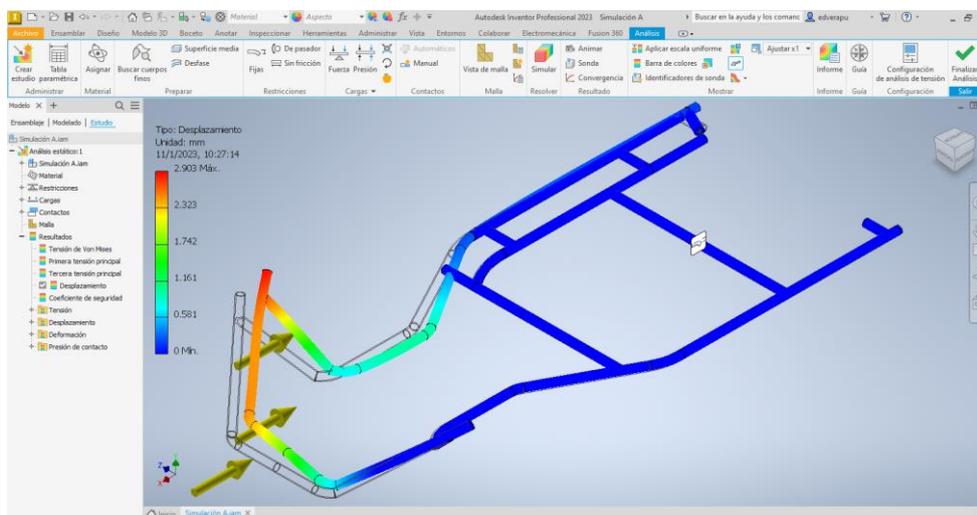
Resultado de Tercera Tensión con un Impacto al 50 %



En la figura 48, se puede apreciar claramente la deformación que se produce con el impacto al 50 % del chasis del kart, el mismo que presenta un valor máximo de 2.903 mm el mismo que es mayor en comparación al simulado con el impacto del 100 %.

Figura 48

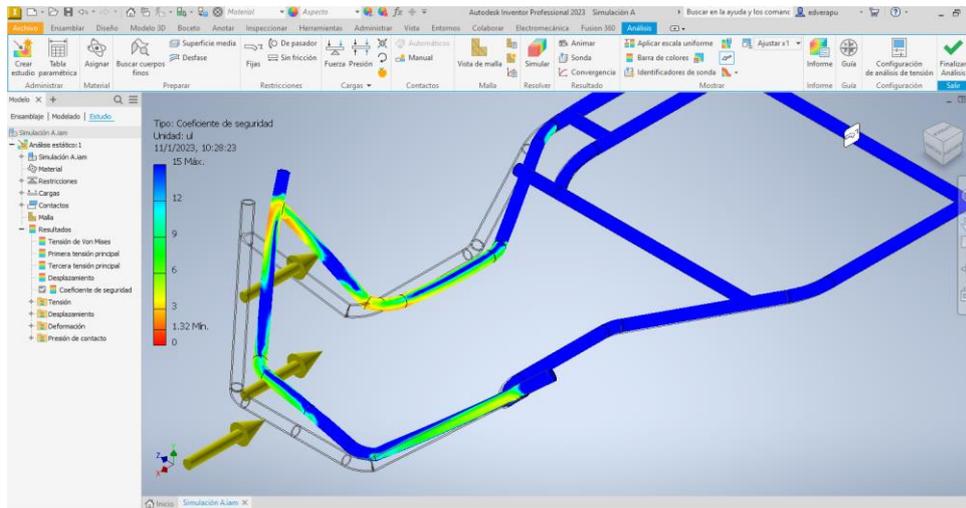
Resultado Total de Deformación con un Impacto al 50 %



Finalmente se puede ver en la figura 49 el resultado del coeficiente de seguridad el cual posee un valor máximo de 15 y un valor recomendado por el programa de 1.32 el cual es mayor al de la simulación con impacto al 100 % lo que expresa que en un impacto frontal al 50 % la estructura sufre mucho más por lo que se debe considerar para factores de diseño con un mayor coeficiente de seguridad.

Figura 49

Resultado Coeficiente de Seguridad con un Impacto al 50 %



El informe completo generado por Inventor Pro de la simulación del impacto frontal del chasis de kart con una intervención del 50 % se puede observar con todos los detalles en el Anexo 2.

