



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS DE KARTING KF4 BAJO LA NORMATIVA CIK  
FIA 2023 PARA EL GRUPO ASU AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Automotriz

**AUTOR:      ÁLVARO LEONEL PILLAJO SÁNCHEZ**

**TUTOR:      CARLOS DAVID ÁLVAREZ BASANTES**

Quito - Ecuador

2024

## **CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Álvaro Leonel Pillajo Sánchez con documento de identificación N° 1804898920 manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Álvaro Leonel Pillajo Sánchez

1804898920

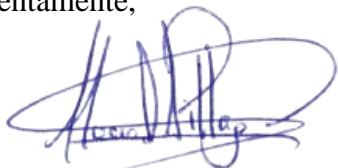
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE  
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Yo, Álvaro Leonel Pillajo Sánchez con documento de identificación N° 1804898920, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Construcción de un chasis de karting KF4 bajo la normativa CIK FIA 2023 para el grupo ASU automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana en el Distrito Metropolitano de Quito”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que se hace la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Álvaro Leonel Pillajo Sánchez

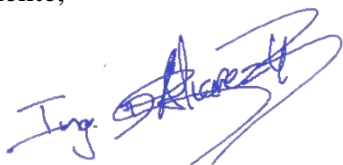
1804898920

## CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Álvarez Basantes Carlos David con documento de identificación N° 0604240796, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS DE KARTING KF4 BAJO LA NORMATIVA CIK FIA 2023 PARA EL GRUPO ASU AUTOMOTRIZ DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO, realizado por Álvaro Leonel Pillajo Sánchez con documento de identificación N° 1804898920, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción: Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 19 de febrero del año 2024

Atentamente,



---

Ing. Carlos David Álvarez Basantes, MI

0604240796

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente proyecto a mis queridos padres,

Con profunda, quiero dedicarles estas palabras en el momento culminante de mi tesis. Vuestra confianza inquebrantable en mí ha sido el motor que me ha impulsado a superar cada obstáculo y alcanzar este logro significativo en mi vida académica.

Vuestra confianza en mis habilidades y capacidades ha sido un faro de luz en los momentos de duda y desafío. Vuestra fe en mí ha sido el combustible que ha avivado mi determinación y me ha permitido perseverar en este largo camino. Vuestra creencia en mis sueños me ha dado la valentía necesaria para enfrentar los retos y seguir adelante.

Además, no puedo dejar de mencionar el apoyo económico constante que me han brindado. Vuestra generosidad y sacrificio han allanado el camino hacia mi éxito académico. Vuestra dedicación y esfuerzo para proporcionarme los recursos necesarios han sido fundamentales para mi progreso y crecimiento.

Hoy, a medida que cierro este capítulo importante en mi vida, quiero que sepan que su amor incondicional y su apoyo inquebrantable han sido los cimientos de mi éxito. Cada paso que di, cada logro que alcanzo, lo comparto con ustedes, mis queridos padres.

Esta tesis no solo representa el fruto de mi trabajo y dedicación, sino también un tributo a su amor, paciencia y sacrificio. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por brindarme el apoyo incondicional que necesitaba para llegar hasta aquí.

Con todo mi amor y gratitud eterna,

**ALVARO PILLAJO**

## **AGRADECIMIENTO**

Mis sinceros agradecimientos a las personas que han sido parte fundamental en el proceso de escritura de mi tesis. Su apoyo incondicional y su confianza en mí han sido un verdadero motor que me ha impulsado a alcanzar este importante logro.

A mis queridos padres, no tengo palabras suficientes para expresar mi gratitud por todo el apoyo brindado a lo largo de mi carrera. Su amor, confianza y sacrificio han sido la fuerza que me ha impulsado en los momentos más desafiantes. Gracias por creer en mí y por ser mi mayor inspiración.

A mi hermana, agradezco profundamente tu constante confianza en mis habilidades y talentos. Tus palabras de aliento y apoyo incondicional han sido un faro de luz en mi camino. Gracias por estar siempre a mi lado y por ser mi fuente de inspiración.

A mi esposa, mi compañera de vida, gracias por estar presente en cada paso de esta etapa final de mi carrera. Tu apoyo incondicional, paciencia y comprensión han sido vitales para alcanzar este logro. Tu amor y motivación constante han sido mi mayor fortaleza.

A mis estimados docentes, quiero expresar mi profundo agradecimiento por su dedicación y enseñanzas a lo largo de mi formación académica. Sus conocimientos, guía y apoyo han sido fundamentales para mi desarrollo profesional. Gracias por compartir su experiencia y por motivarme a superar mis límites.

Con gratitud eterna,

**ALVARO PILLAJO**

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN .....	3
PROBLEMA .....	5
Delimitación del problema .....	6
Objetivo General.....	6
Objetivos Específicos .....	6
MARCO TEÓRICO.....	8
CAPÍTULO I .....	17
1.    REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS DE KART KF4 .....	17
1.1.    MATERIAL.....	17
1.2.    CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR DEL KARTING KF4 .....	19
1.2.1.    Máquinas y herramientas utilizadas .....	19
1.2.2.    Operaciones Realizadas.....	21
1.3.    DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CONSTRUCCIÓN .....	21
CAPITULO II .....	24
2.    CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS DE KART KZ MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA RESPECTIVOS .....	24
2.1.    Construcción del bastidor .....	24
2.2.    Adquisición del material .....	24
2.3.    Inspección del material.....	25
2.4.    Corte del material .....	26
2.5.    Inspección de los cortes y el desbaste.....	28
2.6.    Doblado de elementos.....	29
2.7.    Ensamble de las partes de la estructura del bastidor .....	30
2.8.    Soldadura de la estructura del bastidor .....	30
2.9.    Pintado de la estructura final .....	33
CAPITULO III .....	35
3.    ANALIZAR LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL PROTOTIPO. ....	35
3.1.    MÉTODO DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS.....	35
3.2.    TINTAS PENETRANTES.....	35
3.2.1.    Procedimiento del método tintas penetrantes.....	36
3.2.2.    Criterios de aceptación.....	37
3.3.    PRUEBA CON GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS .....	38

CAPITULO IV .....	47
4. COMPARACION DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES OBTENIDAS VS LAS ESTIMADAS TEÓRICAMENTE.....	47
4.1. DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN POR GALGAS EXTENSIOMETRICAS .....	47
4.2. DEFORMACIÓN POR TORSIÓN POR GALGAS EXTENSIOMETRICAS .....	49
4.3. COMPARACIÓN EN ANALISIS DE FLEXIÓN A 130 KG OBTENIDAS VS LAS ESTIMADAS TEÓRICAMENTE .....	51
4.3.1. Datos técnicos de las galgas .....	52
4.3.2. Interpretación de la comparación en análisis de flexión a 130 kg vs la estimadas teóricamente.....	53
4.4. COMPARACIÓN EN ANALISIS DE TORSIÓN A 30 KG OBTENIDAS VS LAS ESTIMADAS TEÓRICAMENTE .....	54
CONCLUSIONES .....	58
RECOMENDACIONES .....	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b> Partes principales del bastidor.....	18
<b>Figura 1.2</b> Diseño CAD del bastidor.....	19
<b>Figura 1.3</b> Flujograma de Construcción.....	23
<b>Figura 2.1</b> Tubería estructural.....	25
<b>Figura 2.2</b> Material adquirido.....	26
<b>Figura 2.3</b> Corte del material.....	26
<b>Figura 2.4</b> Operación de corte.....	27
<b>Figura 2.5</b> Operación de corte de la tubería.....	28
<b>Figura 2.6</b> Limpieza de los elementos.....	28
<b>Figura 2.7</b> Proceso de doblado.....	29
<b>Figura 2.8</b> Doblando de elementos.....	30
<b>Figura 2.9</b> Ensamblaje de elementos.....	32
<b>Figura 2.10</b> Proceso de soldadura.....	32
<b>Figura 2.11</b> Pulido de las uniones soldadas.....	33
<b>Figura 2.12</b> Proceso de pintura.....	34
<b>Figura 3.1</b> Aplicación del líquido penetrante.....	37
<b>Figura 3.2</b> Resultados obtenidos.....	37
<b>Figura 3.3.</b> Preparación de chasis para posicionamiento de galgas extensiométricas.....	39
<b>Figura 3.4.</b> Limpieza de puntos críticos obtenidos para análisis.....	39
<b>Figura 3.5.</b> Adhesivo Loctite 496 utilizado para fijación de galgas.....	40
<b>Figura 3.6.</b> Fijación de galgas.....	40
<b>Figura 3.7.</b> Armado de sonda con cable RJ-45 y galgas.....	41
<b>Figura 3.8.</b> Unión de adaptador DB9-M1 con cable RJ-45.....	42
<b>Figura 3.9.</b> Preparación de chasis con 4 puntos de apoyo para prueba de deformación por flexión.....	43
<b>Figura 3.10.</b> Posición de galgas en ejes X e Y para la lectura de resultados.....	44
<b>Figura 3.11.</b> Colocación de chasis en voladizo y carga en lado izquierdo.....	45
<b>Figura 3.12.</b> Colocación de chasis en voladizo y carga en lado derecho.....	45
<b>Figura 3.13.</b> Equipo de Medición Dewesoft de 3 canales para la lectura de resultados....	46
<b>Figura 4.1</b> Deformación por flexión con carga de 100 Kg.....	47
<b>Figura 4.2</b> Cargas aplicadas al bastidor.....	48
<b>Figura 4.3</b> Deformación por flexión con carga de 130 Kg.....	48
<b>Figura 4.4</b> Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 1.....	49
<b>Figura 4.5</b> Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 1.....	50
<b>Figura 4.6</b> Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 2.....	50
<b>Figura 4.7</b> Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 2.....	51
<b>Figura 4.8</b> Deformación por flexión con sonda en el centro del bastidor.....	52
<b>Figura 4.9</b> Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 2.....	52
<b>Figura 4.10</b> Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 1.....	55
<b>Figura 4.11</b> Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 1.....	56
<b>Figura 4.12</b> Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 1.....	57
<b>Figura 4.13</b> Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 1.....	57

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1</b> Parámetros iniciales para el diseño CAD. ....	17
<b>Tabla 1.2</b> Partes del bastidor.....	18
<b>Tabla 1.3</b> Máquinas y equipos utilizados en la construcción. ....	19
<b>Tabla 1.4</b> Accesorios utilizados en la construcción.....	20
<b>Tabla 1.5</b> Operaciones realizadas en el proceso de construcción. ....	21
<b>Tabla 1.6</b> Representaciones para el diagrama de flujo. ....	22
<b>Tabla 2.1</b> Matriz de selección de material .....	24
<b>Tabla 2.2</b> Características del perfil utilizado. ....	25
<b>Tabla 2.3</b> Matriz de selección de electrodo .....	31

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1</b> .....	12
<b>Ecuación 2</b> .....	53
<b>Ecuación 3</b> .....	53

## RESUMEN

El presente proyecto de construcción de un chasis de karting KF4 bajo las normativas CIK FIA 2023, realizado para el Grupo ASU Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana en el Distrito Metropolitano de Quito, consiste en la construcción física y pruebas detalladas que garanticen la fiabilidad del mencionado bastidor.

La primera fase de este proyecto se enfoca en el diseño del kart mediante el uso del software SolidWorks, seguido a ello se ha de comprobar que el diseño cumpla con la normativa de la FIA, una vez finalizado la fase de diseño se procede a la fabricación donde los distintos procesos de manufactura se emplean para materializar el diseño propuesto, el punto de partida es la adquisición del material, seguido del corte, medidas, limpieza y la preparación de los tubos de acero ASTM A36 mismos que después se unen mediante un proceso de soldadura MIG, conformando un solo conjunto que vendría a ser el bastidor, seguido a todo aquello hay que analizar la estructura mediante metodologías de pruebas no destructivas como él; análisis de galgas extensiométricas y de tintas penetrantes, para la continuidad de los cordones la calidad de las soldaduras hacemos uso de las dichas tintas penetrantes, mientras que para medir la rigidez del bastidor se utiliza galgas extensiométricas que ayudan de manera real comparar la deformación que sufre el chasis ante las cargas que habitualmente está sometido tomando también en cuenta la torsión que sufre cuando un kart está en orden de marcha.

Simular las condiciones reales de funcionamiento de un chasis de kart complejo, si bien es cierto la simulación en ANSYS se simplifica, recurrir a nuevos métodos como lo de las galgas extensiométricas sigue siendo una opción viable ya que resulta ser bastante novedosa sin tantas complicaciones al momento de realizarlas. Una vez obtenido las mediciones reales en laboratorio versus las calculadas mediante un software los datos se vuelven más congruentes entre sí lo que permite dar criterios más técnicos al respecto de la fiabilidad de este bastidor. Los procesos empleados en el análisis funcional de este chasis buscaban siempre no dañar el chasis con la finalidad de que este bastidor se convierta en una plataforma de nuevos proyectos.

