



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS EN FIBRA
DE CARBONO PARA UN KARTING ELÉCTRICO BAJO
NORMATIVA INTERNACIONAL PARA LA CARRERA
DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

ALEXIS ADRIÁN LIRIO SÁNCHEZ

MARCO ANTONIO TORRES NÚÑEZ

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS EN FIBRA DE
CARBONO PARA UN KARTING ELÉCTRICO BAJO
NORMATIVA INTERNACIONAL PARA LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: ALEXIS ADRIÁN LIRIO SÁNCHEZ

MARCO ANTONIO TORRES NÚÑEZ

DIRECTOR: ING. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2024

© 2023, Alexis Adrián Lirio Sánchez y Marco Antonio Torres Núñez.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Alexis Adrián Lirio Sánchez y Marco Antonio Torres Núñez, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de enero de 2024.



Alexis Adrián Lirio Sánchez
210078764-3



Marco Antonio Torres Núñez
180449780-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto técnico, **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN CHASIS EN FIBRA DE CARBONO PARA UN KARTING ELÉCTRICO BAJO NORMATIVA INTERNACIONAL PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **ALEXIS ADRIÁN LIRIO SÁNCHEZ Y MARCO ANTONIO TORRES NÚÑEZ**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

FECHA

Ing. Cristian David Redroban Dillon
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



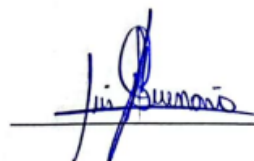
2024-01-16

Ing. Celin Abad Padilla Padilla
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-01-16

Ing. Luis Fernando Buenaño Moyano
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-01-16

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado a mi padre, mi héroe, mi ejemplo a seguir, quien me enseñó a nunca darme por vencido por más difícil que sea el camino, va dedicado a mi madre quien siempre ha estado apoyándonos, quien nos educó a mí y a mis hermanos con buenos valores y principios, cabe mencionar que todos los logros obtenidos durante mi vida de estudiante va dedicado a mis padres con mucho amor puesto a que ellos con su sacrificio me han dado todo lo necesario y me han brindado la comodidad para pueda dedicarme a mis estudios al cien por ciento; también va dedicado a una persona muy especial para mí que me acompañó en los últimos semestres de la carrera, quien estuvo día y noche a mi lado durante el proceso de elaboración de este trabajo de titulación.

Marco.

Este trabajo va dedicado a mis padres, quienes no me han abandonado nunca en toda mi vida académica, que han sabido sortear obstáculos y brindarme la mano siempre que lo necesité, dedico este trabajo a ellos, porque me han formado con valores y gracias a eso soy lo que soy hoy en día. De igual manera, este logro lo dedico al resto de mis familiares, hermanos, primos y tíos, que han estado durante todo este proceso y me han servido como motivación para alcanzar todo lo que me he propuesto, brindándome su tiempo, experiencia y consejos para hacer que no me rindiera.

Alexis.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado salud e inteligencia para poder cumplir una meta más, por darme la fuerza necesaria para poder salir adelante en los momentos difíciles que he pasado por darme unos padres maravillosos, de igual manera agradezco a mis padres Pablo y María por apoyarme, por guiarme por el buen camino, por enseñarme a luchar por mis sueños, y por creer en mí, sin ellos nada de esto sería posible, agradezco a una persona muy especial por motivarme, por creer en mí y no dejar que me dé por vencido sobre todo por su apoyo incondicional, también agradezco a todos los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz por sus enseñanzas y ser parte de este proceso educativo.

Marco.

Agradecido con Dios en primera instancia, por no dejarme desamparado en los malos momentos y por otorgarme una familia maravillosa, a mis padres Edison y Melba, por ser mi apoyo incondicional y estar ahí siempre para mí, a mis hermanos Edison y Denis, por ser partícipes de esta experiencia universitaria y brindarme motivación cada que lo necesité, a mis tíos, Eloy, Rosa y Antonio, por ser como mis segundos padres y estar siempre pendiente de mí, de mis logros, de mis tropiezos y no dejarme solo nunca, a mis primas Katherine, Milena, Gennesis y Gissela, por ser mi fuente de apoyo y motivación y quienes han sabido escuchar lo que guardo solo para mí, a todos mis amigos quienes me han acompañado en este proceso y hemos sorteado cada obstáculo presente pasando buenos y malos momentos, y por último a mis gatas Pelusa y Luna.

Alexis.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY / ABSTRACT.....	xviii

INTRODUCCIÓN.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1.	Antecedentes.....	2
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Objetivos.....	3
1.3.1.	<i>Objetivo General.</i>	3
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos.</i>	4

CAPÍTULO II

2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	5
2.1.	Estado del arte.....	5
2.2.	Historia del Karting.....	6
2.3.	El chasis.....	8
2.3.1.	<i>Bastidor autoportante o monocasco.</i>	9
2.3.2.	<i>Bastidor de largueros longitudinales.</i>	9
2.3.3.	<i>Bastidor con plataforma de carrocería separada.</i>	10
2.3.4.	<i>Bastidor tubular.</i>	10
2.3.5.	<i>Chasis del Kart.</i>	11
2.4.	Normativa CIK-FIA.....	12
2.4.1.	<i>Categorías del Karting.</i>	12
2.4.1.1.	<i>Categoría OK.</i>	12
2.4.1.2.	<i>Categoría KZ.</i>	13
2.4.1.3.	<i>Categoría Superkart.</i>	13
2.4.2.	<i>Prescripciones generales.</i>	14
2.4.2.1.	<i>Modificaciones.</i>	14

2.4.2.2.	<i>Adición de material o partes.</i>	14
2.4.3.	Marco del Chasis.	15
2.4.3.1.	<i>Material del marco del chasis.</i>	15
2.4.3.2.	<i>Partes principales del chasis.</i>	15
2.4.3.3.	<i>Dimensiones.</i>	16
2.5.	Fibra de carbono.	16
2.5.1.	<i>Tela de fibra de Carbono</i>	19
2.6.	Resina Epoxi.	21
2.7.	Manufactura aditiva.	23
2.7.1.	<i>Impresión 3D.</i>	24
2.7.2.	<i>Modelado por deposición fundida (FDM).</i>	25
2.7.3.	<i>Proceso de producción de impresión 3D.</i>	26
2.8.	Procesos de fabricación de los tubos de fibra de carbono.	27
2.8.1.	<i>Tubos por envoltura de rollo (Roll Wrapping).</i>	27
2.8.2.	<i>Tubos por fibra de carbono trenzada (Braided Carbon Fiber).</i>	28
2.8.3.	<i>Tubos de molde dividido (Split Mould Tube).</i>	29
2.8.4.	<i>Tubos por devanado de filamentos (Filament Winding).</i>	31

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO.	33
3.1.	Diagrama de flujo.	33
3.2.	Alcance.	33
3.3.	Procesos principales.	34
3.4.	Enfoque de investigación.	35
3.5.	<i>Técnicas e instrumentos.</i>	36
3.6.	Desarrollo del proyecto.	36
3.6.1.	<i>Cronograma de actividades.</i>	36
3.6.2.	<i>Recursos y materiales.</i>	37
3.6.2.1.	<i>Presupuesto.</i>	37
3.6.2.2.	<i>Recurso humano.</i>	38
3.6.2.3.	<i>Equipos y materiales.</i>	39
3.6.3.	<i>Fase de desarrollo.</i>	40
3.6.3.1.	<i>Prediseño.</i>	40
3.6.3.2.	<i>Diseño en CAD.</i>	40
3.6.4.	<i>Análisis estructural.</i>	50
3.6.4.1.	<i>Análisis estático.</i>	50

3.6.4.2.	<i>Análisis de impacto.....</i>	60
3.6.4.3.	<i>Tubos de fibra de carbono.....</i>	71
3.6.4.4.	<i>Resina epoxi.....</i>	72
3.6.4.5.	<i>Filamento de impresión 3D.....</i>	72
3.6.4.6.	<i>Impresión de elementos 3D.....</i>	74
3.6.4.7.	<i>Construcción del chasis.....</i>	79
3.6.4.8.	<i>Fabricación de probetas y pruebas destructivas.....</i>	82

CAPÍTULO IV

4.	RESULTADOS.....	91
4.1.	Simulación estática del chasis con uniones TPU-Fibra de carbono.....	91
4.2.	Refuerzos del chasis.....	93

CAPITULO V

5.1	CONCLUSIONES.....	96
5.2	RECOMENDACIONES.....	98

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Dimensiones del chasis categoría OK.	16
Tabla 2-2: Propiedades mecánicas de materiales usados en la industria.	19
Tabla 2-3: Propiedades mecánicas de la resina endurecida con activador de poliamida.	22
Tabla 3-1: Enfoques de la investigación.	35
Tabla 3-2: Cronograma de actividades.	37
Tabla 3-3: Costos del proyecto.	38
Tabla 3-4: Descripción del talento humano.	38
Tabla 3-5: Máquinas y herramientas.	39
Tabla 3-6: Resultados análisis frontal.	55
Tabla 3-7: Resultados análisis lateral.	57
Tabla 3-8: Resultados análisis carga viva y muerta.	58
Tabla 3-9: Resultados del impacto frontal.	65
Tabla 3-10: Resultados del impacto lateral.	67
Tabla 3-11: Resultados del impacto posterior.	68
Tabla 3-12: Dimensiones de los miembros estructurales.	71
Tabla 3-13: Propiedades de la fibra de carbono Sarga 3K.	71
Tabla 3-14: Especificaciones de la resina epoxi Wesco Dura Quarz Epox-21.	72
Tabla 3-15: Propiedades mecánicas del filamento TPU 95A.	73
Tabla 3-16: Propiedades térmicas del filamento TPU 95A.	74
Tabla 3-17: Propiedades eléctricas del filamento TPU 95 A.	74
Tabla 3-18: Especificaciones técnicas de la impresora 3D Creality Cr-10 Max.	78
Tabla 3-19: Especificaciones técnicas de la impresora 3D Creality CP-01 Max.	79
Tabla 4-1: Resultados comparativos del análisis frontal.	92
Tabla 4-2: Resultados comparativos del análisis lateral.	92
Tabla 4-3: Resultados comparativos del análisis de carga viva y muerta.	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Primer kart construido.	6
Ilustración 2-2: Campeonato mundial de karting.	7
Ilustración 2-3: Primer campeonato mundial en Córdoba (ARG).....	8
Ilustración 2-4: Bastidor autoportante o monocasco.	9
Ilustración 2-5: Bastidor de largueros longitudinales.....	9
Ilustración 2-6: Bastidor independiente.	10
Ilustración 2-7: Bastidor tubular.....	10
Ilustración 2-8: Chasis homologado del grupo 2 (Tony Kart).....	11
Ilustración 2-9: Número de homologación del chasis.	12
Ilustración 2-10: Kart categoría OK de la marca CRG, modelo Heron.	13
Ilustración 2-11: Kart categoría KZ de la marca Sodikart, modelo Sigma.	13
Ilustración 2-12: Superkart.....	14
Ilustración 2-13: Esquema de obtención de fibra de carbono.	16
Ilustración 2-14: Tejido plano.	19
Ilustración 2-15: Tejido sarga.....	20
Ilustración 2-16: Tejido raso.....	20
Ilustración 2-17: Tejido unidireccional.	20
Ilustración 2-18: Técnicas y procesos de fabricación.....	24
Ilustración 2-19: Proceso de impresión 3D.	25
Ilustración 2-20: Proceso FDM.	25
Ilustración 2-21: Procesos para la impresión 3D.....	26
Ilustración 2-22: Envoltura de rollo.	27
Ilustración 2-23: Curado del tubo.....	28
Ilustración 2-24: Tubo terminado.....	28
Ilustración 2-25: Fibra de carbono trenzada.....	28
Ilustración 2-26: Aplicación de resina y curado del tubo.....	29
Ilustración 2-27: Moldes divididos.....	29
Ilustración 2-28: Aplicación de las capas de fibra de carbono y curado al vacío.....	30
Ilustración 2-29: Aplicación de las capas de fibra de carbono y curado al vacío.....	30
Ilustración 2-30: Molde retirado.....	30
Ilustración 2-31: Máquina devanadora.	31
Ilustración 2-32: Tejido de la máquina devanadora.	31
Ilustración 2-33: Tubo tejido.....	32
Ilustración 2-34: Tubo tejido.....	32

Ilustración 3-1: Diagrama de flujo del proyecto.....	33
Ilustración 3-2: Bosquejo preliminar del chasis.....	40
Ilustración 3-3: Croquis con geometrías constructivas de referencia.....	41
Ilustración 3-4: Geometrías constructivas acotadas.....	41
Ilustración 3-5: Croquis definido del chasis.....	42
Ilustración 3-6: Selección del tipo de miembro estructural.....	42
Ilustración 3-7: Selección de líneas y previsualización del miembro estructural.....	42
Ilustración 3-8: Miembros estructurales del chasis.....	43
Ilustración 3-9: Ajuste de diámetros externos e internos de las tuberías.....	43
Ilustración 3-10: Uniones entre miembros estructurales sin tratamiento.....	43
Ilustración 3-11: Tratamiento de esquinas miembros estructurales.....	44
Ilustración 3-12: Ángulos de las uniones.....	44
Ilustración 3-13: Croquizado de las uniones.....	45
Ilustración 3-14: Diámetros interno y externo de la unión.....	45
Ilustración 3-15: Lista de cortes en el menú de operaciones.....	46
Ilustración 3-16: Opción “Guardar sólidos.....	46
Ilustración 3-17: Selección de los sólidos y ruta de guardado.....	46
Ilustración 3-18: Miembros estructurales flotantes dentro del ensamblaje.....	47
Ilustración 3-19: Insertar componentes (uniones).....	47
Ilustración 3-20: Buscar carpeta de archivos de uniones.....	48
Ilustración 3-21: Insertar archivos de uniones.....	48
Ilustración 3-22: Inserción de las uniones.....	48
Ilustración 3-23: Relación de posición de las uniones.....	49
Ilustración 3-24: Relación de posición de las uniones y tubos.....	49
Ilustración 3-25: Relación de posición de las uniones y tubos.....	49
Ilustración 3-26: Ensamblaje de los miembros estructurales y las uniones.....	50
Ilustración 3-27: Diagrama de flujo análisis estático.....	51
Ilustración 3-28: Preparación de la geometría.....	51
Ilustración 3-29: Configuración de la lista de materiales.....	52
Ilustración 3-30: Asignación de materiales.....	52
Ilustración 3-31: Método de mallado para las uniones.....	52
Ilustración 3-32: Método de mallado para el chasis.....	53
Ilustración 3-33: Verificación de las zonas de contacto.....	53
Ilustración 3-34: Mallado del chasis.....	53
Ilustración 3-35: Condiciones y cargas del análisis frontal.....	54
Ilustración 3-36: Condiciones y cargas del análisis lateral.....	54
Ilustración 3-37: Condiciones de carga muerta y viva.....	55

Ilustración 3-38: Deformación total frontal.....	55
Ilustración 3-39: Deformación direccional frontal.....	56
Ilustración 3-40: Esfuerzo equivalente frontal.....	56
Ilustración 3-41: Factor de seguridad frontal.....	56
Ilustración 3-42: Deformación total lateral.....	57
Ilustración 3-43: Deformación direccional lateral.....	57
Ilustración 3-44: Esfuerzo equivalente lateral.....	58
Ilustración 3-45: Factor de seguridad lateral.....	58
Ilustración 3-46: Deformación total carga viva y muerta.....	59
Ilustración 3-47: Deformación direccional carga viva y muerta.....	59
Ilustración 3-48: Esfuerzo equivalente carga viva y muerta.....	59
Ilustración 3-49: Factor de seguridad carga viva y muerta.....	60
Ilustración 3-50: Uniones de mayor espesor.....	60
Ilustración 3-51: Diagrama de flujo análisis dinámico.....	61
Ilustración 3-52: Geometría de impacto frontal.....	62
Ilustración 3-53: Geometría de impacto lateral.....	62
Ilustración 3-54: Geometría de impacto posterior.....	62
Ilustración 3-55: Asignación de materiales simulación de impactos.....	63
Ilustración 3-56: Mallado de la estructura y pared de impacto.....	63
Ilustración 3-57: Condiciones de impacto frontal.....	64
Ilustración 3-58: Condiciones de impacto lateral.....	64
Ilustración 3-59: Condiciones de impacto posterior.....	64
Ilustración 3-60: Deformación total impacto frontal.....	65
Ilustración 3-61: Deformación direccional impacto frontal.....	66
Ilustración 3-62: Esfuerzo equivalente impacto frontal.....	66
Ilustración 3-63: Factor de seguridad impacto frontal.....	66
Ilustración 3-64: Deformación total impacto lateral.....	67
Ilustración 3-65: Deformación direccional impacto lateral.....	67
Ilustración 3-66: Esfuerzo equivalente impacto lateral.....	68
Ilustración 3-67: Factor de seguridad impacto lateral.....	68
Ilustración 3-68: Deformación total impacto posterior.....	69
Ilustración 3-69: Deformación direccional impacto posterior.....	69
Ilustración 3-70: Esfuerzo equivalente impacto posterior.....	70
Ilustración 3-71: Factor de seguridad impacto posterior.....	70
Ilustración 3-72: Tubos de fibra de carbono.....	71
Ilustración 3-73: Resina epóxica Wesco Dura Quarz Epox-21.....	72
Ilustración 3-74: Diisocianatos en la síntesis de poliuretanos.....	73

Ilustración 3-75: Extensores de cadena para la síntesis de poliuretanos.	73
Ilustración 3-76: Diagrama de flujo proceso de impresión de uniones.	75
Ilustración 3-77: Impresión de uniones 3D.	75
Ilustración 3-78: Pruebas de retracción del filamento.	76
Ilustración 3-79: Impresión con extrusión directa.	76
Ilustración 3-80: Impresión con extrusión bowden.	76
Ilustración 3-81: Rastros del traslado del cabezal de impresión.	77
Ilustración 3-82: Falla de impresión por malla inconexa.	77
Ilustración 3-83: Puntos de malla conectados.	78
Ilustración 3-84: Impresora 3D Creality Cr-10 Max.	78
Ilustración 3-85: Impresora 3D Creality CP-01.	79
Ilustración 3-86: Diagrama de flujo del proceso de construcción.	80
Ilustración 3-87: Corte de los tubos de fibra de carbono.	80
Ilustración 3-88: Corte de los tubos de fibra de carbono.	81
Ilustración 3-89: Ensamblaje del chasis.	81
Ilustración 3-90: Chasis ensamblado.	82
Ilustración 3-91: Proceso de probetas en TPU.	82
Ilustración 3-92: Norma ASTM D638 para probetas.	83
Ilustración 3-93: Probeta diseñada en software CAD.	83
Ilustración 3-94: Probetas impresas.	83
Ilustración 3-95: Propiedades fibra de carbono 2x2 Twill 3K Hexcel AS4.	84
Ilustración 3-96: Forrado de probetas con tela de fibra de carbono.	85
Ilustración 3-97: Probetas al vacío.	85
Ilustración 3-98: Máquina universal Metrotec MTE-1500.	86
Ilustración 3-99: Ensayo a flexión.	86
Ilustración 3-100: Gráfica Fuerza-Desplazamiento a flexión.	87
Ilustración 3-101: Gráfica Carga-Desplazamiento a flexión.	87
Ilustración 3-102: Resultados del ensayo a flexión.	88
Ilustración 3-103: Ensayo a tracción.	88
Ilustración 3-104: Gráfica Fuerza-Desplazamiento a tracción.	89
Ilustración 3-105: Gráfica Carga-Alargamiento a tracción.	89
Ilustración 3-106: Resultados del ensayo a tracción.	90
Ilustración 4-1: Deformación direccional y total frontal con TPU-FC.	91
Ilustración 4-2: Deformación direccional y total lateral con TPU-FC.	92
Ilustración 4-3: Deformación direccional y total lateral con TPU-FC.	93
Ilustración 4-4: Aplicación de capas de tela de fibra de carbono.	94

Ilustración 4-5: Generación de vacío en la estructura.	94
Ilustración 4-6: Chasis forrado de fibra de carbono.	94
Ilustración 4-7: Prueba estática.	95
Ilustración 4-8: Deflexión del chasis.....	95

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Planos de las uniones.

Anexo B: Plano de las probetas.

Anexo C: Planos del chasis.

Anexo D: Ensamble chasis y uniones.

Anexo E: Dimensiones del chasis por normativa.

Anexo F: Ficha técnica fibra de carbono Twill 3K.

Anexo G: Ficha técnica resina epóxica.

Anexo H: Ficha técnica TPU-95A.

Anexo I: Ficha técnica fibra de carbono Twill 3K Hexcel AS4.

Anexo J: Ficha técnica impresora CP-01.

Anexo K: Ficha técnica impresora CR-10 MAX.

Anexo L: Ficha de homologación grupo 2.

RESUMEN

En este proyecto técnico se desarrolló el diseño y construcción de un chasis en fibra de carbono según normativa internacional para un kart eléctrico para la carrera de ingeniería automotriz. El proyecto se llevó a cabo mediante el estudio de información técnica sobre los procesos de manufactura dictaminados por el ente de control internacional de las competencias de karts (CIK-FIA), consecuentemente se requirió el análisis de los materiales e implementos a usar siendo estos fibra de carbono y resinas epóxica, además de la implementación de procesos de manufactura aditiva por medio de impresoras 3D y ensayos destructivos de materiales compuestos usados en la construcción del chasis, todo esto sumado a una visión virtual establecida por simulaciones en software, que hicieron observable el comportamiento del chasis, que en cuanto a deflexión con un valor de 5,1715 mm, fue el más preocupante. Como resultados se obtuvieron datos de deformación que advirtieron que la estructura no es tan rígida como se esperaba, y que dio paso al estudio de probetas compuestas por TPU y fibra de carbono como medida de refuerzo para la estructura. Contemplados los resultados se ratificó el uso de fibra de carbono como recubrimiento para las zonas unión-tubo la cual, al someterse a la simulación, redujo la deformación por deflexión a 2.7286 mm. Se concluye que el chasis de fibra de carbono fue desarrollado y puede ser implementado en el kart eléctrico, basado en las consideraciones presentadas en el proyecto. Se recomienda un estudio de nuevos materiales para la fabricación de uniones, resina epóxica y fibra de carbono, además de nuevos métodos para trabajar la fibra de carbono y presentar una única estructura sin necesidad de medios de unión.

Palabras clave: <CHASIS>, <KART>, <FIBRA DE CARBONO>, <DISEÑO>, <DEFORMACIONES>, <IMPRESIÓN 3D>, <ENSAYOS DESTRUCTIVOS>.



19-01-2023

0143-DBRA-UPT-2024

SUMMARY / ABSTRACT

This technical project developed the design and construction of a carbon fiber chassis according to international standards for an electric kart for the automotive engineering race. The project was carried out through the study of technical information on manufacturing processes dictated by the international control body of karting competitions (CIK-FIA), consequently it was required the analysis of the materials and implements to be used being these carbon fiber and epoxy resins, in addition to the implementation of additive manufacturing processes through 3D printers and destructive testing of composite materials used in the construction of the chassis, all this added to a virtual vision established by software simulations, which made observable the behavior of the chassis, which in terms of deflection with a value of 5.1715 mm, was the most worrying. As a result, deformation data were obtained that showed that the structure is not as rigid as expected, and that gave way to the study of specimens composed of TPU and carbon fiber as a measure of reinforcement for the structure. Considering the results, the use of carbon fiber as a coating for the joint-tube areas was ratified, which, when subjected to the simulation, reduced the deflection deformation to 2.7286 mm. It is concluded that the carbon fiber chassis was developed and can be implemented in the electric kart, based on the considerations presented in the project. A study of new materials for the fabrication of joints, epoxy resin and carbon fiber, as well as new methods to work the carbon fiber and present a single structure without the need of joining means is recommended.

Keywords: <CHASIS>, <KART>, <CARBON FIBER>, <DESIGN>, <DEFORMATIONS>, <3D PRINTING>, <DESTRUCTIVE TESTING>



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema Mgs.

C.I. 0603357062

INTRODUCCIÓN

Los karts son pequeños coches de carreras que se utilizan para competiciones de velocidad en pistas cerradas. Estos vehículos son conocidos por su diseño compacto, liviano y ágil, lo que les permite alcanzar altas velocidades y maniobrar con facilidad. Una de las partes más importantes de un kart es su chasis, que es la estructura a la que se unen todos los demás componentes. El chasis de un kart es fundamental para el rendimiento y la estabilidad de un automóvil, por lo que su diseño y construcción son importantes para los conductores que buscan un rendimiento óptimo en la pista. En la introducción, veremos los diferentes tipos de chasis de go-kart, sus características y cómo elegir el chasis adecuado para una carrera en particular.

Los chasis tubulares de fibra de carbono son una opción popular en la fabricación de vehículos de alto rendimiento y competición. La fibra de carbono es un material compuesto ligero y resistente que ofrece numerosas ventajas en comparación con los materiales tradicionales como el acero o el aluminio.

Entre las ventajas de los chasis tubulares de fibra de carbono se encuentran su bajo peso y alta resistencia, lo que resulta en una mayor eficiencia energética y una mejor aceleración. Además, la fibra de carbono es altamente resistente a la corrosión y al desgaste, lo que significa que los vehículos fabricados con este material tienen una vida útil más larga y requieren menos mantenimiento.

En este proyecto se detalla diseño y construcción de un chasis de go-kart en fibra de carbono dicho chasis será sometido a simulaciones, estas simulaciones son: dinámica y estática, con el fin de observar y analizar el comportamiento estructural de este. Para realizar el ensamble de los tubos de fibra de carbono se diseñará y se imprimirá uniones en 3D, dichas uniones serán ensayadas a pruebas destructivas de flexión y tracción, en medida de los resultados se optará por mantener las uniones sin modificaciones o implementar algún método para mejorar la rigidez estructural del chasis, marcando la base y guía para la construcción de próximos chasis en fibra de carbono.

CAPÍTULO I.

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.

1.1. Antecedentes.

El deporte automotor nace desde las más sencillas ideas, el impulsar una estructura y experimentar la sensación de velocidad en primera persona es lo que le ha dado vida a todas las competiciones que actualmente conocemos. El mundo del Go-Kart se remonta hasta 1956 en California, EE. UU, donde Art Ingels y Lou Borelli, fabrican el primer kart, basado en un chasis de estructura tubular e impulsado por un motor de una podadora de césped (CIK-FIA, 2022, p.1).

A partir de ahí, se crearon organismos que regulan las normas y requisitos en la fabricación de los Karts, como lo es la “CIK” (Comisión Internacional de Karting) que a su vez es regulada por la “FIA” (Federación Internacional de Automovilismo). En conjunto dictaminan las reglas para las competencias de karts, en especial del Campeonato Mundial de Karting.

De esta manera, estos organismos establecen las especificaciones para la construcción de los karts, siendo el chasis parte sustancial de este proceso, para lo cual, los materiales empleados son de total relevancia. Lo que se requiere de esta estructura es que sea fuerte y resistente, ya que, al carecer de un sistema de suspensión, las vibraciones producto del circuito son absorbidas por los neumáticos y el chasis. El material principal empleado en el chasis es el acero, el cual debe presentarse como tubos con sección transversal cilíndrica (CIK-FIA, 2022, p.1).

Con el gran crecimiento de este deporte a nivel mundial, han surgido varias empresas dedicadas al diseño, construcción y venta de chasis para karts, lo que da a entender el gran impacto de este deporte. Aun así, el uso de materiales ajenos al acero y sus aleaciones no es muy común entre fabricantes.

En cuanto al material utilizado para la fabricación de los cuadros, la gran mayoría de constructores han optado por aleaciones de acero, así por ejemplo la empresa Tony Kart en su modelo Kriptón para la categoría KF4 usa el acero al cromo molibdeno o también conocido como acero 4130, material que se ha tornado muy popular por sus altas propiedades mecánicas como la resistencia a la tracción y su ductilidad (Quezada, 2018, p.16).

1.2. Justificación.

Sin bien el acero presenta características ideales para la construcción de un chasis, el peso que este proporciona es una variable sustancial al momento de construir un kart, ya que, dentro del automovilismo, se tiende a fabricar coches equilibrados, que consigan una buena relación peso-potencia, por lo que, cuanto más pesada sea la estructura de un chasis más potencia va a necesitar para moverse adecuadamente, influyendo directamente en la velocidad del automotor.

La búsqueda e implementación de nuevos materiales aplicados a la construcción de estructuras para competición son variadas, sin embargo, como lo indica la normativa de la CIK-FIA, para los bastidores de karts se emplea solo acero, por ello, este trabajo pretende la implementación de la fibra de carbono como material principal del chasis de un kart, siguiendo las normativas vigente en cuanto a medidas, estipuladas por los organismos correspondientes, innovando en la aplicación y experimentación con un material que resuelve de mejor manera los inconvenientes relacionados al peso de la estructura y que a su vez presenta gran resistencia y durabilidad a esfuerzos y cargas.

Se propone el diseño y construcción de un chasis en fibra de carbono bajo lineamientos de una normativa internacional, con el objetivo de reducir el peso, haciendo el Kart más ligero y resistente que uno convencional. De modo que sea un prototipo funcional y fiable sobre el cual se pueda acumular experiencia referente al diseño automotriz, procesos y técnicas de manufactura.

El trabajo será un aporte para que la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, sede Riobamba, se vea inmersa en la implementación de nuevos materiales de construcción, fortaleciendo los conocimientos prácticos y afianzando una base para nuevas ideas de competición de karts dentro de la institución.

1.3. Objetivos.

1.3.1. Objetivo General.

Construir un chasis en fibra de carbono para un Go-Kart eléctrico bajo normativa internacional para la carrera de Ingeniería Automotriz.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Realizar investigación teórica y científica sobre tipos de chasis para karts homologados por normativas internacionales FIA en revistas, artículos científicos y tesis, para tener conceptos fundamentados al momento de ejecutar la fase de diseño.
- Diseñar el chasis con la asistencia de un software CAD y analizar su comportamiento estructural mediante elementos finitos (FEA) para validación de del kart.
- Efectuar la construcción del prototipo de chasis mediante métodos y procesos de manufactura adecuados para el material seleccionado, de manera que se pueda obtener una estructura sólida, rígida y resistente.
- Realizar las pruebas y ensayos destructivos que validen el diseño y construcción del prototipo, así como la resistencia de los componentes estructurales, para tener una idea clara de la robustez y calidad del proceso final.

CAPÍTULO II.

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1. Estado del arte.

La fundamentación teórica, referente a temas similares, comprende un aspecto importante dentro de una investigación, el interés de otros autores por plasmar los resultados y alcances de sus trabajos investigativos brinda una visión preliminar de lo que aquí se pretende realizar.

“Diseño y análisis de un chasis de kart de competición” por (Aguado, 2014, pp. 13-16), trabajo de investigación de culminación de carrera, presentó un modelo de kart completo, con todos sus sistemas mediante normativas del comité internacional de kart. Realizando el estudio de los diferentes componentes, tanto estructurales, tren motriz, sistema de frenos y dirección, así como los métodos de soldeo, sometiendo el proceso a simulaciones mediante software para validar resultados de esfuerzos y resistencia a fin de tener un panorama viable para la construcción en físico del kart.

El trabajo investigativo realizado por (Anadón y Pabón, 2012, p. 7), titulado: “Diseño de un kart de pista”, realizó la construcción de un kart completo de competición para uso amateur, en el que se muestran ciertas normativas en cuanto a la construcción del chasis, centrándose en los cálculos dinámicos e hidráulicos que permitan el buen desempeño del monoplaza. Hace referencia a todos los sistemas que componen el kart y presenta simulaciones mediante software sobre esfuerzos y tensiones.

El trabajo realizado por (Quezada, 2018, p.7). “Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según normativa CIK/FIA”. Propuso el diseño y fabricación de un kart de competición bajo normativa CIK/FIA para la categoría KF4, indagando sobre la homologación de esta normativa para posterior realizar el diseño del chasis en software CAD y analizar el comportamiento del chasis mediante simulaciones con métodos FEM. Como fase final se somete el chasis a pruebas dinámicas para validar el prototipo.

(Muzzupappa, Giuseppe y Vena, 2014, pp. 2-13). “Methods for the Evaluation of the Go-Kart Vehicle Dynamic Performance by the Integration of CAD/CAE Techniques.” Presentó el diseño y desarrollo de un modelo para la evaluación virtual del comportamiento dinámico de un Go-Kart

con la finalidad de validar y verificar la rigidez de sus principales miembros estructurales mediante la aplicación de FEM y proveer una metodología para el diseño y prototipado de Go-Kart.

La bibliografía referente a diseño y fabricación de chasis para karts es variada, cada una con un enfoque específico, ya sea en el análisis dinámico del monoplaza, estudio de cargas y esfuerzos y la construcción de la estructura para ser aplicada en un prototipo. Sin embargo, también existen trabajos investigativos que no hacen referencia directa al kart, pero brindan un panorama extraordinario para el diseño de estructuras y análisis de cargas.

En el trabajo de (Beltramo, Stuardi y Chiappero, 2017, pp. 31-32), titulado: “Influencia de la rigidez torsional del chasis en el comportamiento dinámico de un vehículo Super TC 2000”. Refleja el desarrollo y estudio estructural de las cargas que afecta a un auto de competición, empleando software de simulación y centrándose en el cálculo de cargas, para proveer una vista de los esfuerzos que soporta el chasis del vehículo y a su vez la estructura de seguridad que implementan. Además, plantea el desarrollo de un software interactivo basado en el método de la rigidez.

La investigación de (Bermeo, Calle y Carrión, 2014, pp. 10-11), titulada: “Diseño y construcción de un chasis de un vehículo monoplaza para la competición en la formula SAE”. Muestra la fabricación de un vehículo para competición de formula SAE, para lo cual rigen su estudio a las normas que impone dicha competición, realizando el diseño estructural del chasis y sus diferentes componentes, así como ensayos destructivos sobre los miembros estructurales del chasis. De igual manera se realizan las respectivas simulaciones mediante software para determinar los esfuerzos y cargas admisibles por la estructura.