4.3. Análisis General de Resultados Obtenidos

Luego de realizar el análisis individual de los resultados de la simulación generada correspondiente a el comportamiento estructural de un chasis de kart sometido a un impacto del tipo frontal con una intervención del 100 % y del 50 % de la estructura frontal, de forma cuantitativa se llega a determinar que las tensiones, las deformaciones y coeficientes de seguridad que soporta la estructura es menor cuando el impacto que recibe es al 100 % y estos aumentan significativamente cada vez que el porcentaje de la estructura comprometida durante el impacto empieza a disminuir por ende los valores aumentaron cuando se realizó la simulación con una intervención del 50 % de la parte delantera sobre el impacto y

considerando que el único valor negativo lo genera en lo correspondiente al coeficiente de seguridad pero es lo correcto ya que esto quiere indicar dentro de un análisis que al momento de generarse el impacto con mayor afectación este coeficiente disminuye.

En la Tabla 4 se resume el aumento de valores que se genera entre una colisión tipo frontal al 100 % y una colisión del tipo frontal al 50 % que soporta el chasis de un kart al desplazarse a 50 km/h.

Tabla 4

Diferencia entre Colisión del Tipo Frontal al 100 % y 50 % de un Chasis de Kart

| Diferencia entre Resultados Obtenidos | |
|--|-----------|
| Tensión de Von Mises | 51 MPa |
| Primera Tensión | 53.41 MPa |
| Tercera Tensión | 14.9 MPa |
| Desplazamiento | 1.117 mm |
| Coeficiente de seguridad | -0.58 ul |

Tras los valores obtenidos se determina que la afectación que percibe un chasis de kart al experimentar un impacto del tipo frontal completo o al 100 % son considerables y afectan a toda la estructura, pero es aún mayor su afectación cuando el impacto se produce en un menor porcentaje como lo es el caso del estudio realizado al 50 %.

Conclusiones

Una vez concluido todo el proceso para el desarrollo del presente proyecto investigativo denominado: Estudio del comportamiento estructural por impacto frontal sobre un chasis de kart a través del método de elementos finitos, se llegó a determinar las siguientes conclusiones:

Se determinó que el comportamiento estructural del chasis de un kart al ser sometido a una colisión del tipo frontal a través del método de elementos finitos presenta considerables valores de tensión y desplazamientos los cuales a su vez al realizar dos tipos de simulación colisiones del tipo frontal en la que una fue realizada al 100 % y otra al 50 %, y bajo las mismas condiciones de entorno se observa que mientras disminuye el porcentaje de acción los resultados obtenidos aumentan como lo es por ejemplo la tensión de Von Mises se aumenta en 51 MPa y el desplazamiento en 1.117 mm además que la deformación estructural es mayor complicando a más elementos estructurales del chasis.

Se logró extraer cada una de las características y parámetros dimensionales de la estructura del chasis de un kart homologado de la marca Tony Kart en las que se presentaron formas geométricas, así como forma de la parte tubular que lo conforma.

Se realizó cada una de las etapas de boceto, modelado 3D y simulación por parte del programa de AutoDesk Inventor Pro, el mismo que brindó todas las herramientas para el desarrollo hasta llegar a la generación del informe de los resultados obtenidos.

Se obtuvo a través de la aplicación del método de elementos finitos la solución del comportamiento estructural del chasis del kart homologado cuando este experimenta un impacto del tipo frontal, estos resultados se presentaron con sus valores mínimos y máximos además de la presentación de formas gráficas en las que por medio de una escala colorimétrica se observa el comportamiento desde que inicia hasta finalizar el fenómeno provocado.

Recomendaciones

Las recomendaciones que se presentan a continuación tienen la finalidad de sugerir a los lectores de este proyecto investigativo tener en cuenta al momento que intenten experimentar nuevos trabajos que contemplen este tipo de estudios, así como de iniciar trabajos futuros que extiendan el presente estudio.

Tener en cuenta la actualización de la reglamentación de acuerdo con el año de la investigación a realizar ya que estas suelen variar con el transcurrir el tiempo.