**Palabras Claves:** chasis, karting, homologación, proceso de manufactura, deformación

## ABSTRACT

The present construction project of a KF4 karting chassis under the CIK FIA 2023 regulations, carried out for the Grupo ASU Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana en el Distrito Metropolitano de Quito, consists of the physical construction and detailed tests of the aforementioned frame.

The first phase of this project focuses on the design of the kart through the use of SolidWorks software. Following this, it must be verified that the design complies with FIA regulations. Once the design phase is completed, manufacturing proceeds. where traditional manufacturing processes are used to materialize the proposed design, where the starting point is the acquisition of the material, followed by cutting, measuring, cleaning and preparing the ASTM A36 tubes, which are then joined using a MIG welding process. , forming a single assembly that would become the frame, followed by all that, the structure must be analyzed using non-destructive testing methodologies like him; analysis of strain gauges and penetrating inks, for the continuity of the beads the quality of the welds we use these penetrating inks, while to measure the rigidity of the frame we use strain gauges that help us in a real way compare the deformation it suffers the chassis against the loads that it is usually subjected to, also taking into account the torsion that it suffers when a kart is in running order.

Simulating the real operating conditions of a kart chassis is quite complex, although it is true that simulation in ANSYS simplifies things a lot, resorting to new methods such as strain gauges is still a viable option since it turns out to be quite novel without so many complications when doing them. Once the real measurements are obtained in the laboratory vs. those calculated using software, the data become more consistent with each other, which allows more technical criteria to be given regarding the reliability of this frame. The processes used in the functional analysis of this chassis always sought not to damage the chassis with the aim of this frame becoming a platform for new projects.

**Keywords:** chassis, karting, homologation, manufacturing process, extensometry, deformation

## INTRODUCCIÓN

Karting, disciplina donde la velocidad y la precisión se juntan, la presente investigación se sumerge en la construcción de un chasis de karting KF4 tipo tubular bajo las exigentes normativas de la CIK FIA 2023. Un proyecto que va más allá de un automotor fiable, pues la meta es mejorar el diseño automotriz, aligerar el bastidor y mantener cierto equilibrio entre un componente bastante fiable respecto a su costo, creando así un bastidor eficiente en todo sentido.

El Kart KF4, un vehículo ágil y compacto, el cual no tiene un sistema suspensión y sus cuatros ruedas no necesariamente están alineadas, todos los sistemas y subsistemas son montados sobre un chasis. Este chasis de ser maleable y adaptable según las demandas específicas de cada competición. No obstante, la versatilidad no se limita a su adaptabilidad; se extiende a diversas áreas donde las modificaciones pueden ser implementadas para perfeccionar y mejorar el chasis de un karting. Estas modificaciones buscan un rendimiento óptimo a través de distintos enfoques, desentrañando el alcance y potencial de cada ajuste con la finalidad de alcanzar la excelencia en mundo del karting.

La Universidad Calabria en Italia realizó un análisis estructural tubular con una tasa específica de deformación, utilizando procesos numéricos de modelado geométrico, análisis dinámicos y estructural, este estudio culminó en la construcción de un modelo matemático FEM, validado para reproducir con excelencia el comportamiento estructural de dicho chasis. (Vena, 2006)

Así mismo otro estudio se abordó la modificación de materiales, destacando el uso de recubrimiento de carbono y núcleo tipo nido de abeja en fabricación de aluminio como opción a un metal tradicional en la construcción del chasis. Dicha consecuencia reveló que la optimización del proceso de laminado en capas de carbono podría proporcionar valores semejantes de margen de seguridad de fuerza y rigidez torsional. (Reccia, 2007)

Otra de las propuestas realizadas en el 2016 introdujo un casquillo en el parachoques frontal del chasis, aumentando significativamente el factor de seguridad. Mediante una prueba de

colisión, demostraron que el paragolpes absorbía el 20 % de energía liberada en un impacto, transfiriendo el 80 % sobrante al casquillo. (Rakesh, 2016)

Así pues, las investigaciones respecto a mejorar el rendimiento del chasis de un kart son bastantes amplias por lo que nuestra investigación trata de fusionar las lecciones aprendidas de estos avances e investigaciones para forjar un nuevo estándar en el diseño de chasis de karting KF4. Un aprendizaje donde cada componente que conforma el bastidor de este proyecto apunta a innovar no solo en la fabricación sino también en el garantizar la fiabilidad del producto terminado.

## PROBLEMA

El problema planteado está orientado en las deficiencias que presentan los chasis de kart respecto a su fabricación, esto viene a ser un tema netamente de procesos de manufactura que no están optimizados.

La falta de formación y poco tecnicismo que se emplea muchas veces en la fabricación del karts por parte de “aficionados” comprometen la fiabilidad que puede tener dicho bastidor, al tratarse de un vehículo monoplace para kart hay que tomar en cuenta que es un vehículo que estará sometido a mayores exigencias que un vehículo convencional, por tanto es importante garantizar que realmente cumpla con estándares de calidad para poder utilizarse, si bien es cierto que existe una normativa vigente para la homologación de karts en competencias de carácter formal, también es cierto que hay grupos de “aficionados” que recurren a fabricaciones artesanales de karts comprometiendo la integridad propia.

En este contexto, surge el proyecto que retoma una idea previa: materializar un diseño propuesto plantea un nuevo desafío, que consiste en fabricar un kart como una contribución a la educación superior. Por lo tanto, los estudiantes de la carrera de ingeniería automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana se beneficiarán al fabricar el chasis de un karting KZ, siguiendo la normativa CIK FIA 2023. Este proyecto servirá como una plataforma de trabajo donde podrán equipar el kart y finalizar con su funcionamiento operativo, abriendo las puertas para explorar deportes automovilísticos como el karting.

El karting como deporte de motor tiene una alta responsabilidad por parte de la ingeniería para garantizar la seguridad de sus pilotos evitando así incidentes. Respecto a los incidentes y accidentes en karting no hay un reporte concreto al cual referirse lo que sí se sabe es que no se cuenta todo lo que ocurre al interior de este deporte de automovilismo, así señala la Academia Americana de Pediatría; “Hasta el momento, han sido muy escasas las publicaciones acerca de las lesiones provocadas por los karts, lo que podría explicarse por su baja incidencia, pero también porque no se comunican todas las que se producen en realidad”. (ASOCIACION ESPAÑOLA DE PEDIATRIA, 2010)

Considerando los accidentes ocurridos, es pertinente mencionar las fallas mecánicas como una de las causas de estos incidentes, lo que da sentido al problema. Las deficiencias mecánicas en la fabricación de chasis tubulares plantean problemas relacionados con

procesos de manufactura poco optimizados y altamente artesanales. Por tanto, se busca mejorar los procesos asociados a la fabricación de los chasis. También se busca optimizar la resistencia estructural del chasis. Es fundamental que el chasis pueda soportar las cargas generadas durante la conducción, como las fuerzas de aceleración, frenado y curvas, sin comprometer su integridad estructural. La resistencia adecuada del chasis es crucial para prevenir deformaciones excesivas y fallas, asegurando así la seguridad del conductor. Sin embargo, encontrar un equilibrio entre resistencia y peso representa un desafío técnico, ya que implica seleccionar materiales que cumplan con las regulaciones normativas. Otra mejora para atender los problemas en procesos de manufactura es priorizar la rigidez pues esta juega un papel crucial en la estabilidad y el manejo del kart, ya que afecta directamente la respuesta del vehículo a las entradas del conductor. Un chasis demasiado rígido puede resultar en una conducción incómoda y una pérdida de tracción, mientras que un chasis poco rígido puede afectar la precisión y la respuesta en curvas.

Por último, e igual de importante hay que garantizar la durabilidad del bastidor, esto abre la puerta a que el automotor pueda seguir en constante mejora como modificaciones y adaptaciones continuas, aquí se justifica la importancia de recurrir a un material resistente como el acero el cual va protegido por un proceso de pintura

### **Delimitación del problema**

A partir de Analizar estructural y funcionalmente un chasis de karting KF4 bajo la normativa CIK FIA 2023 para el Grupo ASU Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana en el Distrito Metropolitano de Quito.

### **Objetivo General**

Construir el chasis de karting bajo la normativa CIK FIA 2023 que cumpla con los estándares de seguridad y desempeño requerido, y esté destinado al uso por parte del Grupo ASU Automotriz de la Universidad Politécnica Salesiana en el Distrito de Quito.

### **Objetivos Específicos**

- Establecer los requisitos para la construcción de un chasis de kart KF4.
- Construir el chasis de kart KZ mediante la aplicación de los procesos de manufactura respectivos.



- Analizar las características estructurales del prototipo.
- Comparar las características estructurales obtenidas vs las estimadas teóricamente.

## **MARCO TEÓRICO**

El kart, pequeño vehículo de cuatro ruedas diseñado para ser conducido en circuitos cerrados, sin suspensión ni carrocería, utilizado tanto para fines recreativos como para competiciones de velocidad.

### **Componentes básicos de un kart**

- Asiento
- Chasis
- Freno de tambor o disco
- Motor de cilindraje acorde a la categoría
- Neumáticos
- Volante de dirección

### **El bastidor**

El bastidor es un componente muy importante en el kart, en este se montan, sujetan y anexan todos los mecanismos, soportando el peso de unos y otros, pueden quedar colgados sobre él. La exigencia de una estructura como el bastidor es profundamente importante en los karts ya que tiene como fin no solo asegurar la fijación de los diferentes grupos mecánicos, sino que también soporta el chasis y las cargas que interactúan sobre él.

### **Montaje - fijación de mecanismos sobre bastidor**

Al bastidor como se ha mencionado se unen diferentes sistemas y subsistemas para el funcionamiento del automotor, por tanto, al bastidor tubular se fijan diferentes componentes y piezas mecánicas, entre ellos se pueden mencionar los siguientes:

- Chasis
- Motor
- Suspensión
- Tren motriz

## **El chasis**

El chasis, es la estructura fundamental que proporciona rigidez y soporte, sobre dicha estructura se sujetan y se montan; componentes mecánicos, carrocería, el motor, sistemas y subsistemas indispensables para el funcionamiento del vehículo. el chasis este compuesto de elementos estructurales principalmente de acero como paneles, vigas, pilares, diseñados para resistir fuerzas externas e internas a las que comúnmente experimente un vehículo. (POMA, 2018)

El chasis de un kart parte del mismo criterio, estructura principal de soporte, la principal diferencia es que en su fabricación únicamente se emplean tubos cilíndricos como elementos estructurales, los karts son vehículos en escala menor simplificando la funcionalidad a fin de priorizar la conducción rápida enfocada como deporte. (SALAZAR, 2018)

## **Función del chasis**

Muy probablemente se pueda definir al chasis como una estructura principal diseñada para trasladar personas, durante la circulación y manejo del vehículo se consideran tres finalidades claves como se mencionan a siguiente:

- Proteger y salvaguardar la integridad de todos los ocupantes.
- Proporcionar al vehículo cualidades aerodinámicas a través de su diseño exterior.
- Ofrecer una buena imagen y una apariencia estética.

## **Homologación de chasis**

El proceso de homologación técnica en el karting es esencial para asegurar que los componentes de un kart cumplan con todos los estándares técnicos y de seguridad establecidos en las normativas de la FIA. Únicamente los fabricantes acreditados por la FIA pueden solicitar la homologación técnica, y deben cumplir con requisitos específicos tanto técnicos como organizativos para obtener el reconocimiento. (FIA Karting, 2021)

Al finalizar el proceso de homologación, se emite una ficha que incluye el número de homologación, dibujos técnicos, fotografías y especificaciones del componente

homologado. Es imprescindible que los números de homologación y de serie estén visibles y legibles en cada producto homologado para poder verificarlos. La homologación técnica garantiza seguridad y calidad en los karts utilizados en las competiciones de karting. (FIA, 2023)

### **Materiales necesarios para la construcción de la carrocería**

A lo largo del tiempo, ha habido cambios significativos en el diseño, material y grosor de las carrocerías o chasis de los automóviles y karts. En el pasado, se utilizaban piezas de metal generalmente fundiciones de hierro bastante pesadas, lo cual afectaba negativamente la seguridad pasiva de estos vehículos.

Cada material presenta propiedades mecánicas, químicas y físicas únicas que determinan su idoneidad para una función específica, dependiendo de las necesidades a las que se deba enfrentar. Como se muestra a continuación los materiales más comúnmente utilizados en la construcción del chasis de karts.

*El acero*, el material principal utilizado para la fabricación de la mayor parte de componentes del vehículo, así como la latonería. Sin embargo, es importante tener en cuenta que existen diferentes tipos de acero con características específicas que lo hacen adecuado para diferentes aplicaciones. Se utilizan variedad de aleaciones, combinaciones y grados de resistencia. El espesor de las láminas del chasis varía entre 0.5 y 3 mm, aunque generalmente se componen de láminas de 0.8 a 1 mm de espesor. Es destacable que el acero ofrece excelentes propiedades mecánicas, como rigidez, resistencia, capacidad de mecanizado y conformado.