2.2. Historia del Karting.

En agosto de 1956, en la ciudad de California, Estados Unidos, Art Ingels and Lou Borelli se construye el primer kart de la historia, a partir de un chasis tubular y un motor de cortadora de césped. A partir de ahí, la atención que atrajo este pequeño vehículo fue tal, que muchos se interesaron en crear sus propios karts (CIK-FIA, 2022, p. 1).



Ilustración 2-1: Primer kart construido.
Fuente: (CIK-FIA 2022).

En 1957, Livingstone y dos socios más, crean la primera compañía dedicada a la fabricación y venta de karts, “GoKart Manufacturing Company”. Así mismo, al ser ya muchos los involucrados en este pequeño mundo, se crea el Go-Kart Club of America (GKCA), organismo que regularía las actividades y establecería los reglamentos para competir legalmente. Siendo así que, con el permiso de los responsables de Easland Shopping Center en West Covina, organizan la primera competencia oficial de karting, en el aparcamiento de dicho establecimiento (CIK-FIA, 2022 p. 1).

En los años venideros, y al presenciar el “Boom” del karting en EE. UU, este nuevo deporte llega a Europa, y para 1960 ya se organizaban competiciones en Francia, Bélgica, España, Portugal, Alemania, Italia y otros países del viejo continente. Ante tal acogida, la GKCA en 1959 y 1960 organiza un evento internacional, “World Champion”, que en su primera edición fue ganada por Jim Yamane, piloto estadounidense. Para su segunda entrega, lo gana Bobby Allen, piloto de tan solo 17 años (CIK-FIA, 2022 p. 1).



Ilustración 2-2: Campeonato mundial de karting.
Fuente: (CIK-FIA, 2022).

Para 1962, el mayor organismo del automovilismo mundial, la FIA (Federación Internacional de Automovilismo), decide crear la CIK (Comisión Internacional de Karting), quien será el órgano regulador de las competencias de karts, definiendo así los reglamentos, homologaciones y las categorías de competición (CIK-FIA, 2022 p. 1), con su sede en Francia, este elemento es quien está a la cabeza de este deporte y brinda el soporte para todo lo relacionado al mundo del karting.

En el año de 1964, la CIK, organiza en la ciudad de Roma, Italia, el primer campeonato mundial de karting, del cual, el piloto italiano Guido Sala se haría con el título de campeón (CIK-FIA 2022 p. 1). A lo largo de los años y bajo diferentes presidencias dentro de la comisión, se fueron organizando campeonatos en distintas localizaciones de Europa y modificando los reglamentos de competición.

Fue hasta 1994, cuando por primera vez en su historia, un campeonato del mundo se celebró en Sudamérica, siendo la ciudad de Córdoba, Argentina, la anfitriona de este evento mundial (CIK-FIA, 2022 p. 1).



Ilustración 2-3: Primer campeonato mundial en Córdoba (ARG).
Fuente: (CIK-FIA, 2022).

En el 2020 todas las actividades automovilísticas se vieron paradas por la cepa de COVID-19, la CIK tuvo que realizar cambios en el calendario de competencia de las diferentes categorías, de esta manera se pudieron disputar siete competiciones en cinco categorías en circuitos de Alemania, Bélgica, España, Italia y Portugal (CIK-FIA, 2022 p. 1).

Actualmente las competiciones de kartings siguen siendo tan llamativas como en sus inicios, las normativas y categorías creadas han favorecido a que pilotos jóvenes se vean envueltos en el deporte automovilístico, tanto así que la mayoría de los pilotos que compiten actualmente en la categoría reina del automovilismo, la Fórmula 1 (F1), han empezado siendo pilotos de karts.

2.3. El chasis.

Comprende la estructura que sirve como base para el resto de los sistemas y equipos de un vehículo, debe ser capaz de soportar la carga suspendida y los esfuerzos que actúan sobre ella, producto del trabajo que realiza el vehículo. Principalmente se compone de perfiles metálicos, conformando el esqueleto del auto (Teller, 2011, pp. 1-4).

El bastidor, como también se le conoce, puede presentarse de distintas maneras en cuanto a su estructuración y disposición de los miembros estructurales, esto dependiendo del tipo del vehículo, las cargas y esfuerzos para el que está diseñado.

2.3.1. Bastidor autoportante o monocasco.

Su aparición se da en los años 80 tras la adopción de materiales compuestos como la fibra de carbono. Su principal objetivo es obtener una estructura rígida y con menor peso, siendo así que el chasis y habitáculo comprenden un solo conjunto (Quezada, 2018, pp. 11-14).

Este tipo de estructuras se han adaptado de mejor manera en vehículos superdeportivos y de altas prestaciones, donde el peso juega un papel muy importante para el desempeño del vehículo. No obstante, también tiene un gran nicho dentro del sector de turismos, vehículos industriales pequeños, esto por su ligereza y seguridad (Teller, 2011, pp. 1-4).



Ilustración 2-4: Bastidor autoportante o monocasco.
Fuente: (Rodríguez, 2015, p.2).

2.3.2. Bastidor de largueros longitudinales.

Constituido por dos perfiles dispuestos longitudinalmente, que forman la estructura principal, a la cual se le suman travesaños transversales que unen todo el conjunto. Este chasis por lo general dispone de miembros estructurales robustos y de gran tamaño, por lo que su rigidez alta, siendo empleado en vehículos de transporte de carga pesada (Teller, 2011). Este tipo de chasis ha sido muy empleado en modelos de vehículos antiguos, ya que, por su diseño, son muy fáciles y sencillos de fabricar y su uso se ha centrado en vehículos de carga, sin embargo, este tipo de bastidor es que tiene poca profundidad, lo que conlleva a tener un centro de gravedad un poco alto en el vehículo (Quezada, 2018, pp. 11-14).



Ilustración 2-5: Bastidor de largueros longitudinales.
Fuente: (Rodríguez, 2015, p.2).

2.3.3. *Bastidor con plataforma de carrocería separada.*

Se puede entender que el chasis y la carrocería son independientes uno del otro, y que están sujetos por pernos, tonillos o por medio de soldadura, comprendiendo el ensamblaje completo de todo el conjunto del vehículo. está compuesto por una estructura de acero o un marco formado por la unión de dos vigas longitudinales mediante soldadura, roscado o remachado de vigas, y las vigas están dispuestas en horizontal o en diagonal (Vásquez, 2021, p. 29).



Ilustración 2-6: Bastidor independiente.
Fuente: (Rodríguez, 2015, p. 2).

2.3.4. *Bastidor tubular.*

Este tipo de bastidores son muy comunes en la actualidad, especialmente por la forma en la que están constituidos, principalmente de miembros estructurales con secciones tubulares, ovaladas o cuadradas. Mediante este proceso de construcción se logra reducir considerablemente el peso del chasis sin perder rigidez. Aunque es un eficaz en cuanto a funcionalidad, propone un costo elevado si se trata de vehículos de gran tamaño, por lo que su uso se ha visto reducido a vehículos pequeños para competición (Rodríguez, 2015, p. 2), como los karts o autos de formula SAE.



Ilustración 2-7: Bastidor tubular.
Fuente: (Rodríguez, 2015, p. 2).

2.3.5. *Chasis del Kart.*

Como bien se ha mencionado, el chasis es una estructura que brinda soporte a los demás sistemas del vehículo, en este caso un Kart. Es así que tanto el tren de potencia, sistema de dirección, sistema de frenos y accesorio están directamente anclados al chasis, por lo que, se requiere que la construcción del chasis sea lo suficientemente fuerte y rígida para soportar las cargas que estas generan.

El modelo de chasis empleado en la construcción de karts es el tubular, ya que permite un mejor ajuste del peso de la estructura, de esta manera, se suelen utilizar tuberías de sección circular con diámetro de 30 mm a 32 mm, además el chasis tiene que tener la suficiente rigidez para transmitir toda la potencia del motor hacia las ruedas durante la aceleración, y debido a que estos vehículos por reglamento carecen de suspensión, el diseño de la estructura debe ser pensado de tal forma que pueda tener un cierto grado de flexibilidad y torsión, aportándole al kart la adherencia y estabilidad suficiente durante el paso por curvas (Quezada, 2018, pp. 15-16).

Los chasis de karts están clasificados en EE. UU como: “Open”, “Caged”, “Straight” y “Offset”. Las prescripciones dadas por la CIK-FIA para el tipo de chasis depende de la categoría en la que se desee competir, sin embargo, solo se aprueban los de tipo “Open” y “Straight” (Salazar, 2017, p. 9).

- Open: carece de cabina para el piloto.
- Caged: poseen cabina alrededor del piloto.
- Straight: la posición de manejo del piloto es central.
- Offset: la posición del piloto se dispone a la izquierda del kart.

Entre los principales fabricantes de karts se encuentran Tony Kart, CRG, Sodikart, Birel y PCR. Los cuales principalmente emplean acero, así, la empresa Tony Kart en su modelo Kriptón para la categoría KF4 hace uso de acero al molibdeno, conocido también como acero 4130 (Quezada, 2018, p. 16).

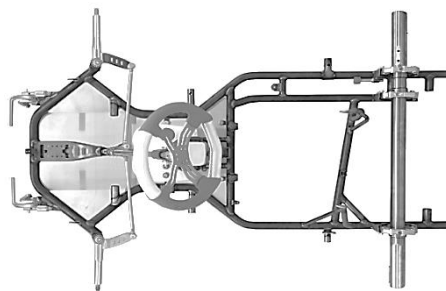


Ilustración 2-8: Chasis homologado del grupo 2 (Tony Kart).
Fuente: (CIK-FIA, 2019, p. 1).

Es importante mencionar que todo chasis debe ser construido bajo la normativa específica de la CIK, así mismo, este organismo se encargará de realizar la homologación del chasis y emitir un certificado donde se muestran las características principales de la estructura, además de establecer el tiempo válido de la homologación del chasis y asignar un número de identificación al chasis, el cual debe colocarse en el tubo transversal trasero de la estructura, siendo visible en todo momento, de esta forma se permite testificar la legalidad del chasis.



Ilustración 2-9: Número de homologación del chasis.
Fuente: (CIK-FIA, 2019, p. 4).

2.4. Normativa CIK-FIA.

2.4.1. Categorías del Karting.

Como organismo regulador de las competencias de karting, la misión del CIK-FIA es establecer categorías internacionales que también pueden referirse a Competiciones nacionales o incluso regionales. Las categorías FIA Karting se dividen en tres familias principales: karts de transmisión directa, karts con caja de cambios y Superkarts. Todos estos karts tienen en común la tecnología del motor de 2 tiempos (CIK-FIA, 2022, p. 1).

2.4.1.1. Categoría OK.

Introducida en el año 2017 es la predecesora de la categoría KF. Se subdivide en OK, OK-N y OK-Junior. Según reglamento, los karts de esta categoría están impulsados por un motor de 2 tiempos automáticos de 125 cc que es refrigerado por agua. Las velocidades máximas de giro de estos motores son 14000 rpm (OK-Junior), 15000 rpm (OK-N) y 16000 rpm (OK) y el peso mínimo del kart, con conductor incluido, será de 145 kg, 155 kg y 140 kg respectivamente. Esto además de los requisitos reglamentarios en cuanto a chasis, carburador, escape, entre otros. En esta categoría pueden participar pilotos de 14 años (OK) y de 12 años (OK-Junior) (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, pp. 371-390).



Ilustración 2-10: Kart categoría OK de la marca CRG, modelo Heron.
Fuente: (CRG, 2022).

2.4.1.2. Categoría KZ.

Esta categoría se subdivide en KZ y KZ2, ambas comparten especificaciones exceptuando el apartado de chasis y frenos. En esta categoría se emplea un motor de 125 cc refrigerado por agua, además de una caja de cambios secuencial de 6 velocidades con embrague manual. El peso mínimo con conductor incluido es de 170 kg para KZ y 175 kg para KZ2 (Technical Regulation CIK-FIA, 2022, pp. 371-390). La división KZ está destinada a competencias de carácter mundial, mientras que KZ2 para competencias intercontinentales (Quezada, 2018, p. 18).



Ilustración 2-11: Kart categoría KZ de la marca Sodikart, modelo Sigma.
Fuente: (Sodikart, 2022).

2.4.1.3. Categoría Superkart.

Esta categoría es la más inusual de las anteriores, ya que son karts usados en pistas largas, es ahí donde mejor se desempeñan, ya que estos están equipados con motores bicilíndricos de 250 cc de casi 100 CV, refrigerado con agua, siendo así capaces de alcanzar los 200 Km/h en pista. Además, esta categoría debe incluir una carrocería completa y su peso mínimo, incluido el piloto, es de 218 kg (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, pp. 371-390).



Ilustración 2-12: Superkart.

Fuente: (FIA, 2022).

2.4.2. Prescripciones generales.

El reglamento técnico impuesto por la CIK-FIA debe ser cumplido por todas las categorías y clases establecidas y cualquier modificación que se le realice al kart debe estar sujeta al reglamento técnico general o específico de cada categoría.

2.4.2.1. Modificaciones.

Las modificaciones están ligadas estrechamente al organismo de homologación, CIK-FIA, el conjunto del kart, en su totalidad está validado bajo reglamento, es decir que cada pieza que comprende el vehículo está homologada y, por lo tanto, sujeta a reglamentación técnica.

Conceptualizando de la siguiente manera que, las modificaciones se refieren a cualquier operación susceptible de cambiar el aspecto inicial, las dimensiones, los dibujos o las fotografías de una pieza original homologada descrita en el HF (Formulario de Homologación) o cualquier otra pieza regulada por el TR (Regulaciones Técnicas). Cualquier montaje o modificación que altere una dimensión normativa o impida su control se presume fraudulento y, por tanto, no está permitido (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, p. 358).

2.4.2.2. Adición de material o partes.

El común que en este tipo de competencias se produzcan choques y roces, que pueden afectar a la estructura principal como a sus partes auxiliares, en este sentido, la CIK-FIA establece normas que deben seguir los equipos para tratar con estos problemas, establece que no pueden ser reutilizados materiales retirados del kart, se permite reconstruir la geometría del chasis después de un accidente con materiales necesarios para la reparación como metal adicional para soldadura, etc. Además, si se trata de piezas desgastadas o dañadas, no está permitida la adición o fijación de materiales para su reparación y en efecto deberá ser reemplazada, a menos que el reglamento técnico estipule lo contrario (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, p. 358).

2.4.3. Marco del Chasis.

Es el soporte principal del kart, por lo que, debe ser fabricado para ser capaz de absorber las fuerzas producidas durante el movimiento del kart. Al carecer de un sistema de suspensión como tal, el propio chasis y las ruedas son los encargados de soportar las cargas producto de las deformaciones de la pista, por lo que la estructura tubular en la que está basado le brinda propiedades mecánicas de elasticidad. El marco del chasis está hecho de tubos de acero con sección transversal cilíndrica. Esto incluye los soportes para el eje frontal y trasero y está soldado en una sola pieza así que no puede ser desmontado (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, p. 360).

2.4.3.1. Material del marco del chasis.

El acero estructural que se emplea en la construcción del bastidor debe cumplir con la clasificación ISO 4948 además de la designación ISO 4949, el acero también debe pasar test de fuerzas de contacto (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, p. 360).

Es de mencionar que todas las partes fabricadas con materiales compuestos están prohibidas, a excepción del asiento, el piso, la protección de la cadena, el disco de freno posterior, almohadilla de protección, válvulas de lengüeta, y los discos de protección del embrague en las categorías KZ y KZ2 (Quezada, 2018, p. 20).

2.4.3.2. Partes principales del chasis.

Estos elementos son los que transmiten las fuerzas de la pista hacia el marco del chasis a través de las ruedas, lo que incluye las siguientes partes:

- Las ruedas con los cubos.
- El eje posterior.
- Rótula de dirección.
- Perno rey.

Se exige que estas partes estén sólidamente unidas entre sí o al marco del chasis. Por lo que es mandatorio una construcción rígida, lo que no permite articulaciones o uniones flexibles. Únicamente se permiten conexiones articuladas para el muñón de dirección y la dirección (Technical Regulations CIK-FIA, 2022, p. 360).

2.4.3.3. Dimensiones.

La construcción del chasis hace referencia a las dimensiones de la categoría OK del grupo 2 establecido por la CIK-FIA. Estas medidas deben respetarse en todo momento y ninguna parte puede proyectarse más allá del carenado delantero, carenado posterior y los neumáticos.

Tabla 2-1: Dimensiones del chasis categoría OK.

Batalla	Mínimo: 101 cm
	Máximo: 107 cm
Ancho de vía	Al menos 2/3 de la batalla
Longitud total	182 cm máximo
	Sin carenado delantero y protección de rueda trasera
Ancho total	140 cm máximo
Altura	Máximo 65 cm desde el suelo
	Asiento excluido

Fuente: (Technical Regulations CIK-FIA, 2022).

Realizado por: Lirio A. y Torres M., 2023

2.5. Fibra de carbono.

La fibra de carbono se encuentra en la lista de materiales que se forman de dos o más compuestos, estos pueden ser de carácter natural o sintético perteneciendo así a los materiales composites. Por lo general estos materiales se componen de dos elementos, el primer elemento es la fibra en este caso de carbono y el segundo es la matriz que vienen a ser las resinas, la fibra es la que da rigidez y dureza al material mientras que la matriz se encarga de distribuir las cargas por toda la fibra dando, así como resultado un elemento con características superiores a los materiales que poseen un solo compuesto. Alrededor del mundo el 90 % de fibra de carbono que se elabora a partir de un polímero especial de nombre poliacrilonitrilo denominado PAN o precursor, para la obtención de este material el polímero es sometido a altas temperaturas para eliminar toda molécula no carbónica, la temperatura sometida ronda los 980 °C. (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

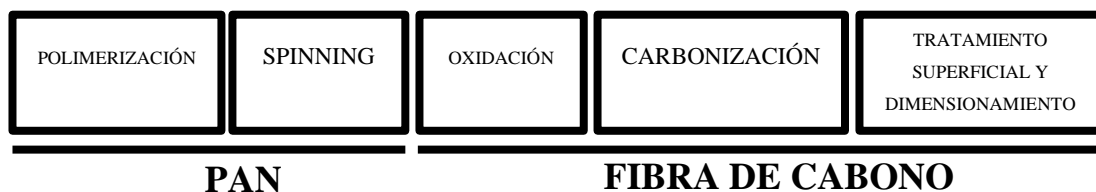


Ilustración 2-13: Esquema de obtención de fibra de carbono.

Fuente: (Sáenz, 2021, p. 3).

Precursor o PAN: para adentrarse más a lo que es la fibra de carbono debemos conocer los polímeros, es un elemento molecular que se forma mediante aros o cadenas de monómeros, propileno (Sáenz, 2021). Para que el monómero se convierta en polímero debe seguir un proceso de dos fases la primera la polimerización la segunda el spinning. (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

Polimerización: es básicamente la formación de cadenas de polímeros, para su obtención se procede a combinar el monómero con acrílicos plastificados y un catalizador mediante un proceso de agitación continua de modo que se integren de manera correcta los productos asegurado así consistencia y pureza del polímero. Y se obtiene acrilonitrilo en polvo que antes de pasar a la siguiente fase del proceso se disuelve en solvente para obtener una mezcla viscosa que es el PAN (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

Spinning: en esta fase del proceso de obtención de fibra de carbono lo que se hace es sumergir la mezcla viscosa en un coagulante y este es filtrado a través agujeros de un hilador, a continuación, se obtiene fibra en estado gelatinoso de consistencia frágil que va a ser lavada secada y estirada. La forma externa y el tamaño del filamento se determinan de acuerdo con la cantidad de coagulante disolvente usado en la mezcla, además de la tensión aplicada y que porcentaje este filamento haya sido alargado en el momento de ser lavado secado y estirado (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

Fibra de carbono: hasta el momento sabemos cómo se obtiene el PAN, y para obtener fibra de carbono como tal el precursor debe ser sometido en tres fases: oxidación, carbonización y por último el tratamiento superficial y el dimensionamiento (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

En la oxidación lo que se hace es que el pan es sometido a altas temperaturas en varios hornos con el fin de aumentar la densidad $\approx 1,18\text{g/cc}$ hasta máximo $1,38\text{g/cc}$. Para conseguir este aumento el Pan, esto se lo hace mezcla con el PAN con moléculas de oxígeno. Este proceso se lo realiza entre los 200 y $300\text{ }^\circ\text{C}$ y se obtiene un PAN con un 5% y 65% de fibra de carbono el resto ese compuesto por Hidrogeno nitrógeno oxígeno. En cuanto a la carbonización el pan es sometido en una serie de hornos en condiciones de atmosfera inerte, sin oxígeno. Para este proceso la temperatura inicial ronda los 700 y $800\text{ }^\circ\text{C}$ y termina entre 1200 y $1500\text{ }^\circ\text{C}$. La cristalización da como resultado de que el de fibra con más de 90% de carbono. Con las temperaturas mencionadas anteriormente se logra obtener fibra con porcentajes de hasta 93 y 95% carbono. En la fase de carbonización se pierde gran cantidad de masa y volumen del polímero PAN debido a que se contrae entre un 5 y 10% de longitud y se disminuye el diámetro (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

La última fase correspondiente al tratamiento superficial y dimensionamiento busca obtener una mejor adhesión entre la fibra y la matriz, este proceso es crucial por lo que los fabricantes para conseguir una mejor unión entre los materiales usan sustancias químicas como el sodio hipoclorito o el ácido nítrico, estas sustancias permiten que la superficie sea más rugosa favoreciendo a la unión. El dimensionamiento es la capa protectora de la fibra para la manipulación en piezas, esta capa evita que haya nudos entre los filamentos, también ayuda a que haya mejor unión de los filamentos de la fibra. Una vez que el dimensionamiento está completamente seco se tiene el producto acabado y este puede ser comercializado (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

En las propiedades mecánicas de la fibra de carbono podemos encontrar las siguientes:

- Alta resistencia mecánica.
- Buena conductividad eléctrica.
- Baja conductividad térmica.
- Baja expansión térmica.
- Baja densidad.
- Material no corrosivo.
- Alta flexibilidad.
- Bajo alargamiento a la rotura 1.80%

Propiedades físicas:

- Densidad de 1.79 g/cm^3
- Conductor eléctrico y tiene baja conductividad térmica
- Brillo Superficial (según el proceso de manufactura)
- Esfuerzo de tracción de 4440 MPa

Propiedades químicas:

- Gran resistencia a la corrosión
- Dilatación térmica nulo
- Resistencia a altas temperaturas, por lo que conserva su forma (a elevadas temperaturas de $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ – $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ presenta un aumento en sus prestaciones)

Pese a tener características ideales para diferentes aplicaciones, es bien sabido que su costo es elevado, debido a al proceso de fabricación sofisticado que se necesita, tanto para producir la tela o a su vez piezas de fibra de carbono. En el mercado podemos encontrar diferentes fibras de

carbono esto varia en lo que es el Módulo de Elasticidad (E) y podemos encontrar desde 220,5 kN/m² hasta 965 kN/m² (Sáenz, 2021, pp. 3-7).

Tabla 2-2: Propiedades mecánicas de materiales usados en la industria.

		Resistencia a tracción (MPa)	Modulo elasticidad E (GPa)
Fibra de carbono	Baja	2000-4000	200-350
	Alta		350-450
	Ultra		>450
Acero		200-300	210
Hormigón		1-4	20-50
Aluminio	Blando	50-90	70
	Duro	130-195	
Madera (CLT, Sebastía)		10	11

Fuente: (Sáenz, 2021).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

2.5.1. *Tela de fibra de Carbono*

Las telas de fibra de carbono también se la conocen como armadura y esto se debe la configuración de la distribución de los hilos, podemos encontrar diferentes tipos de telas entre ellos:

Tejido plano, en esta configuración el hilo pasa por encima y por debajo de manera que brinda buena estabilidad y su deformación es mínima lo que permite que la resina penetre correctamente (Criollo y Paredes, 2019, pp. 20-22).

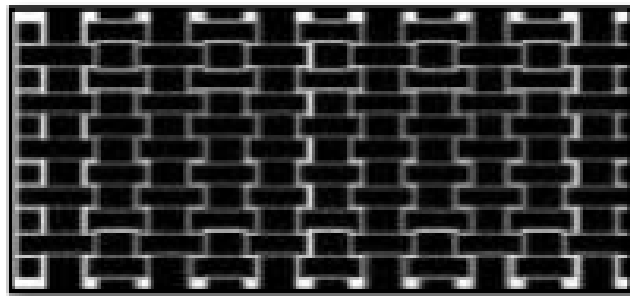


Ilustración 2-14: Tejido plano.

Fuente: (Criollo y Paredes, 2019, p. 20)

Sarga, la característica principal es que su configuración es que el tejido es diagonal y esto se debe a que el hilo es entrecruzado por encima y por debajo pero su inconveniente es que no es muy estable (Criollo y Paredes, 2019).



Ilustración 2-15: Tejido sarga.
Fuente: (Criollo y Paredes, 2019, p. 21).

Tejido raso, en este caso la configuración del tejido es que los hilos no tienen ningún rozamiento entre ellos por lo que posee alto índice de deformación, a pesar de esto es muy resistente y flexible (Criollo y Paredes, 2019).

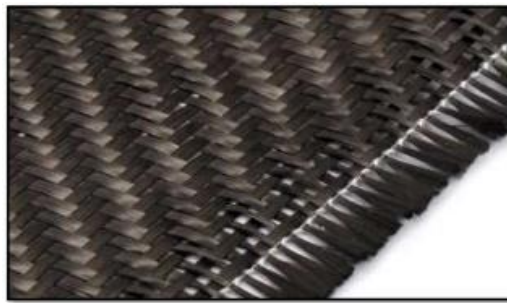


Ilustración 2-16: Tejido raso.
Fuente: (Criollo y Paredes, 2019, p.21).

Tejido unidireccional, esta configuración se la puede encontrar en cualquiera de las anteriores armaduras mencionadas, pero la característica principal es que la cantidad de hilo en una dirección es mayor que en la otra, pero la desventaja de esta configuración es que posee mayor resistencia en una sola dirección (Criollo y Paredes, 2019).

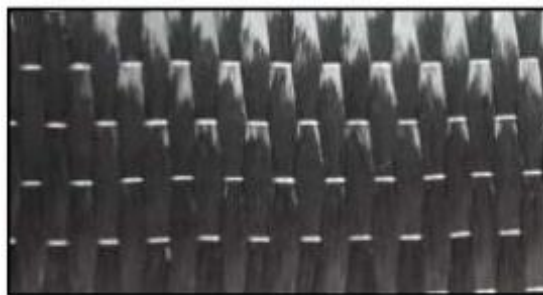


Ilustración 2-17: Tejido unidireccional.
Fuente: (Criollo y Paredes, 2019, p. 22).

2.6. Resina Epoxi.

La resina epoxi es un elemento esencial al momento de utilizar fibra de carbono, este elemento a temperaturas elevadas aproximadamente a 180°C posee un alto desempeño. La resina epoxi posee unas características muy particulares en las que podemos encontrar que es resistente a ataques de corrosión y agentes químicos (Criollo y Paredes, 2019, p. 23).

Este tipo de resina es termo endurecible poseen dos o varias moléculas epoxídicas, diglicidilester del bisfenol A es uno es la más usada en la resina epoxi. La resina epoxi se presenta en forma líquida más o menos viscosa y cuando se encuentra en estado sólido este se endurece y se vuelve infusible. Las resinas epoxi son asociadas directamente con las fibras de carbono debido a la resistencia y rigidez que estos poseen (Faus y Marquina, 2013. Pp. 35-36).

Una resina epoxi es un polímero termoestable se mezcla con un catalizador y esta se endurece, existen cuatro usos estructurales de la resina epoxi, la primera es para uniones, adhesivos y recubrimientos; la segunda “polvos” que permite la modelación y la instrumentación; la tercera para pavimentos y fondos y la cuarta para plásticos reforzados. Las resinas epoxi se derivan del petróleo y estas se pueden clasificar en:

- La resina epoxi a base de bisfenol A (DGEBA), es la más usada y se prepara por condensación de epíclorhidina con bisfenol A.
- Resina epoxi a base de dianilina tetraglicidil metileno (TGMDA), es usada para aplicaciones de alta tecnología, esta posee un alto módulo de Young y resiste a altas temperaturas esto debido a la alta densidad de entrecruzamiento, pero esto trae una gran ventaja y es que la deformación a ruptura es baja y también la compresión después de un impacto de igual manera es baja.
- Resina Novolac, esta resina tiene como principal característica es que necesita mayor densidad de entrecruzamiento que la TGMDA para su curación.
- Resinas epoxi a base de bisfenol F es muy parecida a la Bisfenol A, esta resina presenta menor viscosidad en torno a 2000-4000 cps y además necesitan menor cantidad de diluyente epoxi alifático en las formulaciones de baja viscosidad (Juarez, 2012, p. 8).

Las resinas epóxica por lo general emplean dos elementos, el primero es en esencia la propia resina, llamado también componente A, en cuanto al segundo, se trata de un agente activador, llamado componente, siendo así que, estos dos deben ser mezclados en proporciones específicas para poder ser usados adecuadamente, ya que así el activador reaccionará con la resina haciendo que esta pueda endurecerse, brindando propiedades mecánicas características de este producto.

Este proceso dependerá del ambiente en que se lo realice y del tipo de resina y activador que se empleen, ya que, algunos de estos productos pueden curarse fácilmente a temperatura ambiente, alrededor de 20 °C, mientras que otros necesitan un tratamiento especial, ya sea que se necesiten curarse al vacío o a su vez bajo temperaturas elevadas haciendo uso de hornos industriales.

Algunos de estos productos están enfocados a actividades de bricolaje y por supuesto en reparaciones y manufactura de partes de todo tipo, usándose principalmente con fibras como la de vidrio o en su caso la fibra de carbono.

Tabla 2-3: Propiedades mecánicas de la resina endurecida con activador de poliamida.

Resistencia a la tracción.	80	MPa
Alargamiento hasta la rotura.	7	%
Módulo de elasticidad durante alargamiento.	3400	MPa
Resistencia a la flexión.	130	MPa
Módulo de elasticidad durante la flexión.	3400	MPa
Compresión.	110	MPa
Resistencia a martilleo.	30÷40	kJ/m ²
Resistencia térmica.	64	°C

Fuente: (SEA LINE 2012).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El uso de resina epoxi en la industria es alta y más cuando se trata de juntarla con fibra de carbono, esto porque al trabajar conjuntamente estos dos elementos se pueden conseguir partes sumamente resistentes, de bajo peso y versátiles, además que, la resina epoxi es uno de los pocos materiales capaces de adherirse a la superficie de la fibra de carbono (Plastic Materials Inc, 2022, p. 1).

Trabajar con estos compuestos químicos supone tener las distintas medidas de seguridad y prevención para evitar problemas con su aplicación, la (Superintendencia de Riesgos del Trabajo, 2017, p. 2) indica que los riesgos derivados de la utilización de la resina epoxi en sus diferentes fases de manipulación, mezclado y aplicación son:

Vía respiratoria por exposición a:

- Emanaciones que se producen en las fases operativas.
- Vapores desprendidos por los disolventes orgánicos en la fase de aplicación.
- Polvo generado al manipular y lijar.
- Polvo y partículas procedentes de las operaciones de limpieza.
- Resina sin curar.

Vía dérmica por contacto de la piel:

- Con el componente denominado base (resina).
- Con el componente denominado endurecedor (catalizador o acelerante).
- Disolventes empleados en la limpieza de los útiles y herramientas.
- Salpicaduras y proyecciones en las fases operativas.
- Resina sin curar.

Vía ocular por exposición a:

- Algunos de los componentes del endurecedor /catalizador.
- Salpicaduras en las fases operativas.
- Proyecciones en las operaciones de limpieza y lijado.

Vía digestiva por exposición a:

- Productos tóxicos, irritantes o corrosivos por manipulación inadecuada de los productos.

2.7. Manufactura aditiva.

La manufactura aditiva como su nombre lo indica, refiere a los procesos por los cuales se fabrican elementos adicionando material, al contrario de la manufactura por sustractiva que requiere de quitar material para obtener la forma deseada. La manufactura aditiva incluye tecnologías como la impresión 3D y la sinterización láser.

De entrada, cabe señalar que la fabricación aditiva no es única tecnología, sino más bien un conjunto de procesos de producción significativamente diferentes, que tienen tres cosas en común:

- Estos son procesos de fabricación que agregan materias primas para hacer sólidos tridimensionales.

- Los objetos se construyen aplicando capas sucesivas de material.
- Objetos creados a partir de modelos 3D digitales (Erasmus, 2017).

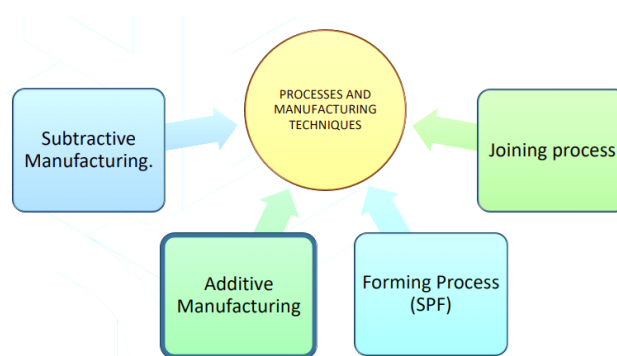


Ilustración 2-18: Técnicas y procesos de fabricación.
Fuente: (Erasmus, 2017, p. 5)

2.7.1. Impresión 3D.

La impresión 3D es una forma de manufactura aditiva que crea objetos tridimensionales mediante la adición de material capa por capa, bajo control de una computadora. La impresión 3D se utiliza en una amplia variedad de industrias, incluyendo la fabricación de productos, la prototipificación rápida, la producción de piezas de repuesto, la joyería, la arquitectura y la medicina.