El programa computacional que se utilice debe contar con las herramientas adecuadas que brinden el desarrollo para el cumplimiento de los objetivos planteados, adicionalmente las características del computador deben ser las óptimas para que el proceso de diseño, modelado y simulación no presente incompatibilidad o defecto al desarrollo.

Ingresar cada uno de los datos de entrada en el programa computacional correcto y bajos criterios técnicos para que la simulación y los resultados obtenidos sean lo más cercano a la realidad.

Bibliografía

- Borja, L., & Enríquez, R. (2014). Estudio para la recuperación de cigüeñales de motores Diésel. *Facultad de Ingeniería Automotriz. UIDE*, 129.
- CRG. (2022). *CRG OFFICIAL WEBSITE*. Obtenido de <https://kartcrg.com/crashtest-2/?lang=en>
- Cuasapud, D. (2018). *Análisis Estructural A Cargas De Impacto Posterior Por Alcance De Un Bus Interprovincial Mediante El Método De Elementos Finitos*. Quito: UISEK.
- Erazo, W., Quiroz, J., Salazar, B., Pallo, A., Quiroz, L., & Zambrano, V. (2017). Modelación del parámetro de identificación de diagnóstico PID's, del sensor de temperatura de refrigerante del motor ECT del sistema de control de inyección electrónica de combustible EFI, mediante regresión no lineal. *INNOVA Research Journal*, 112-122.
- Exzar, C. (2019). *Análisis comparativo del freno de tambor y freno de disco para optimizar la eficiencia del sistema de frenos en vehículo de servicio público de 800 cm³ de cilindrada*. Chiclayo: Universidad César Vallejo.
- Fryśkowski, B. (2017). Electric field distribution in spark plugs insulators – modeling and computer simulation. *Diagnostyka*, 87-93.
- Grzebieta, R., Rechnitzer, G., Simmons, K., & Hicks, D. (2017). DEVELOPMENT OF PROPOSED DYNAMIC CRASH TESTS AND PERFORMANCE CRITERIA FOR THE AUSTRALIAN CONCESSION GO-KARTS STANDARD. *International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV) National Highway Traffic Safety Administration*, 17-0157.

- Kher, C., & Dixit, S. (2016). Modal Analysis of Go - Kart's Chassis based on FEM and FFT Analyzer. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 606-611.
- Latin NCAP. (5 de Enero de 2022). *LATIN NCAP*. Obtenido de <https://www.latinncap.com/es/nuestros-ensayos/pasajero-adulto/impacto-frontal>
- Ortiz, J. (2018). *Estudio del sistema de frenado en los vehículos ligeros (turismos)*. Barcelona: UPC.
- Rojas, C., & Jaramillo, J. (2012). *Mejora de eficiencia de los sistemas de dirección y frenos del vehículo Toyota 1000 año 1977*. Cuenca: Universidad del Azuay.
- TKART. (8 de Septiembre de 2018). *TKART Staff*. Obtenido de <https://tkart.it/es/magazine/como-hacer-para/fabricar-kart-de-carreras/#1>
- Vera, E. (2017). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaça, para equipos ecuatorianos participantes de la Formula Student*. Quito: UISEK.
- Vera, E., Morales, D., Peña, A., & Rodríguez, A. (2019). *Ergonomía para pilotos de monoplaça*. Guayaquil: Colloquium.

Anexos

Anexo 1: Informe de Resultados: Análisis Estructural de Chasis de Kart Sometido a un Impacto de Tipo Frontal al 100 % a través de AutoDesk Inventor Pro

Informe de análisis de tensión kart



| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Archivo analizado: | Simulación A,iam |
| Versión de Autodesk Inventor: | 2023.1 (Build 271208000, 208) |
| Fecha de creación: | 11/1/2023, 10:07 |
| Autor del estudio: | Manuel Asencio |
| Resumen: | |

Análisis estático:1

Objetivo general y configuración:

| | |
|--|-------------------|
| Objetivo del diseño | Punto único |
| Tipo de estudio | Análisis estático |
| Fecha de la última modificación | 11/1/2023, 9:50 |
| 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 edverapu

Proyecto

| | |
|-------------------|--------------|
| Nº de pieza | Simulación A |
| Diseñador | edverapu |
| Coste | \$0,00 |
| Fecha de creación | 9/1/2023 |