### **Cargas aplicadas sobre el bastidor**

El diseño se enfrenta a un desafío complicado al intentar determinar con precisión las cargas que una estructura soportará a lo largo de su vida útil. Una vez que estas cargas han sido estimadas, es indispensable saber las combinaciones más desfavorables y de baja probabilidad que podrían ocurrir en un momento determinado.

Seguidamente, se presenta una rápida introducción a los diferentes tipos de cargas, utilizando las definiciones correspondientes a las cargas relevantes.

Existen diferentes tipos de cargas que se deben tener en cuenta al diseñar una estructura:

- Carga muerta: Incluye la propia carga ejercida por la estructura junto con el peso de los elementos permanentes. Se calcula teniendo en cuenta el peso específico de los materiales utilizados y el volumen de la estructura. Es importante considerar tanto la carga estática como la carga dinámica que pueda afectar a la estructura.
- Carga viva: Se refiere a las cargas externas móviles que actúan sobre la estructura, como la carga proveniente de los ocupantes. Esta carga suele ser vertical y se presenta durante intervalos cortos de la funcionalidad de la estructura, para su cálculo, es necesario tener en cuenta los estándares de carga aplicables y las condiciones específicas de uso.
- Carga de frenado: Esta carga está relacionada con la presión generada por el frenado del vehículo. Se toma una desaceleración mínima de  $4 \text{ m/s}^2$  aunque puede variar de acuerdo con el tipo de automotor y las condiciones de uso. Es fundamental considerar esta carga para asegurar la resistencia y estabilidad sobre la estructura durante periodos de frenado.
- Carga debido a aceleraciones bruscas: Se refiere a la fuerza liberada tras una aceleración repentina del vehículo. Se calcula de manera similar a la carga en intervalos de frenado, pero en el sentido opuesto. Esta carga es relevante en condiciones en las que se requiere una aceleración rápida, como en vehículos de alta potencia.
- Carga debido a la resistencia aerodinámica: Esta carga se refiere a la fuerza que el aire ejerce sobre el área frontal del vehículo. Se utiliza una fórmula específica para calcularla, teniendo en cuenta la proyección del automotor en un plano transversal a su eje longitudinal. Esta carga es importante en el diseño de vehículos aerodinámicos y contribuye a la resistencia y estabilidad durante el movimiento.

Es fundamental valorar todas esas cargas y sus efectos en el diseño estructural para garantizar la seguridad y rendimiento adecuado de la estructura en diferentes situaciones y condiciones de uso

$$R_{af} = \frac{1}{2} C_x * p * A_f * V^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

## **Tipos de aceros**

Los aceros se pueden clasificar principalmente en cuatro grupos; aceros al carbono, aceros inoxidables, aceros aleados y aceros de baja aleación ultra resistente.

### **Aceros con contenido de carbono**

Con el incremento de carbono en el acero, se logran mejoras en las prestaciones mecánicas, como un aumento de resistencia y dureza. Sin embargo, esto también resulta en una disminución en la ductilidad, elongación y soldabilidad de ese material. Esta característica hace que el acero con mayor contenido de carbono sea adecuado para aplicaciones en construcciones que requieren alta resistencia, pero no es recomendado si se busca flexibilidad. (Cahn, 2019)

En general, el acero se clasifica en bajo, medio y alto contenido de carbono; (Cahn, 2019)

- Acero suave: Posee entre un 0.2% y 0.3% de carbono, lo que le permite tener una buena tenacidad, capacidad de deformación en condiciones frías y resistencia media. Es utilizado para crear piezas con requerimientos moderados de resistencia. (Cahn, 2019)
- Acero semi suave: Con un contenido de carbono de entre 0.3% y 0.4%, se utiliza en la fabricación de piezas de maquinaria que ameritan gran resistencia y tenacidad. (Cahn, 2019)
- Acero semiduro: Presenta un contenido de carbono entre 0.4% y 0.5%. Se emplea en la producción de cilindros en motores de explosión controlada y transmisores. (Cahn, 2019)
- Acero duro: Posee entre 0.5% y 0.6% de carbono, siendo idóneo para piezas con carga regular y espesores poco elevados. (Cahn, 2019)

- Acero muy duro: Con un contenido de carbono que oscila entre 0.6% y 0.8%, se utiliza en la fabricación y mecanizado de componentes de maquinaria como tornillos y destornilladores. (Cahn, 2019)
- Acero extraduro: Tiene un contenido de carbono superior al 0.8% y se utiliza en herramientas manuales como perforadoras y cinceles. (Cahn, 2019)

### **Aceros aleados**

Estas variantes de acero contienen una composición específica que incluye vanadio, molibdeno y otros componentes, asimismo de mayores proporciones de manganeso, silicio y cobre en comparación con los aceros con contenido carbono.

### **Aceros de baja aleación ultra resistentes**

Esta categoría de aceros forma parte de los desarrollos más recientes en la familia de aceros. Estos aceros se caracterizan por ser más económicos en comparación con los aceros habituales, ya que poseen una cantidad menor de materiales de aleación costosos. No obstante, se someten a un tratamiento especial singular que incrementa significativamente su resistencia en comparación con el acero al carbono.

### **Procesos de corte en metal**

Existen diferentes métodos de corte, y la opción del método adecuado depende de diversos factores, tal como el material del tubo, la precisión requerida, el acabado deseado y los procesos adicionales necesarios.

El *corte con sierra de disco* por excelencia el método más conocido y utilizados por su versatilidad en la industria. Es adecuado para tubos de pequeño diámetro y grosor, donde se requieren tolerancias bajas. Sin embargo, su eficacia disminuye en tubos con un diámetro exterior superior a 4,5 cm. (Various Authors, 2017)

El *corte con sierra de cinta*, que utiliza una banda continua de metal dentado, es ideal para cortar tubos de gran tamaño en longitudes más cortas. Puede manejar tubos de diferentes formas y tamaños, pero puede presentar desplazamiento y giros durante el corte, especialmente en tubos redondos. (Various Authors, 2017)

## **Procesos de soldadura**

La soldadura es un procedimiento tecnológico que permite fijar dos o más materiales para formar un solo cuerpo. Existen diferentes métodos de soldadura, como; soldadura por fricción o la fusión puntual de los materiales. Durante este proceso, hay diversas variables para tener en cuenta. En el caso del acero que no tiene aleaciones, utilizado mayormente en la fabricación de bastidores, la composición química juega un papel fundamental. Es crucial que el contenido de carbono sea menor o igual al 0.22%, el contenido de azufre esté por debajo de 0.045% y el contenido de fósforo se encuentre en la misma proporción. Estas especificaciones son importantes para garantizar la calidad y resistencia de la soldadura. (Howard B. Cary, 2019)

Soldadura Micro alambre (MIG-GMAW) Gas Metal Arc Welding - Soldadura de arco con protección de gas inerte, también conocida como soldadura por arco metálico con gas inerte (GMAW), es un proceso simple y versátil que puede ser realizado por soldadores inexpertos donde se utiliza un alambre consumible como electrodo con metal de relleno (consumible), que se alimenta a través de una boquilla donde simultáneamente se emana gas para proteger la soldadura. (“La Soldadura Perfecta: Comparando los Procesos TIG y MIG”) Es adecuado para soldar diferentes tipos de metales y espesores. La soldadura MIG produce soldaduras suaves y estables, pero puede generar salpicaduras. (Howard B. Cary, 2019)

*Electrodo Revestido (SMAW)* es simple y económico. Utiliza un electrodo consumible y reemplazable como metal de aporte y relleno, el cual está recubierto con un fundente que al fundir emana un gas protector durante la soldadura. La soldadura SMAW puede realizarse al aire libre y en condiciones adversas. Es adecuada para metales de diferentes tipos y espesores, pero puede generar salpicaduras y requiere limpieza. Es un proceso que requiere habilidades y tiene una curva de aprendizaje prolongada. (Howard B. Cary, 2019)



## **Sistemas CAD-CAM-CAE**

### **CAD Diseño asistido por computador**

La tecnología CAD (Diseño Asistido por Computadora) es ampliamente utilizada en centros de investigación y diseño del sector metalmecánico a nivel global. Su implementación ha supuesto una innovación significativa en la forma en que los diseñadores plasman y modelan la geometría de los diseños industriales. Mediante el uso de programas de CAD en computadoras, los diseñadores pueden desarrollar, manipular y representar productos terminados en dos y tres dimensiones de manera eficiente y precisa. Esta tecnología ha revolucionado el proceso de diseño, permitiendo una mayor flexibilidad, una visualización más realista y la posibilidad de realizar modificaciones rápidas y precisas en los diseños. (Smith J, 2018)

### **Manufactura asistida por computador (CAM)**

Utilizando la información geométrica de la pieza, el CAM (Manufactura Asistida por Computadora) permite generar programas de control numérico (NC) para el proceso de maquinado, sin necesidad de desarrollar manualmente el programa mediante códigos NC. Esta tecnología también ofrece la posibilidad de simular el maquinado. Desde una perspectiva ingenieril, es factible iniciar el diseño y la fabricación del molde al mismo tiempo que se diseña la pieza para la cual se requiere dicho molde. (Smith J, 2018)

### **Ingeniería asistida por computador (CAE)**

El término "Ingeniería Asistida por Computadora" engloba diversos temas, como es CAD (Diseño Asistido por Computadora) la generación automatizada de gráficos y documentación. No obstante, el concepto de CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) se ha ampliado para abarcar la concepción de un producto y las etapas de investigación y diseño previas a su fabricación, especialmente cuando esta última se lleva a cabo con asistencia o control por computadora. Además, el alcance del CAE se ha expandido para incluir progresivamente la propia fabricación del producto. En otras palabras, el CAE se puede entender como un desarrollo integrado que abarca todas las funciones de ingeniería, desde el diseño hasta la elaboración adecuada del producto. Esto implica el uso de herramientas y

tecnologías computacionales para realizar análisis, simulaciones y optimización en todas las etapas del ciclo de vida del producto, lo que aumenta la eficiencia y la calidad en el proceso de diseño y fabricación.

## **Software CAE**

### **ANSYS.**

ANSYS es un programa altamente completo y versátil en el campo de la simulación en ingeniería. Se puede considerar como una poderosa herramienta de cálculo justificada en el método de elementos finitos, que está especialmente diseñada para abordar una amplia gama de problemas en diversos campos. Entre sus capacidades se encuentran estudios mecánicos, análisis de estructuras estáticas y dinámicas, así como análisis aerodinámicos, entre otras opciones. Con ANSYS, es posible obtener resultados precisos y confiables, lo que brinda una gran exactitud en los análisis y evaluaciones realizadas.

## CAPÍTULO I

### 1. REQUISITOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS DE KART KF4

Para la previa construcción del bastidor se inicia con los requisitos que tiene que cumplir el prototipo de un chasis de kart KF4. Para ello se rige de manera estricta a la norma FIA 8877-2022. Para nuestro caso el bastidor pertenece al grupo 1 de tipo KZ con un cilindro de 125  $cm^3$ .

Por consiguiente, la siguiente Tabla 1.1 se enumeran todos los parámetros iniciales que hay que tomar en cuenta para su previo diseño en el software CAD.

**Tabla 1.1** Parámetros iniciales para el diseño CAD.

DETALLE	MEDIDAS	OBSERVACIONES
Distancia entre ejes	101 – 107 cm	-
Vía	Un mínimo de $\frac{2}{3}$ de la distancia entre los ejes utilizado	-
Largo total	Máximo 182 cm	Sin carenado delantero ni protección de la rueda trasera.
Ancho total	Máximo 140 cm	-
Altura	Máximo 65 cm del suelo	Sin el asiento

Especificaciones de diseño, **Fuente:** (FIA, 2023)

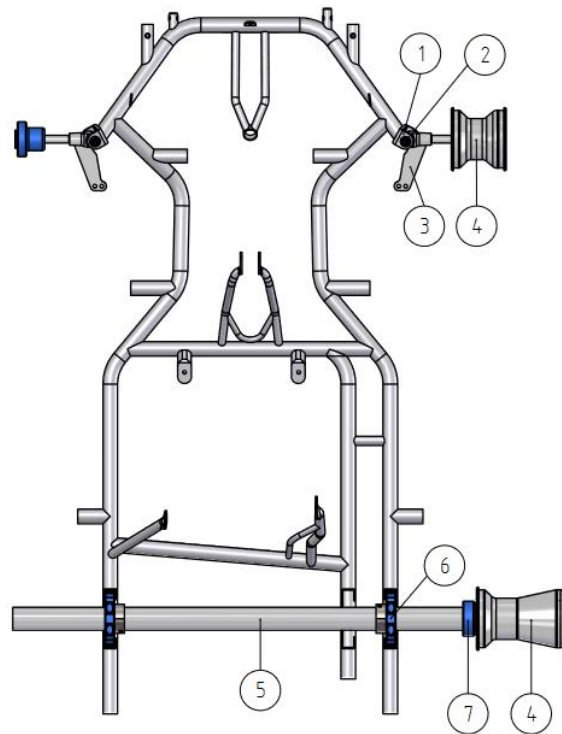
El chasis deberá respetar en todo sentido las dimensiones establecidas en este apartado. Ninguna parte debe exceder el cuadrilátero formado por el cuadrado, parte delantera, ruedas y protección de las ruedas traseras.