En la impresión 3D, se utiliza un material, comúnmente plástico, que se deposita en capas muy finas hasta crear un objeto tridimensional completo. La tecnología se basa en modelos digitales creados por computadora, que se utilizan para controlar la adición de material y lograr la forma deseada. La impresión 3D es una forma rápida y eficiente de producir objetos complejos, y puede ser una alternativa más económica a la fabricación tradicional (Erasmus, 2017, pp. 5-9).

Este proceso funciona teniendo como base un modelo computarizado en 3D que se puede realizar con cualquier software CAD, a partir de ahí es necesario guardar la pieza en un formato reconocible para la impresora 3D, estos pueden ser: STL, OBJ, PLY o FBX. Con eso listo, se puede trabajar dentro del software de impresión, para ubicar correctamente el modelo, asignar soportes y configurar aspectos de la impresora como lo es la temperatura de impresión y la temperatura de la cama o base de la impresora.

A partir de ahí, solo es llevar ese archivo a la impresora y seleccionarlo para que comience el proceso de impresión, que durará dependiendo de las configuraciones realizadas, la cantidad de soportes y el filamento que se esté usando para la impresión.

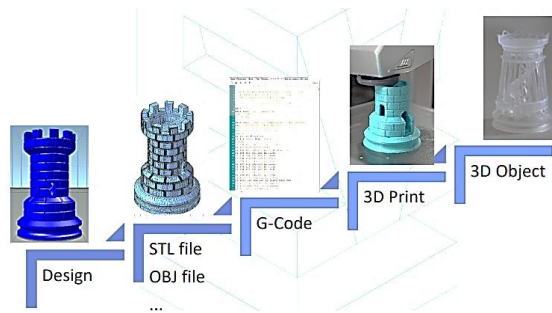


Ilustración 2-19: Proceso de impresión 3D.
Fuente: (Erasmus, 2017, p. 6).

2.7.2. Modelado por deposición fundida (FDM).

El modelado por deposición, también conocido como Fused Deposition Modeling o FDM, es una técnica de impresión 3D que crea objetos por deposición controlada de material termoplástico fundido. En esta técnica, un material termoplástico se alimenta a través de un extrusor calentado que deposita el material en capas sucesivas, siguiendo un camino controlado por una computadora, formando capas que se solidifican y se fusionan para crear un objeto tridimensional completo. El modelado por deposición es una de las técnicas de impresión 3D más populares y accesibles (Erasmus, 2017, pp. 5-9).

Existen muchos materiales dentro de la industria que sirven para la impresión 3D y que su uso depende de la finalidad de la impresión, entre los más usados se pueden encontrar filamentos como el ABS (Acrilonitrilo Butadieno Estireno), el PLA (Ácido Poliláctico), el Nylon (Poliamida) y el TPU (Poliuretano Termoplástico). Cada uno de estos filamentos poseen características que los hacen útiles para ciertas aplicaciones, como la fabricación de prótesis o simplemente para objetos como figuritas decorativas, además cada uno de ellos es más o menos fácil de imprimir, siendo de los más sencillos el PLA y más complejo el TPU.

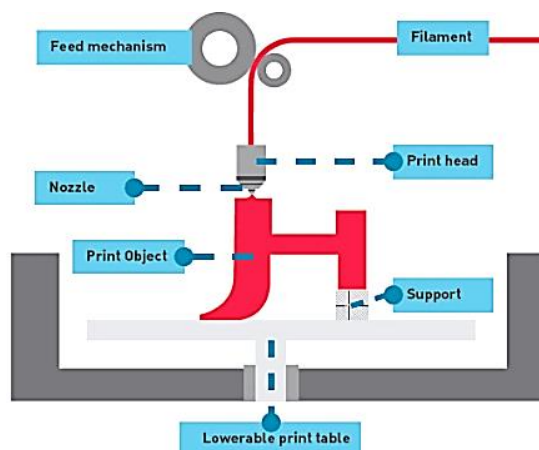


Ilustración 2-20: Proceso FDM.
Fuente:(Erasmus 2017, p. 7).

2.7.3. Proceso de producción de impresión 3D.

Es necesario seguir una serie de pasos para llevar a cabo correctamente el proceso de impresión, como tal se plantean como sugerencias, ya que muchos de estos pueden variar dependiendo de factores como el material a usarse para la impresión, pero de manera general se muestran los pasos en la Ilustración 2-21.

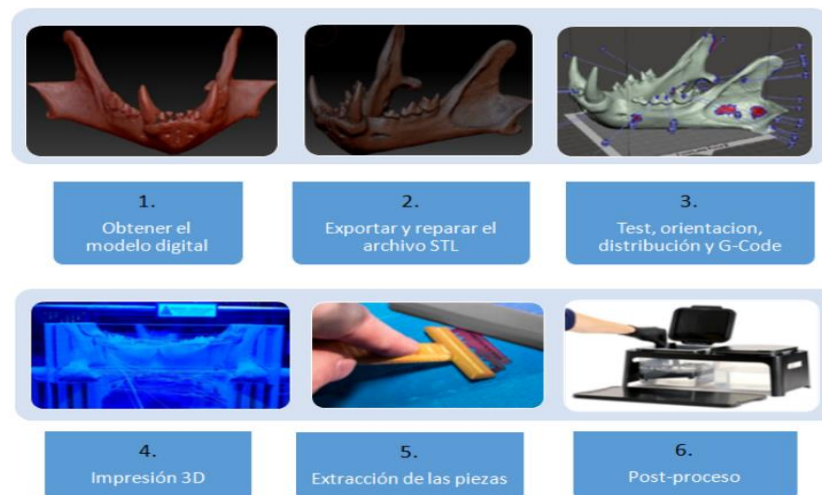


Ilustración 2-21: Procesos para la impresión 3D.

Fuente: (Erasmus 2017, p. 9).

Entonces se clarifican los siguientes procesos:

1. Obtener el modelo digital: refiere a la modelación 3D de la pieza o elemento en software CAD.
2. Exportar y reparar el archivo STL: guardar el archivo en formato de impresión 3D (.stl) y revisar que abra correctamente y si hay que modificarlo, realizar los cambios pertinentes.
3. Test, orientación, distribución y G-Code: dentro del programa de impresión 3D se debe acomodar y orientar el modelo para evitar el uso de muchos soportes y que la impresión se realice correctamente, además de realizar una simulación de impresión en el propio software para obtener el código de impresión, visualizar si existen problemas y solucionarlos, así como informarse de cuánto tiempo durará la impresión y la cantidad estimada de filamento a usarse.
4. Impresión 3D: cargar el archivo de impresión en la impresora 3D y configurar los parámetros necesarios y empezar la impresión.

5. Extracción de la pieza: retirar cuidadosamente la pieza de la cama o base de la impresora con la ayuda de una espátula.
6. Post procesado: una vez finalizada la impresión, la pieza puede ser trabajada para quitar los soportes y tratada con varios agentes como alcohol isopropílico o someterse a luz ultravioleta para mejorar su aspecto y acabado visual.

2.8. Procesos de fabricación de los tubos de fibra de carbono.

Los tubos de fibra de carbono son ampliamente usados en la industria automotriz, siendo aplicados en los sistemas de admisión y también como eje cardán en vehículos de alto desempeño, por lo que su fabricación y procesos de manufactura es un factor importante, porque lo cierto es que dependiendo de su aplicación incidirá en el proceso para fabricarlos, ya que la resistencia y costos varían de uno a otro.

2.8.1. Tubos por envoltura de rollo (Roll Wrapping).

Este método consiste en cortar secciones de tela de fibra de carbono, acorde a las medidas requeridas, y por medio de un tubo, de diámetro externo establecido que definirá el diámetro interno del tubo de fibra de carbono, enrollar la tela sobre el tubo aplicando capas de resina epóxica, además de ir generando presión entre la tela y el tubo guía con la finalidad de que las capas queden lo más compactas posibles (Libeert, 2022).



Ilustración 2-22: Envoltura de rollo.

Fuente: (Libeert, 2022).

Al finalizar el enrollado se necesita cubrir todo el tubo con una capa de cinta plástica para conserva la presión de las capas durante el curado y secado de la resina epóxica. Posteriormente se lleva a un horno a 120 °C durante dos horas, esto hace que la cinta aplique más presión hacia el tubo por causa del calor del horno de curado (Libeert, 2022).



Ilustración 2-23: Curado del tubo.

Fuente: (Libeert, 2022).

Al terminar el curado, se retira la cinta y se saca el tubo guía de la pieza, una vez retirado se debe recortar los extremos del tubo de fibra de carbono en el caso de que estos hayan quedado irregulares, con la finalidad de presentar las capas de manera pareja y estética.

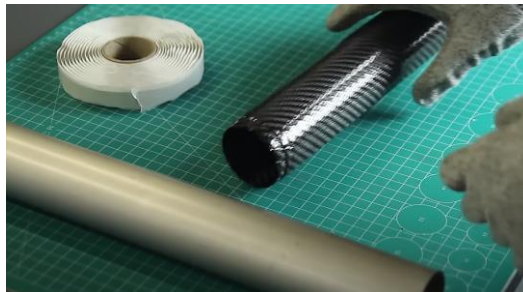


Ilustración 2-24: Tubo terminado.

Fuente: (Libeert, 2022).

2.8.2. Tubos por fibra de carbono trenzada (Braided Carbon Fiber).

Se trata de un tejido de fibra de carbono circular, como si fuese la manga de una camiseta, esto permite variar el diámetro de los tubos dependiendo de si se alarga o se retrae el tejido y de los grados de los hilos de la tela. En este caso se recortan segmentos de la longitud deseada y se introduce en un tubo guía, acomodando las fibras para coincidir con el diámetro del tubo guía (Libeert, 2022).



Ilustración 2-25: Fibra de carbono trenzada.

Fuente: (Libeert, 2022).

Se coloca el tubo sobre soportes giratorios y se aplican las capas de resina sobre toda la superficie de la fibra de carbono, se retira el tubo guía de los soportes para introducir la otra capa de fibra de carbono trenzada y se repite el proceso de la resina epóxica, para finalizar se envuelve el tubo con cinta, se hace girar el tubo por medio de los soportes y con una pistola de calor se aumenta la temperatura en la superficie del tubo para curarlo y dejarlo secar (Libeert, 2022).



Ilustración 2-26: Aplicación de resina y curado del tubo.

Fuente: (Libeert, 2022).

Al finalizar el curado y secado, se retira la cinta y se recortan los extremos del tubo en caso de imperfecciones.

2.8.3. Tubos de molde dividido (*Split Mould Tube*).

En este caso se deben diseñar y fabricar el molde de los tubos, mismo que se compone de dos partes, una inferior y superior, que se unirán entre sí por pernos o cualquier otro método que permita su sujeción fija (Libeert, 2022).



Ilustración 2-27: Moldes divididos.

Fuente: (Libeert, 2022).

Con los moldes listos, se prepara la superficie de los mismos y se coloca los segmentos de tela de fibra de carbono en cada uno de los moldes conjunto con resina epóxica. Con esto hecho, se preparan ambos moldes para ser sometidos a vacío (Libeert, 2022).



Ilustración 2-28: Aplicación de las capas de fibra de carbono y curado al vacío.

Fuente: (Libeert, 2022).

Terminado el proceso de vacío, se adecúan los moldes para ser unidos, para ello, se coloca una bolsa de vacío en la parte interna de los moldes y se juntan entre sí, asegurándose con pernos y tuercas, posterior a esto se introduce todo el conjunto en una bolsa de vacío y se extrae todo el aire del interior con una bomba, esto hará que la bolsa que se encuentra en el interior del molde presione las paredes internas del tubo y se cohesionen adecuadamente. Es necesario introducir la pieza en el horno de curado, primero cinco horas a 70 °C, después dos horas a 120 °C y dejarlo enfriar a temperatura ambiente (Libeert, 2022).



Ilustración 2-29: Aplicación de las capas de fibra de carbono y curado al vacío.

Fuente: (Libeert, 2022).

Al finalizar el proceso de vacío y curado, se retiran los pernos y tuercas y las partes del molde, dejando a la vista el tubo ya terminado.

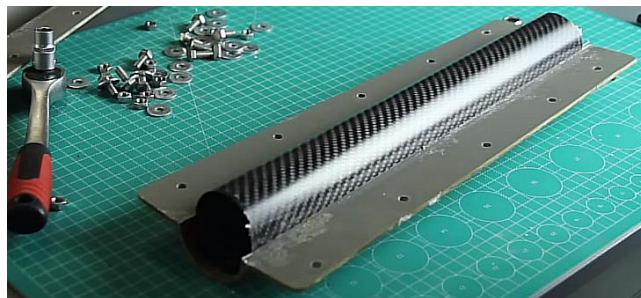


Ilustración 2-30: Molde retirado.

Fuente: (Libeert, 2022).

2.8.4. *Tubos por devanado de filamentos (Filament Winding).*

Este proceso requiere de equipamiento profesional y avanzado, pues consiste en un tubo guía anclado a soportes que lo hacen girar y de una máquina devanadora o tejedora que se desplaza en dirección longitudinal al tubo y deposita filamentos de fibra de carbono, que pasan por un depósito de resina epóxica cubriéndose de ella, en la superficie del tubo guía (Libeert, 2022).



Ilustración 2-31: Máquina devanadora.

Fuente: (Libeert, 2022).

Se enrolla manualmente el hilo al inicio del tubo guía y se configura la máquina con los límites para el tejido, a partir de ahí se genera el entramado del tubo de fibra de carbono por medio del movimiento automatizado de la devanadora y de la rotación del tubo guía (Libeert, 2022).



Ilustración 2-32: Tejido de la máquina devanadora.

Fuente: (Libeert, 2022).

Como el proceso es automatizado, lo único a tener en cuenta son que las condiciones de trabajo establecidas no se vean alteradas, que el depósito de resina no se vacíe y retirar el exceso que se

queda en el tubo guía. Cuando la programación haya terminado, se obtendrá un tubo de fibra de carbono tejido a través de filamentos (Libeert, 2022).

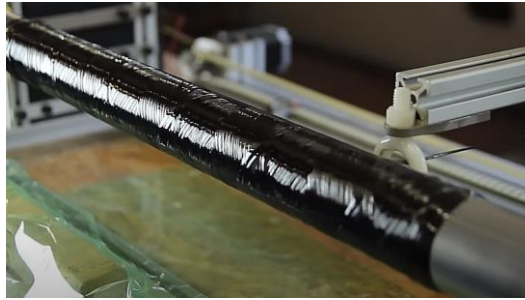


Ilustración 2-33: Tubo tejido.

Fuente: (Libeert, 2022).

Al finalizar se envuelve el tubo en cinta para aplicar presión y se aumenta la temperatura de la superficie del mismo con una pistola de calor y se deja curar y secar a temperatura ambiente para posterior retirar la cinta y el tubo guía (Libeert, 2022).



Ilustración 2-34: Tubo tejido.

Fuente: (Libeert, 2022).

CAPÍTULO III.

3. MARCO METODOLÓGICO.

3.1. Diagrama de flujo.

La siguiente ilustración permite enforzar el camino que se siguió durante la realización del presente proyecto técnico, abarcando partes importantes como el planteamiento del problema de investigación, la revisión bibliográfica, la metodología de investigación, la fase de diseño y la construcción del prototipo en cuestión.

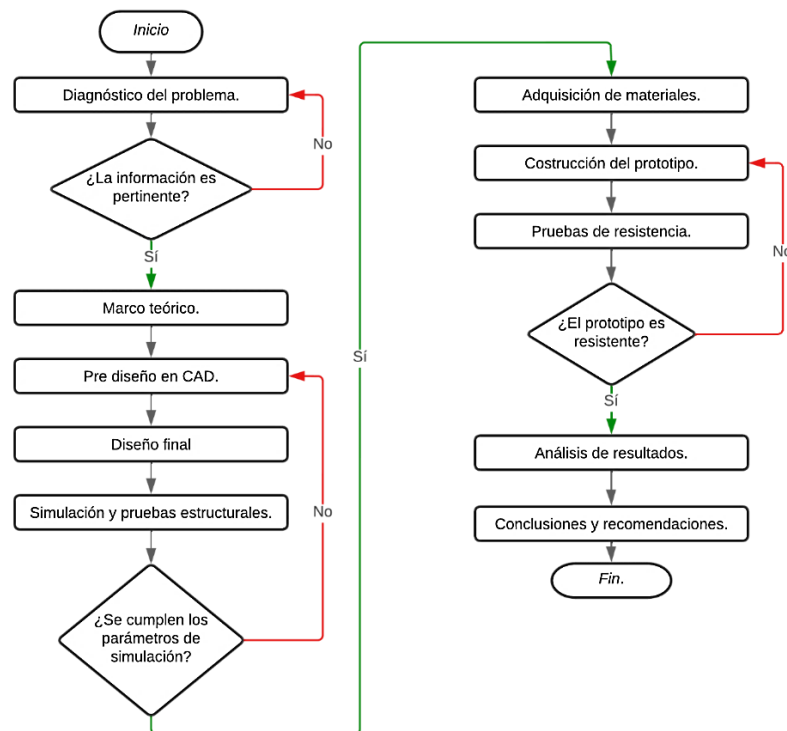


Ilustración 3-1: Diagrama de flujo del proyecto.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.2. Alcance.

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo la construcción de un chasis de kart bajo normativa internacional (CIK-FIA), el alcance del proyecto estuvo basado únicamente en los parámetros de dimensionamiento estructural que se describe en la normativa (CIK-FIA) para los aspectos de diseño y construcción del prototipo. Los demás requerimientos obligatorios (tipo de material; aspectos constructivos ej. uniones, curvaturas) de la normativa no estaban

contemplados en el presente proyecto técnico, además las pruebas y ensayos destructivos se realizó en el material de las uniones que comprende un núcleo de TPU-95A forrado por capas de fibra de carbono y resina epóxica.

3.3. Procesos principales.

El presente proyecto basó su estructura en la aplicación de conocimientos teórico-prácticos pertinentes a la carrera de Ingeniería Automotriz, que contribuyen a las fases de diseño y construcción de elementos estructurales y prototipos de vehículos, siendo el enfoque principal de este trabajo diseñar y construir un chasis de kart bajo normativa internacional.

En dependencia de las normas que dicta el ente y los materiales propuestos para el diseño y construcción del prototipo, se decidió los pasos y actividades necesarias a realizadas para lograr el cometido final, siendo que este cumpla con las normas y especificaciones requeridas para su posterior uso.

Las actividades metodológicas que rigen el proyecto de acuerdo con los objetivos planteados en el Capítulo I son:

- Estudio de los componentes principales del chasis de un kart, que permita conocer de mejor manera como es la estructuración del chasis para facilitar la fase de diseño y construcción.
- Diseñar el chasis de kart mediante software CAD, haciendo uso de la norma internacional que impone la CIK-FIA para la construcción de chasis homologados para competición, que permita modelar en 3D las principales partes estructurales de dicho chasis, así como optimizar su diseño y a su vez modelar las uniones de la estructura.
- Para poder validar el diseño del chasis, se requiere realizar estudios simulados que representen cargas y fuerzas que soportará el bastidor, así como ensayos que permitan verificar la resistencia del prototipo a impactos y esfuerzos en el marco de un factor de seguridad óptimo.
- Con la selección y adquisición del material se procederá a realizar pruebas destructivas, que permitan analizar el comportamiento real de los componentes estructurales sometidos a cargas específicas, de tal manera poder justificar su elección en base a sus propiedades mecánicas.

- La construcción del prototipo de chasis para kart permitirá el desarrollo de un proceso de manufactura específico para llevar a cabo la estructuración de los elementos, haciendo uso de materiales alternativos como fibra de carbono, resinas epoxi, uniones elaboradas por impresión 3D e implementando procesos de sellado al vacío mediante equipos específicos para el trabajo mencionado.

En lo que respecta, el proyecto técnico siguió los lineamientos de un modelo deductivo, que basa sus principios en el estudio general de las cosas para así llegar a un punto específico. De esta manera, se empezó realizando un estudio teórico de los principios básicos referentes a los chasis, además de la revisión de las normativas vigentes en cuanto al diseño y construcción de un chasis de kart.

El diseño del chasis del kart se fundamentó en lo analizado previamente, de tal manera que su estructuración esté dentro de los estándares requeridos, siendo posible realizar las simulaciones estructurales requeridas que se vio finalizado al completar la construcción del chasis y que este se presentó como una solución en cuanto a construcción de un prototipo de chasis de kart en fibra de carbono.

3.4. Enfoque de investigación.

Este proyecto técnico manejó un enfoque cuantitativo, ya que sea hace uso de normativas que establecen los parámetros de construcción y dimensionamiento del chasis, además de efectuar pruebas, tanto en un marco virtual (simulaciones estructurales) como real (pruebas destructivas) que permitió cuantificar que tan bueno fue el proceso de construcción, así como el prototipo final.

Tabla 3-1: Enfoques de la investigación.

	Enfoque Cuantitativo	Enfoque Cualitativo
Características	Mide fenómenos	Explora los fenómenos a profundidad
	Utiliza estadísticas	Se conduce básicamente en ambientes naturales
	Hace análisis de causa-efecto	No se fundamenta en la estadística
Proceso	Secuencial	Inductivo
	Deductivo	Recurrente
	Probatorio	Analiza múltiples realidades subjetivas
	Analiza la realidad objetiva	No tiene secuencia lineal
Bondades	Generalización de resultados	Profundidad de significados

	Control sobre fenómenos	Amplitud
	Precisión	Riqueza interpretativa
	Réplica	Contextualiza fenómenos
	Predicción	

Fuente: (Hernández, Fernández, Baptista, 2010)

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.5. Técnicas e instrumentos.

El presente proyecto técnico se usó técnicas e instrumentos que permiten llevar a cabo la fase de construcción de un prototipo de chasis de kart, empleando herramientas como software CAD para la fase de diseño y simulación del prototipo, de tal manera que se pudo validar su construcción.

Además del uso de normativas internacionales y técnicas de construcción alternativas al tratarse de materiales especiales que requieren otro tipo de tratamiento para lograr una calidad estructural pertinente, puesto que se omite completamente el uso de los procesos tradicionales de soldadura, siendo reemplazados por uniones sujetas al uso de resina epoxi u otras alternativas como uniones empernadas. Todo esto ligado al área de Ingeniería Automotriz, que, como carrera, ha impartido los conocimientos necesarios para encaminar este trabajo.

3.6. Desarrollo del proyecto.

3.6.1. Cronograma de actividades.

En dependencia del periodo académico se presentó un cronograma de actividades en el cual se ven reflejadas las actividades que se desarrollaron dentro del proyecto, a su vez este cronograma representó una pauta temporal que varió en dependencia de ciertos factores, como tiempos de espera de llegada de los materiales, tiempo de obtención de resultados de las pruebas destructivas, entre otras, que se escapan del control personal.

Tabla 3-2: Cronograma de actividades.

Cronograma de actividades																				
Actividad	sep-22				oct-22				nov-22				dic-22				ene-23			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Aprobación del trabajo de titulación		x																		
Bosquejo del chasis del Go kart eléctrico				x																
Investigación de distribuidores de fibra de carbono o tubos de fibra de carbono					x	x	x	x												
Recopilación de información bibliográfica						x														
Redacción del Capítulo I							x													
Investigación bibliográfica sobre normativa internacional de Go karts									x											
Investigación bibliográfica sobre fibra de carbono									x											
Recopilación de información bibliográfica										x										
Análisis de información y redacción Capítulo II											x									
Adquisición de tubos de fibra de Carbono												x								
Redacción del Capítulo III													x							
Diseño del chasis del Go kart mediante software CAE														x	x					
Designación de recurso humanos y materiales															x					
Análisis del comportamiento estructural mediante FEA																x				
Pruebas destructivas																x				
Construcción del chasis																x	x	x		
Análisis de Resultados																	x	x		
Redacción capítulo IV																			x	
Presentación del proyecto																				x

Realizado por: Lirio, A. y Torres M., 2023.

3.6.2. Recursos y materiales.

3.6.2.1. Presupuesto.

En la siguiente tabla se detalló los costos del proyecto aproximados que se obtuvo mediante cotizaciones realizadas.

Tabla 3-3: Costos del proyecto.

Costos Directos				
Materiales	Descripción	Cantidad	Precio (\$)	Total (\$)
Tubo de fibra de carbono	30x27x600 mm	12	30,98	371,76
	25x23x600 mm	1	33,98	33,98
	22x20x500 mm	2	29,98	59,96
Guantes de Nitrilo	1 caja	1	3,50	3,50
Resina Epóxica	1 kg	2	21	42
Alcohol Isopropílico	1 gal	1	17,50	17,50
Mascarilla	Mascarilla para filtro	2	50	100
Tela de fibra de carbono	Yardas	4	34,72	138,88
TPU	1 kg	2	30	60
Costos Indirectos				
Pago de aduana e importación		-	-	69,75
Transporte, envío, pruebas y otros.		-	-	307,23
Total				1204,56

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.2.2. Recurso humano.

Son las competencias que presenta cada parte involucrada en la realización de este proyecto, siendo los responsables de que los recursos destinados al proyecto sean empleados de la mejor manera para lograr el cometido final y que este cumpla con estándares técnicos y de calidad.

En este caso, se involucra como parte principal a los investigadores, el director de proyecto, así como su asesor, además de miembros externos que brindan asesoría en los aspectos teóricos y prácticos del desarrollo del proyecto.

Tabla 3-4: Descripción del talento humano.

Talento humano.	Cantidad.	Descripción.
Director del proyecto.	1	Proporcionar las bases teóricas y técnicas del proyecto, con relación a lo que se pretende obtener como resultado, así como solventar las dudas que se presenten en el desarrollo del proyecto. Revisar y dar seguimiento a los avances presentado por los investigadores.
Asesor del proyecto.	1	Brindar la asesoría correspondiente referente a conocimientos teóricos o prácticos durante el desarrollo del proyecto técnico.
Investigadores.	2	Desarrollar pertinentemente el proyecto de integración curricular, haciendo uso de los conocimientos teórico-prácticos adquiridos en la carrera de Ingeniería





		Automotriz cumpliendo con las normas establecidas por la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Asesor CAD.	1	Asesorar los avances y desarrollo de la fase de diseño y simulación del prototipo, apegándose a las normas y lineamientos a cumplir, compartiendo conocimientos técnicos aplicados a esta área.
Asesor de procesos de manufactura.	1	Contribuir con conocimientos prácticos sobre los procesos de manufactura adecuados para el caso.



Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.2.3. Equipos y materiales.

Para el presente proyecto se usó softwares CAD que permitieron el diseño y simulación del chasis, para lo cual se realizó bosquejos y se usó medidas de dimensionamiento descritas en la normativa (CIK-FIA). Para la construcción se hará uso de herramientas de corte y precisión que se describirá a continuación.

Tabla 3-5: Máquinas y herramientas.

Máquina/Herramienta	Uso	Ilustración
Flexómetro.	Medir longitudes de los miembros estructurales.	
Cortadora circular de banco.	Cortar y perfilar los miembros estructurales según medidas establecidas.	
Balanza.	Medir la proporción de peso de los componentes A y B de la resina epoxi.	
Bomba de vacío.	Generar vacío entre las capas de tela de fibra de carbono y las de resina epoxi.	

Guantes de nitrilo.	Protección para la piel de las manos.	
Embaces y brochas.	Embaces para verter la mezcla de resina y brochas para su aplicación en la estructura.	

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.3. Fase de desarrollo.

3.6.3.1. Prediseño.

Un primer bosquejo del prototipo de chasis proporcionó a tener una primera idea del resultado final que se pretende alcanzar, además dicho bosquejo dio paso a realizar cambios en el diseño que posteriormente fueron interpretados de mejor manera al momento de modelar el chasis dentro de los softwares pertinentes.

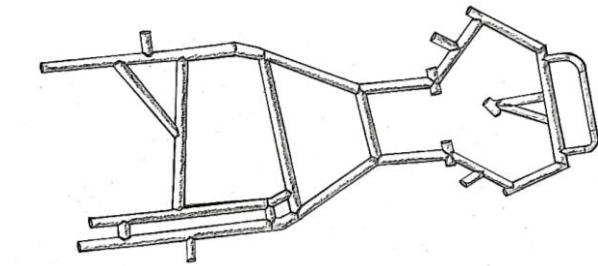


Ilustración 3-2: Bosquejo preliminar del chasis.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.3.2. Diseño en CAD.

Con las consideraciones preliminares establecidas se procedió a realizar la modelación en 3D del chasis mediante software CAD. La metodología principal para este proceso es hacer uso de líneas, referencias, relaciones entre líneas y las cotas respectivas, estructurando la base del diseño dentro de un croquis 3D. Al empezar el diseño es importante empezar trazando líneas constructivas, esto permitió tener referencias trazar las líneas principales del diseño.

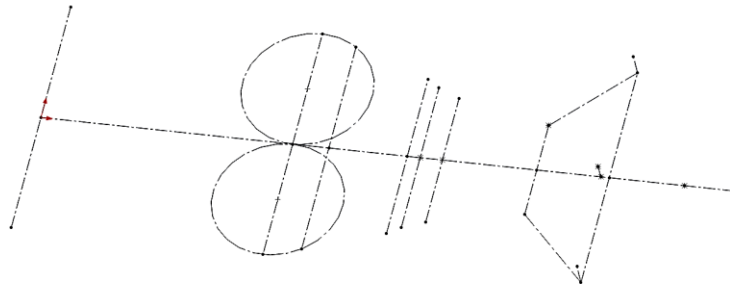


Ilustración 3-3: Croquis con geometrías constructivas de referencia.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Además, es relevante definir adecuadamente las cotas de las geometrías constructivas ya que en estas se basa el diseño al que se quiso llegar, mediante estas cotas es posible la modificación del diseño en caso de haber cambios.

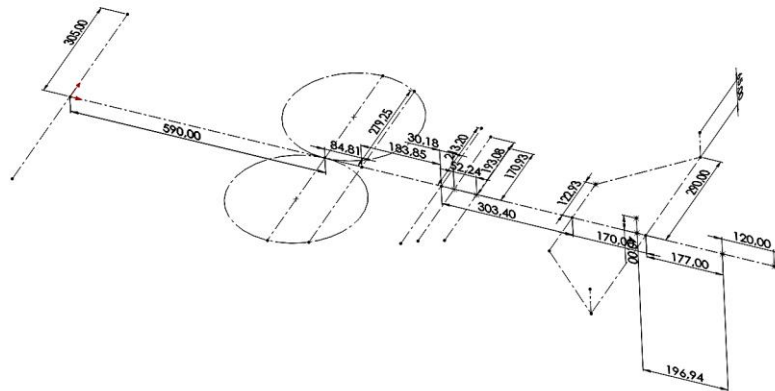


Ilustración 3-4: Geometrías constructivas acotadas.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

A partir de las geometrías constructivas se procedió a trazar las líneas principales, las cuales sirvieron de guía para la aplicación de los miembros estructurales que más adelante fueron insertados de acuerdo con las medidas establecidas por la norma.

De igual manera, definir correctamente el croquis es sustancial, ya que, de no ser así, las geometrías insertadas pueden entrar en conflicto y producir que el diseño no sea óptimo, lo cual afectará a los procesos siguientes dentro de la fase de diseño, simulación y construcción.

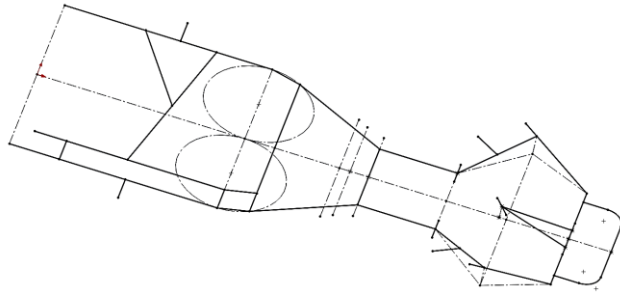


Ilustración 3-5: Croquis definido del chasis.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Con el croquis principal ya definido, se procedió a insertar los respectivos miembros estructurales, para ello, mediante la operación “Pieza Soldada” se seleccionó el tipo de perfil requerido.

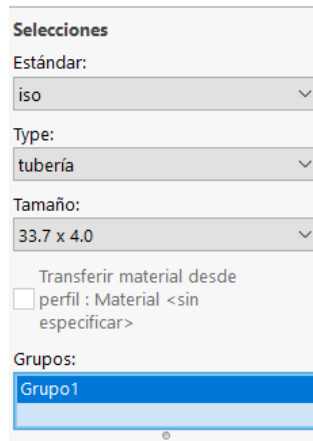


Ilustración 3-6: Selección del tipo de miembro estructural.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 202.

Además, se marcaron las líneas principales donde fueron colocados los miembros estructurales, de tal manera que en el croquis se previsualicen las operaciones que se estaban realizando. Al tratarse de un diseño en el cual se empleó miembros estructurales de distintos diámetros, es importante que se seleccionen adecuadamente las líneas pertinentes en grupos, así como generar una operación distinta cuando las dimensiones cambien según el diseño.

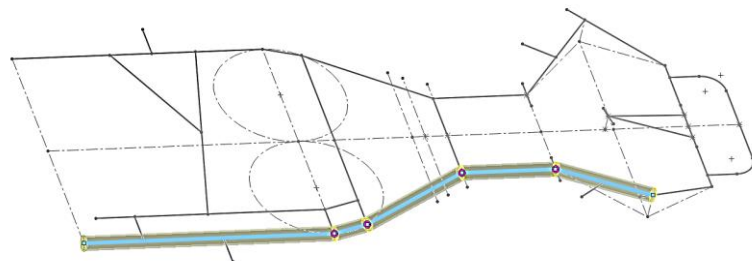


Ilustración 3-7: Selección de líneas y previsualización del miembro estructural.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

A partir de ahí, todas las geometrías trazadas deben contar con su respectivo miembro estructural.