Estado

Estado del diseño Trabajo en curso

Propiedades físicas

| | |
|--------------------|--|
| Masa | 11,8098 kg |
| Área | 1318530 mm ² |
| Volumen | 1504430 mm ³ |
| Centro de gravedad | x=-143,271 mm y=-42,9146 mm z=51,8578 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 de diámetro de modelo) | 0,1 |
|---|-----|

11/1/23, 10:14

Informe de análisis de tensión kart

| | |
|--|--------|
| Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio) | 0,2 |
| Factor de modificación | 1,5 |
| Ángulo máximo de giro | 60 deg |
| 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 ul |
| | Módulo cortante | 76,9073 GPa |
| Nombre(s) de pieza | kart chasis.ipt | |
| Nombre | Genérico | |
| General | Densidad de masa | 1 g/cm ³ |
| | Límite de elasticidad | 0 MPa |
| | Resistencia máxima a tracción | 0 MPa |
| Tensión | Módulo de Young | 0,0000001 GPa |
| | Coefficiente de Poisson | 0 ul |
| | Módulo cortante | 0,0000005 GPa |
| Nombre(s) de pieza | Reference Skeleton | |
| Nombre | Acero, suave | |
| General | Densidad de masa | 7,85 g/cm ³ |
| | Límite de elasticidad | 207 MPa |
| | Resistencia máxima a tracción | 345 MPa |
| Tensión | Módulo de Young | 220 GPa |
| | Coefficiente de Poisson | 0,275 ul |
| | Módulo cortante | 86,2745 GPa |
| Nombre(s) de pieza | ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 510,79 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 629 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 603 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 65 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 510,79 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 65 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 157,39 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 157,39 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 603 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 629 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 76,24 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 422,42 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 132,65 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 90,33 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 603 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 89,9 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 422,42 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 26 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 30,72 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 90 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 484,03 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 90,33 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 30,72 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 188 | |

file:///C:/Users/edvarapu/Downloads/part karting/Simulación A_jam Informe de análisis de tensión 9_1_2023.html

2/7

11/1/23, 10:14

Informe de análisis de tensión kart

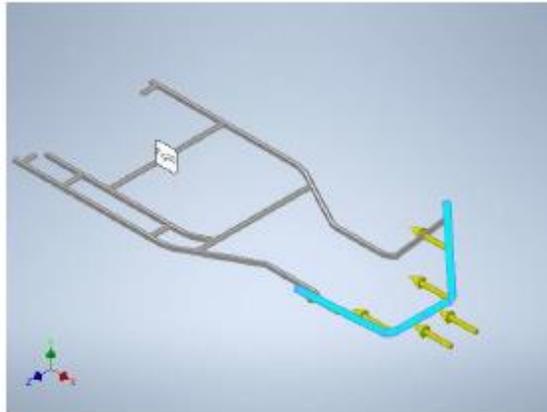
| |
|---------------------------------|
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 76,24 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 207,27 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 472,95 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 472,95 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 265,31 |

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

| | |
|---------------|-------------|
| Tipo de carga | Fuerza |
| Magnitud | 1388,800 N |
| Vector X | -1388,800 N |
| Vector Y | -0,000 N |
| Vector Z | -0,000 N |

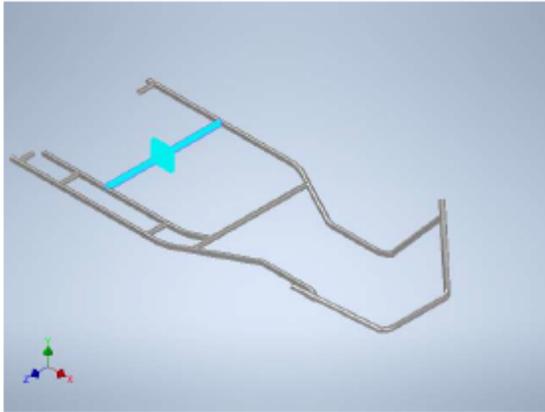
Cara(s) seleccionada(s)



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 | 0 N | 0 N | 0 N m | 0 N m |
| | | 0 N | | 0 N m |
| | | 0 N | | 0 N m |