#### 1.1.MATERIAL

En este apartado, El material que se utilizará para la construcción del bastidor será el ASTM A36. Cabe recalcar que la carrocería debe estar impecablemente, acabada y que no presenten bordes cortantes. El radio mínimo de ángulos o esquinas debe ser de 5 mm. Si se llega a utilizar plástico, no debe dividirse ni formar bordes agudos tras una posible ruptura.

A continuación, la Figura 1.1 siguiente representa las partes principales del bastidor dada por la norma establecida FIA 8877-2022 juntamente con el nombre de cada una de ellas en la Tabla 1.2.

**Figura 1.1** Partes principales del bastidor.



Vista superior del bastidor, **Fuente:** (FIA, 2023)

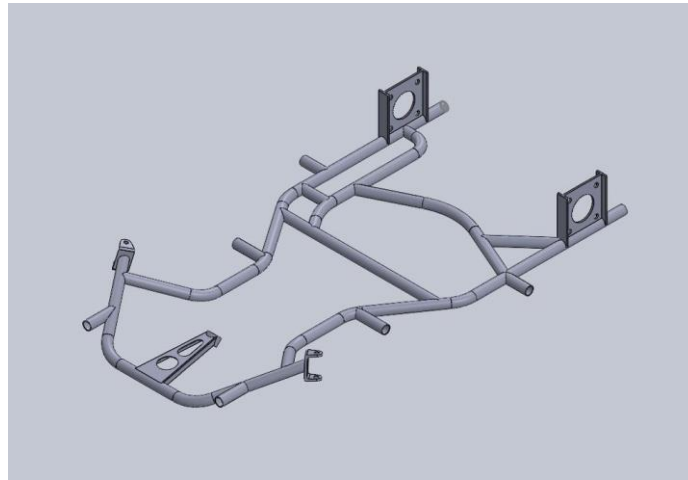
**Tabla 1.2** Partes del bastidor.

#	DENOMINACIÓN
1	Soportes del eje delantero
2	Pasador de pivote
3	Porta husillos
4	Llantas
5	Eje trasero
6	Soportes del eje trasero
7	Centros

Denominación de las partes del bastidor, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Una vez que se obtiene los parámetros o requerimientos iniciales, se realiza su respectivo diseño en el software SolidWorks (Figura 1.2), para su previa construcción.

**Figura 1.2** Diseño CAD del bastidor.



Diseño del bastidor en software SolidWorks.

## 1.2. CONSTRUCCIÓN DEL BASTIDOR DEL KARTING KF4

### 1.2.1. Máquinas y herramientas utilizadas

Para la construcción del bastidor perteneciente al karting KF4 bajo la normativa CIK FIA 2023 se realizó en la ciudad de Ambato. A continuación, en la Tabla 1.3 se muestra en la tabla siguiente las máquinas y/o equipos que se utilizó en la construcción que esta juntamente con sus respectivas características.

**Tabla 1.3** Máquinas y equipos utilizados en la construcción.

DESIGNACIÓN	MAQUINA Y/O EQUIPO	CARACTERISTICAS
M1	Cortadora Marca: DeWalt	Tensión: 110 V Amperaje: 50 A
M2	Amoladora Marca: DeWalt	Tensión: 110 V Potencia: 200 W
M3	Soldadora Marca: Indurarc	Tensión: 220 V Amperaje: 80 – 90 A
M4	Esmeril	Tensión: 120 V

		Velocidad: 3500 rpm Potencia: 0.75 hp Diámetro rueda: 7 plg Diámetro eje: 5/8 plg
M5	Taladro	Tensión: 110 V Potencia: 500 W Amperaje: 10 A
M6	Dobladora de tubos	

Máquinas y equipos con sus características correspondientes, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

Adicionalmente de las máquinas/equipos mencionados anteriormente, se presenta una lista detallada en la Tabla 1.4 de los accesorios que se utilizarán en la construcción.

**Tabla 1.4** Accesorios utilizados en la construcción.

DENOMINACIÓN	ACCESORIOS
H1	Brocas
H2	Flexómetro
H3	Calibrador pie de rey
H4	Martillo
H5	Compás
H6	Nivel
H7	Llaves de broca
H8	Escuadras
H9	Cepillo de metal
H10	Entenalla
H11	Machuelos
H12	Limas: cuadrada y redonda
H13	Cinzel
H14	Sierra de mano

### 1.2.2. Operaciones Realizadas

Las operaciones realizadas básicamente son las diferentes labores que se llevaron a cabo, en el bastidor, que posteriormente, conformarán el karting KF4 bajo la normativa CIK FIA 2023.

A continuación, se presenta la Tabla 1.5 con las operaciones realizadas con su debida identificación:

**Tabla 1.5** Operaciones realizadas en el proceso de construcción.

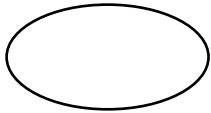

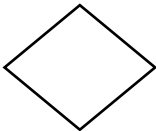
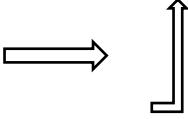
<b>N.º OPERACIÓN</b>	<b>OPERACIONES REALIZADAS</b>
1	Medición - trazado
2	Corte del material: Sierra de mano
3	Desbastado: Amoladora, cincel o lima
4	Esmerilado
5	Doblado
6	Nivelado
7	Unión de las partes: Suelta
8	Taladro
9	Torneado
10	Rectificado
11	Montaje
12	Moldeado
13	Obtención de la matriz
14	Fundido
15	Lijado
16	Masillado

### 1.3. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA CONSTRUCCIÓN

A continuación, el diagrama de flujo se exhibe las operaciones mencionadas anteriormente que se emplean en todos los ciclos de fabricación del bastidor del karting. Las debidas operaciones de construcción no presentan un orden específico, los mismos que se realizaron

conforme las necesidades del avance de la construcción y montaje. Para tener una mejor comprensión del flujo, se presenta la Tabla 1.6 de la nomenclatura seleccionada:

**Tabla 1.6** Representaciones para el diagrama de flujo.

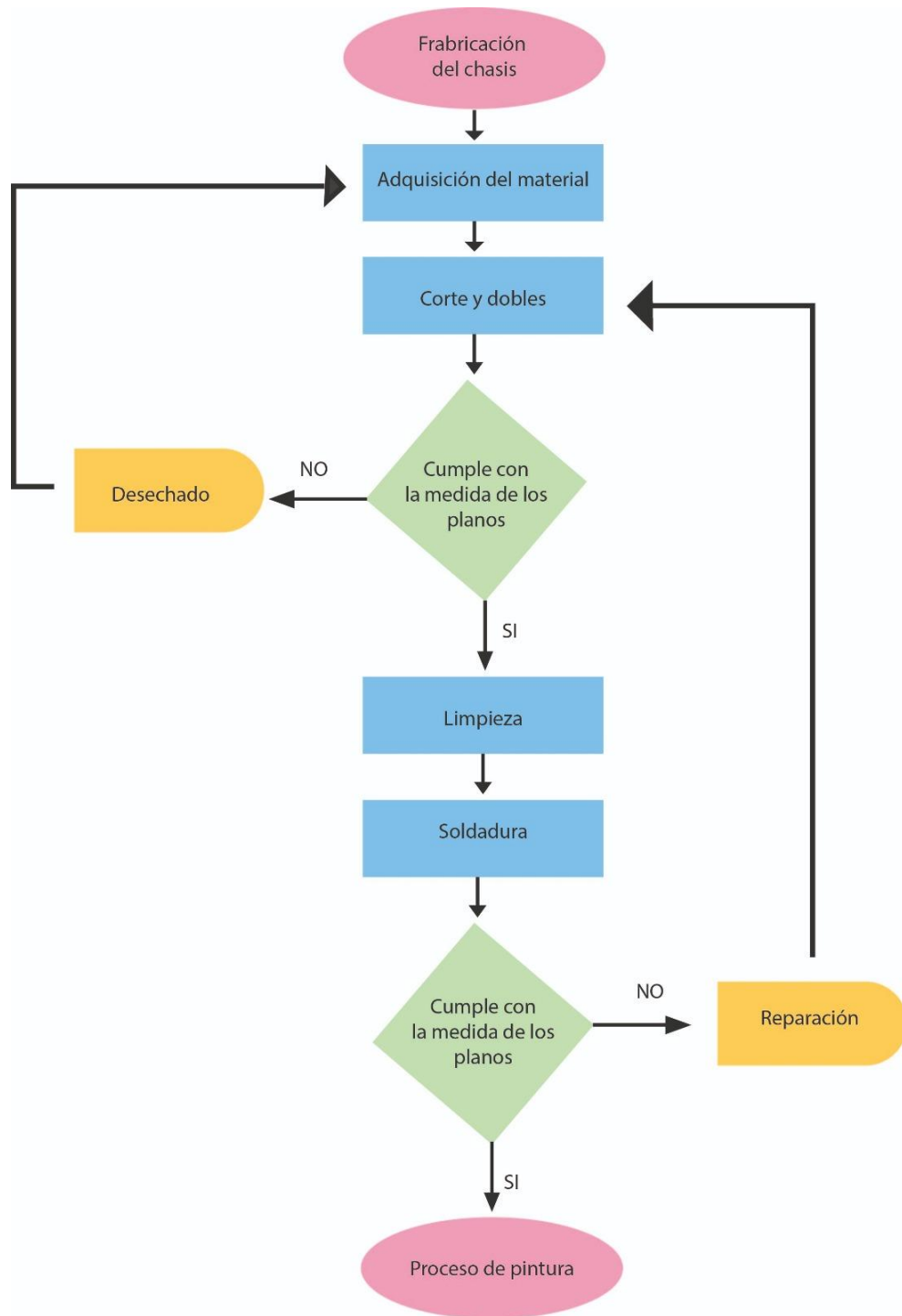
SIMBOLO	DEFINICIÓN
	Inicio / Final
	Proceso
	Decisión
	Dirección de un diagrama

Nomenclatura de los procesos, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Una vez justificada la nomenclatura a utilizar en la Figura 1.3 se muestra el flujograma de construcción donde se detalla los procesos a realizar:



**Figura 1.3** Flujograma de Construcción



Flujograma detallado de los procesos a realizar en la fabricación, **Fuente:** Álvaro Pillajo

## CAPITULO II

### 2. CONSTRUCCIÓN DEL CHASIS DE KART KZ MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LOS PROCESOS DE MANUFACTURA RESPECTIVOS.

#### 2.1.Construcción del bastidor

Finalizada la geometría del diseño juntamente con su respectivo análisis, se logran excelentes resultados, validando la confiabilidad que permita la construcción del bastidor tubular. Seguidamente, se va a detallar el proceso que se realizó para su debida fabricación.

#### 2.2.Adquisición del material

El material que se utilizó para la estructura del chasis bastidor fue el acero al carbono (ASTM) A36, este tipo de material si cumple con la normativa y los requerimientos. Los criterios de aceptación se basan en la comparación con otros materiales así se muestra en la siguiente tabla 2.1:

**Tabla 2.1** Matriz de selección de material

<b>Criterio</b>	<b>Acero ASTM A36</b>	<b>Acero AISI 4140</b>	<b>Aluminio 6061</b>
Resistencia mecánica	Alta	Alta	Media
Ductilidad	Alta	Media	Alta
Soldabilidad	Buena	Media	Buena
Disponibilidad	Alta	Media	Alta
Costo	Económico	Costoso	Costoso
Resistencia a la corrosión	Media	Alta	Alta

Criterio de aceptación para distintos aceros y metales comerciales, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Adicionalmente, cabe recalcar que en el catálogo de la marca NOVACERO tienen tuberías estructurales de acero ASTM A36 y por su fácil existencia en el mercado local ecuatoriano se optó por dicho material.

**Tabla 2.2** Características del perfil utilizado.

<b>TUBERÍA ESTRUCTURAL</b>	
Tubo Redondo	Tubo Redondo
Diámetro: 69.85 mm	Diámetro: 25.4 mm
Espesor: 2 mm	Espesor: 2 mm

Especificaciones de la tubería estructural, **Fuente:** Álvaro Pillajo

### 2.3.Inspección del material

Las tuberías estructurales que serán empleadas para la fabricación del bastidor Figura 2.1 son medidas y a la vez marcadas con la precisión más posible, teniendo en cuenta las medidas obtenidas en los planos ya realizados.