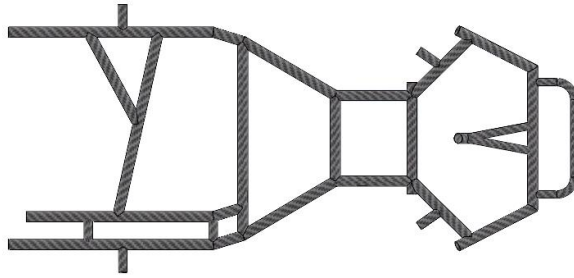


Ilustración 3-8: Miembros estructurales del chasis.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En muchos casos, la librería de miembros estructurales disponible en el software no cuenta con las medidas requeridas para la operación, por lo que es necesario modificar estas cotas manualmente si el caso lo amerita. Dadas las condiciones de diseño, fue necesario modificar los diámetros de las tuberías, para ello seleccionamos el miembro estructural con doble clic y modificamos los parámetros necesarios.

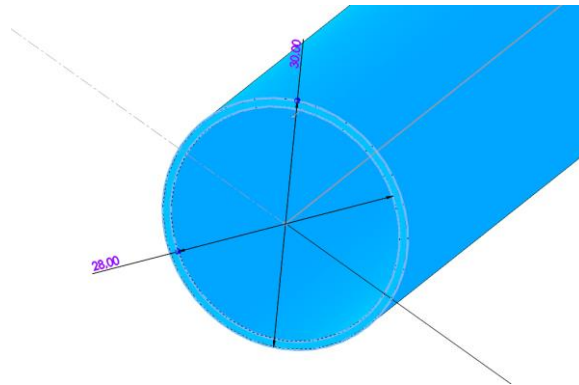


Ilustración 3-9: Ajuste de diámetros externos e internos de las tuberías.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Las conexiones o uniones que se generan entre los miembros estructurales necesitaron de un tratamiento para que estas uniones se acoplen adecuadamente y no queden partes expuestas o huecas.

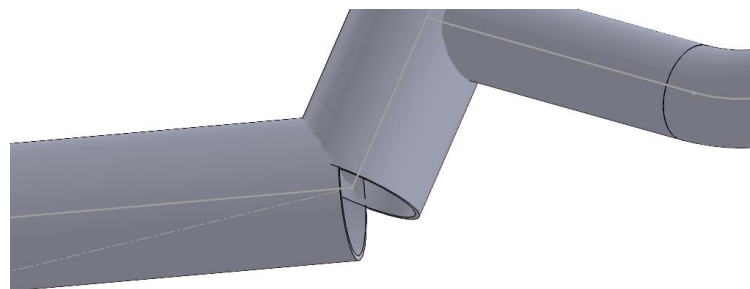


Ilustración 3-10: Uniones entre miembros estructurales sin tratamiento.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Como se observa en la Ilustración 10-3, la esquina formada por los dos miembros estructurales genera un espacio no deseado, por lo que debió ser corregido haciendo uso de herramientas de recorte que proporciona el software.

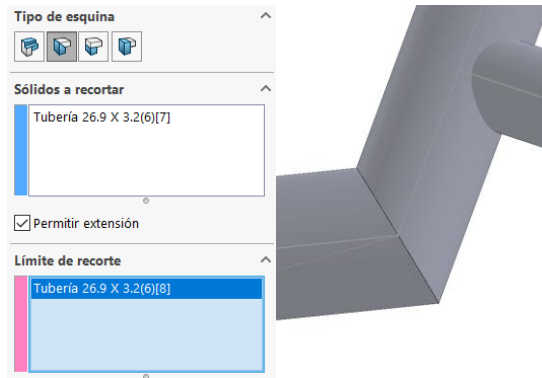


Ilustración 3-11: Tratamiento de esquinas miembros estructurales
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Este proceso se realizó en toda la estructura, garantizando que las esquinas y uniones estén correctamente conectadas. Las consideraciones del diseño implican que la estructura no pueda ser tratada como miembros estructurales de acero, por lo que, los procesos de soldadura no son aplicables en este proyecto, de tal manera, el tratamiento del prototipo comprende la realización de uniones que permitan la correcta conexión de los miembros estructurales de fibra de carbono. Considerando los ángulos que comprenden las uniones de los miembros estructurales de cada línea guía del croquis se procedió a diseñar cada una de las uniones pertinentes.

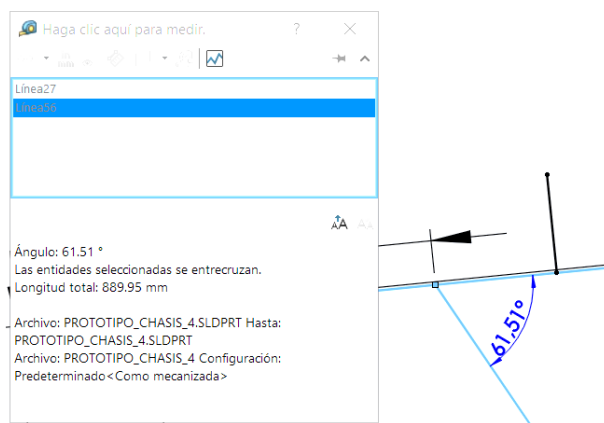


Ilustración 3-12: Ángulos de las uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Con la ayuda de la herramienta de medición o a su vez aplicando cotas parciales, se pudo visualizar los ángulos de las uniones y plasmar dichas dimensiones en un croquis nuevo.

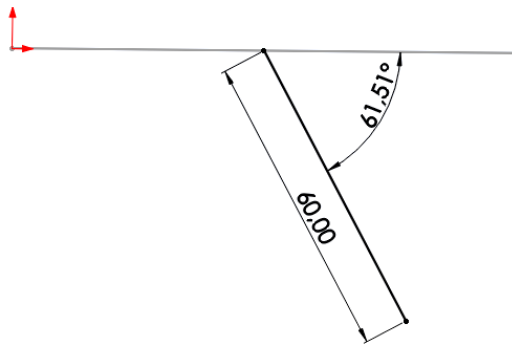


Ilustración 3-13: Croquizado de las uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El dimensionamiento en cuanto a la longitud de las uniones se realizó tomando en cuenta de que sea suficiente para que tenga buen contacto y agarre al tubo principal. En cuanto a los diámetros de las uniones, el interno es de 30 mm mientras que el externo de 40 mm considerando 5 mm de espesor, conformando la unión a partir de miembros estructurales, dado que estas fueron impresas en 3D y al ensamblar el prototipo fueron una sola estructura.

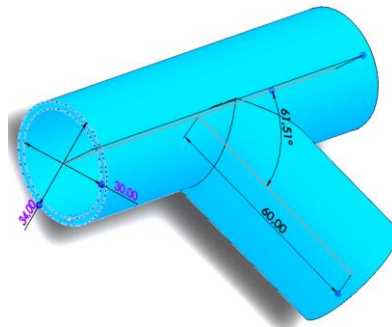


Ilustración 3-14: Diámetros interno y externo de la unión.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Si bien es cierto, el diseño del prototipo se realizó siguiendo consideraciones generales de una estructura metálica que puede ser soldada, pero dada la particularidad del presente proyecto, se analizó la estructura como un rompecabezas que debió ser armado con la ayuda de las uniones en impresión 3D, por lo que, la fase de diseño y modelación se tuvo que trabajar el prototipo como un ensamble, dado que bajo esa condición fue posible aplicar las uniones al modelo. Para ello, dentro de la lista de operaciones que mostró el software, se buscó “Lista de cortes”.

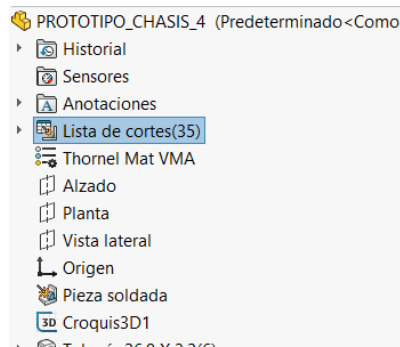


Ilustración 3-15: Lista de cortes en el menú de operaciones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En el menú que se desplegó se dio clic en “Guardar sólidos”.

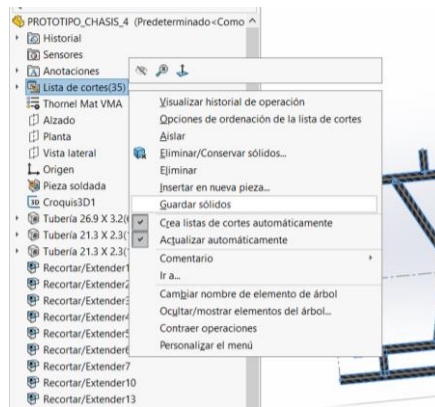


Ilustración 3-16: Opción “Guardar sólidos”.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Dentro de esta opción se seleccionó “Asignar nombres automáticamente”. Para finalizar se da clic sobre “Examinar” para definir la ruta donde se guardó el ensamble. Este proceso permitió guardar cada elemento estructural individualmente para ser usado dentro de un ensamblaje.

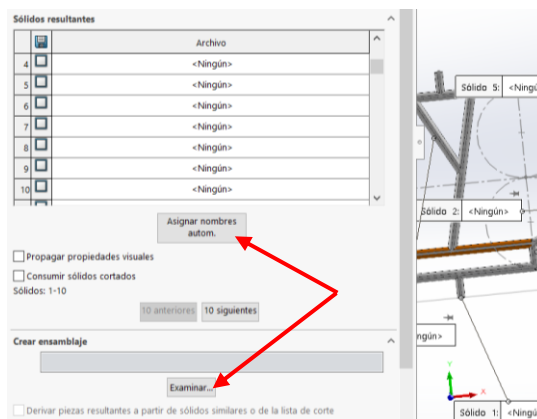


Ilustración 3-17: Selección de los sólidos y ruta de guardado.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Siguiendo estos pasos se pudo trabajar la estructura y las uniones como un solo conjunto, para posteriormente analizar pertinentemente el prototipo con unas consideraciones para pruebas y ensayos simulados acordes a la realidad de su construcción.

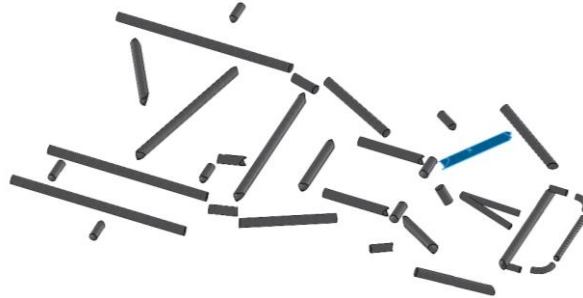


Ilustración 3-18: Miembros estructurales flotantes dentro del ensamblaje.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Dentro del ensamblaje fue posible insertar las uniones y aplicar las respectivas relaciones de posición entre la unión y el tubo, de tal manera que fueron encajando adecuadamente hasta que se pudo tener la estructura como un solo conjunto.

A continuación, se detalló los pasos a seguir para realizar el ensamblaje de todo el conjunto.

1. Primero se buscó la opción “Insertar componentes” dentro de la barra de herramientas y a su vez se seleccionó la carpeta donde se encuentran alojadas las partes de las uniones.

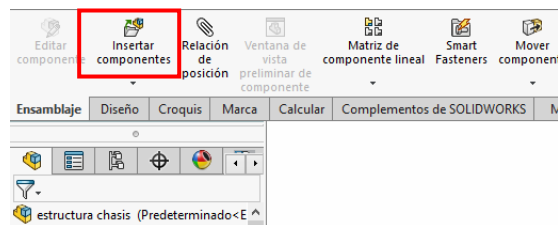


Ilustración 3-19: Insertar componentes (uniones).
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

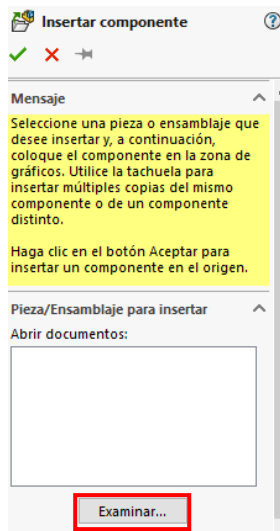


Ilustración 3-20: Buscar carpeta de archivos de uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

2. Se seleccionaron los archivos correspondientes a las uniones del chasis.

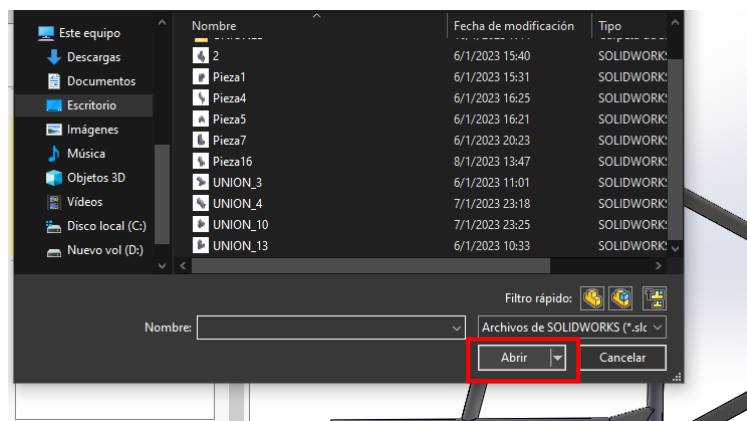


Ilustración 3-21: Insertar archivos de uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3. Se desplazó las uniones dentro del cuadro de trabajo y se asignó la característica de miembro flotante, para que se muevan libremente.

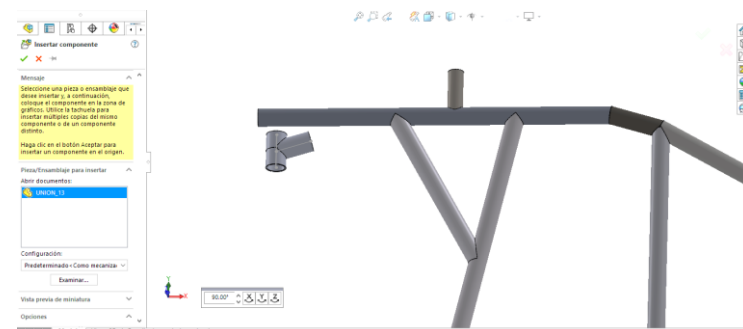


Ilustración 3-22: Inserción de las uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

4. Cada unión es específica para cierta parte del chasis, haciéndose una correcta identificación de dichas uniones, se seleccionó la opción “Relación de posición” en la barra de herramientas.

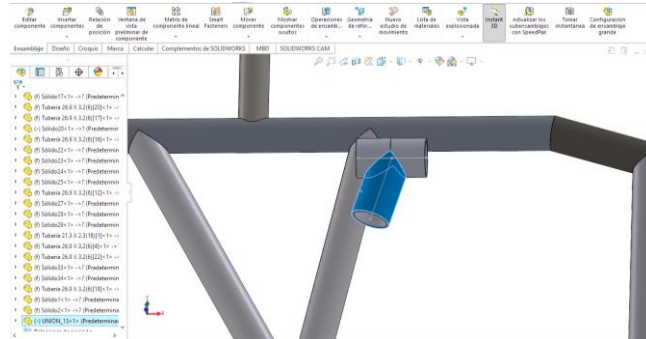


Ilustración 3-23: Relación de posición de las uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

5. Se seleccionó la cara interna de la unión y la cara externa del tubo y se asignó una relación de posición de tipo “Concéntrica”.

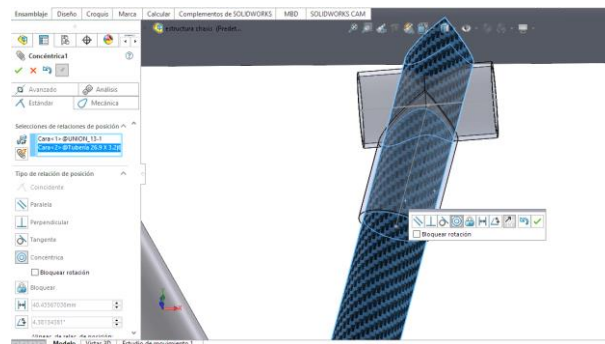


Ilustración 3-24: Relación de posición de las uniones y tubos.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

6. Se reconoció que caras de la unión y los tubos deben tener relaciones de posición y se obtuvo el posicionamiento correcto de las uniones.

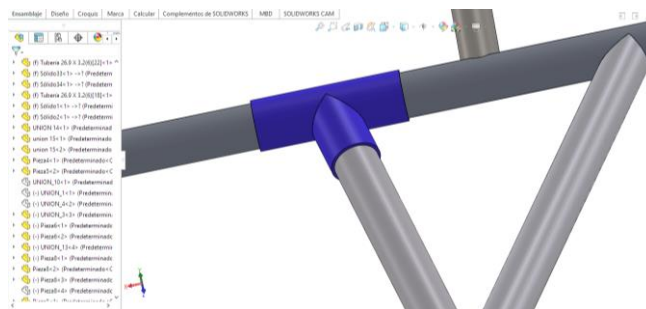


Ilustración 3-25: Relación de posición de las uniones y tubos.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Al finalizar este proceso se obtuvo un ensamblaje completo del chasis, en el que se pudo evidenciar la estructura tubular con sus uniones de soporte.

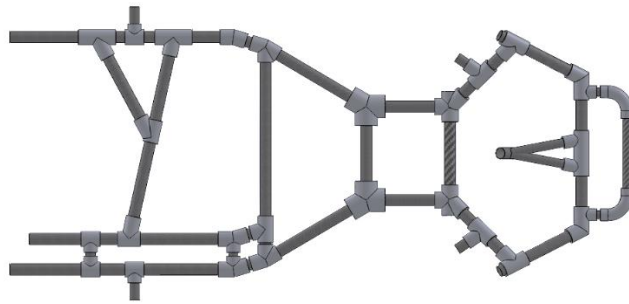


Ilustración 3-26: Ensamblaje de los miembros estructurales y las uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.4. Análisis estructural.

En lo que respecta a la validación del modelo, es necesario que este haya sido sometido a simulaciones de carga y esfuerzos, de tal manera que se pueda evidenciar su comportamiento y asumirlo para situaciones de la vida real. Al ser un chasis para un prototipo de competición debe ser capaz de soportar cualquier condición dentro de la pista, ya sean estos impactos y a su vez ser capaz de soportar adecuadamente el peso de los demás componentes y el conductor, garantizando su fiabilidad durante una carrera.

3.6.4.1. Análisis estático.

Se realizaron simulaciones de esfuerzos enfocados en las áreas donde las cargas son focalizadas, como lo es las bases donde se establecerá el motor del kart, la zona central en la que está dispuesto el asiento del piloto y por ende donde recae la mayor parte del peso y la zona frontal del chasis dentro de un análisis estático. Para ello se siguió un proceso de simulación que se puede evidenciar en la Ilustración 3-27.

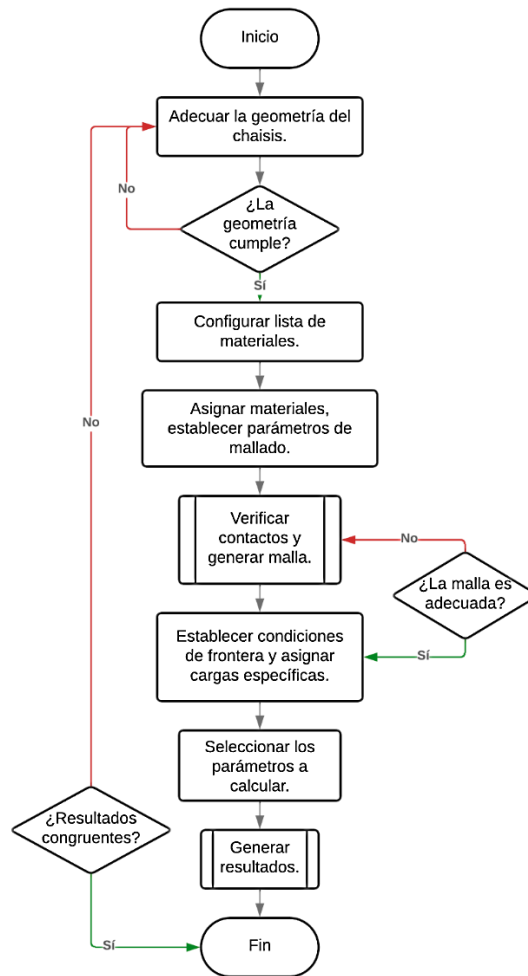


Ilustración 3-27: Diagrama de flujo análisis estático.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

La simulación estática comprendió el establecimiento de esfuerzos dentro de la estructura para lo cual fue necesario adecuar parámetros dentro de la geometría del chasis. Dentro del entorno de preparación se realizó cortes mediante planos, además se empleó herramientas para corregir errores entre contactos, superficies y esquinas, esto posteriormente generó un correcto mallado de la estructura.

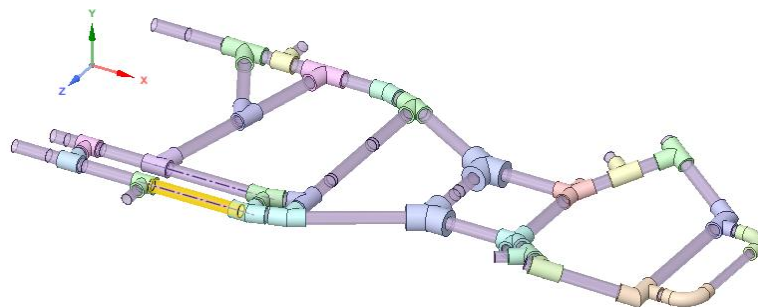


Ilustración 3-28: Preparación de la geometría.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Se realizó la selección de los materiales usados para la construcción del chasis, los cuales comprenden fibra de carbono y TPU-95A, además de la configuración de sus propiedades mecánicas de acuerdo con las fichas técnicas correspondientes.

Properties of Outline Row 5: Plastic, TPU (rigid)				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	1178	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	0,0001138	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Po...		
8	Young's Modulus	1,647E+09	Pa	
9	Poisson's Ratio	0,4078		
10	Bulk Modulus	2,9772E+09	Pa	
11	Shear Modulus	5,8496E+08	Pa	
12	Tensile Yield Strength	Tabular		
13	Tensile Ultimate Strength	Tabular		

Ilustración 3-29: Configuración de la lista de materiales.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Para la asignación de materiales dentro de la pestaña Model se seleccionó el apartado de Geometrías, donde se evidenció cada uno de los miembros estructurales y uniones del chasis, haciendo clic en cada uno se asignó el material correspondiente, que es este caso se separaron por carpetas, una para los tubos que corresponden a fibra de carbono y otra para las uniones que son en TPU-95A.

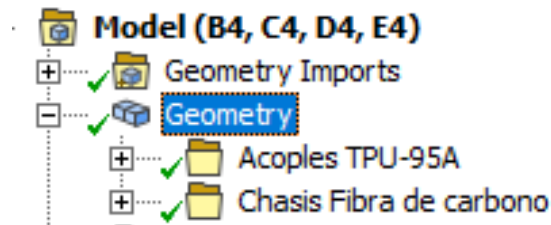


Ilustración 3-30: Asignación de materiales.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la parte del mallado de la estructura se aplicó métodos de mallado, Hex Dominant para las uniones que comprende elementos de orden cuadrático además de un tamaño de elemento de 4 mm.

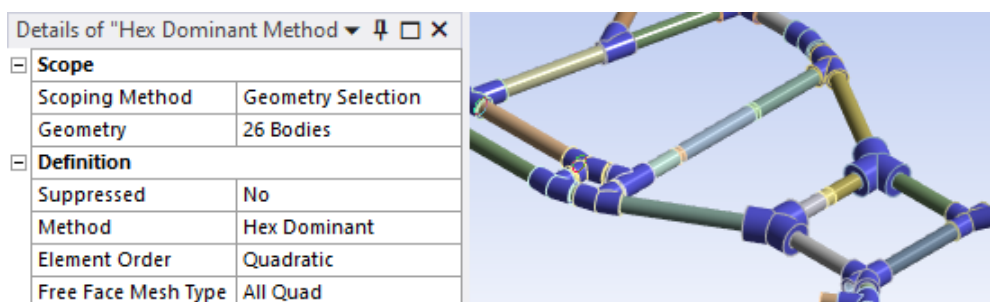


Ilustración 3-31: Método de mallado para las uniones.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Para el resto del chasis se aplicó los métodos Hex Dominant y MultiZone para elementos de orden cuadrático y con un tamaño de elemento de 10 mm, esto principalmente en las áreas donde se ubica el asiento del conductor.

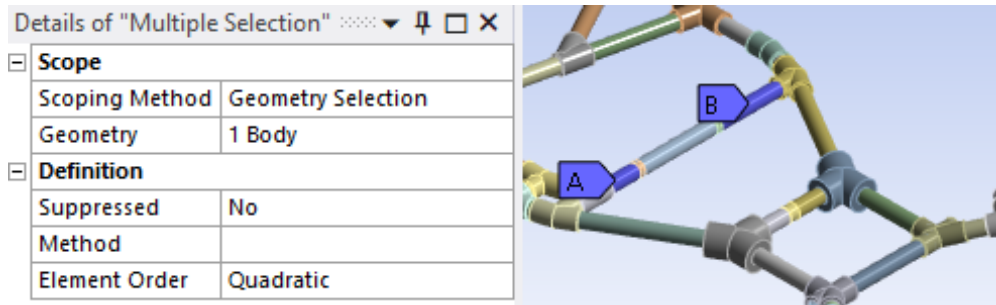


Ilustración 3-32: Método de mallado para el chasis.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Establecidos los métodos se verificó los contactos generados en la estructura, para evitar interferencias y cruces de superficies.

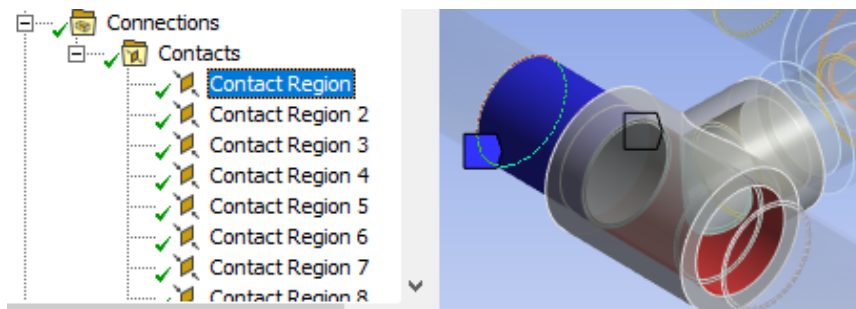


Ilustración 3-33: Verificación de las zonas de contacto.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Realizadas estas acciones se procedió a mallar toda la estructura, garantizando que la malla sea adecuada para la simulación.

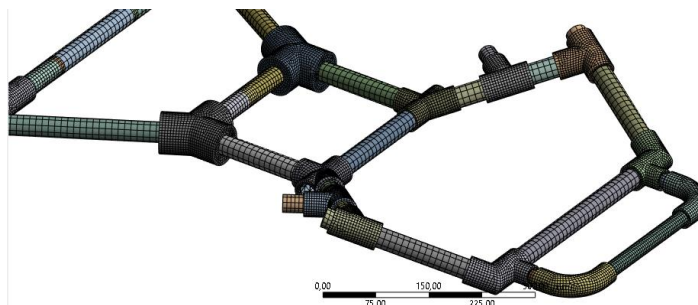


Ilustración 3-34: Mallado del chasis.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Para este análisis se tomó en cuenta 3 aspectos de cargas, uno frontal, un lateral y uno de cargas muerta y viva. Dentro de cada uno de ellos se asignó condiciones y cargas específicas. En la Ilustración 3-35 hace referencia al análisis frontal en el cual se puede evidenciar que se asignó soportes cilíndricos en las zonas donde recaen los soportes para el eje trasero y se aplicó una fuerza equivalente de 1000 N en el eje negativo de las X. El valor de fuerza fue tomado con relación al peso del piloto (70-75 kg) y el peso del motor (30 kg), estas cargas mencionadas se aplicaron en los distintos análisis estáticos realizados.

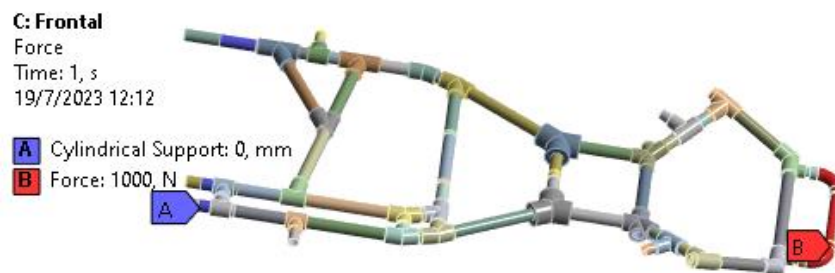


Ilustración 3-35: Condiciones y cargas del análisis frontal.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En el análisis estático lateral como se observa en la Ilustración 3-36 se configuró soportes cilíndricos y soportes fijos solo en el lado izquierdo del chasis, en los soportes del eje y soporte de la mangueta de dirección respectivamente, se aplicó una fuerza de 1000 N en dirección negativa del eje Z, en los miembros estructurales contrarios a los soportes.



Ilustración 3-36: Condiciones y cargas del análisis lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Dentro del análisis estático mostrado en la Ilustración 3-37 se consideró como carga muerta el peso del motor que se establece en alrededor de 30 Kg y la carga viva que corresponde al peso del conductor que se establece bajo norma con 70 Kg, aunque para este análisis se supuso un peso de 80 Kg considerando que los conductores presentes en la institución no cumplen con los regímenes de entrenamiento para mantener un peso de competición, de acuerdo a esto la carga viva aplicada fue de 784 N y la carga muerta de 294 N.

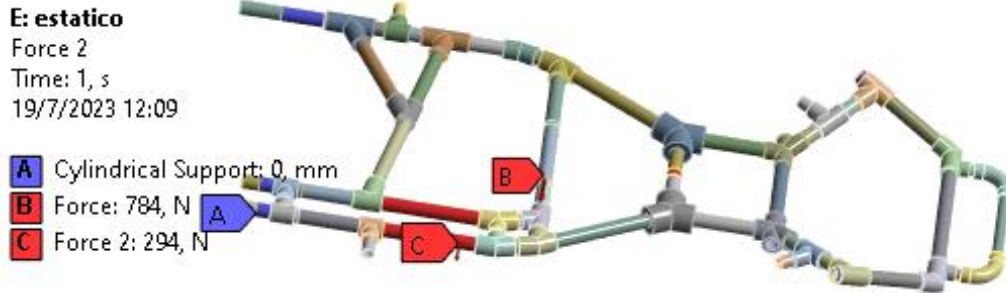


Ilustración 3-37: Condiciones de carga muerta y viva.
 Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En cada caso se estudiaron parámetros correspondientes a la deformación total, deformación direccional, esfuerzo equivalente (Von-Mises) y el cálculo del factor de seguridad de la estructura en dependencia de las condiciones establecidas con anterioridad.

- Los resultados del análisis frontal fueron:

Tabla 3-6: Resultados análisis frontal.

Parámetro.	Resultado.
Deformación total.	6,7033 mm
Deformación direccional.	-3,2342 mm
Esfuerzo equivalente.	203,68 MPa
Factor de seguridad.	1,4238

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

La deformación total del chasis como se observa en la Ilustración 3-38 corresponde a 6,7033 mm en la zona del guardachoque frontal, deformación que se distribuye hasta los acoples para la sujeción de los pontones laterales.

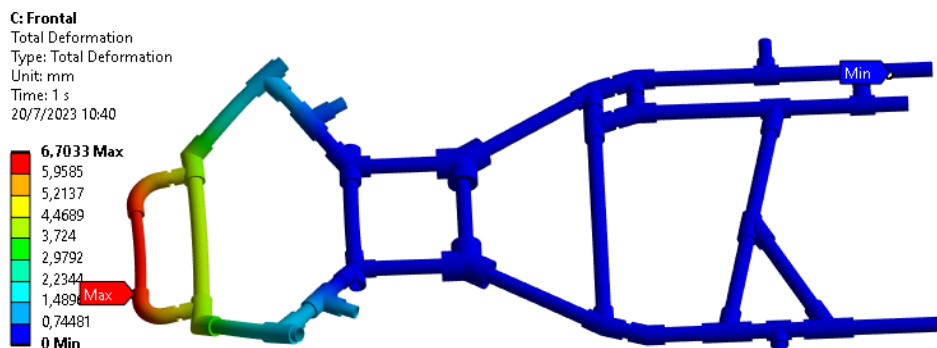


Ilustración 3-38: Deformación total frontal.
 Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En cuanto a la deformación direccional como se muestra en la Ilustración 3-39 se evidenció un desplazamiento de -3,2342 mm correspondientes al eje negativo de las X, deformación que se distribuyó hasta las proximidades del cuadrante central de la estructura.

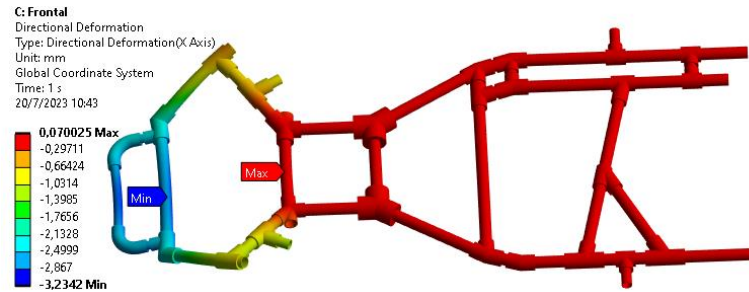


Ilustración 3-39: Deformación direccional frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El esfuerzo máximo al que se sometió la estructura fue de 203,68 MPa que se evidencia en la Ilustración 3-40.