Resumen de resultados

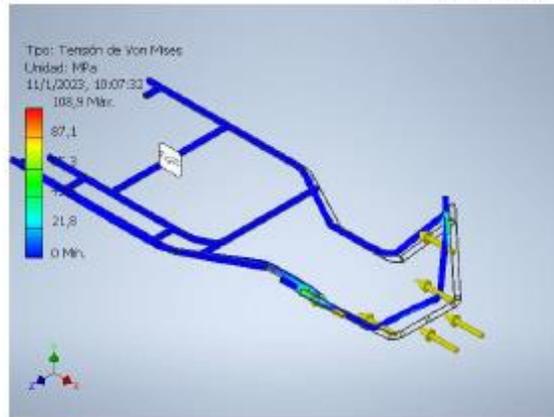
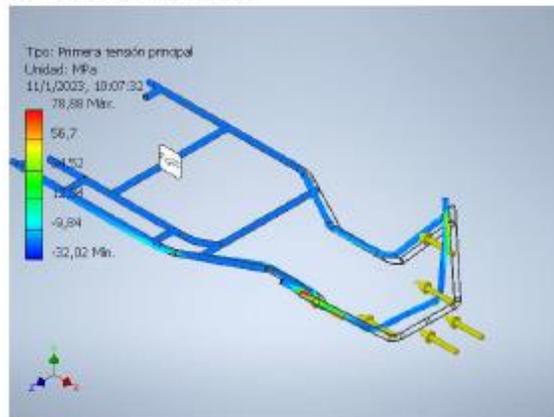
| Nombre | Mínimo | Máximo |
|---------------------------|-------------------------|-------------|
| Volumen | 1504430 mm ³ | |
| Masa | 11,8098 kg | |
| Tensión de Von Mises | 0 MPa | 108,884 MPa |
| Primera tensión principal | -32,0242 MPa | 78,8799 MPa |
| Tercera tensión principal | -124,731 MPa | 12,8126 MPa |
| Desplazamiento | 0 mm | 1,78574 mm |
| Coefficiente de seguridad | 1,9011 ul | 15 ul |

Figuras

Tensión de Von Mises

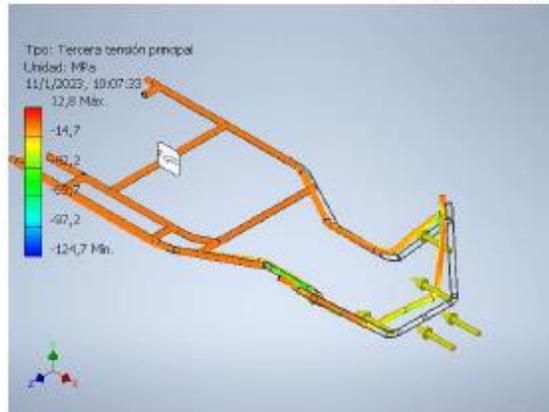
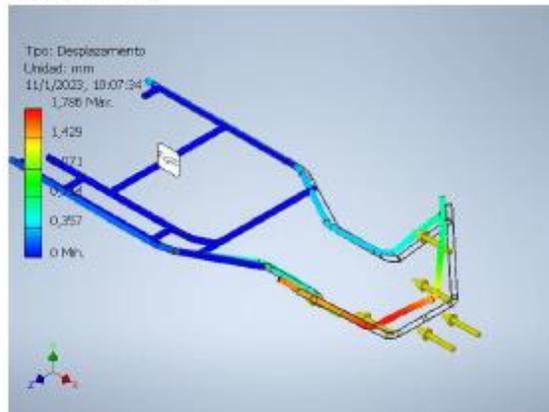
11/1/23, 10:14

Informe de análisis de tensión kart

**Primera tensión principal****Tercera tensión principal**

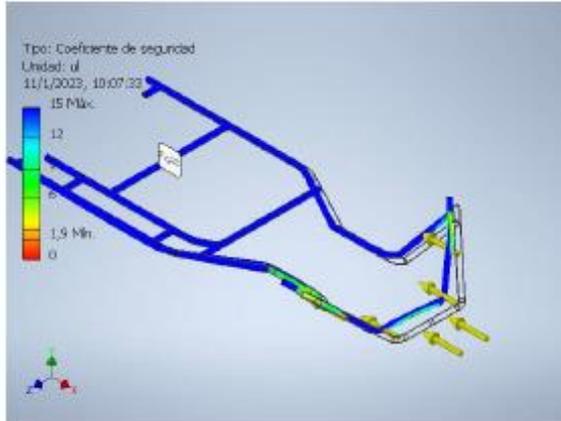
11/1/23, 10:14

Informe de análisis de tensión kart

**Desplazamiento****Coefficiente de seguridad**

11/1/23, 10:14

Informe de análisis de tensión kart



C:\Users\edverapu\Downloads\part karting\Simulación A.iam

Anexo 2: Informe de Resultados: Análisis Estructural de Chasis de Kart Sometido a un Impacto de Tipo Frontal al 50 % a través de AutoDesk Inventor Pro