**Figura 2.1** Tubería estructural



Inspección del material para la estructura del chasis, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

Además, es muy necesario realizar una breve inspección del material adquirido como se observa en la Figura 2.2, con el fin de evitar equivocaciones en las respectivas mediciones y en el corte. Evitando la existencia de gastos adicionales.

**Figura 2.2** Material adquirido.



Adquisición de material para construcción.

#### **2.4.Corte del material**

Una vez que se finalizó el proceso anterior se procede con el marcado y verificación de sus medidas en cada uno de los tubos, para ello se utiliza flexómetro y rotulador. Es muy relevante tener en mente el respectivo orden y secuencia de este proceso con el fin de evitar equivocaciones al momento de armar dicha estructura, véase la Figura 2.3.

**Figura 2.3** Corte del material.



Marcado de medidas y corte de material, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

Para el presente proceso debido a su mayor sencillez y sobre todo a su bajo costo se empleó la sierra de mano y la amoladora. Cuando se tiene un caso totalmente directo de unión de perfiles tubulares es necesario contar con una incisión de perfil donde se utilizó el procedimiento tipo aserrado.

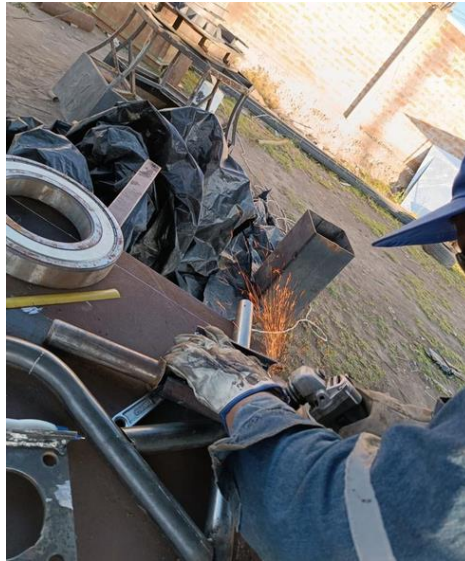
Se utilizó la amoladora como se muestra en la Figura 2.4, con el objetivo de realizar una doble operación de corte. Hay que tener mucha precaución al utilizar esta pequeña máquina evitando cortes discontinuos y torcidos, adicionalmente se requiere tener en cuenta las normas de seguridad, ya que esta máquina es muy peligrosa, véase Figura 2.5.

**Figura 2.4** Operación de corte.



Operación de corte con amoladora,

**Figura 2.5** Operación de corte de la tubería.



Operación de corte en las medidas marcadas.

### **2.5.Inspección de los cortes y el desbaste**

Tras haber culminado el proceso de corte de los tubos, es muy necesario limpiar el exceso de rebabas e imperfectos, con el fin de evitar problemas al momento unir, ensamblar y soldar dichas partes. Este proceso se ejecutó con la ayuda de un esmeril y limas como se muestra en la Figura 2.6, los cuales facilitan un cómodo acoplamiento entre las uniones de los perfiles tubulares.

**Figura 2.6** Limpieza de los elementos.



Limpieza de elementos usando limas y esmeril, **Fuente:** Álvaro Pillajo

## 2.6.Doblado de elementos

Ahora bien, para la elaboración de las curvas en los respectivos tubos como se tiene en el diseño, existen algunos métodos para este proceso; de todos los métodos presentes se optó por el curvado en frío mediante una dobladora de carácter manual, esta pequeña máquina es muy fácil de usar, es precisa y muy resistente, capaz de realizar los doblajes de diferentes diámetros, es muy recomendable ya que no llegan a deformar los tubos en el momento de trabajarlos y resulta menos costoso en relación a otras alternativas. En las Figuras 2.7 y 2.8 se puede evidenciar dicho proceso.

**Figura 2.7** Proceso de doblado.



Curvado en frío mediante una dobladora manual, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

**Figura 2.8** Doblado de elementos.



Curvado de elementos con dobladora manual, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

Cabe recalcar que, si se desea trabajar en caliente, también es válido siempre y cuando se tenga las debidas precauciones y sobre todo tener muy en cuenta el ángulo para el doblado con el fin de obtener un buen trabajo con una precisión rescatable.

### **2.7. Ensamble de las partes de la estructura del bastidor**

Para el respectivo montaje de la estructura del bastidor se lo ha llevado a cabo mediante soldadura la cual se lo detalla a continuación:

### **2.8. Soldadura de la estructura del bastidor**

Ya finalizada la etapa de doblado de los tubos, el siguiente paso es el montaje de la estructura, para lo cual se emplea el método de soldadura SMAW (Shielded Metal Arc Welding) soldadura por arco con electrodo revestido. Este proceso consiste en fusionar el metal mediante el calor ocasionado por un arco eléctrico establecido entre el extremo del electrodo y el metal de unión a fundir. Es significativo destacar que cada vez que se agota el electrodo consumible, se interrumpe la continuidad del cordón de soldadura obtenido, por lo que es crucial manejar cuidadosamente el consumo del electrodo para evitar variaciones indeseadas en la soldadura.

En este caso particular, se ha utilizado el electrodo E6011 para llevar a cabo el proceso de soldadura. Este electrodo es ampliamente utilizado debido a sus propiedades específicas y su capacidad para proporcionar resultados satisfactorios en la unión de metales. Es



importante tener en cuenta que la elección del electrodo adecuado para cada aplicación es esencial para garantizar la calidad y resistencia de la soldadura.

La justificación de haber seleccionado el mencionado electrodo se justifica en la siguiente matriz de selección, Tabla 2.3:

**Tabla 2.3** Matriz de selección de electrodo

<b>Criterio</b>	<b>Electrodo E6011</b>	<b>Electrodo E7018</b>	<b>Electrodo E6013</b>	<b>Electrodo E6010</b>
Resistencia del cordón	Alta	Alta	Media	Alta
Facilidad de uso	Alta	Alta	Alta	Media
Adherencia al material	Buena	Buena	Buena	Media
Disponibilidad	Alta	Media	Alta	Media

Selección del electrodo E6011 entre los más comerciales, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

Con el electrodo seleccionado E6011 se fijan mediante puntos de soldadura los diferentes tubos que componen el chasis, mismos que aún no se suelda por completo, así se muestra en la figura 2.9.

**Figura 2.9** Ensamblaje de elementos.



Ensamblaje por soldadura con electrodo E6011, **Fuente:** Álvaro Pillajo.

Por consiguiente, es necesario tener en cuenta la posición correcta con el fin de obtener una soldadura excelente y de alta calidad en las uniones de los presentes perfiles, así como se observa en la Figura 2.10 donde las planos se revisan al finalizar cada sub proceso con la finalidad de ver si todo se ajusta a las medidas de los planos

**Figura 2.10** Proceso de soldadura.



Posicionamiento y soldadura de elementos, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Finalmente, se presenta la estructura del bastidor culminada. Para eliminar los excesos de la soldadura se realizó el pulido y el masillado en las uniones de los perfiles tubulares, véase la Figura 2.11 donde el bastidor está listo para seguir al siguiente proceso.

**Figura 2.11** Pulido de las uniones soldadas.



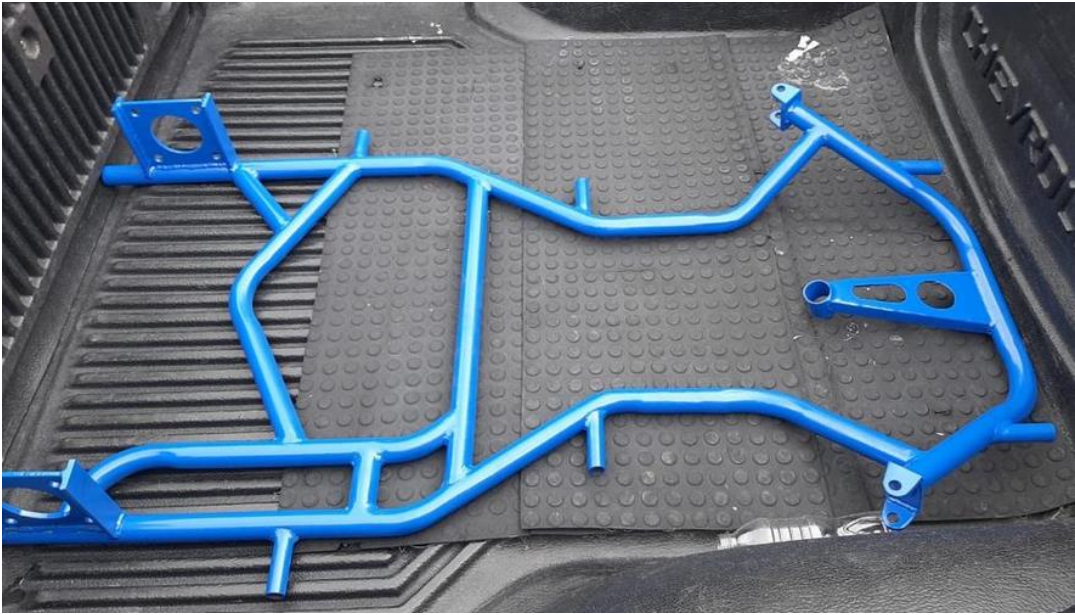
Pulido y masillado de la estructura, **Fuente:** Álvaro Pillajo

## **2.9. Pintado de la estructura final**

Para ya finalizar la construcción, se realiza un proceso de pintado de la estructura del bastidor, en primera instancia hay que limpiar en su totalidad dicha estructura con el objetivo de que éste exento de imperfectos como escorias resultantes de la soldadura y excesos que quedan en las uniones de perfiles tubulares, después se lo aplica un químico desoxidante, éste tiene como fin eliminar el óxido superficial existente en la estructura.

Por consiguiente, se procede a pintar, para ello se utilizó una pintura sólida denominada “pintura automotriz mono capa y primer de fondo”, la misma que dio como finalidad un acabado agradable, brillante y de excelente calidad. Así se muestra en la figura 2.12 el producto terminado.

**Figura 2.12** Proceso de pintura.



Pintado de la estructura con pintura automotriz, **Fuente:** Álvaro Pillajo

## **CAPITULO III**

### **3. ANALISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL PROTOTIPO.**

#### **3.1.MÉTODO DE LAS PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS**

En primera instancia, las pruebas no destructivas son básicamente la inspección y la visualización de los posibles defectos en los respectivos materiales procurando no dañar el objeto que se está inspeccionando. Además, cabe recalcar que dichas pruebas pueden ofrecer una forma económica de realizar estas evaluaciones con el fin de proteger el uso del objeto para el que fue diseñado.

La inspección visual y las pruebas de fugas son métodos altamente eficaces y muy sencillos de las pruebas no destructivas, pero en la actualidad existen métodos o pruebas que suelen ser más precisos y rápidos, los cuales son:

- Ultrasonidos
- Tintas penetrantes
- Partículas magnéticas
- Emisiones acústicas
- Corrientes Foucault
- Radiografías

En la actualidad los métodos más utilizados son: el ultrasónico y el de tintas penetrantes, mientras que el método de las partículas magnéticas y el de emisiones acústicas únicamente se utilizan para circunstancias estrictas y especiales.

#### **3.2.TINTAS PENETRANTES**

El método de las tintas penetrantes se utiliza para detectar las discontinuidades y se usa comúnmente en las pruebas de fatiga con el objetivo de encontrar fisuras en las partes soldadas. Los líquidos penetrantes se han utilizado al menos desde finales del siglo XIX para

las actividades como detección de fisuras en cerámica y en las ruedas locomotoras de los ferrocarriles. Desde ese tiempo se han logrado avances en los materiales de los líquidos penetrantes que hacen que los resultados sean más fáciles de ver.

El objetivo de visualizar las piezas o partes fundidas, las soldaduras, el espesor de paredes es muy importante y más cuando una máquina ha estado en operación durante mucho tiempo, incluso con posibles cambios en un bastidor original y bajo las condiciones al cual este operando ya que se accionan mayores esfuerzos de los que tenía el diseño inicial.

Ahora bien, la norma que evalúa la inspección de este método es la norma ASTM E165, la cual aplicaremos a la construcción del bastidor en las uniones soldadas con el fin de garantizar la soldadura de esta.

Por consiguiente, la técnica consiste en la aplicación de un líquido coloreado o fluorescente en la zona de inspección o estudio, el cual tiene la capacidad de penetrar cualquier superficie irregular o discontinua a causa de la capilaridad. Después de un tiempo determinado, se retira la demasía de líquido y se aplica un revelador cuya función es absorber el líquido que se ha infiltrado en las diferentes irregularidades. Finalmente, se delinea el contorno de estas incoherencias utilizando el revelador como referencia. Seguidamente, se describe con mayor detalle el procedimiento ejecutado.