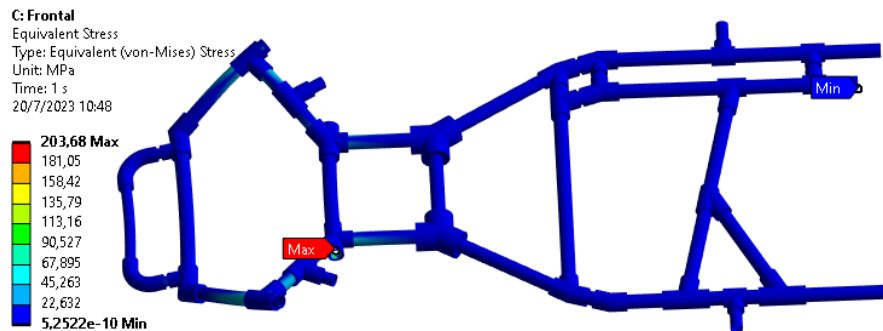


Ilustración 3-40: Esfuerzo equivalente frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-41 se puede evidenciar el valor del factor de seguridad que dio como resultado 1,4238.

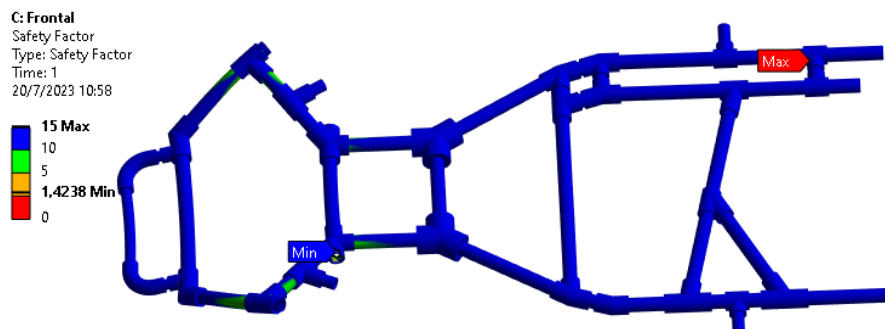


Ilustración 3-41: Factor de seguridad frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

- Los resultados del análisis lateral fueron:

Tabla 3-7: Resultados análisis lateral.

Parámetro.	Resultado.
Deformación total.	2,3851 mm
Deformación direccional.	-1,4253mm
Esfuerzo equivalente.	204,79 MPa
Factor de seguridad.	1,4161

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la ilustración 3-42 se puede observar la deformación total de la zona lateral de la estructura y esta deformación se presentó principalmente en los miembros estructurales donde se ubica el área del motor, generando una deformación total de 2,3851 mm.

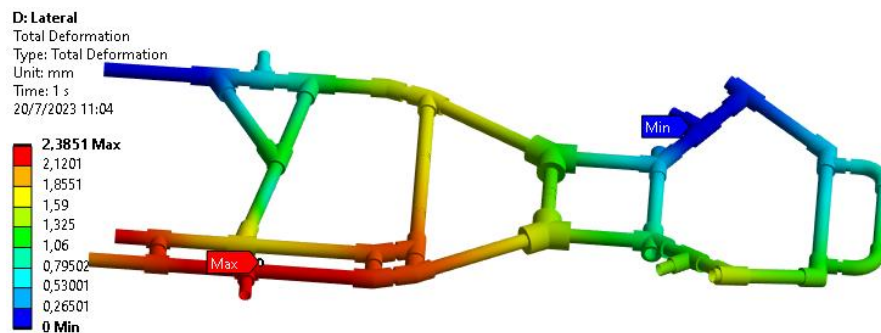


Ilustración 3-42: Deformación total lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-43 se evidencia la deformación direccional y esta se presentó a lo largo del eje Z, con un desplazamiento de -2,0254 mm en la parte negativa del eje Z.

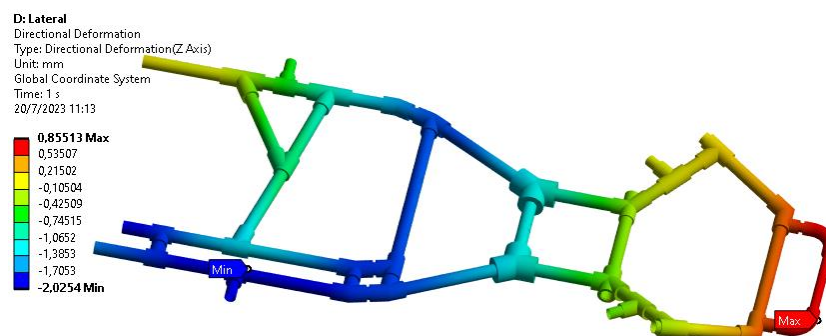


Ilustración 3-43: Deformación direccional lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El esfuerzo equivalente correspondió a 204,79 MPa y se puede observar en la Ilustración 3-44.

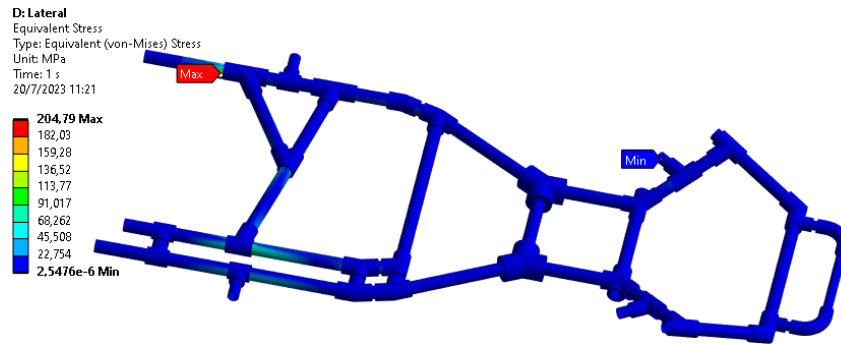


Ilustración 3-44: Esfuerzo equivalente lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El factor de seguridad que se obtuvo fue de 1,4161 como se muestra en la Ilustración 3-45.

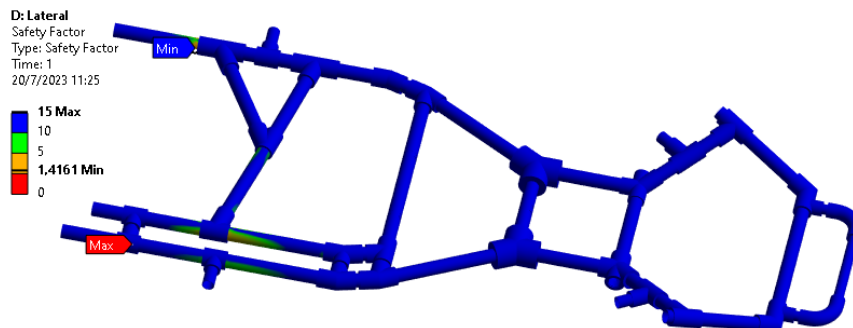


Ilustración 3-45: Factor de seguridad lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

- Los resultados del análisis carga viva y muerta fueron:

Tabla 3-8: Resultados análisis carga viva y muerta.

Parámetro.	Resultado.
Deformación total.	5,1718 mm
Deformación direccional.	-5,1715 mm
Esfuerzo equivalente.	232,9 MPa
Factor de seguridad.	1,2452

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Considerando las cargas que se establecieron en dos puntos cruciales de la estructura, se pudo apreciar una deformación total de 5,1718 mm dicho resultado se muestra en la Ilustración 3-46.

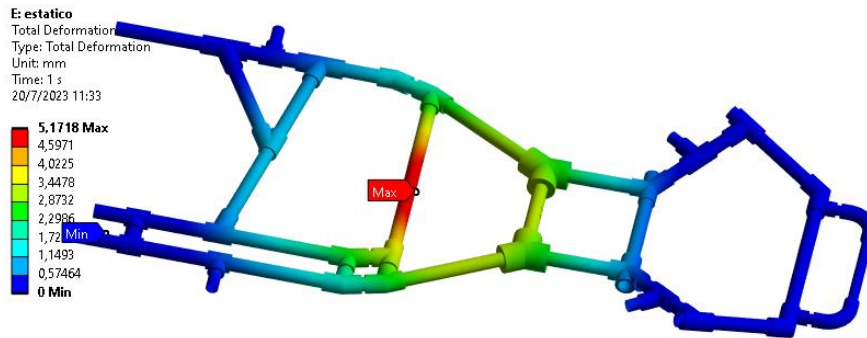


Ilustración 3-46: Deformación total carga viva y muerta.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-47 se puede observar la deformación direccional y esta se presentó a lo largo del eje negativo de las Y, evidenciando desplazamientos de -5,1715 mm.

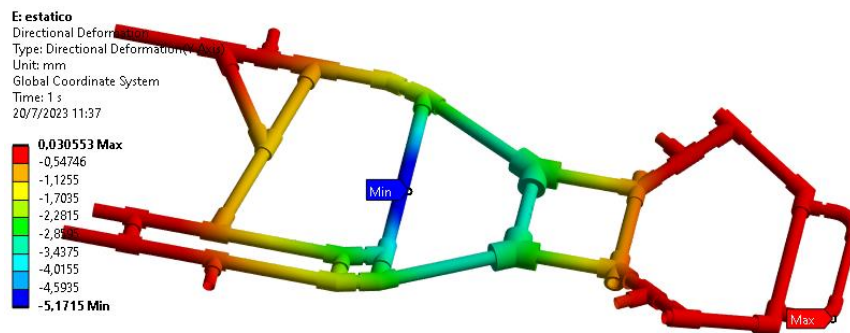


Ilustración 3-47: Deformación direccional carga viva y muerta.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El esfuerzo soportado por la estructura correspondió a 232,9 MPa y se puede evidenciar en la Ilustración 3-48.

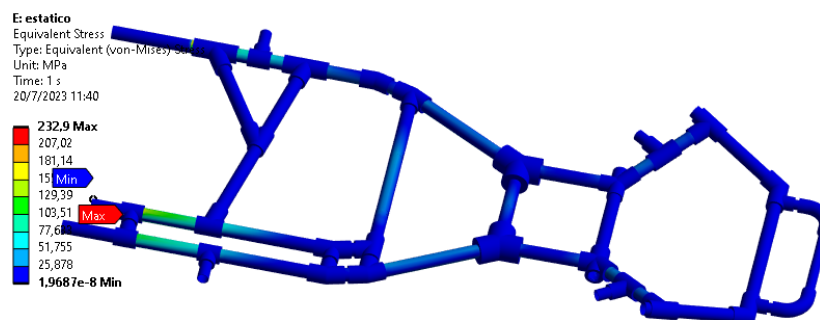


Ilustración 3-48: Esfuerzo equivalente carga viva y muerta.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-49 hace referencia al factor de seguridad y en este análisis se obtuvo un resultado de 1,2452.

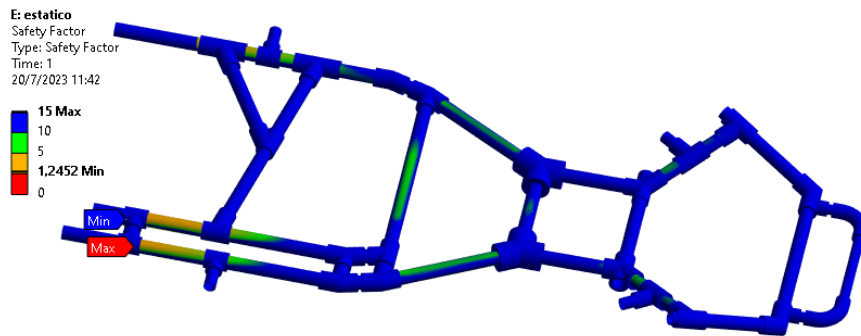


Ilustración 3-49: Factor de seguridad carga viva y muerta.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En primera instancia el diseño y simulación de esfuerzos dentro del software demostró deformaciones considerables dentro del prototipo presentado, que en efecto se produjeron por el tipo de material de las uniones, ya que este presenta características mecánicas que no favorecen la rigidez sino más bien atiende a propiedades de flexibilidad. En consecuencia, se rediseñaron ciertas uniones dándoles un mayor espesor de forma que se incremente dicha rigidez en las zonas de mayor deflexión del chasis. Estas nuevas uniones fueron ensayadas con pesas, soportando 177,2 kg, siendo que hasta los 115 kg no presentó ninguna deformación y al aplicar 70 kg para cumplir el peso total, que presentó deformación. Con dichas uniones se realizaron las simulaciones estáticas y dinámicas.



Ilustración 3-50: Uniones de mayor espesor.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.4.2. Análisis de impacto.

En consecuente con el análisis estático del chasis se realizó una simulación de impactos, que posibilitó observar y analizar el comportamiento de la estructura frente a una colisión, todo esto dado la alta probabilidad de choques que se pueden presenciar dentro de la pista, ya sea por colisiones entre competidores o impactos contra las barreras de protección. De igual manera se siguió un proceso para simular los efectos de un impacto dentro de un análisis dinámico que se detalla en la Ilustración 3-51.

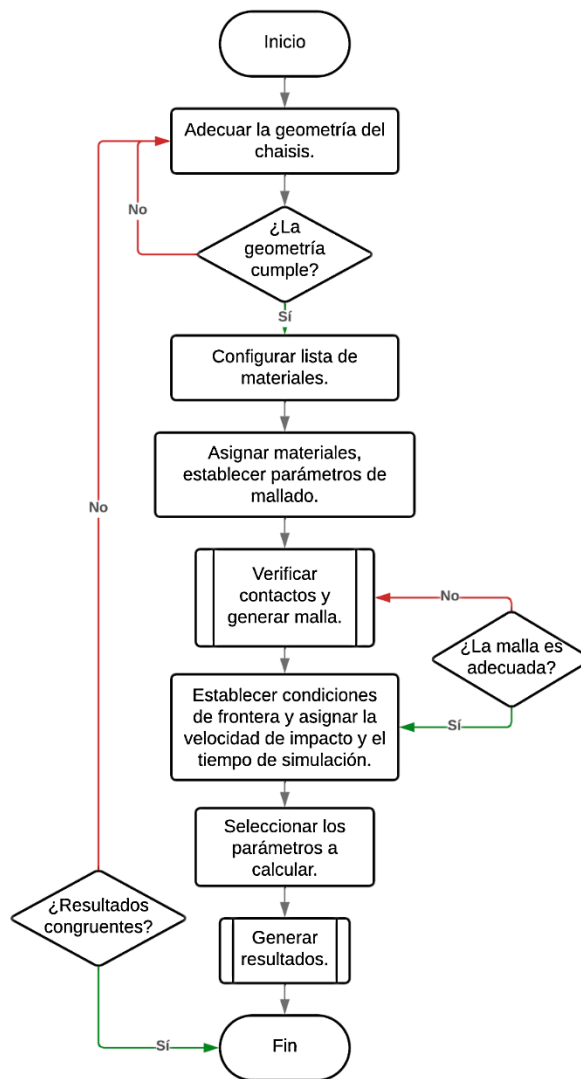


Ilustración 3-51: Diagrama de flujo análisis dinámico.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Para el análisis dinámico se desarrollaron simulaciones de impactos desde distintas perspectivas de la estructura con la finalidad de analizar desde varios puntos el comportamiento del chasis. Al tratarse de una competencia de alto rendimiento en la que los karts pueden alcanzar velocidades entre 110-120 Km/h, las simulaciones de impacto destacaron en el estudio para la validación del chasis.

Para la simulación de impactos se consideró tres frentes de análisis, un impacto frontal, impacto lateral e impacto posterior, tomando en cuenta que son zonas susceptibles a sufrir golpes dentro de la carrera, ya sea por pérdidas de pista o roce entre competidores. Para ello fue necesario constituir a la geometría de un elemento contra el cual se lleve a cabo el impacto, en este caso una pared sólida, la cual se diseñó dentro de la geometría principal y se le estableció un espesor y material. En este caso los parámetros de la geometría principal establecidas en la simulación

estática se mantienen para este caso, únicamente con el añadido de la pared como se evidencian en las Ilustraciones 3-52, 3-53 y 3-54.

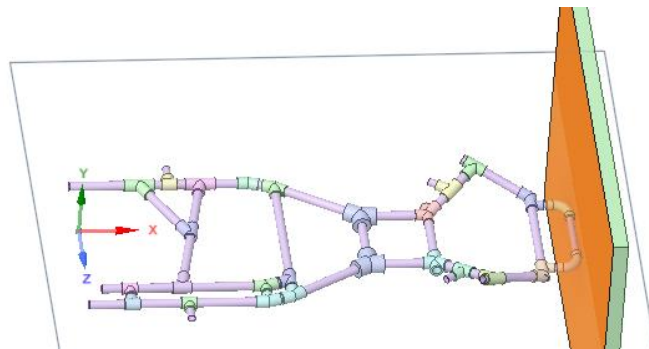


Ilustración 3-52: Geometría de impacto frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

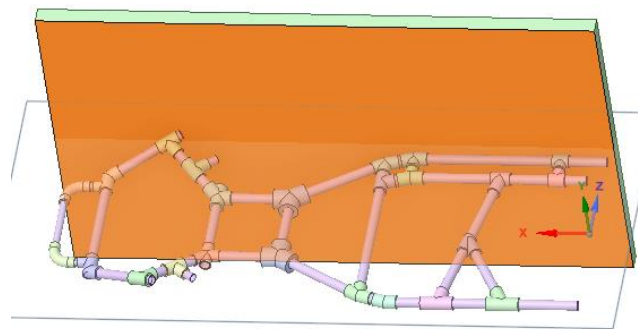


Ilustración 3-53: Geometría de impacto lateral.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

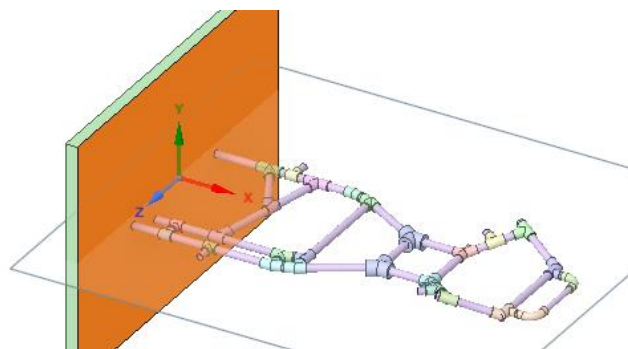


Ilustración 3-54: Geometría de impacto posterior.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Los materiales empleados corresponden a los asignados ya con anterioridad en el análisis estático, a diferencia del empleo de acero estructural como material asignado para la pared de impacto. Esta configuración se llevará a cabo durante todas las simulaciones de impacto.

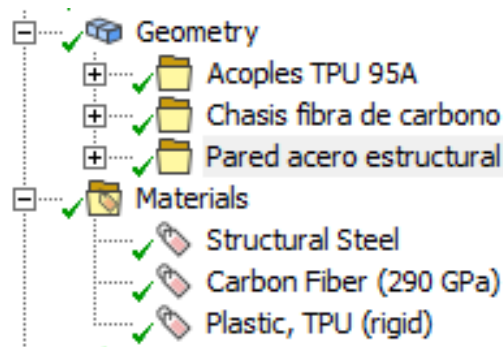


Ilustración 3-55: Asignación de materiales simulación de impactos.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Dentro de los parámetros de la malla se trató dos apartados, ya que se malló tanto la estructura como la pared de impacto, en ambos casos se empleó un método automático con un orden de elemento lineal y un tamaño de elemento de 20 mm. Estos parámetros fueron usados en todas las simulaciones de impacto. En el caso de las conexiones, estas se mantienen como se establecieron en la simulación estática.

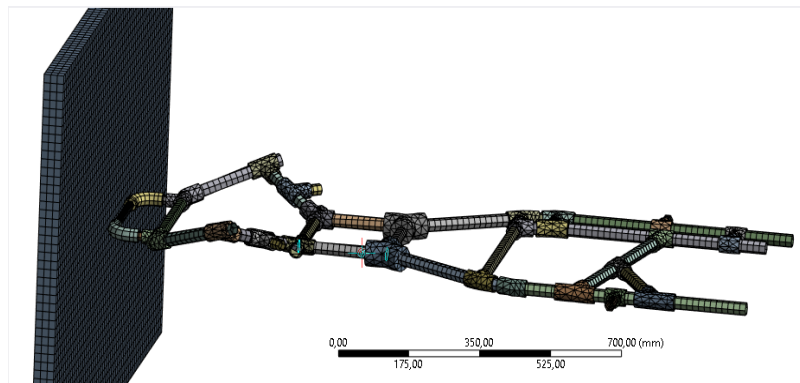


Ilustración 3-56: Mallado de la estructura y pared de impacto.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En consecuencia, el mallado se aplicó para los dos elementos y es idéntico en los casos de impacto lateral y posterior, cambiando únicamente la posición de la pared dentro del modelo geométrico. La simulación comprendió el impacto de la estructura contra la pared, para ello fue necesario aplicar una velocidad de avance al chasis, como se mencionó anteriormente, estos vehículos son capaces de alcanzar hasta 120 Km/h, por lo que se usó este dato como condición inicial. A su vez es necesario indicar que la pared es fija, por lo que se aplicó un parámetro de soporte fijo. Además, se estableció un tiempo de simulación de 0,004 segundos para el impacto frontal, 0,0016 segundos para el impacto lateral y 0,002 segundos para el impacto posterior, considerando que cuanto más tiempo se establezca más demorará la simulación en arrojar resultados, además de consumir más recursos del computador, lo que puede generar fallos en la simulación.

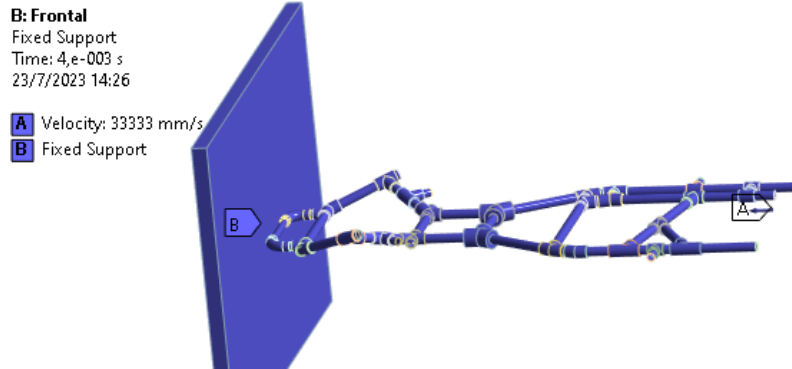


Ilustración 3-57: Condiciones de impacto frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

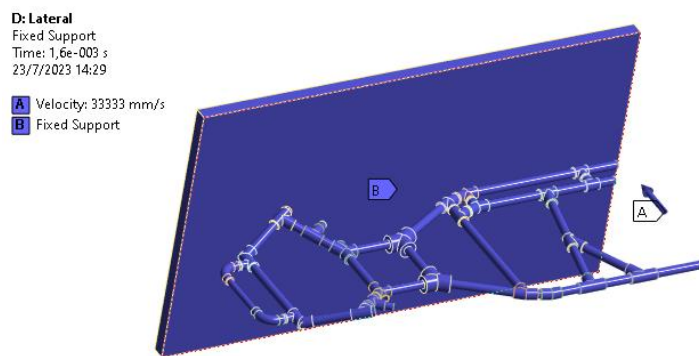


Ilustración 3-58: Condiciones de impacto lateral.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

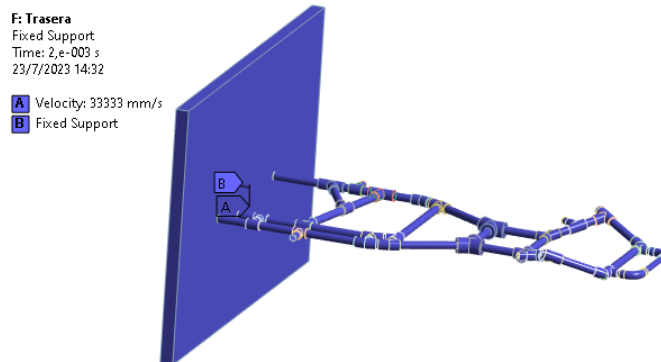


Ilustración 3-59: Condiciones de impacto posterior.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Los parámetros a calcular fueron la deformación total, deformación direccional, esfuerzo equivalente (Von-Mises) y el factor de seguridad.

- Los resultados del análisis impacto frontal fueron:

Tabla 3-9: Resultados del impacto frontal.

Parámetro.	Resultado.
Deformación total.	135,92 mm
Deformación direccional.	135,46 mm
Esfuerzo equivalente.	723,61 MPa
Factor de seguridad.	1,0088

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-60 la deformación total que sufrió el chasis corresponde a 135,92 mm o a su vez 13,592 cm, comprendiendo un desplazamiento considerable de los miembros estructurales frontales.

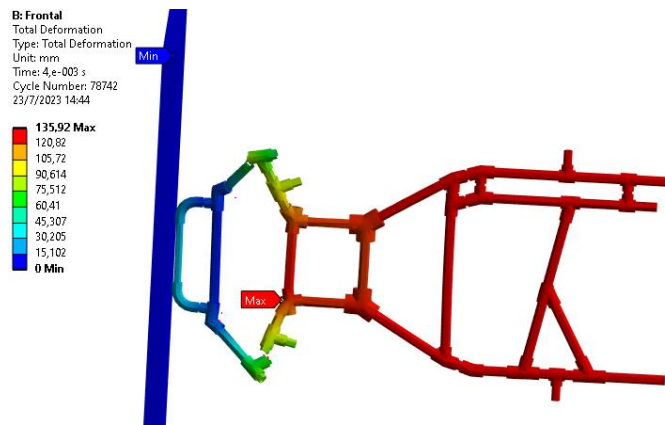


Ilustración 3-60: Deformación total impacto frontal.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Se pudo apreciar como los miembros estructurales que sujetan el área de la mangueta se desprenden completamente de los acoples. La Ilustración 3-61 muestra la deformación direccional de la estructura fue de 135,46 mm o 13,546 cm a lo largo del eje X, además se pudo evidenciar un desplazamiento de -38,803 mm que corresponden al desprendimiento de pequeñas esquirlas de los miembros estructurales a causa del impacto.

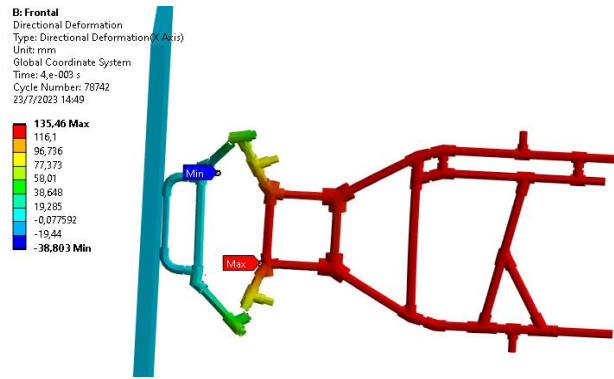


Ilustración 3-61: Deformación direccional impacto frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El esfuerzo equivalente soportado por la estructura fue de 723,61 MPa, donde se pudo evidenciar que la mayor parte de esta carga sucede a través de la parte frontal hasta la parte céntrica del chasis y enfocando el esfuerzo máximo en la zona de los acoples de las manguetas este análisis se puede apreciar en la Ilustración 3-62.

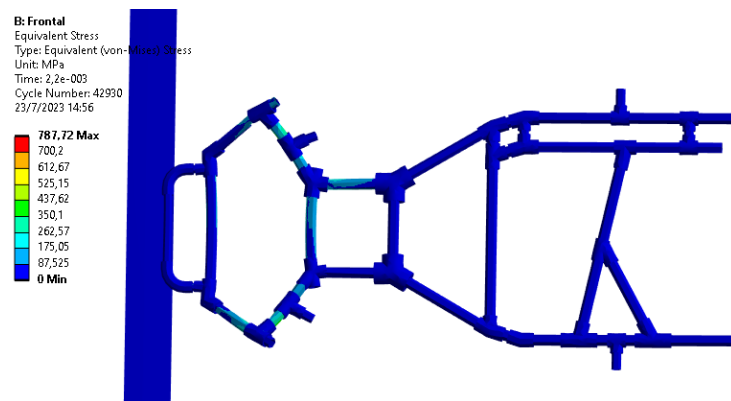


Ilustración 3-62: Esfuerzo equivalente impacto frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El factor de seguridad resultante fue de 1,0088, indicando que la estructura no es segura frente a impactos a esta velocidad.

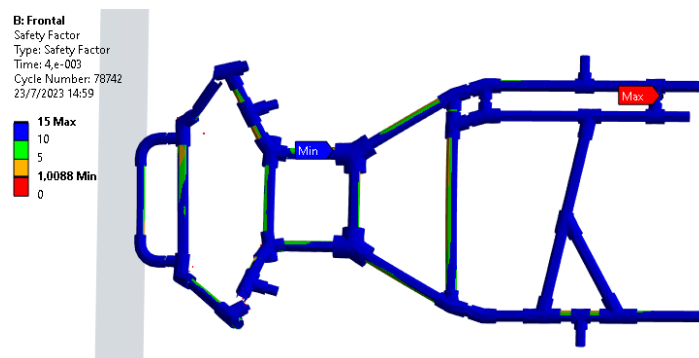


Ilustración 3-63: Factor de seguridad impacto frontal.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

- Los resultados del análisis del impacto lateral fueron:

Tabla 3-10: Resultados del impacto lateral.

Parámetro.	Resultado.
Deformación total.	60,757 mm
Deformación direccional.	60,307 mm
Esfuerzo equivalente.	516,48 MPa
Factor de seguridad.	0,18784

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

La deformación total dentro del impacto lateral fue de 60,757 mm dentro de lo que se ve afectada toda la estructura del chasis y se evidencia en la Ilustración 3-64.

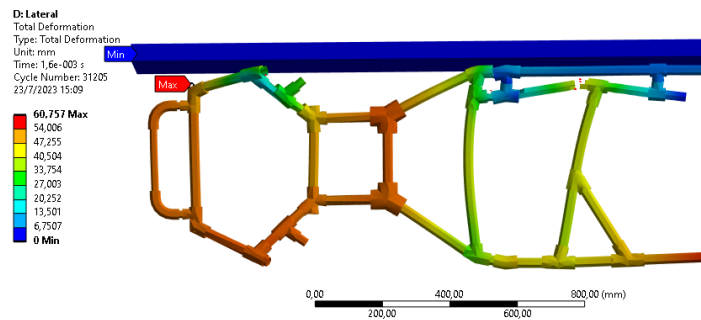


Ilustración 3-64: Deformación total impacto lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En el caso de la deformación direccional que se observa en la Ilustración 3-65, esta deformación fue de 60,307 mm a lo largo del eje Z, presentando un desplazamiento de $-5,1128$ mm que representó el desplazamiento máximo del soporte de la mangueta producto del impacto contra la pared, al igual que se evidenció en los largueros de la zona del motor donde se puede apreciar una ruptura total del miembro estructura.

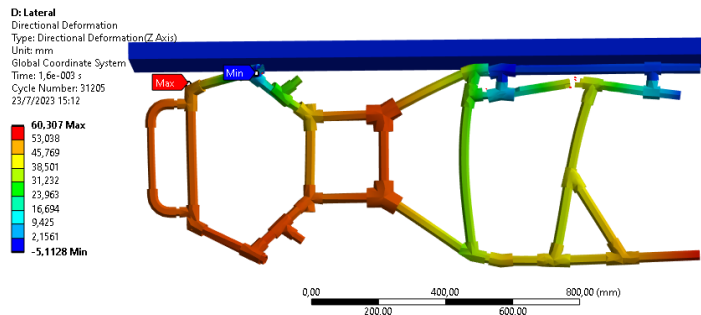


Ilustración 3-65: Deformación direccional impacto lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El esfuerzo equivalente sufrido en el chasis fue de 516,48 MPa, afectando de manera directa los miembros estructurales de la parte alta, media y baja del chasis, siendo la última la que sufrió ruptura por dicho esfuerzo, este resultado se puede apreciar en la Ilustración 3-66.

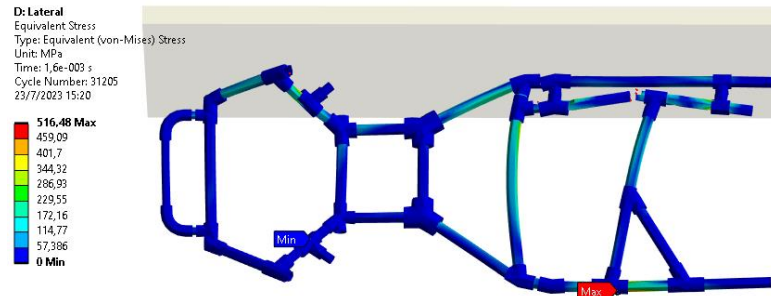


Ilustración 3-66: Esfuerzo equivalente impacto lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El factor de seguridad mostrado en la Ilustración 3-67 resultó de 0,18784, este resultado demuestra el gran daño que sufrió la estructura tras el impacto lateral, siendo comprensible ya que el mapa de color muestra que la mayoría de los miembros estructurales se vieron afectados por el impacto.

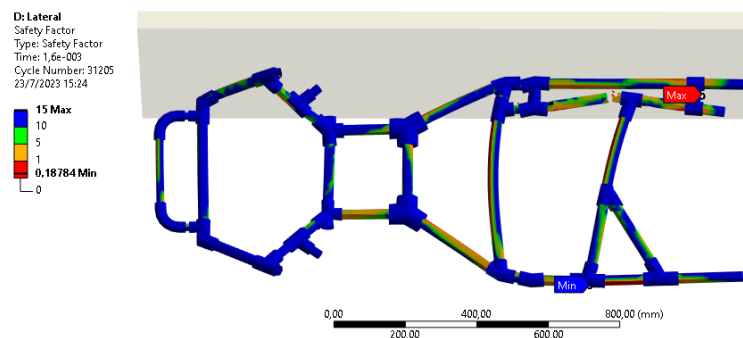


Ilustración 3-67: Factor de seguridad impacto lateral.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

- Los resultados del análisis lateral fueron:

Tabla 3-11: Resultados del impacto posterior.