11/1/23, 10:30

Informe de análisis de tensión kart

Informe de análisis de tensión kart



| | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Archivo analizado: | Simulación A,iam |
| Versión de Autodesk Inventor: | 2023.1 (Build 271208000, 208) |
| Fecha de creación: | 11/1/2023, 10:30 |
| Autor del estudio: | Manuel Asencio |
| Resumen: | |

Análisis estático:1

Objetivo general y configuración:

| | |
|--|-------------------|
| Objetivo del diseño | Punto único |
| Tipo de estudio | Análisis estático |
| Fecha de la última modificación | 11/1/2023, 10:21 |
| 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: edverapu

Proyecto

| | |
|-------------------|--------------|
| Nº de pieza | Simulación A |
| Diseñador | edverapu |
| Coste | \$0,00 |
| Fecha de creación | 9/1/2023 |

Estado

Estado del diseño: Trabajo en curso

Propiedades físicas

| | |
|--------------------|--|
| Masa | 11,8098 kg |
| Área | 1318530 mm ² |
| Volumen | 1504430 mm ³ |
| Centro de gravedad | x=-143,271 mm y=-42,9146 mm z=51,8578 mm |

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

Configuración de malla:

| | |
|---|-----|
| Tamaño medio de elemento (fracción del diámetro del modelo) | 0,1 |
|---|-----|

file:///C:/Users/edverapu/Downloads/part karting/Simulación A,iam Informe de análisis de tensión 9_1_2023.html

1/7

11/1/23, 10:30

Informe de análisis de tensión kart

| | |
|--|--------|
| Tamaño mínimo de elemento (fracción del tamaño medio) | 0,2 |
| Factor de modificación | 1,5 |
| Ángulo máximo de giro | 60 deg |
| Crear elementos de malla curva | No |
| Usar medida basada en pieza para la malla del ensamblaje | Si |

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 ul |
| | Módulo cortante | 76,9073 GPa |
| Nombre(s) de pieza | kart chasis.ipt | |
| Nombre | Genérico | |
| General | Densidad de masa | 1 g/cm ³ |
| | Límite de elasticidad | 0 MPa |
| | Resistencia máxima a tracción | 0 MPa |
| Tensión | Módulo de Young | 0,0000001 GPa |
| | Coefficiente de Poisson | 0 ul |
| | Módulo cortante | 0,00000005 GPa |
| Nombre(s) de pieza | Reference Skeleton | |
| Nombre | Acero, suave | |
| General | Densidad de masa | 7,85 g/cm ³ |
| | Límite de elasticidad | 207 MPa |
| | Resistencia máxima a tracción | 345 MPa |
| Tensión | Módulo de Young | 220 GPa |
| | Coefficiente de Poisson | 0,275 ul |
| | Módulo cortante | 86,2745 GPa |
| Nombre(s) de pieza | ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 510,79 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 629 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 603 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 65 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 510,79 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 65 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 157,39 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 157,39 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 603 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 629 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 76,24 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 422,42 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 423,62 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 132,65 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 90,33 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 603 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 89,9 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 422,42 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 26 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 30,72 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 90 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 484,03 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 90,33 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 270 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 30,72 ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 188 | |

file:///C:/Users/edverapu/Downloads/part karting/Simulación A/jam Informe de análisis de tensión 9_1_2023.html