### **3.2.1. Procedimiento del método tintas penetrantes**

- a. Preparación y limpieza:** Se realiza una limpieza de manera muy cuidadosa la superficie que se pretende inspeccionar de pintura, aceite, grasa, etc.
- b. Aplicación de penetrante:** Posterior a la limpieza, los penetrantes se pueden aplicar mediante inmersión, rociado o con una brocha, dejando caer el líquido sobre los puntos a analizar de tal forma que cubra la zona que se va a inspeccionar. En este proceso de deja actuar dichos penetrantes alrededor de unos 15 minutos.
- c. Retiro del exceso de líquido penetrante.** En esta etapa, quitar y a la vez remover el exceso del penetrante aplicado, de tal forma que no se extraiga el penetrante introducido en los posibles defectos que pueden existir.

- d. Utilización del líquido revelador.** Finalmente, se coloca una fina capa sobre la o las superficies a inspeccionar para revelar la ubicación del defecto. En otras palabras, se aplica el producto en polvo que está constituida de compuestos químicos inertes y con una granulometría tal que dispone de una gran capacidad de absorción. El mismo se deja trabajar alrededor de los 15 minutos aproximadamente.

En la siguiente Figura 3.1, se puede observar la aplicación del líquido penetrante para su respectiva evaluación.

**Figura 3.1** Aplicación del líquido penetrante.



Aplicación de la tinta penetrante para su evaluación, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Finalmente se presenta los resultados obtenidos de este método al evaluar la soldadura de dichas partes, véase la Figura 3.2.

**Figura 3.2** Resultados obtenidos.



Resultados obtenidos en los puntos de soldadura, **Fuente:** Álvaro Pillajo

### 3.2.2. Criterios de aceptación

Ahora bien, existen algunos puntos muy importantes para tener en cuenta la aceptación de este método. Todas las áreas deben estar sin:

- 1) Instrucciones lineales pertinentes.
- 2) Instrucciones redondeadas significativas con un diámetro mayor a 5 mm.
- 3) Cuatro o más instrucciones redondeadas relevantes dispuestas en una línea separada a una distancia de 1.5 mm o menos de borde a borde.

Como se puede observar en las imágenes presentadas anteriormente, los cordones están libres de defectos superficiales, por lo que califica todos los puntos de aceptación y aprueba la evaluación de inspección de tintas penetrantes. Para mayor detalle de la visualización de resultados se adjunta las evaluaciones en los respectivos anexos ubicados en la parte final de este documento.

El desarrollo de este método presenta algunas ventajas y desventajas que se enumeran a continuación.

### **Ventajas**

- i. Es de aplicación sencilla.
- ii. Tiene un costo bajo.
- iii. Puede detectar una amplia variedad de discontinuidades, sin importar la configuración o colocación de la pieza.
- iv. No daña la integridad de la pieza.
- v. Los resultados se obtienen de manera inmediata.

### **Desventajas**

- i. Solo puede detectar fallas superficiales.
- ii. Se requiere que la superficie a examinar esté limpia y no tenga recubrimientos.

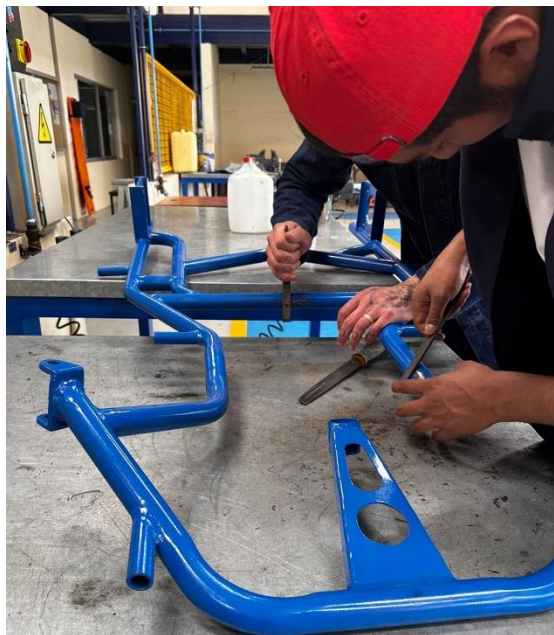
## **3.3. PRUEBA CON GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS**

El primer paso para la elaboración de esta prueba con galgas extensiométricas es la determinación de los puntos críticos de la estructura. Se lo realiza, mediante el uso del



software especializado en simulación como lo es ANSYS en su módulo Workbench y su Analysis Systems en Static Structural. Se ha obtenido los puntos críticos mostrados en la imagen, los cuales se preparan con la limpieza. Esta preparación consiste en despintar en primera instancia con limatones inclusive lijas que van desde la más gruesa hasta terminar con una muy fina en su estructura la Figura 3.3 y 3.4 muestra dichas herramientas y productos utilizados. Se han empleado lijas de medidas 500, 800 y 1000 para completar con el despinte; después para concluir con la limpieza se ha utilizado el limpiador de carburadores.

**Figura 3.3.** Preparación de chasis para posicionamiento de galgas extensiométricas



Método de galgas extensiométricas para medir deformación, **Fuente:** Álvaro Pillajo

**Figura 3.4.** Limpieza de puntos críticos obtenidos para análisis



Puntos críticos en el análisis de galgas extensiométricas, **Fuente:** Álvaro Pillajo  
Ya en el laboratorio lo que se hizo fue desinfectar la zona con alcohol, siendo este el único desinfectante que se utilizó. Después se procede a colocar una gota del pegamento Loctite 496 (mostrado en la Figura 3.5) en los puntos desinfectados, para luego colocar las galgas encima del pegamento. Cabe recalcar que las galgas se manipulan con pinzas puesto que no pueden ser tocadas con las manos por la sensibilidad que presentan. Se deben mantener presionadas las galgas hasta que el adhesivo haga su trabajo y queden fijas, al ser un adhesivo instantáneo el tiempo de espera es muy reducido (mostrado en la Figura 3.6).

**Figura 3.5.** Adhesivo Loctite 496 utilizado para fijación de galgas



Colocación del pegamento Loctite 496, **Fuente:** Álvaro Pillajo

**Figura 3.6.** Fijación de galgas



Colocación de galgas extensiométricas para medir deformación, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Una vez fijadas las galgas en los lugares de estudio se procede a la conexión mediante el cable RJ-45 el cual se trata de una interfaz física para la conexión de redes de computadora con cableado estructurado. En cada galga se conecta tres cables, de la galga sobresalen dos cables puesto que se trata de una resistencia, pero al escoger en cualquiera de los pines como no tiene polaridad se coloca dos cables y en el otro pin se conecta el cable sobrante; una vez determinado los cables y pines se suelda y utilizando una baquelita y terminales con el fin de no hacer contacto una vez soldado (mostrado en la Figura 3.7), se revisa que no exista continuidad entre los dos pines, ni continuidad de un pin con respecto al chasis, es decir, debe de estar todo como una resistencia aislada y no va a haber contacto con el chasis.

**Figura 3.7.** Armado de sonda con cable RJ-45 y galgas



Conexión de cableado estructural, **Fuente:** Álvaro Pillajo

En el otro extremo se conecta un adaptador DB9-M1 de 9 pines al cable RJ-45, la conexión consiste en la unión de los pines 8, 2 y 5; que resulta ser muy simple, así se termina de armar la sonda que permite la lectura mediante el computador, véase la referencia en la Figura 3.8.

**Figura 3.8.** Unión de adaptador DB9-M1 con cable RJ-45



Finalización de armado de sonda para lectura de datos, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Para la preparación del chasis en la primera prueba que es la de flexión, se deben fijar los 4 puntos críticos determinados anteriormente como se observa en la Figura 3.9 sobre una mesa estableciendo así los lugares donde va a tener apoyo el vehículo. A continuación, se procede a poner la carga mediante discos. Se busca coincidencia de la colocación de la carga en la simulación y donde están colocados los discos, véase la referencia en la Figura 3.10

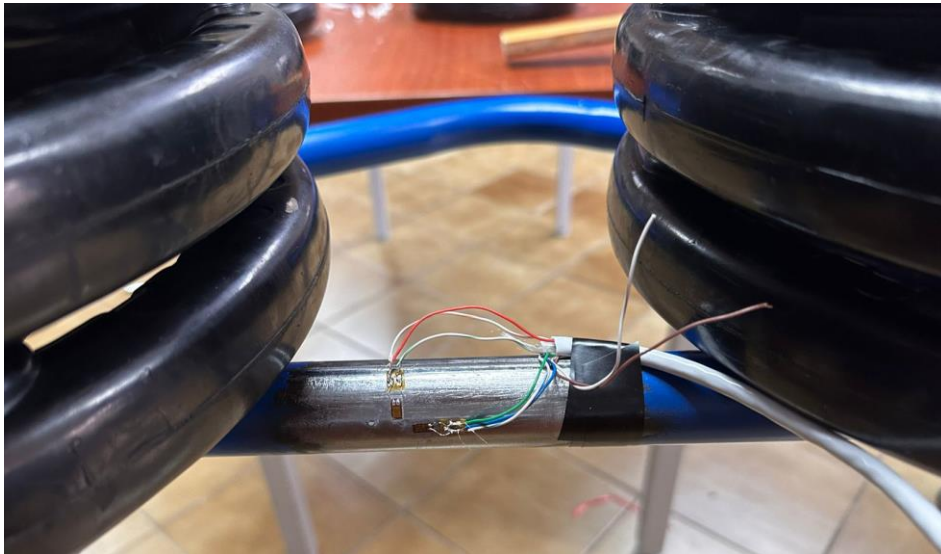
Luego, la computadora tiene un dispositivo en donde se conectan los canales, se utilizaron dos canales para medir la flexión. Las galgas se colocaron perpendicularmente para medir la deformación en el eje X y en el eje Y. En la primera prueba de flexión no se obtuvo mucha diferencia, puesto que, en el primer caso, es decir, la flexión en el eje X había deformación, mientras en el eje Y era mucho más complicado deformar el tubo por el grosor de este. Por lo tanto, las lecturas arrojadas por la computadora se mantienen estables, se puede decir entonces que la deformación solo se ve en el primer eje. Para la primera prueba de flexión se realizó dos análisis, una con 100 Kg y otra con 130 Kg. Y ahí finaliza el análisis de flexión.

**Figura 3.9.** Preparación de chasis con 4 puntos de apoyo para prueba de deformación por flexión



Prueba de deformación a flexión del bastidor, **Fuente:** Álvaro Pillajo

**Figura 3.10.** Posición de galgas en ejes X e Y para la lectura de resultados



Posicionamiento de galgas en los ejes, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Para el análisis de deformación en torsión se utilizó las dos sondas provenientes de la parte frontal del chasis, en este caso como solo se puede medir dos canales en cada sonda hay dos canales, entonces se empieza con el lado uno colocando el peso; después el peso se coloca al lado contrario. Se realiza en una misma sonda dos medidas con un mismo peso, pero variando en donde se aplica la carga, es decir, en el lado izquierdo y derecho. Se ejecuta lo mismo en la otra sonda con los 30 Kg.

Los resultados arrojan que en todas las pruebas varía esta deformación en función del tiempo como se muestran en las Figuras 3.11 y 3.12. Cabe mencionar que estas pruebas únicamente se realizaron con 30 kilogramos por lado, porque existía la dificultad de comprimir el chasis o dejarlo en voladizo, lo que provoca soltarse de las bases y no obtener los resultados precisos en base a los parámetros establecidos.

**Figura 3.11.** Colocación de chasis en voladizo y carga en lado izquierdo



Prueba en posición izquierda en voladizo, **Fuente:** Álvaro Pillajo

**Figura 3.12.** Colocación de chasis en voladizo y carga en lado derecho



Prueba en posición derecha en voladizo, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Las herramientas y equipos utilizados para la fijación del chasis a las mesas se utilizaron prensas tipo C, únicamente; para la aplicación de cargas se ha empleado discos calibrados de gimnasio y colgados en una cuerda, esta última con un peso despreciable. También se utilizó un caudín para la fijación y soldadura de partes eléctricas. El dispositivo utilizado para la lectura de resultados se trata de un Equipo de Medición Dewesoft de 3 canales, donde el fabricante posee su propio software como se observa en la Figura 3.13 corriendo el programa del fabricante.

**Figura 3.13.** Equipo de Medición Dewesoft de 3 canales para la lectura de resultados



Lectura de datos mediante computador, **Fuente:** Álvaro Pillajo



## CAPITULO IV

### 4. COMPARACION DE CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES OBTENIDAS VS LAS ESTIMADAS TEÓRICAMENTE.

#### 4.1. DEFORMACIÓN POR FLEXIÓN POR GALGAS EXTENSIOMETRICAS

Los resultados obtenidos de deformación por flexión utilizando la carga de 100 kilogramos muestran una gráfica en donde resaltan dos canales que se denomina Canal 1 y Canal 2. La Figura 4.1 muestra que; en el primer canal se observa el arrojamamiento de una altura lo que significa que ha existido una deformación alta, y es en el único canal donde se da este resultado, mientras que en el Canal 2 no existe deformación y por ende no presenta la altura mencionada leída. Cabe mencionar la presencia de ruido en las gráficas, lo que se explica mediante la carga paulatina el peso hasta llegar a los 100 Kg, pero que se vuelve irrelevante en el producto final.