Parámetro.	Resultado.
Deformación total.	69,15 mm
Deformación direccional.	13,606 mm
Esfuerzo equivalente.	846,67 MPa
Factor de seguridad.	0,13508

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-68, la de formación total del impacto posterior fue de 69,15 mm considerando el desplazamiento máximo de toda la estructura.

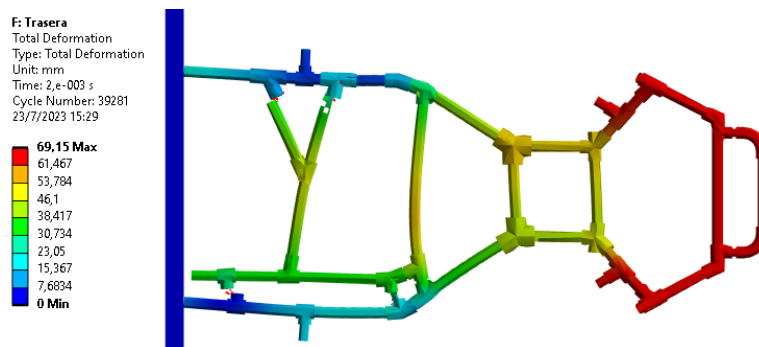


Ilustración 3-68: Deformación total impacto posterior.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

La deformación direccional mostrada en la Ilustración 3-69 se obtuvo un desplazamiento de 13,696 mm a lo largo del eje X, considerando este la máxima deformación sufrida por los miembros estructurales de la parte posterior del chasis, considerando que es la zona principal de impacto, a su vez se evidenció un desplazamiento de -69,098 mm que corresponden al desplazamiento que tuvo la parte frontal en relación con su posición original.

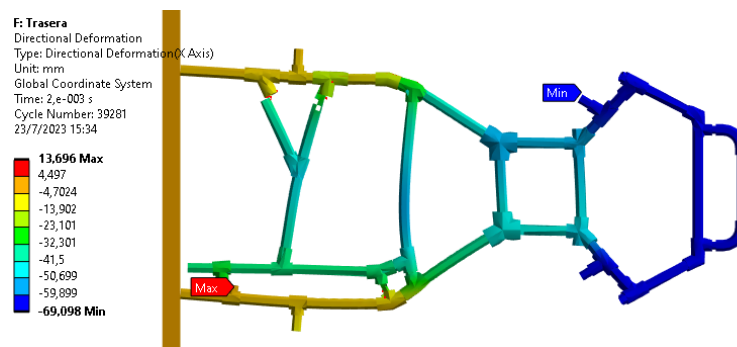


Ilustración 3-69: Deformación direccional impacto posterior.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la ilustración 3-70, el esfuerzo equivalente soportado por la estructura fue de 846,67 MPa, esfuerzo que se desplazó principalmente por la zona posterior, media e incluso hasta la parte inicial de la zona frontal. Como se puede apreciar, los miembros estructurales de la parte posterior sufrieron gran daño, evidenciando rupturas totales en tres puntos representativos.

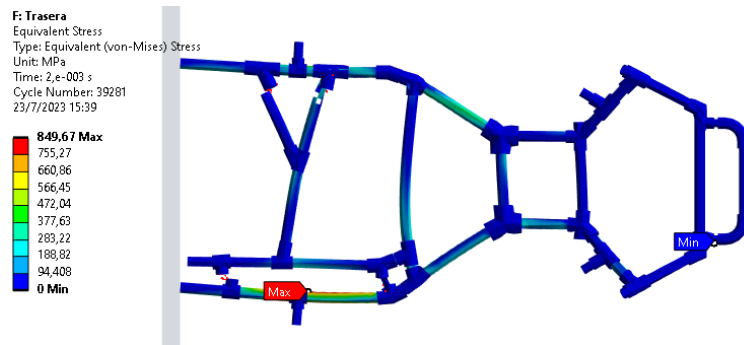


Ilustración 3-70: Esfuerzo equivalente impacto posterior.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la Ilustración 3-71, el factor de seguridad resultante del impacto posterior fue de 0,13508 que representa un valor muy bajo, por lo que la estructura resulta no ser segura en ninguna circunstancia. Esto se puede apreciar en el mapa de color del chasis, ya que la mayoría de los miembros estructurales se vieron muy afectados por el impacto.

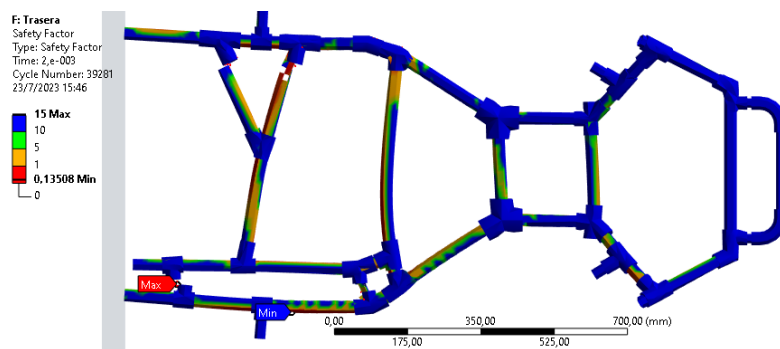


Ilustración 3-71: Factor de seguridad impacto posterior.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Si bien es cierto, las simulaciones fueron realizadas a una velocidad alta y los valores resultantes de deformación y esfuerzo son elevados y en el caso del factor de seguridad los resultados son inferiores a 1, indicando que la estructura no es fiable, aun así, hay que considerar que los impactos fueron realizados de manera fulminantes a la velocidad establecida, sin embargo dentro de una competición esto no ocurre así, ya que al perder pista la las ruedas del kart en conjunto con la acción de frenado por parte del conductor, reducen la velocidad con la que se impacta, incluso se pueden evidenciar zonas de la pista donde existe grava o pasto que ayudan a frenar el kart, eso sin olvidar que dentro de las competencias oficiales de la CIK se establecen barreras que permiten la absorción de parte de la energía cinética del kart disminuyendo la fuerza de impacto y sus afecciones en el chasis. Dentro de las competencias institucionales la pista presenta sectores donde se ubican muros de neumáticos a manera de chicanes que permiten la reducción de la velocidad de los karts, evitando su circulación a velocidades altas.

3.6.4.3. Tubos de fibra de carbono.

Dado los objetivos del proyecto, el material principal del cual se compone la estructura del chasis es la de fibra de carbono. En un principio la fabricación de los tubos de manera manual presentó la dificultad de tiempo y costo elevados, además de la escasez de tela de fibra de carbono en el mercado nacional. Por lo que, una opción más viable resultó ser la compra de tubos de fibra de carbono ya fabricados. La selección del material se la realizó tomando en cuenta los aspectos técnicos y económicos de los tubos, de tal manera que se adquirieron tubos de fibra de carbono de tejido “Sarga” 3k (3000 filamentos) de acabado mate de las siguientes dimensiones:

Tabla 3-12: Dimensiones de los miembros estructurales.

Descripción.	Cantidad.
Tubo de 30x27x600 mm	12
Tubo de 25x23x600 mm	2
Tubo de 20x18x500 mm	4

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

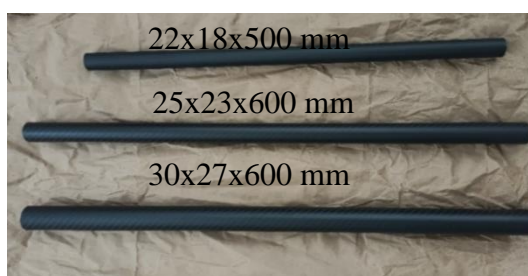


Ilustración 3-72: Tubos de fibra de carbono.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El tejido sarga es uno de los más empleados para la realización de trabajos laminados con resinas, sus características lo hacen adecuado para ser aplicado en todo tipo de industrias, como la automovilística, deportiva, náutica e industrial (Nazza, 2021, p. 1)

Tabla 3-13: Propiedades de la fibra de carbono Sarga 3K.

Fibra de Carbono 3K, Twill		
Tipo de tejido	Twill/Sarga	
Ancho	1000±10 mm	
Peso gr/m ²	200±5 %	
Densidad	Deformación	5±1 ud/cm
	Trama	5±1 ud/cm
Fuerza de rotura (MPa)	Deformación	≥3000-3500 (3615)
	Trama	≥3000-3500 (3133)
Grosor (mm)	0.26±0.1	

Fuente: (Nazza, 2021).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.4.4. Resina epoxi.

La resina epoxi sirvió como componente para las uniones de la estructura, al no ser posible aplicar los procesos de soldadura tradicionales, la estructura debe basar sus uniones en otros métodos. Para ello se ha seleccionado la resina epóxica Wesco Dura Quarz Epox-21.



Ilustración 3-73: Resina epóxica Wesco Dura Quarz Epox-21.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Tabla 3-14: Especificaciones de la resina epoxi Wesco Dura Quarz Epox-21.

Apariencia.	Transparente-Brillante.
Relación de mezcla.	2 partes de A más 1 parte de B.
Secado para manipulación.	24 horas.
Secado total.	72 horas.
Vida de la mezcla.	60-90 minutos a 25°C.
Espesor máximo de aplicación.	4 centímetros.

Fuente: (Wesco 2013).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.4.5. Filamento de impresión 3D.

También conocido como poliuretano termoplástico son copolímeros en bloque el cual cuenta con una gran versatilidad estructural ya que este material puede ser blando o rígido y todo depende la simetría del diisocianato y del extensor de cadena (Espinoza, 2017, pp. 10-15).

Diisocianato es la que conforma el segmento rígido del poliuretano, en cuanto a los diisocianatos en el mercado se encuentran dos tipos, el primero los alifáticos y el segundo los aromáticos siendo estos los más usados debido a sus propiedades mecánicas, al soportar mayores temperaturas y por ser menos costosos (Espinoza 2017, p. 10-15).

Fórmula química	Nombre (Abreviación)
	Diisocianato de 2,4-tolueno y 2,6-tolueno (TDI)
	Poliarilpolisocianato (PMDI)
	Diisocianato de 4,4'-difenilmetano (MDI)

Ilustración 3-74: Diisocianatos en la síntesis de poliuretanos.
Fuente: (Espinoza, 2017, p. 13).

En cuanto a los extensores estos de igual manera forman el segmento rígido pero su función es la de aumentar el tamaño de la cadena de poliuretano en la fase de la síntesis. En cuanto a los extensores más usados en el mercado son los alifáticos con el 1,4 butanodiol el ejemplar (Espinoza 2017, p. 10-15).

Fórmula química extendedor	Nombre (Abreviación)
	Etilenglicol (ET)
	1,4-butanodiol (BD)
	1,6-hexanodiol (HDL)

Ilustración 3-75: Extensores de cadena para la síntesis de poliuretanos.
Fuente: (Espinoza 2017, p. 13).

El filamento TPU 95A es usado en la industria debido a que es un material semiflexible y a su vez resiste a productos químicos, este filamento posee una resistencia excepcional a los impactos, su dureza shore A de 95 permite hasta un 580% de alargamiento a la rotura.

Tabla 3-15: Propiedades mecánicas del filamento TPU 95A.

Propiedades mecánicas	Impresión 3D	
	Valor típico	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a la tracción	26 MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción a la deformación	8,6 MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción a la rotura	39 MPa	ASTM D638
Alargamiento a la deformación	55 %	ASTM D638
Alargamiento a la rotura	580 %	ASTM D638
Resistencia a la flexión	4,3 MPa	ISO 179
Módulo de flexión	78,7 MPa	ISO 179
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	34,4 kJ/m ²	ISO 180

Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-
Dureza	95 (ShoreA) 46 (Shores D)	ASTM D2240 Durómetro
Resistencia a la abrasión	0,06 g	ASTM D4060 (pérdida de masa, 10 000 ciclos)

Fuente: (Ultimaker, 2017).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Tabla 3-16: Propiedades térmicas del filamento TPU 95A.

Propiedades térmicas	Valor típico	Método de ensayo
Índice de fluidez (MFR)	15,9 g/10 min	ISO 1133 (225 °C, 1,2 kg)
Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa	74 °C	ASTM D648
Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa	49 °C	ASTM D648
Transición vítrea	-24 °C	DSC
Coefficiente de expansión térmica	100·10 ⁻⁶ °C ⁻¹	ASTM E693
Temperatura de fusión	220 °C	DSC
Contracción térmica	-	-

Fuente: (Ultimaker, 2017).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Tabla 3-17: Propiedades eléctricas del filamento TPU 95 A.

Propiedades eléctricas	Valor típico	Método de ensayo
Resistividad de volumen	1011 Ω·m	IEC 60093
Resistencia superficial	2·10 ¹⁴ Ω	IEC 60093

Fuente: (Ultimaker 2017).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.4.6. Impresión de elementos 3D.

En el proceso de calibración de las impresoras fue fundamental ensayar con las temperaturas a las que se funde el material, para lo cual se establecieron pruebas de retracción (el filamento se retrae dentro del cabezal, dejando espacios sin imprimir), lo que evalúa principalmente la temperatura óptima del material y la velocidad de extrusión. Estos parámetros juegan un papel importante en la calidad y acabado final de la pieza a imprimir.

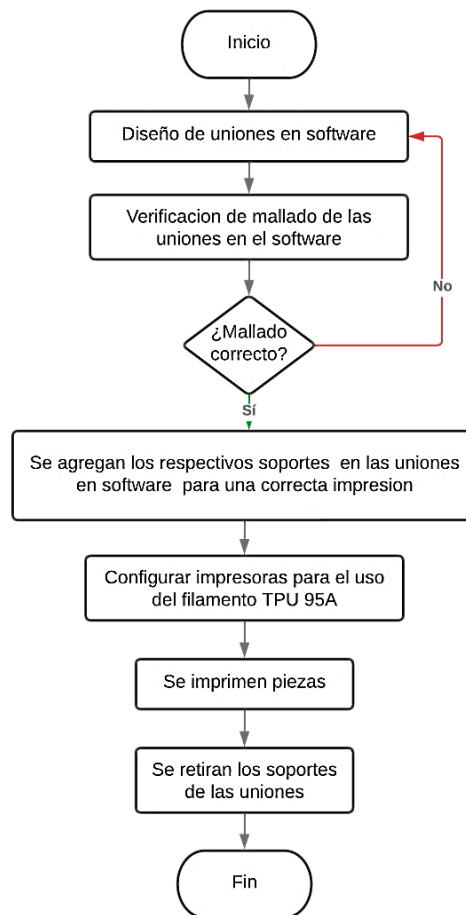


Ilustración 3-76: Diagrama de flujo proceso de impresión de uniones.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

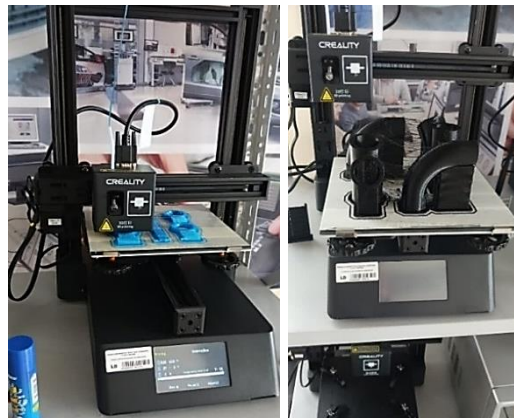


Ilustración 3-77: Impresión de uniones 3D.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

La impresión de las uniones se realizó en diferentes colores de TPU-95A, los cuales fueron sometidos a pruebas de retracción, dichas pruebas se pueden evidenciar de mejor manera en la Ilustración 3-78 en la cual se determinó la temperatura adecuada de trabajo para cada TPU, resultando así que, el TPU de color negro se extruyó a 225 °C, el de color rojo a 230 °C y el de color azul a 235 °C.



Ilustración 3-78: Pruebas de retracción del filamento.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El tipo de impresora ocupada para las impresiones es un factor importante, ya que los resultados de impresión variaron en dependencia de este factor, puesto que el laboratorio consta con impresoras de extrusión directa e impresoras de impresión bowden por empuje de filamento mediante un alimentador. En este caso, se obtuvieron mejores resultados con la impresora de extrusión directa.



Ilustración 3-79: Impresión con extrusión directa.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En este caso, las capas de la impresión directa estuvieron bien cohesionadas entre sí, lo que garantizó una buena resistencia de la pieza impresa. Por otro lado, la impresión bowden impidió una fusión entre capa y capa de filamento, presentando espacios y porosidades en el interior de la pieza, además de que fue muy endeble y se facturaba con apenas esfuerzo.

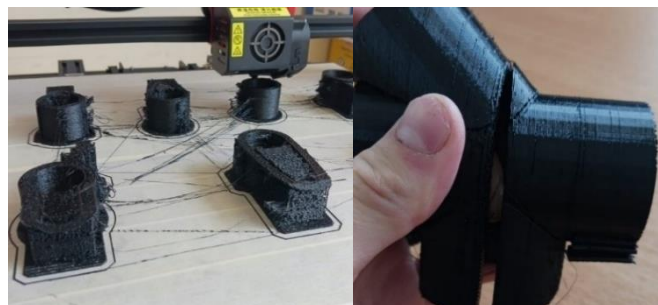


Ilustración 3-80: Impresión con extrusión bowden.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

A pesar de que la impresora de extrusión bowden tenía una cama más amplia y por ende era posible imprimir hasta 8 piezas en dicha impresora, pero se prefirió imprimir con la impresora de extrusión directa, en la cual cabían solo 4 piezas dentro de la cama de impresión.

Además, al imprimir una sola pieza se puede evidenciar que el acabado exterior es liso y brillante, a comparación de imprimir varias piezas en la una sola cama, ya que esto provocó que se genere una especie de “Telaraña” entre pieza y pieza por el movimiento del cabezal al desplazarse para imprimir todas las uniones a igual nivel, lo que dio un acabado más rugoso al exterior e interior del elemento.

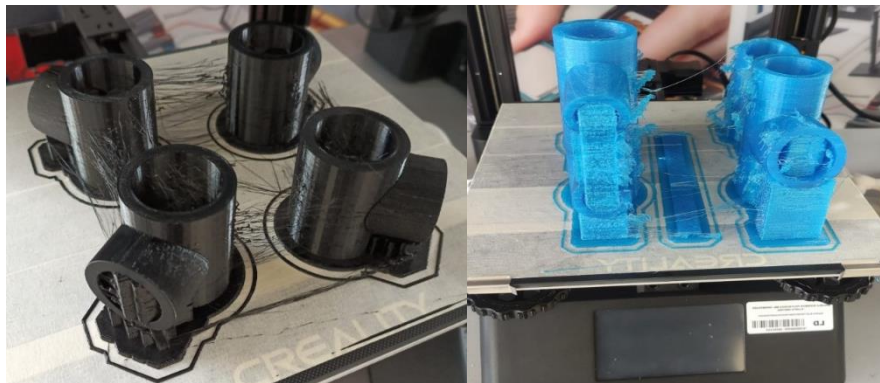


Ilustración 3-81: Rastros del traslado del cabezal de impresión.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Dentro del diseño de las uniones fue necesario corregir los puntos de la malla, puesto que al no presentarse como un solo elemento la impresora en algunos casos no identificaba los puntos de unión en las zonas donde existían cambios de diámetro ocasionando que aperturas en la pieza.



Ilustración 3-82: Falla de impresión por malla inconexa.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Este problema se solucionó modificando la malla de las uniones, haciendo que todos los puntos tengan conexiones entre sí.

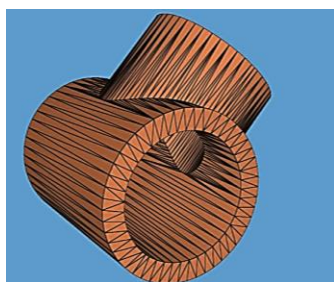


Ilustración 3-83: Puntos de malla conectados.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

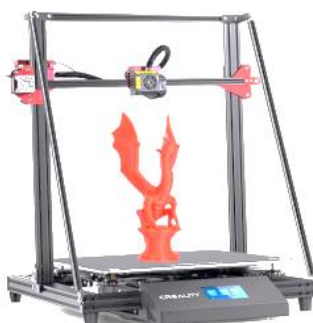


Ilustración 3-84: Impresora 3D Creality Cr-10 Max.

Fuente: (Creality, 2023).

Tabla 3-18: Especificaciones técnicas de la impresora 3D Creality Cr-10 Max.

Especificaciones Técnicas	
Tecnología de modelado	FDM
Tamaño de impresión	450x450x470
Diámetro de boquilla	estándar 0.4mm, 0.8mm
Presión de impresión	± 0.1 mm
Altura de capa	0.1-0.4 mm
Numero de boquillas	1
Temperatura de boquilla	< 250 °C
temperatura de Hotbed	< 100 °C
Modo de impresión	Online o tarjeta TF offline
Formato de archivo	STL; OBJ; AMF
Software de impresión	Cura; Simplify3D
Material principal	PLA, TPU, PETG, madera, materiales degradados, materiales que contienen cobre
Monitor	Pantalla táctil de 4.3 pulgadas
Energía	750W
Parámetros de fuente de energía placa base	75W, 24V, entrada: 100- 240VAC, salida: 24V. Hotbed 750W, 24V, entrada 100- 240VAC, salida: 24V

Fuente: (Creality 2023a).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.



Ilustración 3-85: Impresora 3D Creality CP-01.
Fuente: (Creality, 2023b).

Tabla 3-19: Especificaciones técnicas de la impresora 3D Creality CP-01 Max.

Especificaciones Técnicas	
Tecnología de modelado	FDM
Tamaño de impresión:	220×220×200 mm
Formato de archivos	STL, OBJ, AMF
Software	Cura/Repetier-Host/Simplify3D
Diámetro de la boquilla:	0.4 mm/0.6 mm/0.8 mm/ 1 mm/ 1.2 mm
Temperatura de la cama:	≤100°
Espesor de la capa	0.1 mm-0.4 mm
Fuente de alimentación:	CA 100-120V 60Hz a CD 24V 270W
Filamento	PLA, ABS, TPU, PVA etc.
Peso de la máquina	6.98 Kg
Precisión de impresión	±0.1 mm
Velocidad de la impresión	10-80 mm/s

Fuente: (Creality 2023b).

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

3.6.4.7. Construcción del chasis.

La parte de fabricación del chasis comprendió la finalización de los procesos de simulación e impresión de las uniones, con ello se procedió a preparar los tubos de fibra de carbono, los cuales fueron cortados según las dimensiones requeridas y perfilados de acuerdo con el modelo 3D.

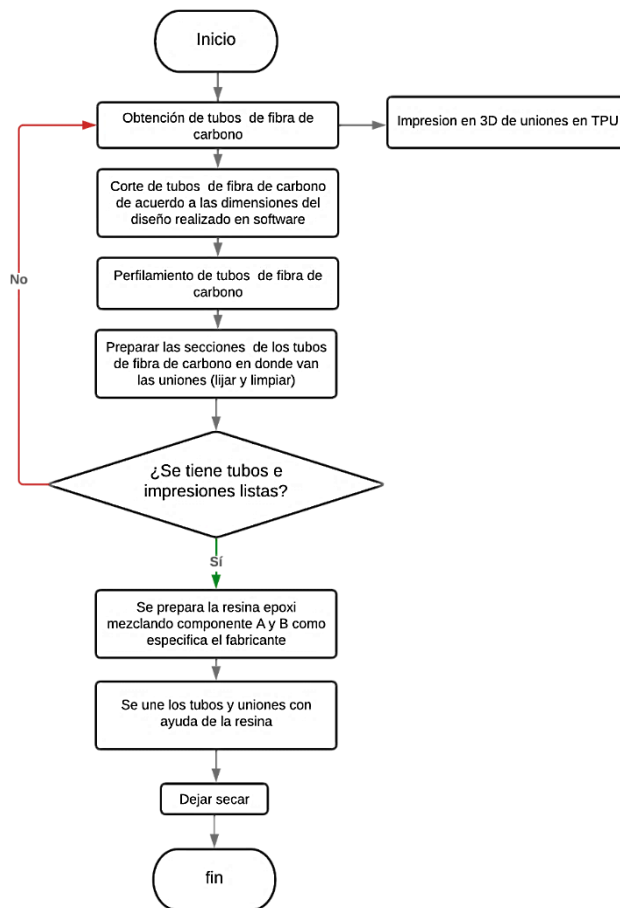


Ilustración 3-86: Diagrama de flujo del proceso de construcción.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023



Ilustración 3-87: Corte de los tubos de fibra de carbono.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

Se hizo uso de una cortadora angular de banco para facilitar el proceso de corte y perfilado de los tubos. Cortados los tubos se presentó un pre-ensamblaje de chasis para identificar el correcto corte de los miembros estructurales, así como las uniones específicas que permitieron la unión de los tubos entre sí, en este punto se identificó uniones que presentaban fallas en las capas de impresión

o a su vez errores en el diseño. Además, se realizó el marcaje de las piezas para constatar su ubicación dentro del ensamblaje final.



Ilustración 3-88: Corte de los tubos de fibra de carbono.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

El armado del chasis se realizó por partes, dividiéndolo en tres zonas: frontal, central y posterior, esto facilitó el ensamblaje, curado y secado de la resina epóxica empleada como elemento fijador, la cual se preparó haciendo uso de una balanza y mezclando las proporciones de peso establecidas por el fabricante. En este proceso se realizó el desbaste de material de los tubos por medio de papel de lija de grano intermedio, con la finalidad de generar una superficie rugosa que para una mejor penetración de la resina epóxica.



Ilustración 3-89: Ensamblaje del chasis.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

Al finalizar las zonas de armado del chasis se procedió a unir las y generar la estructura completa del chasis de kart.



Ilustración 3-90: Chasis ensamblado.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

3.6.4.8. Fabricación de probetas y pruebas destructivas.

Las consideraciones del proyecto determinaron la realización de pruebas destructivas con el material con el que se fabricaron las uniones para los tubos de fibra de carbono. Para lo cual se estudiaron probetas fabricadas con filamento de TPU-95A mediante pruebas de tracción y flexión, evidenciando su comportamiento mecánico que sirvió para determinar su influencia dentro de la estructura del chasis.

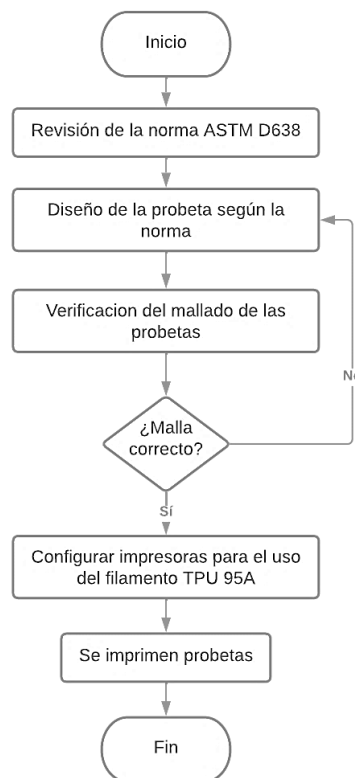
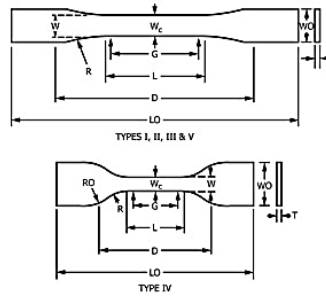


Ilustración 3-91: Proceso de probetas en TPU.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023



Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.)^a

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under	
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^b	Type V ^{c,d}	Type V ^{c,d}
W—Width of narrow section ^{e,f}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	3.18 (0.125)
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	9.53 (0.375)
WO—Width overall, min ^g	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)
LO—Length overall, min ^h	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	9.53 (0.375)	63.5 (2.5)
G—Gage length ⁱ	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	...
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^j	25.4 (1.0)	25.4 (1.0)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.55)	12.7 (0.5)	12.7 (0.5)
RC—Outer radius (Type IV)	25 (1.00)

Ilustración 3-92: Norma ASTM D638 para probetas.
Fuente: (ASTM International 2014, p. 4).

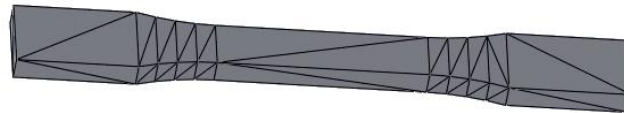


Ilustración 3-93: Probeta diseñada en software CAD.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Las probetas fueron diseñadas bajo la norma ASTM D638 que especifica las medidas para probetas fabricadas de materiales en base de polímeros. A partir del diseño se procedió a ajustar los parámetros del mallado de la pieza para conseguir una estructura cohesionada al momento de ser importadas a la impresora, recalcando que se usó una impresión con el método de extrusión directa.



Ilustración 3-94: Probetas impresas.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En base a los resultados de las simulaciones estática y dinámica, se evidenció resultados de deformación considerables, por lo que las pruebas destructivas se enfocaron en el estudio de la resistencia del material de las uniones compuesta también por tela de fibra de carbono como recubrimiento, para poder ser aplicada a la estructura del chasis.

Se usaron cuatro probetas, dos para tracción y dos para flexión, dichas probetas que fueron adecuadas y recubiertas con tela de fibra de carbono con la finalidad de medir las propiedades mecánicas de la composición de estos dos materiales. Con esto se buscó identificar cuan significativa es la resistencia estructural que le otorga la fibra de carbono a las uniones y a su vez ratificar su uso en la estructura del chasis. Se empleó tela de fibra de carbono 2x2 Twill 3K Hexcel AS4 que está fabricada según la especificación de grado aeroespacial Hexcel HS-CP-5000 (Composite Envisions, 2022, p1).

YARN/TOW CHARACTERISTICS	U.S. UNITS	SI UNITS
Specific Heat	0.28 Btu/lb-°F	0.27 cal/g-°C
Electrical Resistivity	5.6×10^{-5} ohm-ft	1.7×10^{-3} ohm-cm
Coefficient of Thermal Expansion	-0.35 ppm/°F	-0.63 ppm/°C
Thermal Conductivity	3.95 Btu/hr-ft-°F	6.83 W/m-°K
TYPICAL FIBER PROPERTIES	U.S. UNITS	SI UNITS
Tensile Strength		
3K	670 ksi	4,620 MPa
6K	640 ksi	4,410 MPa
12K	640 ksi	4,410 MPa
Tensile Modulus (Chord 6000-1000)	33.5 Msi	231 GPa
Ultimate Elongation at Failure		
3K	1.8%	1.8%
6K	1.7%	1.7%
12K	1.7%	1.7%
Density	0.0647 lb/in ³	1.79 g/cm ³
Weight/Length		
3K	11.8×10^{-6} lb/in	0.210 g/m
6K	23.9×10^{-6} lb/in	0.427 g/m
12K	48.0×10^{-6} lb/in	0.858 g/m
Approximate Yield		
3K	7,086 ft/lb	4.76 m/g
6K	3,485 ft/lb	2.34 m/g
12K	1,734 ft/lb	1.17 m/g
Tow Cross-Sectional Area		
3K	1.82×10^{-4} in ²	0.12 mm ²
6K	3.70×10^{-4} in ²	0.24 mm ²
12K	7.43×10^{-4} in ²	0.48 mm ²
Filament Diameter	0.280 mil	7.1 microns
Carbon Content	94.0%	94.0%
Twist	Never Twisted	Never Twisted

Ilustración 3-95: Propiedades fibra de carbono 2x2 Twill 3K Hexcel AS4.

Fuente: (Composite Envisions 2022, p. 2).

El proceso comprendió el recorte de tiras de tela de fibra de carbono aplicadas en la probeta de TPU mediante resina epóxica, se empleó un método similar al “carbon filament winding”, el cual consta de envolver filamento de fibra de carbono sobre un molde que gira, mientras el cabezal de la máquina se desplaza longitudinalmente tejiendo un entramado específico con el filamento.



Ilustración 3-96: Forrado de probetas con tela de fibra de carbono.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

Culminado el recubrimiento, las probetas fueron envueltas en cinta para garantizar la conservación de la forma y que la resina se mantenga dentro de los filamentos de la tela, además de que se sometieron a vacío para generar un correcto curado, secado y cohesión entre la probeta, resina y la tela, que tomó alrededor de 2 días. Posterior a este periodo, se les retiró las cubiertas plásticas, siendo aptas para ser usadas.



Ilustración 3-97: Probetas al vacío.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Después de este proceso, las probetas fueron llevadas al laboratorio de ensayos destructivos, en el cual se usaron máquinas certificadas para realización de las pruebas de tracción y flexión. El técnico a cargo tomó las medidas de las probetas y adecuó las máquinas acordes a las pruebas mencionadas. Las pruebas se realizaron a temperatura ambiente de 20 °C y una humedad relativa de 50%.



Ilustración 3-98: Máquina universal Metrotec MTE-1500.
Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero, 2023).

La prueba de flexión se realizó tomando en cuenta la longitud de la probeta para así tomar la referencia de distancia para los puntos de apoyo, además de que quede centrada y que el accesorio del cabezal aplique la fuerza en el centro de la probeta.



Ilustración 3-99: Ensayo a flexión.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

De esta prueba se obtuvieron las siguientes gráficas con relación a la fuerza y la carga máxima soportada por la probeta. La línea azul corresponde a la probeta 1 y la verde a la probeta 2.