2/7

11/1/23, 10:30

Informe de análisis de tensión kart

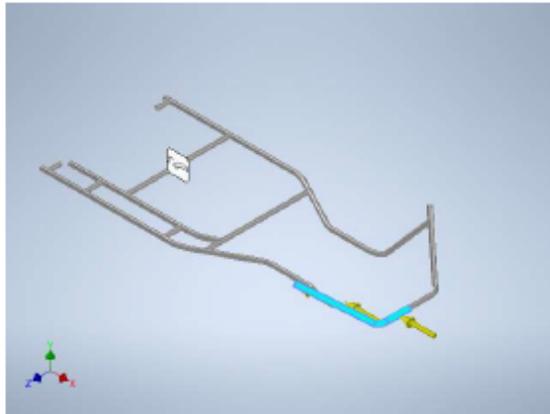
| |
|---------------------------------|
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 76,24 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 207,27 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 472,95 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 472,95 |
| ISO 12633-2 21,3 x 2,3 - 265,31 |

Condiciones de funcionamiento

Fuerza:1

| Tipo de carga | Fuerza |
|---------------|-------------|
| Magnitud | 1388,800 N |
| Vector X | -1388,800 N |
| Vector Y | -0,000 N |
| Vector Z | 0,000 N |

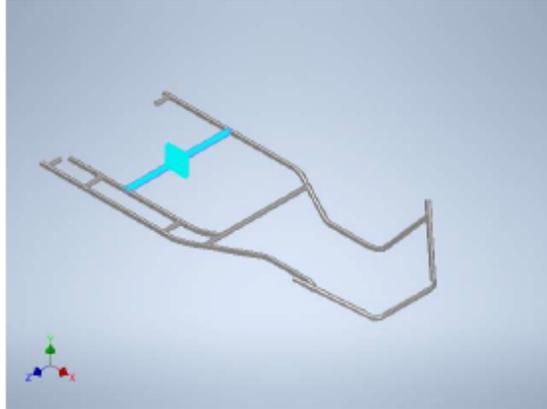
Cara(s) seleccionada(s)



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 | 0 N | 0 N | 0 N m | 0 N m |
| | | 0 N | | 0 N m |
| | | 0 N | | 0 N m |

Resumen de resultados

| Nombre | Mínimo | Máximo |
|---------------------------|-------------------------|-------------|
| Volumen | 1504430 mm ³ | |
| Masa | 11,8098 kg | |
| Tensión de Von Mises | 0 MPa | 156,927 MPa |
| Primera tensión principal | -47,6525 MPa | 132,328 MPa |
| Tercera tensión principal | -184,251 MPa | 27,6798 MPa |
| Desplazamiento | 0 mm | 2,90316 mm |
| Coefficiente de seguridad | 1,31908 ul | 15 ul |

Figuras

Tensión de Von Mises



Primera tensión principal



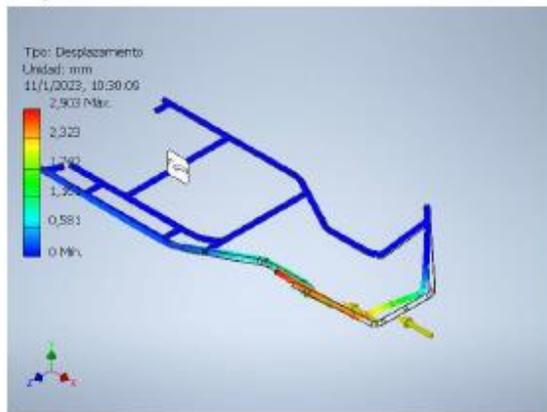
Tercera tensión principal

11/1/23, 10:30

Informe de análisis de tensión kart



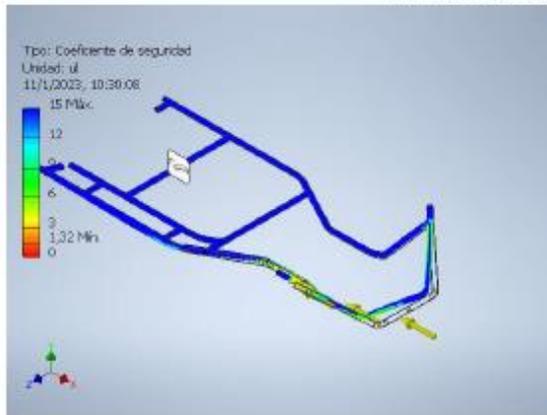
Desplazamiento



Coefficiente de seguridad

11/1/23, 10:30

Informe de análisis de tensión kart



C:\Users\edverapu\Downloads\part karting\Simulación A.iam