**Figura 4.1** Deformación por flexión con carga de 100 Kg



Resultados obtenidos por deformación, **Fuente:** Álvaro Pillajo

**Figura 4.2** Cargas aplicadas al bastidor.

No. de canal	Nombre	Color	Rango	Info de canal	Sensor	Unidad	Escala	Offset	Min	Max
--- AI ---										
AI 1	AI 1	Verde	5000	KRYPTON-STGv2 (Punte; 2 mV/V .. AAF (distorsión d...		um/m	1923,08	-824,66	-9,99	-1,78
AI 2	AI 2	Cyan	5000	KRYPTON-STGv2 (Punte; 200 mV/V .. AAF (distorsión...		um/m	1923,08	-335,31	-4,70	20,08
--- Math ---										
Fórmula 1 (Fórmula)	Coefficiente de Poisson	Verde	5000	'-AI 1' / 'AI 2'		-	1,00	0,00	-162,31	98,26
Fórmula 2 (Fórmula)	Esfuerzo axial	Cyan	5000	'AI 2'*200000		-	1,00	0,00	-939801,00	4016412,...
--- Event log ---										
EventLog	Evento de datos	Amarillo	0,0			-	1,00	0,00	0,00	0,00

Lectura de datos con cargas aplicadas, **Fuente:** Álvaro Pillajo

En cuanto al segundo análisis de deformación en flexión justificado en la Figura 4.3, los resultados arrojados mediante el software y subiendo la carga a 130 Kg, muestran gráficas similares al primero, puesto que no hay una deformación en el Eje 2 y por tanto no muestra una altura, mientras que en el primer canal o Eje se muestra la altura mencionada y con valores mucho más altos que en el primer análisis.

**Figura 4.3** Deformación por flexión con carga de 130 Kg.



Deformación por flexión con distinta carga aplicada, **Fuente:** Álvaro Pillajo

## 4.2.DEFORMACIÓN POR TORSIÓN POR GALGAS EXTENSIOMETRICAS

Los resultados del análisis de deformación en torsión, la configuración del chasis se encuentra en voladizo y frente a este libre y donde se colocan las cargas establecidas de 30 Kg, siguiendo el orden de Izquierda y Derecha del chasis denominándolos Lado 1 y Lado 2 respectivamente. En esta imagen se observa el censando el Lado 1 arrojando los resultados mostrados en la Figura 4.4 que se muestra a continuación:

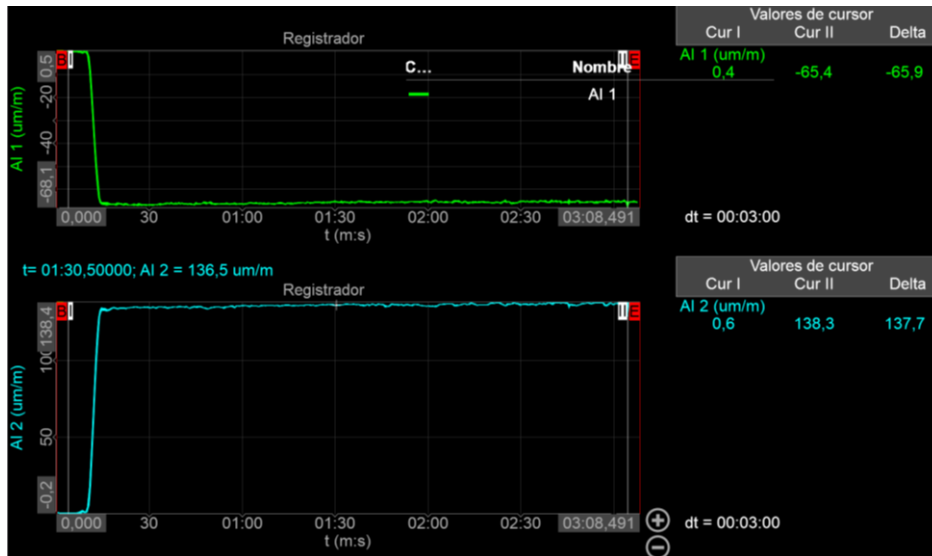
**Figura 4.4** Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 1.



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

A continuación, se observa los resultados del censo el mismo Lado 1, es decir, el lado izquierdo del chasis, pero variando la posición del peso; en otras palabras, la carga está en el lado contrario. Con esto se finaliza el análisis del Lado 1 del chasis obteniendo los resultados mostrados en la Figura 4.5 para continuar con los siguientes análisis.

**Figura 4.5** Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 1



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Para los efectos obtenidos en el Lado 2 de la estructura (lado derecho), se utilizaron las galgas que están en el lado derecho del chasis y se vuelve a realizar el análisis de deformación en torsión. Esto, mediante la colocación de la carga en el mismo lado donde se está censando, utilizando los mismos 30 Kg empleados en el primer análisis. Así en la Figura 4.6 se observa un tanto distorsionados las gráficas debido al posicionamiento del peso.

**Figura 4.6** Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 2



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Como último análisis se muestran los resultados de la sonda en el Lado 2 y el posicionamiento de la carga en el Lado 1 o izquierdo en la Figura 4.7, de acuerdo con las referencias gráficas del análisis de censo Lado 1 y carga en Lado 2, se observa una similitud por la composición y peso empleado.

**Figura 4.7** Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 2



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Finalmente, se puede destacar la presencia de resultados en los dos ejes, puesto que se trata de un estudio en torsión que difiere de la deformación generada por flexión. Todo eso se justifica en que la deformación en torsión es mayor, debido a las cargas laterales cuando el vehículo ya está en orden de marcha.

#### 4.3.COMPARACIÓN EN ANALISIS DE FLEXIÓN A 130 KG OBTENIDAS VS LAS ESTIMADAS TEÓRICAMENTE

Los resultados obtenidos en la medición de deformación en flexión con una carga igual a 130 kg nos arrojan los siguientes datos (Figura 4.8), mismo que fueron obtenidos tras correr la simulación por 3 minutos para alcanzar una estabilización en las gráficas.

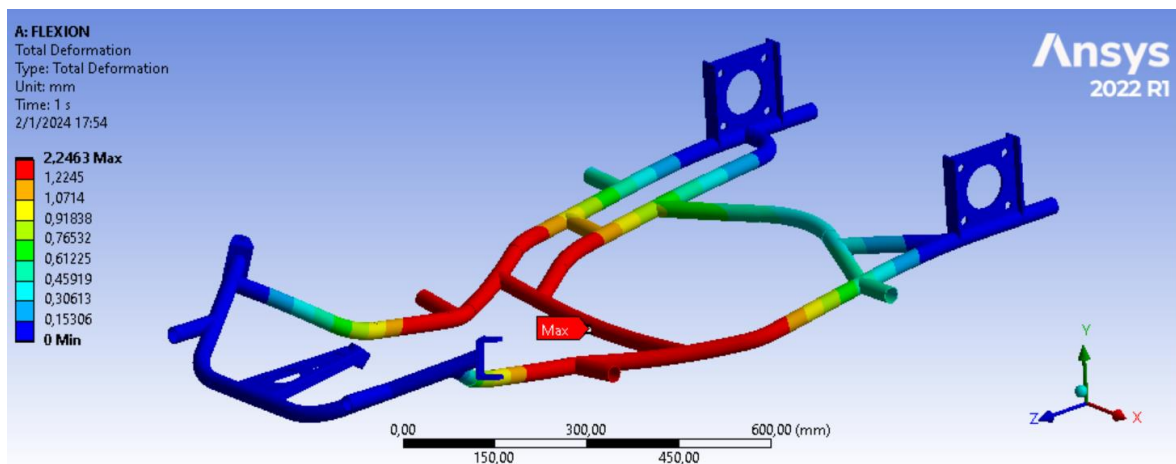
**Figura 4.8** Deformación por flexión con sonda en el centro del bastidor



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

De la simulación mediante análisis de elementos finitos se obtuvo los siguientes resultados mostrados en la Figura 4.9 a continuación;

**Figura 4.9** Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 2



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Joseph Barriga

#### 4.3.1. Datos técnicos de las galgas

De las pruebas realizadas hay que rescatar datos importantes respecto a las galgas extensiométricas utilizadas;

- i. Tipo de galga: unidireccional
- ii. Resistencia: 120 ohms
- iii. Factor de galga: 2.6
- iv. Medidas de la galga: 6.6mm x 3mm

#### 4.3.2. Interpretación de la comparación en análisis de flexión a 130 kg vs la estimadas teóricamente

Como se observa en la Figura 4.8, los valores no se mantienen estables, esto se debe a la sensibilidad de la sonda, sin embargo, se puede tomar un valor medio estimado, con el cursor en amarillo se toma una lectura al 01:30 (minuto con treinta segundos) de haber corrido la simulación, obteniendo un valor de -5,1 Um/m (micrómetros por milímetro), mismo valor que se asume como un valor positivo puesto que en cualquiera de los casos lo único que indica el signo es la orientación de la deformación y/o la forma en que se conectaron las galgas extensiométricas al dispositivo de medida, recordad que no hay una polaridad como tal.

Para hallar un valor medible y comparable con la simulación en ANSYS hay que obtener la deformación total, para ello multiplicamos el valor adimensional obtenido en el canal 1 por la longitud del elemento antes de la deformación

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{L} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde;

$\varepsilon$  es la deformación unitaria medida en Um/m (valor adimensional)

$\Delta l$  es el incremento de la longitud del material

$L$  es la longitud del elemento antes de sufrir la deformación

Por tanto;

$$\Delta l = \varepsilon \cdot L \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\Delta l = |-5,1| \cdot \sim 0,483 \text{ m}$$

Donde;

$\cdot \sim 0,483 \text{ m} \rightarrow$  la medida del elemento donde la carga es aplicada

Finalmente;

$\Delta l \approx 2,46 \text{ mm} \rightarrow$  deformacion total obtenida en laboratorio

De la Figura 4.9 tenemos;

$\Delta l \approx 2,25 \text{ mm} \rightarrow$  deformación total max. obtenida en ANSYS

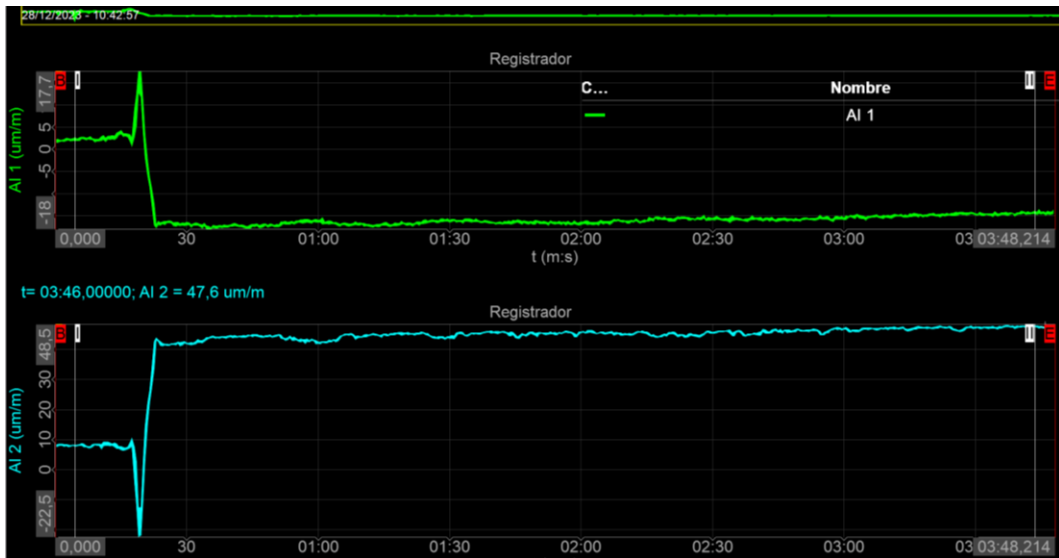
Los resultados estimados mediante la simulación en ANSYS arrojan un valor de deformación total, de alrededor de 2,25 mm que con un estimado similar a lo medido a las galgas extensiométricas de 2,46 mm, como se observa los valores no son iguales, esto puede deberse a un fallo en las lecturas obtenidas con las galgas debido a ruidos, aunque teniendo en cuenta la calidad de la malla simulada en ANSYS se concluye que las pruebas son exitosas ya que reportan valores muy similares entre la calculado vs lo medido.

#### **4.4.COMPARACIÓN EN ANALISIS DE TORSIÓN A 30 KG OBTENIDAS VS LAS ESTIMADAS TEÓRICAMENTE**

Los resultados obtenidos en la medición de deformación en torsión con una carga igual a 30 kg medido en el mismo lado que se aplicó la carga nos arrojan los siguientes resultados mostrados en la Figura 4.10.