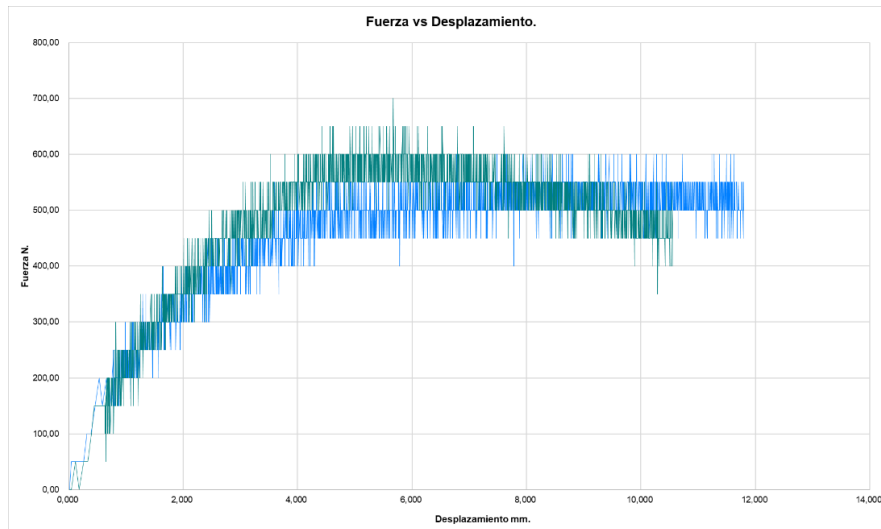


Ilustración 3-100: Gráfica Fuerza-Desplazamiento a flexión.

Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, 2023).

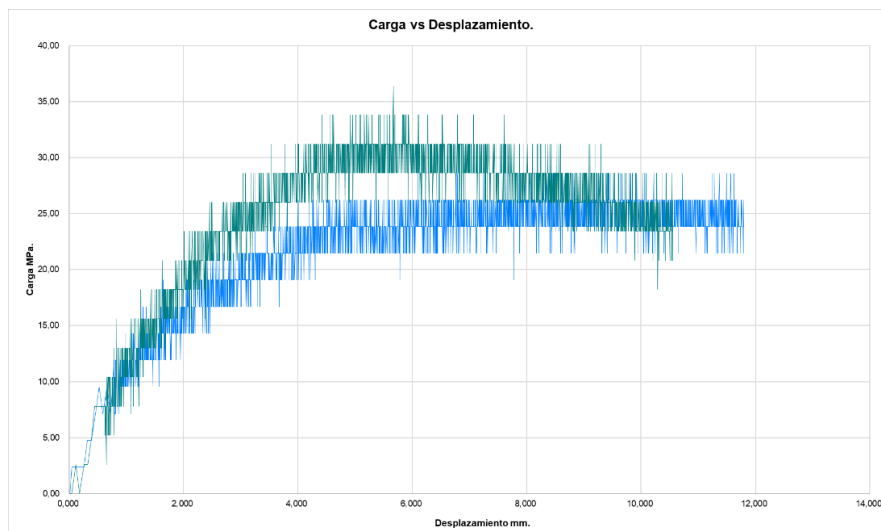


Ilustración 3-101: Gráfica Carga-Desplazamiento a flexión.

Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, 2023).

Los valores resultantes se tomaron con relación a la carga máxima que soportó la cubierta de fibra de carbono, ya que es hasta ahí donde se aprecia la fuerza y carga máxima, al final de la zona elástica, más allá de ahí la gráfica permanece en la zona plástica que indica que el material del núcleo empieza a soportar los esfuerzos y al tratarse de un material altamente flexible y con capacidades de sufrir grandes alargamientos de un 580% hasta su rotura, por lo que se evidencia una constante en la fuerza y carga aplicada pasada la zona elástica.

Probeta	FMax N	CMax MPa
■ 1	600,00	28,60
■ 2	700,00	36,42
Media	650,000	32,510
Mediana	650,000	32,510
Desv. Std	70,711	5,529
Coef. V.	0,109	0,170
Máximo	700,000	36,420
Mínimo	600,000	28,600
Rango	100,000	7,820
CPK	0,000	0,000
+3 Sigma	862,132	
-3 Sigma	437,868	

Ilustración 3-102: Resultados del ensayo a flexión.

Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero, 2023).

En este ensayo a flexión se obtuvieron los siguientes resultados, la probeta 1 soportó una fuerza máxima de 600 N y una carga máxima de 28,60 MPa, mientras que la probeta 2 soportó una fuerza máxima de 700 N y una carga máxima de 36,42 MPa, que dio como media una FMax de 650 N y una CMax de 32,510 MPa.

Los ensayos a tracción se realizaron tomando en cuenta las dimensiones de las probetas, además de equipar a la máquina de las mordazas adecuadas para sujetar los extremos de las probetas y evitar que se resbalen, para garantizar la correcta aplicación de los esfuerzos.

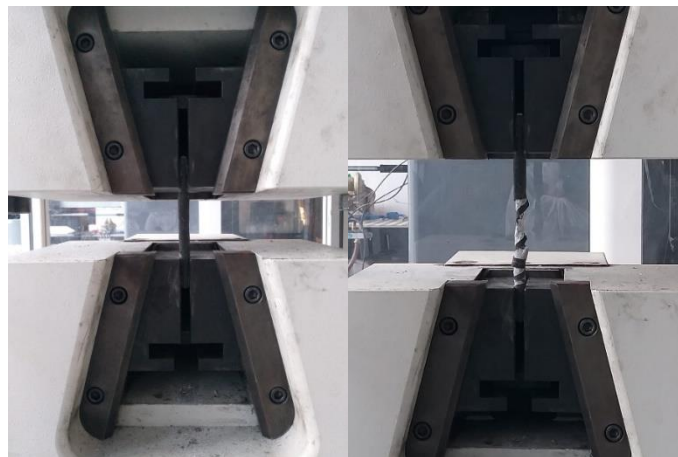


Ilustración 3-103: Ensayo a tracción.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Al igual que en el ensayo a flexión, se identifica a la probeta 1 con la línea azul y la probeta 2 con la línea verde.

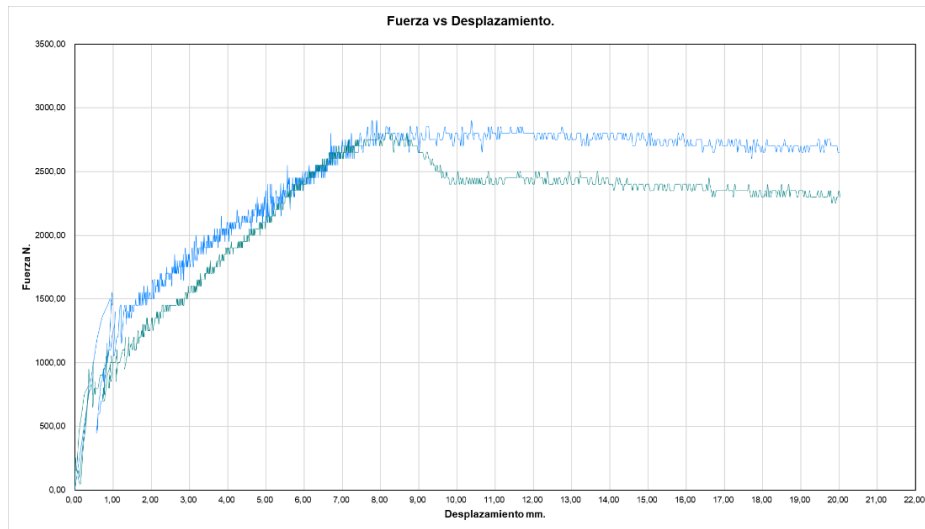


Ilustración 3-104: Gráfica Fuerza-Desplazamiento a tracción.
Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, 2023).

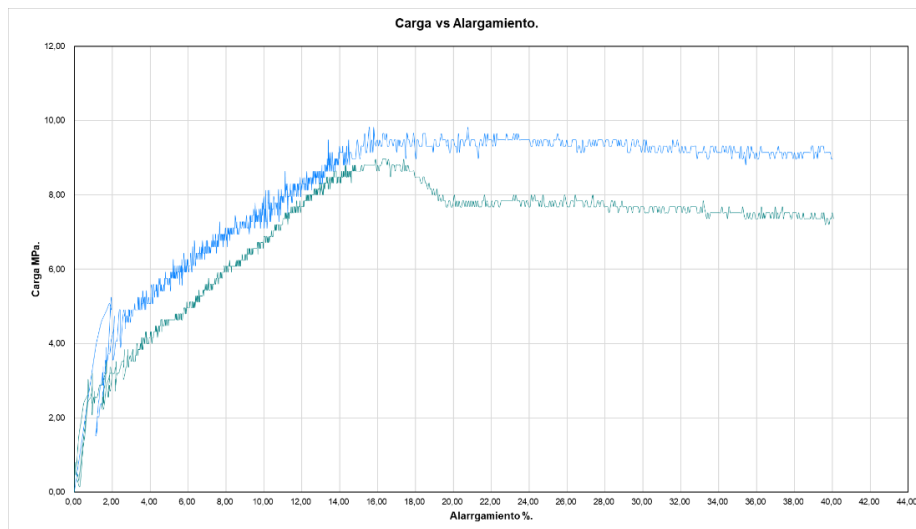


Ilustración 3-105: Gráfica Carga-Alargamiento a tracción.
Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, 2023).

De manera similar, el valor resultante es tomado a razón del momento cuando la capa de fibra de carbono se fractura dentro de la zona elástica, ya que después de ese momento la probeta entra en zona plástica y se mantiene constante al entrar en acción el TPU.

Probeta	FMáx. N	CMáx. MPa
■ 1	2900,00	9,83
■ 2	2800,00	8,97
Media	2850,000	9,397
Mediana	2850,000	9,397
Desv. Std	70,711	0,608
Coef. V.	0,025	0,065
Máximo	2900,000	9,827
Mínimo	2800,000	8,967
Rango	100,000	0,860
CPK	0,000	0,000
+3 Sigma	3062,132	11,221
-3 Sigma	2637,868	7,572

Ilustración 3-106: Resultados del ensayo a tracción.

Fuente: (Centro de Fomento Productivo Metalmecánico Carrocero, 2023).

El ensayo a tracción demostró que la probeta 1 soportó una fuerza máxima de 2900 N y una carga máxima de 9,83 MPa, mientras que la probeta 2 mantuvo una fuerza máxima de 2800 N y una carga máxima de 8,97 MPa, dando como media una FMax de 2850 N y una CMax de 9,397 MPa.

Dentro de los ensayos destructivos se observó que, pese a que la probeta sufrió deflexión y alargamiento significativo, esta nunca sufrió rotura, es decir, la cubierta de fibra de carbono se vio afectada, sin embargo, el núcleo de TPU no presentó fisuras o algún indicio de rotura, más allá de un alargamiento considerable, que se evidenció principalmente en la prueba de tracción.

CAPÍTULO IV.

4. RESULTADOS.

4.1. Simulación estática del chasis con uniones TPU-Fibra de carbono.

Con los resultados de las pruebas destructivas se procedió a implementarlos dentro de las características de un nuevo material compuesto, para poder generar una simulación y ratificar que los valores de deformación de la estructura se reduzcan. Con lo cual se usó la base de las simulaciones ya presentadas incorporando el nuevo material en las uniones del chasis, analizando la carga frontal, lateral y carga viva y muerta.

- Los resultados del análisis frontal:

Para la carga frontal se obtuvo que la deformación direccional -1,6728 mm en el eje X y una deformación total de 1,7037 mm. Los resultados se ven contrastados en la siguiente tabla comparados con los obtenidos en la simulación inicial en la que se toma en cuenta las uniones sin forrar.

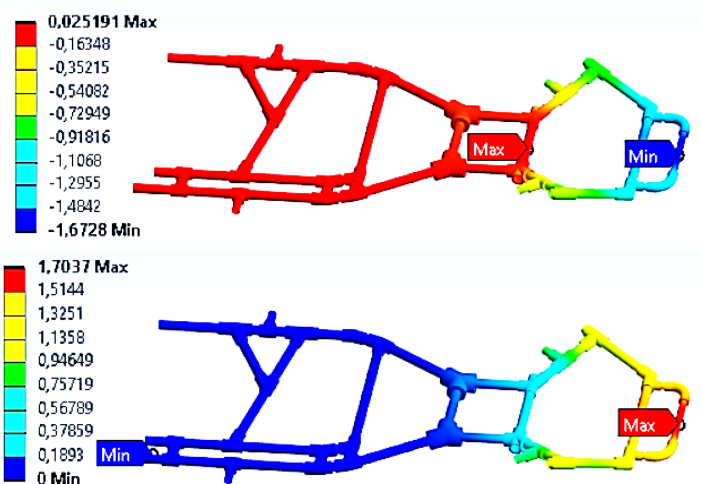


Ilustración 4-1: Deformación direccional y total frontal con TPU-FC.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

Los resultados se ven contrastados en la tabla 4-1 comparados con los obtenidos en la simulación inicial, en donde se pudo apreciar que los valores de deformación son menores en comparación con los obtenidos con el material 100% de TPU.

Tabla 4-1: Resultados comparativos del análisis frontal.

Parámetro.	Sim. Inicial.	Sim. TPU-FC.
Deformación total.	6,7033 mm	1,7037 mm
Deformación direccional.	-3,2342 mm	-1,6728 mm

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

- Los resultados del análisis lateral:

La carga lateral aplicada dio como resultado que la deformación direccional del chasis fue de -1,5488 mm en el eje Z y la deformación total que sufrió el chasis comprendió 1,7265 mm.

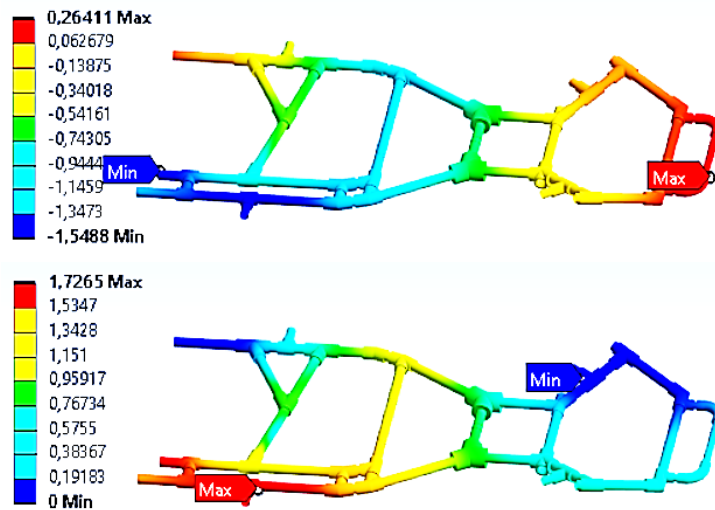


Ilustración 4-2: Deformación direccional y total lateral con TPU-FC.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

La tabla 4-2 hace la comparativa de los resultados iniciales e indica que los valores de deformación total obtenidos con el material compuesto son menores a al material inicial, sin embargo, en cuanto a la deformación direccional este valor es mayor, pero con una diferencia muy pequeña.

Tabla 4-2: Resultados comparativos del análisis lateral.

Parámetro.	Sim. Inicial.	Sim. TPU-FC.
Deformación total.	2,3851 mm	1,7265 mm
Deformación direccional.	-1,4253mm	-1,5488 mm

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

- Los resultados de carga viva y carga muerta:

Los valores de las cargas viva y muerta dieron como resultado una deformación direccional de -2.7284 mm en el eje Y, además de una deformación total de 2.7286 mm.

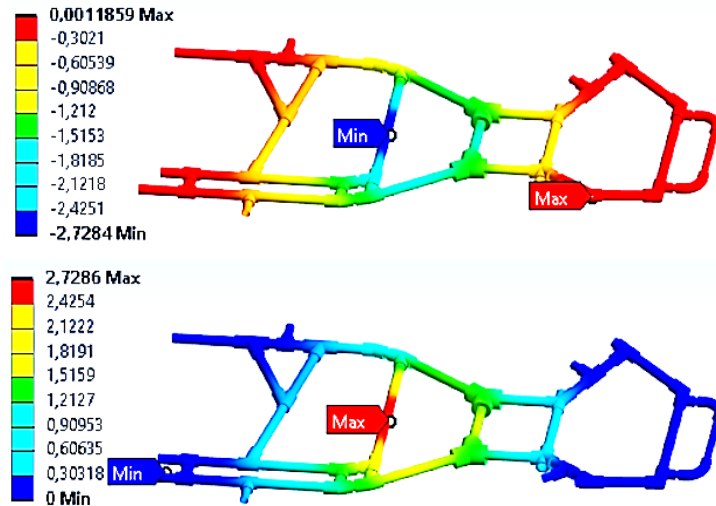


Ilustración 4-3: Deformación direccional y total lateral con TPU-FC.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En la tabla 4-3, se hace una comparación en la cual evidenció que los valores de deformación son menores a los obtenidos inicialmente y en este caso estos marcaban la zona donde mayor deformación sufría el chasis en cuanto a deflexión, por lo que el material compuesto representa una mejora para evitar dicho problema.

Tabla 4-3: Resultados comparativos del análisis de carga viva y muerta.

Parámetro.	Sim. Inicial.	Sim. TPU-FC.
Deformación total.	5.1718 mm	2.7184 mm
Deformación direccional.	-5.1715 mm	-2.7286 mm

Realizado por: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

4.2. Refuerzos del chasis.

Los resultados simulados dieron paso para ratificar el uso de tela de fibra de carbono en las uniones del chasis como medida de refuerzo de la estructura. Para ello el procedimiento usado fue similar al recubrimiento de las probetas, en este caso se tomaron tiras de tela de fibra de carbono con un ancho de 2-3 cm las cuales fueron aplicadas en la superficie del conjunto unión-tubo a manera de vendaje con capas intermedias de resina epóxica. Aplicadas las capas la zona

de trabajo fue recubierta con cinta plástica comprimiendo la tela y resina a las superficies del tubo y la unión de TPU.



Ilustración 4-4: Aplicación de capas de tela de fibra de carbono.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023

Aplicadas las capas de fibra de carbono se procedió a empaquetar el armazón dentro de una bolsa para poder generar vacío por medio de la bomba, para aumentar la compresión de los componentes aplicados y que el proceso de curado y secado de la resina epóxica.



Ilustración 4-5: Generación de vacío en la estructura.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

Finalizado el secado de las partes se consiguió que la resistencia de la estructura incrementara y que la deflexión que se producía en la parte central del chasis disminuya considerablemente, además de que el recubrimiento de fibra de carbono brindó una apariencia más estética al conjunto de la estructura.



Ilustración 4-6: Chasis forrado de fibra de carbono.

Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

En base a lo mencionado consideró una carga de (80 + 30 Kg de la simulación estática) para someter al chasis a un esfuerzo real ya con los refuerzos de fibra de carbono y verificar su rigidez y comportamiento.



Ilustración 4-7: Prueba estática.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

El chasis soportó la carga, en la que se evidenció un avance significativo respecto a factor de la deflexión que presentaba la estructura en un principio, sin embargo, el proceso de aplicación de las capas de fibra de carbono debe ser mayor para garantizar un incremento de la resistencia estructural.



Ilustración 4-8: Deflexión del chasis.
Fuente: Lirio, A. y Torres, M., 2023.

CAPITULO V.

5.1 CONCLUSIONES.

- Con base en la normativa internacional FIA se realizó los análisis correspondientes en cuanto dimensiones y cargas aplicadas sobre el chasis, usando como material principal la fibra de carbono conservando buenas características estructurales y siendo mucho más liviano (36.6 %), pesando 9.5 Kg en comparación de los 14-15 Kg que puede llegar a pesar el chasis de un kart con estructura metálica.
- El diseño del chasis en un software CAD permitió evidenciar su comportamiento del chasis como base para la construcción de la estructura partiendo de los resultados de deformaciones, en este caso carga frontal, lateral y carga viva y muerta, con 3,2342 mm, 1,4223 mm y 5,1715 mm respectivamente.
- El método de impresión 3D óptimo para este tipo de construcción debe ser por deposición fundida con una impresora de extrusión directa con un buen control de flujo de aire a través de los ventiladores del nozzle. Además de corregir los problemas en los puntos de malla de los elementos a imprimir para garantizar la correcta cohesión de las capas de filamento.
- La fabricación y ensayos destructivos de las probetas de TPU y fibra de carbono, establecieron un FMax de 650 N y una CMax de 32,510 MPa flexionadas, en cuanto a tracción se obtuvo uno FMax 2850 N y una CMax 9,397 MPa. Permitiendo establecer nuevos parámetros de simulación, disminuyendo la deformación frontal, lateral y carga vivía y muerta en 1,6728 mm, 1,5488 mm y 2,7286 mm respectivamente.
- El proceso de recubrimiento de capas de fibra de carbono resulta en una solución eficaz para tratar los problemas de deformación y deflexión de chasis, contribuyendo en gran medida a rigidizar la estructura y solventar los inconvenientes mencionados. Dado el caso, la resistencia estructural del chasis aumentó al cubrirlo con capas de tela de fibra de carbono y en tal caso mejora aún más si se le aplican más capas.

- Se concluye que el diseño y construcción de un chasis en fibra de carbono fue llevado a cabo, siendo la estructura resultante preparada para ser montada dentro del conjunto del kart eléctrico. Este proceso requiere de materiales y procesos de manufactura específicos, como el tratamiento de resinas epóxicas y sellados al vacío, además de valorar las limitaciones del proyecto que se vieron presentes en cuanto al material a usar, el método de unión de los miembros estructurales, la escasez de existencias del material principal y su costo.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Para un proyecto optimo a futuro se recomienda trabajar con tubos de fibra de carbono superiores a 3k de hilos por franja ,de modo que sean más resistentes a los impactos; en cuanto a las uniones impresas en 3D es recomendable no trabajar en TPU debido a que es un material flexible por lo cual el reemplazo para este material sería el PLA-Fibra de carbono; para las impresiones en 3D se debe tomar en cuenta las temperaturas de trabajado de los filamentos a usar, para tener piezas de mejor calidad, de igual modo que las impresoras cuenten con fuentes de alimentación constante, ya que en caso de un corte de luz estas impresiones no queden incompletas, lo que implica material y horas de impresión perdidas; como también para el forrado de las uniones con tela de fibra de carbono lo adecuado es usar resina de alto impacto para obtener un mejor resultado estructural y funcional.
- Se recomienda contar con una computadora de buenas características de almacenamiento y tarjetas gráficas, para poder simular de mejor manera en el software, ya que así se puede trabajar con mejor mallados, obteniendo mejores resultados; también es recomendable ingresar todas las características mecánicas de los materiales a trabajar para que los resultados sean lo más reales posibles; aplicar correctamente las cargas sobre la estructura de manera que se pueda obtener e interpretar los resultados de manera correcta.
- Para la construcción se recomienda trabajar con guantes para evitar que las resinas usadas tengan contacto con la piel debido a que son productos químicos nocivos para la salud, también contar con herramientas de corte adecuadas para poder cortar los tubos correctamente según lo establecido en planos.
- Adecuación de un laboratorio para el estudio de materiales compuestos y poliméricos, que permita realizar ensayos destructivos e introduzca el manejo, tratamiento y procesos de manufactura de elementos como fibra de carbono y resinas epóxicas, comprendiendo que la industria automotriz promueve la fabricación de elementos estructurales, piezas, partes mecánicas y decorativos por medio de estos materiales.

BIBLIOGRAFÍA.

1. **AGUADO, D.** Diseño y análisis de un chasis de kart de competición. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Carlos III de Madrid. Madrid-España. 2014. [Consulta: 15 mayo 2023]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23229>
2. **ANADÓN OCHAVO, R. y PABÓN MANSILLA, D.** Diseño de un kart de pista. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona-España. 2012. [Consulta: 23 mayo 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/15463?locale-attribute=es>
3. **ASTM INTERNATIONAL D638-14.** *Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic* [En línea]. 2014. [Consulta: 15 julio 2023]. Disponible en : <https://borgoltz.aoe.vt.edu/aoe3054/manual/expt5/D638.38935.pdf>
4. **BELTRAMO, E., STUARDI, J. y CHIAPPERO, G.** “Influencia de la rigidez torsional del chasis en el comportamiento dinámico de un vehículo de la categoría Súper TC 2000”. *REVISTA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES* [En línea], 2017, (Argentina), vol. 4 (1), págs. 31-40. [Consulta: 20 noviembre 2022]. Disponible en: <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/FCEFYN/article/view/14491/16509>
5. **BERMEO MOREJÓN, L., CALLE BARRERA, J. y CARRIÓN JAURA, R.** Diseño y construcción de un chasis tubular de un vehículo monoplaza para la competición en la formula SAE. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2014. [Consulta: 08 enero 2023]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/7132>
6. **CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO.** *Máquina de ensayos universal Metrotec MTE 1500.* 2023. Ambato-Ecuador.
7. **CENTRO DE FOMENTO PRODUCTIVO METALMECÁNICO CARROCERO.** *Resultados de ensayos destructivos.* 2023. Ambato-Ecuador.
8. **CIK-FIA.** *FICHE D’HOMOLOGATION HOMOLOGATION FORM.* 2019.
9. **CIK-FIA.** FIA KARTING. [En línea]. [Consulta: 15 octubre 2022]. Disponible en: <https://www.fiakarting.com/history>
10. **CIK-FIA RÈGLEMENT TECHNIQUE DE KARTING.** *Technical regulations.* [En línea]. 2022. [Consulta: 20 septiembre 2022]. Disponible en: https://www.fiakarting.com/sites/default/files/2023-03/6.0_RT2023.pdf
11. **COMPOSITE ENVISIONS.** *Carbon fiber fabric 2x2 Twill 3K HEXCEL AS4* [en línea]. 2022. [Consulta: 31 julio 2023]. Disponible en: <https://compositeenvisions.com/wp-content/uploads/2018/03/F-1286-TDS-Hexcel-AS4.pdf>

12. **CREALITY.** *CR-10 MAX.* [En línea]. 2023. [Consulta 24 mayo 2023]. Disponible en: <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/C/CR-10-MAX.PDF>
13. **CREALITY.** *CP-01.* [En línea]. 2023. [Consulta 24 mayo 2023]. Disponible en: <https://agelectronica.lat/pdfs/textos/C/CP-01.PDF>
14. **CRG.** *Racing line.* [En línea]. 2022. [consulta 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://karterg.com/products/?lang=en#kart-crg-mini-cadet>
15. **CRIOLLO YANCHAPANTA, L. y PAREDES ZUMBANA, D.** Diseño e implementación de una carrocería en fibra de carbono y resinas termoestables mediante el uso de software CAD/CAE para un vehículo solar de la Escuela de Ingeniería Automotriz. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Chimborazo-Ecuador. 2019. [Consulta: 17 febrero 2023]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/11488>
16. **ERASMUS.** *Guía técnica de impresión 3D.* [En línea]. 2017. [Consulta: 19 marzo 2023]. Disponible en: <https://www.e3dplusvet.eu/wp-content/docs/O1A1-ES-RES.pdf>
17. **ESPINOZA, P.** Estudio para el desarrollo de compuestos de poliéteruretano termoplástico (TPU)-hidroxiapatita (ha) para su posible uso en implantes ortopédicos: procesabilidad y propiedades mecánicas. [En línea]. (Maestría). Centro de Investigación en Química Aplicada. Coahuila-México. 2017. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/429/1/Tesis%20MTP%20Pedro%20Antonio%20Espinoza%20Martinez%20Dic%202011%202017.pdf>
18. **FAUS, J. y MARQUINA, M.** Materiales compuestos de matriz polimérica reforzados con fibra de vidrio y fibra de carbono para aplicaciones estructurales. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España. 2013. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/handle/10251/34276>
19. **FIA.** *FIA KARTING - SUPERKARTS TO PERFORM IN FRONT OF THE CROWD AT ASSEN.* [En línea]. 2022. [consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.fia.com/news/fia-karting-superkarts-perform-front-crowd-assen>
20. **HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C. y BAPTISTA, M.** *Metodología de la Investigación* [En línea]. 5ª ed. México : Mc Graw Hill Educación, 2010. [Consulta: 9 diciembre 2022]. Disponible en: <https://www.icmujeres.gob.mx/wp-content/uploads/2020/05/Sampieri.Met.Inv.pdf>
21. **JUAREZ ALONZO, E.** Análisis y evaluación de propiedades térmicas y mecánicas de resínicos del tipo Epoxi/Amina. [En línea]. (Maestría). Centro de Investigación en Química Aplicada. Coahuila-México. 2012. [Consulta: 18 mayo 2023]. Disponible en: <https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/361/1/Esdras%20David%20Juarez%20Alonzo.pdf>

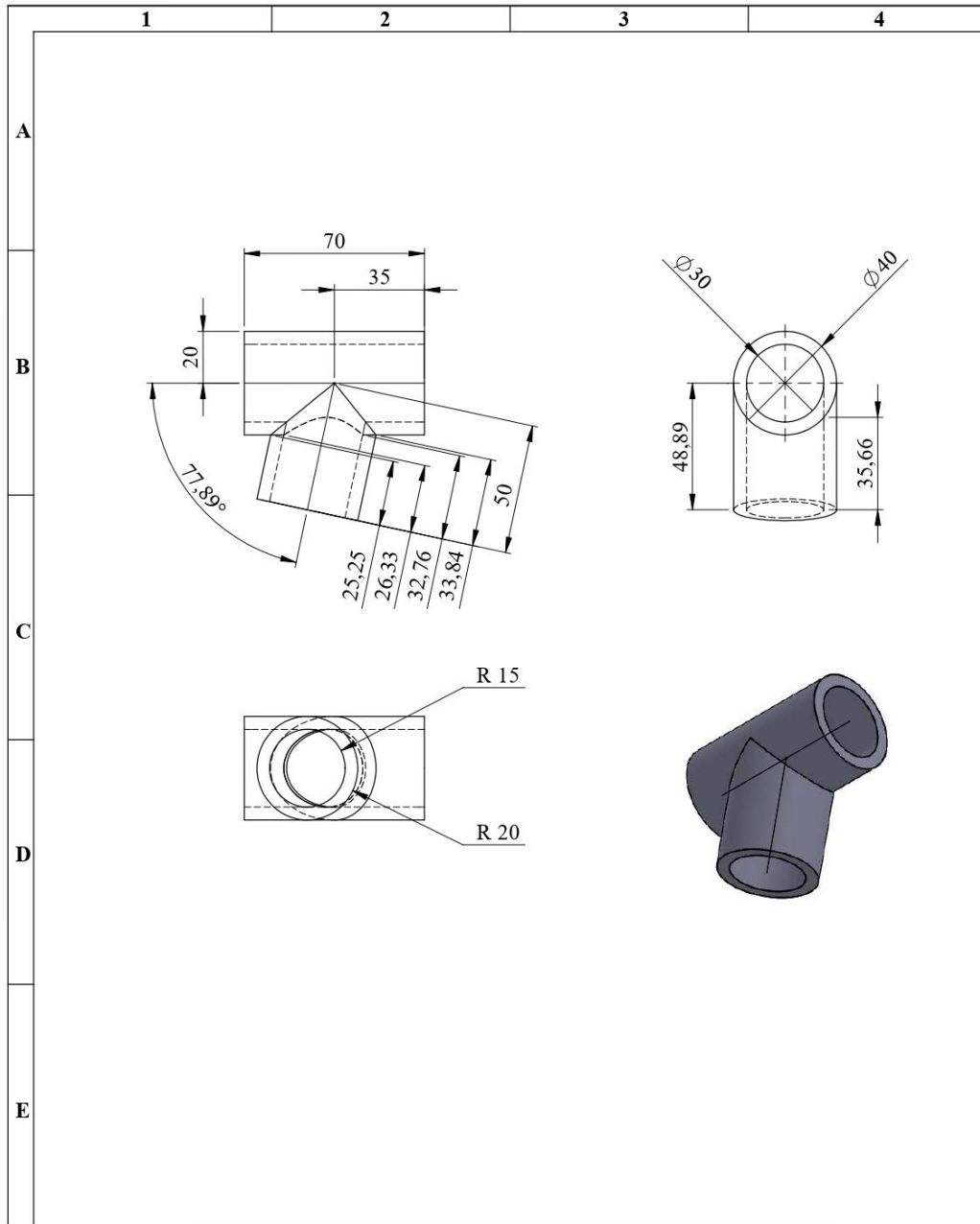
22. **LIBEERT, M.** *How To Make Carbon Fiber Tubes - 4 different techniques (Tutorial)* [En línea]. 2022. [Consulta: 21 agosto 2023]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=FPYEQlyxOHY>
23. **MUZZUPAPPA, M., GIUSEPPE, M. y VENA, G.** “METHODS FOR THE EVALUATION OF THE GO-KART VEHICLE DYNAMIC PERFORMANCE BY THE INTEGRATION OF CAD/CAE TECHNIQUES”. ResearchGate [En línea]. 2014. (Italia). Vol. 1, págs. 2-13. [Consulta: 19 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/255606896>
24. **NAZZA.** *Fibra de carbono 3K Twill* [En línea]. 2021. [Consulta: 24 abril 2023]. Disponible en: <https://www.nazza.es/img/cms/FT%20-%20Fibra%20de%20carbono%203K%20TWILL.pdf>
25. **PLASTIC MATERIALS INC.** *Epoxy Resin for Carbon Fiber: A Powerful Combination with a Host of Benefits* [En línea]. 2022. [Consulta: 30 noviembre 2022]. Disponible en: <https://plasticmaterials.net/blog-epoxy-resin-for-carbon-fiber/>
26. **QUEZADA POMA, P.** *Diseño y fabricación de un chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA.* [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. Cuenca-Ecuador. 2018. [Consulta: 18 octubre 2022]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15766/1/UPS-CT007735.pdf>
27. **RODRÍGUEZ GALBARRO, H.** *El Bastidor de los Vehículos Automóviles* [En línea]. 2015. [Consulta: 12 octubre 2022]. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn69.html>
28. **SÁENZ DE VILLAVERDE, A.** *La fibra de carbono: Más allá del refuerzo estructural.* [En línea]. (Trabajo de titulación). Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona-España. 2021. [Consulta: 10 junio 2023]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/343558/Rosell%20Sáenz%20de%20Vilaverde%20Adrià%20TFG%20La%20fibra%20de%20carbono.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
29. **SALAZAR GONZÁLEZ, F.** *ANÁLISIS DE UN KART DE COMPETICIÓN Y DE SUS COMPONENTES* [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Zaragoza. Zaragoza-España. 2017. [Consulta: 18 noviembre 2022]. Disponible en: <https://zagan.unizar.es/record/5673/files/TAZ-PFC-2011-125.pdf>
30. **SEA LINE.** *Resina Epoxi información técnica* [En línea]. 2012. [Consulta: 15 febrero 2023]. Disponible en: http://www.sea-line.eu/wp-content/uploads/2017/01/TDS_resin_epoxy_espanol.pdf
31. **SODIKART.** *Racing Karts* [En línea]. 2022. [Consulta: 8 noviembre 2022]. Disponible en: <https://www.sodikart.com/es-es/karts/racing/>