**Figura 4.10** Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 1



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Los resultados al finalizar las mediciones Figura 4.10. en una lectura a los 03:48 (tres minutos con cuarenta y ocho segundos) de haber corrido la simulación, son distintos a los de flexión ya que ahora si marca una deformación en los dos canales, esto debido a que el tubo está experimentando deformación en dos ejes, los cuales son perpendiculares uno al otro por la orientación en la que se fijaron las galgas extensiométricas, obteniendo un valor de  $-13,9 \text{ Um/m}$  (micrómetros por milímetro) en el eje X y un valor de  $48 \text{ Um/m}$  (micrómetros por milímetro) en el eje Y

Los resultados obtenidos en la medición de deformación en torsión con una carga igual a 30 kg medido en el lado contrario de donde se aplicó la carga nos arrojan los siguientes datos (Figura 4.11).

**Figura 4.11** Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 1

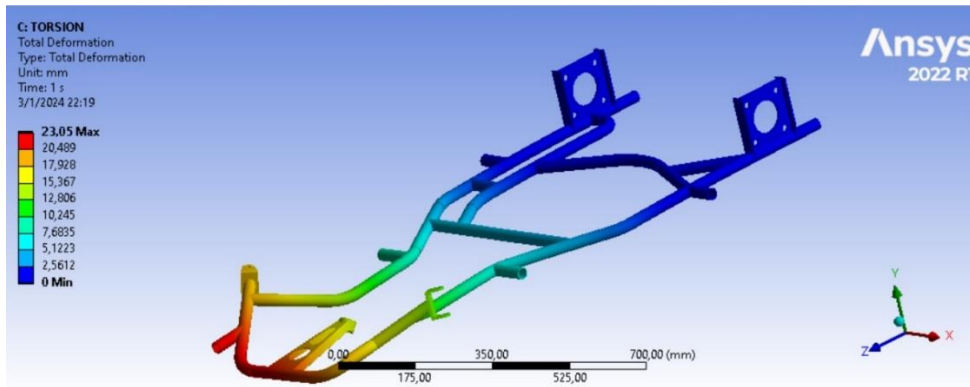


Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Álvaro Pillajo

Los resultados al finalizar las mediciones (Figura 4.10.) en una lectura a los 03:03 (tres minutos con tres segundos) de haber corrido la simulación, obteniendo un valor de -65,4 Um/m (micrómetros por milímetro) para el eje X y un valor de 138,3 Um/m (micrómetros por milímetro) para el eje Y

De la simulación mediante análisis de elementos finitos se obtuvo los siguientes resultados (Figura 4.12):

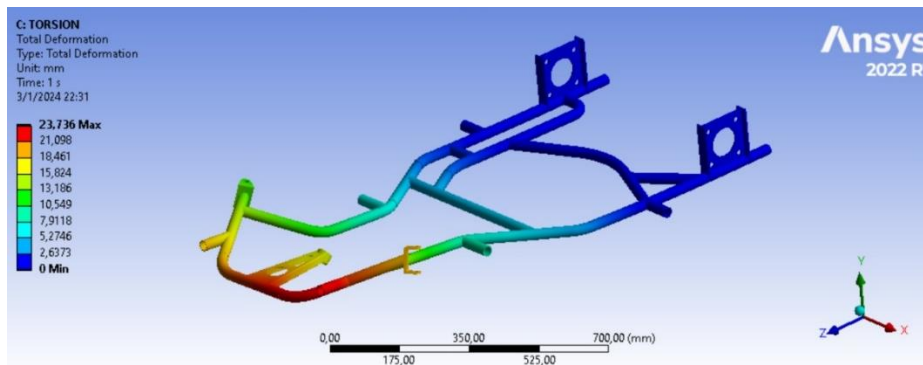
**Figura 4.12** Deformación por torsión con carga en Lado 1 y sonda en Lado 1



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Joseph Barriga

Los resultados calculados arrojan un valor de deformación total, en el punto aproximado donde las galgas fueron situadas de alrededor de 17,93 mm como se observa en la Figura 4.13 que con un estimado similar a lo medido a las galgas extensiométricas

**Figura 4.13** Deformación por torsión con carga en Lado 2 y sonda en Lado 1



Deformación de la estructura a torsión, **Fuente:** Joseph Barriga

En el punto aproximado donde las galgas fueron situadas de alrededor de 18,46 mm que con un estimado similar a lo medido a las galgas extensiométricas

## CONCLUSIONES

- La aplicación de principios avanzados de ingeniería y modelado geométrico en la fase de diseño ha permitido la creación de un chasis sólido y eficiente, optimizado para el rendimiento en competiciones de karting. Este enfoque ha demostrado ser fundamental para garantizar la calidad y resistencia del chasis.
- Los valores obtenidos mediante análisis de deformación en flexión con 130 kg con galgas extensiométricas registran una deformación mínima de apenas 4,9  $\mu\text{m/m}$ , valor bastante bajo teniendo en cuenta que la carga aplicada aun fue un valor por arriba del previsto inicialmente.
- Las deformaciones en torsión muestran valores muchos más altos que los de deformación en flexión aun utilizando una carga más baja, valores de hasta 138,3  $\mu\text{m/m}$ , un ejemplo claro de las demandas que se aplican sobre el bastidor ya en orden de marcha.
- La implementación de tecnologías de vanguardia durante la construcción ha resultado en un proceso eficiente y preciso. La combinación de métodos de fabricación avanzados y análisis de elementos finitos (MEF) ha contribuido significativamente a la construcción de un chasis de alta calidad y rendimiento.
- El riguroso análisis de elementos finitos (MEF) ha asegurado no solo el cumplimiento de las normativas CIK FIA 2023, sino también el rendimiento óptimo y seguro del chasis en situaciones de competición. La validación a través de pruebas y ensayos ha respaldado la conformidad y confiabilidad estructural del chasis.
- La fase de pruebas, incluyendo técnicas como las pruebas de tintas penetrantes y el uso de galgas extensiométricas, ha desempeñado un papel crucial en la garantía de la calidad del chasis. Estas pruebas no solo detectan posibles defectos, sino que proporcionan una comprensión detallada del comportamiento estructural bajo diversas condiciones.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar la investigación en el diseño y construcción de chasis de karting, explorando nuevas tecnologías y métodos para mejorar la eficiencia y seguridad.
- La colaboración con otras disciplinas, como la biomecánica, podría enriquecer el enfoque ergonómico del diseño, asegurando un confort óptimo para el piloto.
- La integración de tecnologías emergentes, como la fabricación aditiva, podría ser explorada para evaluar su potencial en la construcción de chasis más livianos y resistentes.
- Considerando el éxito de este proyecto, se sugiere la creación de programas educativos que involucren a estudiantes en proyectos similares, fomentando la innovación y el aprendizaje práctico.
- La participación activa en competiciones de karting proporcionará valiosos datos en tiempo real sobre el rendimiento del chasis, permitiendo ajustes y mejoras constantes basadas en la experiencia competitiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCIACION ESPAÑOLA DE PEDIATRÍA. (ENERO de 2010). *ANALES DE PEDIATRÍA*. Recuperado el 12 de 10 de 2023, de <https://www.analesdepediatria.org/es-son-seguros-karts-articulo-S1695403309005426>
- Banco Interamericano de Desarrollo. (2021). *Educación en América Latina y el Caribe*. Recuperado el 04 de mayo de 2023, de <https://www.iadb.org/es/temas/educacion-en-america-latina-y-el-caribe>
- BANCO MUNDIAL. (01 de JUNIO de 2021). *BANCO MUNDIAL*. Recuperado el 16 de Octubre de 2023, de <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2020/06/01/covid19-coronavirus-educacion-america-latina#:~:text=Hay%20dos%20factores%20muy%20problem%C3%A1ticos,por%20debajo%20de%20la%20media.>
- Banco Mundial. (2021). *Educación superior en América Latina*. Recuperado el 04 de mayo de 2023, de <https://www.bancomundial.org/es/topic/education/brief/higher-education-in-latin-america>
- Cahn, J. W. (2019). *Steel: Metallurgy, Properties, and Applications*. Recuperado el 16 de Octubre de 2023, de <https://www.cambridge.org/core/books/steel-metallurgy-properties-and-applications/FB8F2D04C9F3ABFF7E8CE1B8E997E3BA>
- Faluga Racing. (13 de mayo de 2020). *Faluga Racing*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://es.falugaracing.com/blog/la-historia-del-karting-desde-su-invencion/#:~:text=La%20historia%20del%20karting%20empez%C3%B3,kart%20comercial%20de%20la%20historia.>
- FIA. (08 de 03 de 2023). *KARTING TECHNICAL REGULATIONS*.
- FIA Karting. (2021). *FIA*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://www.fiakarting.com/>
- FIA Karting. (2021). *Regulaciones deportivas FIA*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://www.fiakarting.com/regulaciones/regulaciones-deportivas/>
- FIA Karting. (2021). *Regulaciones técnicas FIA*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://www.fiakarting.com/regulaciones/regulaciones-tecnicas/>

- Howard B. Cary, S. C. (2019). *Modern Welding Technology*. Recuperado el 16 de 10 de 2023, de <https://www.pearson.com/us/higher-education/program/Cary-Modern-Welding-Technology-2nd-Edition/PGM2569726.html>
- Martin. (2006). *Fundamentals of kart chassis design*. *SAE International*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://saemobilus.sae.org/content/R-371>
- Molina, F. R. (30Molina de Noviembre de 2021). *EL PAIS*. Recuperado el 16 de Octubre de 2023, de <https://elpais.com/sociedad/2021-11-30/la-calidad-de-la-educacion-se-estanca-en-america-latina-segun-la-unesco.html>
- MOTORGIGA. (s.f.). *Bastidor en X*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/x-bastidor-en-definicion-significado/gmx-niv15-con195990.htm>
- OCDE. (2019). *PISA 2018 Results*. Recuperado el 04 de mayo de 2023, de <https://www.oecd.org/pisa/publications/pisa-2018-results.htm>
- Plaza, D. (s.f.). *Motor.es*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de <https://www.motor.es/que-es/chasis-autoportante-monocasco>
- POMA, P. A. (MAYO de 2018). *DSPACE*. Recuperado el 12 de OCTUBRE de 2023, de <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15766>
- Ramírez, R. (Julio de 2019). *Tendencias de la educación superior en América Latina y el Caribe*. Recuperado el 16 de Octubre de 2023, de [https://www.researchgate.net/publication/334535885\\_Tendencias\\_de\\_la\\_educacion\\_superior\\_en\\_America\\_Latina\\_y\\_el\\_Caribe?enrichId=rgreq-2913d3a37329fa1f4ca2fb6915de2304-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzNDUzNTg4NTtBUzo3ODE5MTM2ODE4NDIxNzZAMTU2MzQzNDE1NzE5Nw%3D](https://www.researchgate.net/publication/334535885_Tendencias_de_la_educacion_superior_en_America_Latina_y_el_Caribe?enrichId=rgreq-2913d3a37329fa1f4ca2fb6915de2304-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzMzNDUzNTg4NTtBUzo3ODE5MTM2ODE4NDIxNzZAMTU2MzQzNDE1NzE5Nw%3D)
- Redacción Comercial. (25 de enero de 2022). *PRIMICIAS*. Recuperado el 14 de mayo de 2023, de [https://www.primicias.ec/nota\\_comercial/autos/garage/talleres/karting-una-competencia-sin-igual/#gsc.tab=0](https://www.primicias.ec/nota_comercial/autos/garage/talleres/karting-una-competencia-sin-igual/#gsc.tab=0)
- SALAZAR, V. R. (2018). *DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN CHASIS TUBULAR DE UN VEHICULO DE COMPETENCIA FORMULA SAE ELECTRICO*. Recuperado el 12 de 10 de 2023, de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15149/1/UPS-CT007481.pdf>
- Smith J. (2018). Application of Computer-Aided Design. En S. J. S/E. Recuperado el 09 de enero de 2024

UNESCO. (2021). *Educación en América Latina y el Caribe*. Recuperado el 04 de mayo de 2023, de <https://es.unesco.org/fieldoffice/montevideo/education/latin-america-and-caribbean>

Universidad de las Naciones Unidas. (2020). Recuperado el 04 de mayo de 2023, de <https://www.rrojasdatabank.info/Informe%20de%20Brechas%20de%20Oportunidades%20para%20la%20Educaci%C3%B3n%20Superior%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina%20-%20UNU.pdf>

Various Authors. (2017). *Tube Cutting Handbook: A Comprehensive Guide to Tube Cutting Methods*. Recuperado el LUNES 16 de OCTUBRE de 2023, de [https://www.trumphuette.de/fileadmin/user\\_upload/Dokumente/Broschueren/TubeCuttingHandbook.pdf](https://www.trumphuette.de/fileadmin/user_upload/Dokumente/Broschueren/TubeCuttingHandbook.pdf)