32. **SUPERINTENDENCIA DE RIESGOS DEL TRABAJO.** *Resinas Epoxi* [En línea]. 2017. [Consulta: 30 noviembre 2022]. Disponible en: https://www.srt.gob.ar/wp-content/uploads/2017/03/Ficha_tecnica_Resinas.pdf
33. **TELLER BEL, J.** *Tipos de bastidores en los vehículos industriales* [En línea]. 2011. [Consulta: 28 noviembre 2022]. Disponible en: www.centro-zaragoza.com
34. **ULTIMAKER.** *Ficha de datos técnicos TPU-95A* [En línea]. 2017. [Consulta: 16 mayo 2023]. Disponible en: <https://jimdo-storage.global.ssl.fastly.net/file/4fd1cf10-5a87-4703-947e-96540a5aa56b/TDS%20TPU%2095A%20v3.010-spa-ES.pdf>
35. **VÁSQUEZ LEMA, F.** *Construcción de un bastidor tubular de un go-kart eléctrico para la Carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.* [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Pichincha-Ecuador . 2021. [Consulta: 15 noviembre 2022]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/bitstream/handle/21000/26324/M-ESPEL-MAT-0137.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
36. **WESCO.** *Dura Quarz Epox 2-1* [En línea]. 2013. [Consulta: 9 mayo 2023]. Disponible en: <https://static1.squarespace.com/static/605230986f1c9c1648f1bc0a/t/608a10a4db7e9037b0d1edf1/1619660964661/Ficha+Técnica+WESCO+Dura+Quarz+V.2.pdf>

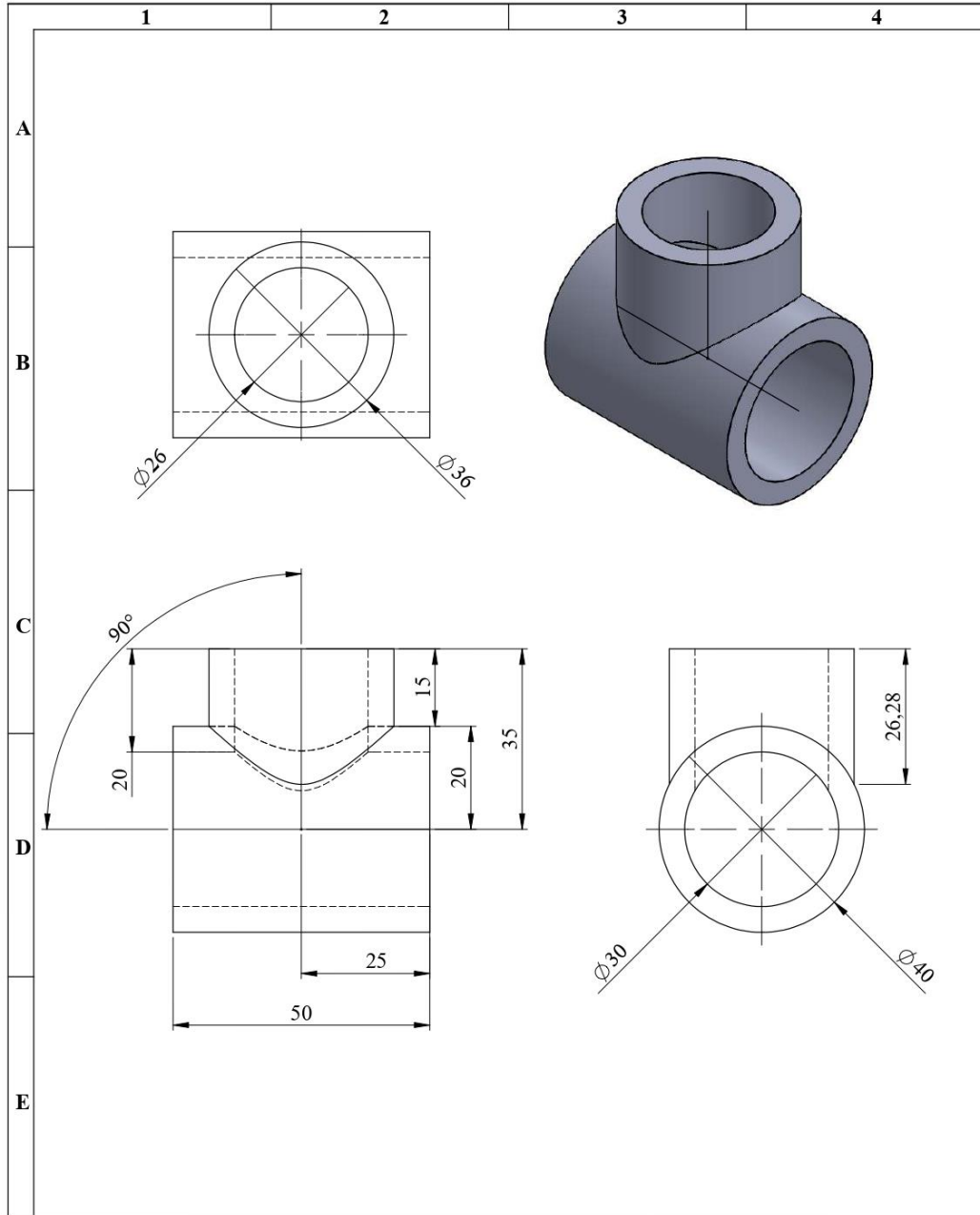


ANEXOS.

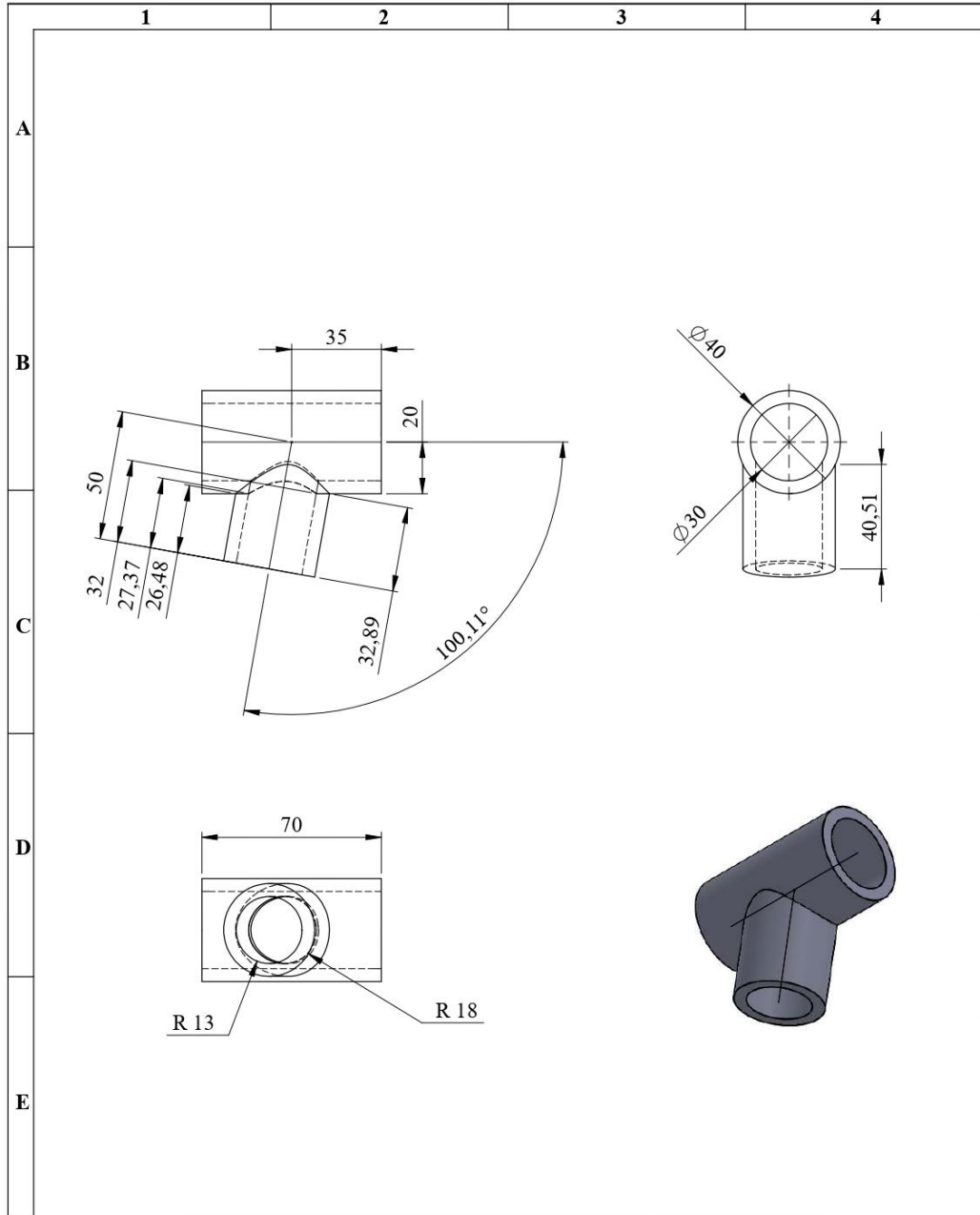
Anexo A: Planos de las uniones.



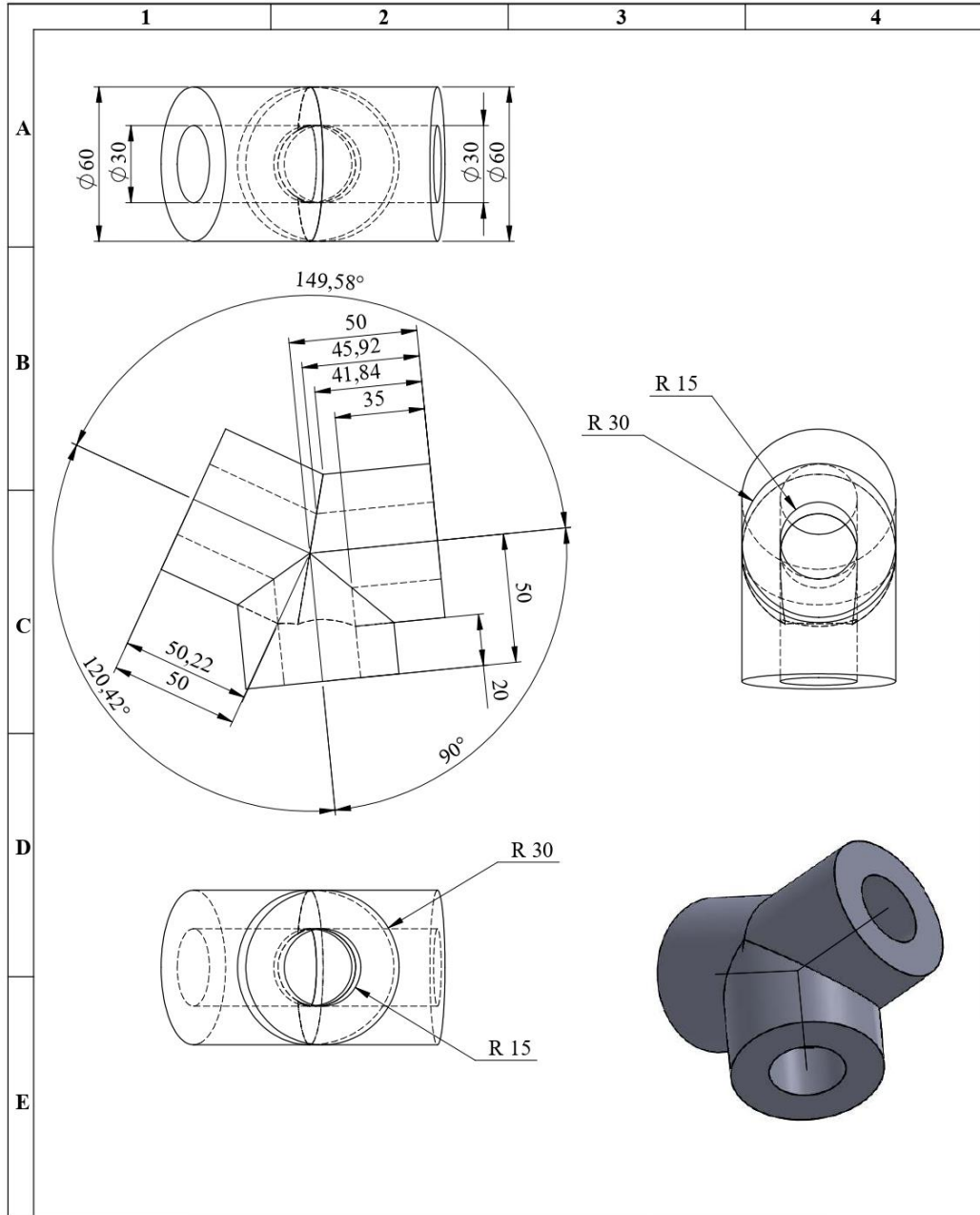
Nº. Lámina: 01 de 15		Nº. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-001		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@espoch.edu.ec marco.torres@espoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 1		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: TPU-95A		Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY 	
Proyectó	M. Torres		15/04/2023			92.56	±0.3 [mm]	1 : 2			
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023								
Revisó	Ing. Luis Buenaño		08/08/2023								
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023	Nombre de archivo: PIEZA1.SLDPRT							



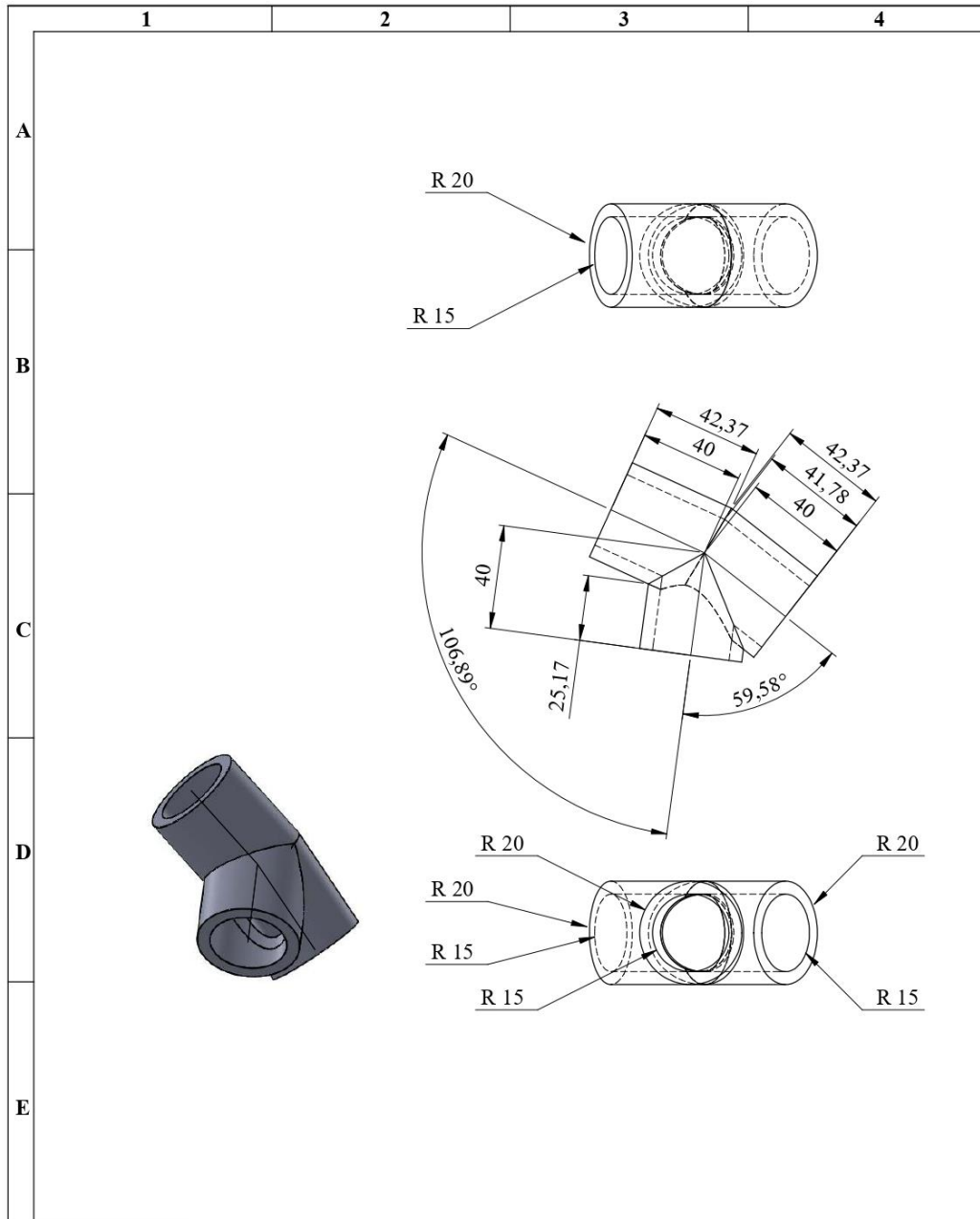
N°. Lámina: 02 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-002		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA							
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 2		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [g]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		58.57		±0.3 [mm]		1 : 1			
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		Materiales: TPU-95A		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023									
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA2.SLDPRT							



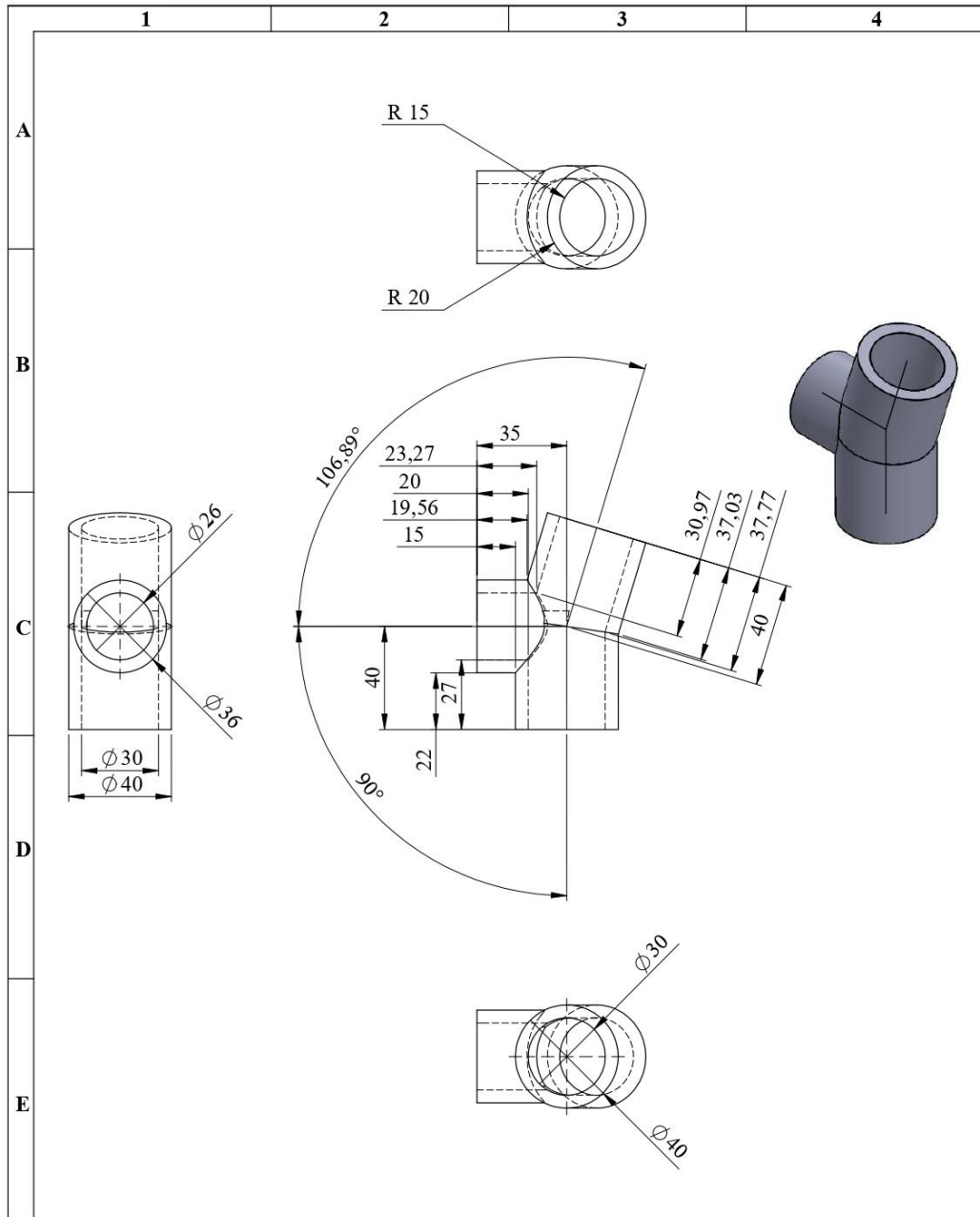
N°. Lámina: 03 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-003		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: alexis.lirio@espoch.edu.ec marco.torres@espoch.edu.ec						PIEZA 3		Peso [g]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		90.52		±0.3 [mm]		1 : 2	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		Materiales: TPU-95A		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023									
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA3.SLDPRT							
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023									



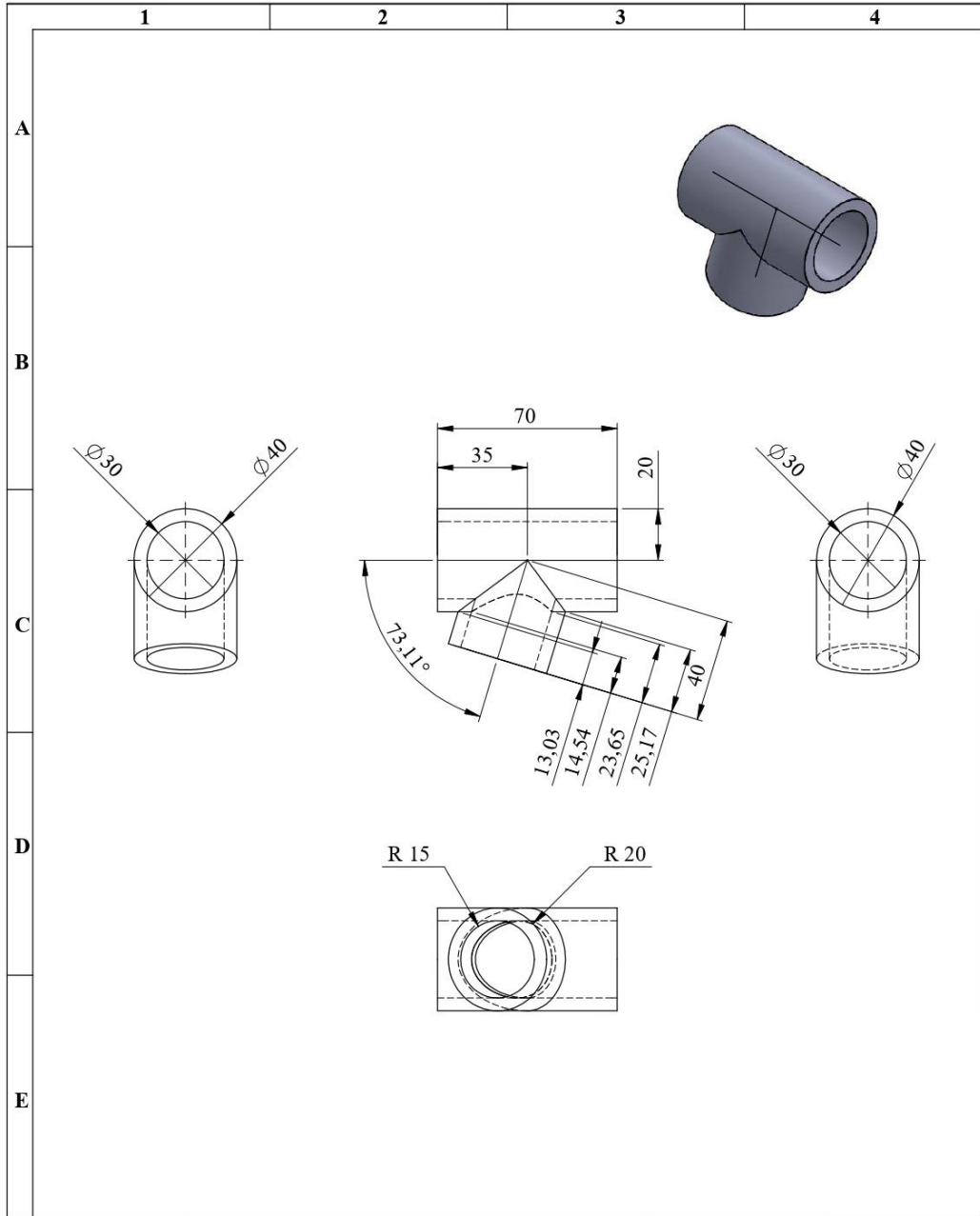
N°. Lámina: 04 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-004		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@esPOCH.edu.ec marco.torres@esPOCH.edu.ec						Denominación: PIEZA 4		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: TPU-95A		Nombre de archivo: PIEZA4.SLDPRT		Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	M. Torres		15/04/2023					351.93	± 0.3 [mm]	1 : 2	
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó	Ing. Luis Buenaño		08/08/2023								
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023								



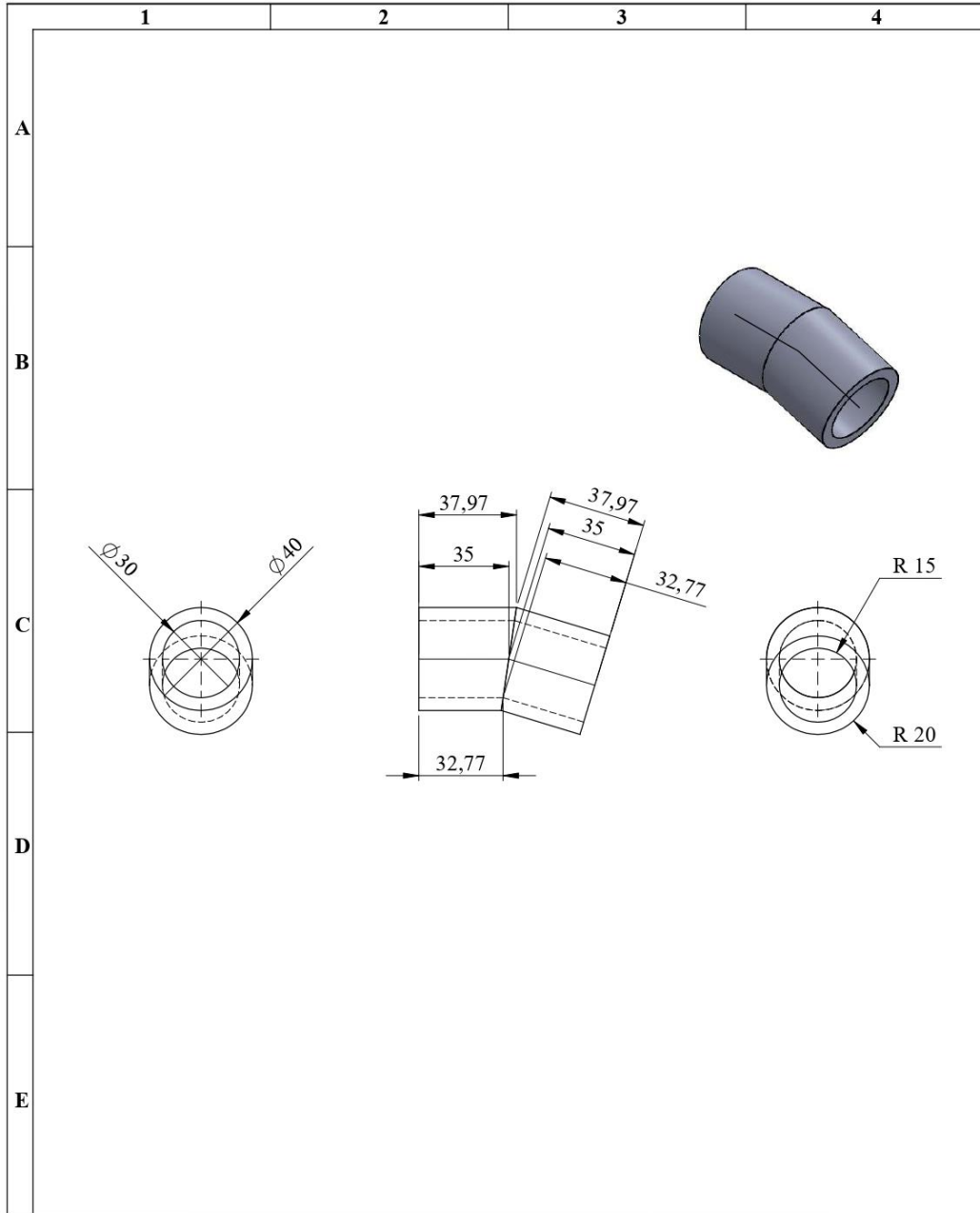
N°. Lámina: 05 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-005		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@esPOCH.edu.ec marco.torres@esPOCH.edu.ec						Denominación: PIEZA 5		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma	Fecha			Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro		
Proyectó	M. Torres		15/04/2023			85.64	±0.3 [mm]	1 : 2			
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023								
Revisó	Ing. Luis Buenaño		08/08/2023								
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023	Materiales: TPU-95A		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Nombre de archivo: PIEZA5.SLDPRT											



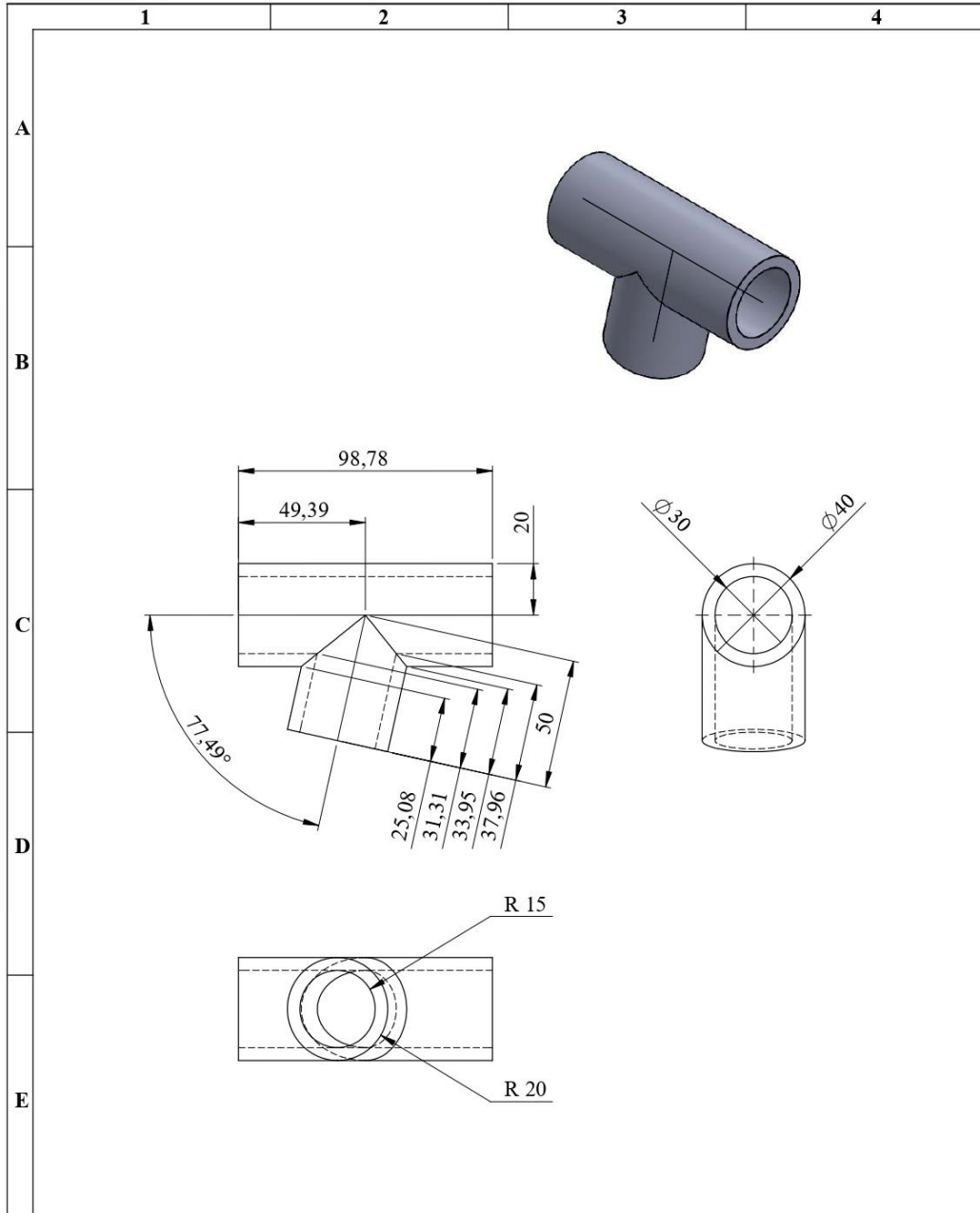
N°. Lámina: 06 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-006		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA							
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 6		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [g]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		90.52		±0.3 [mm]		1 : 2			
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		Materiales: TPU-95A		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023									
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA6.SLDPRT							



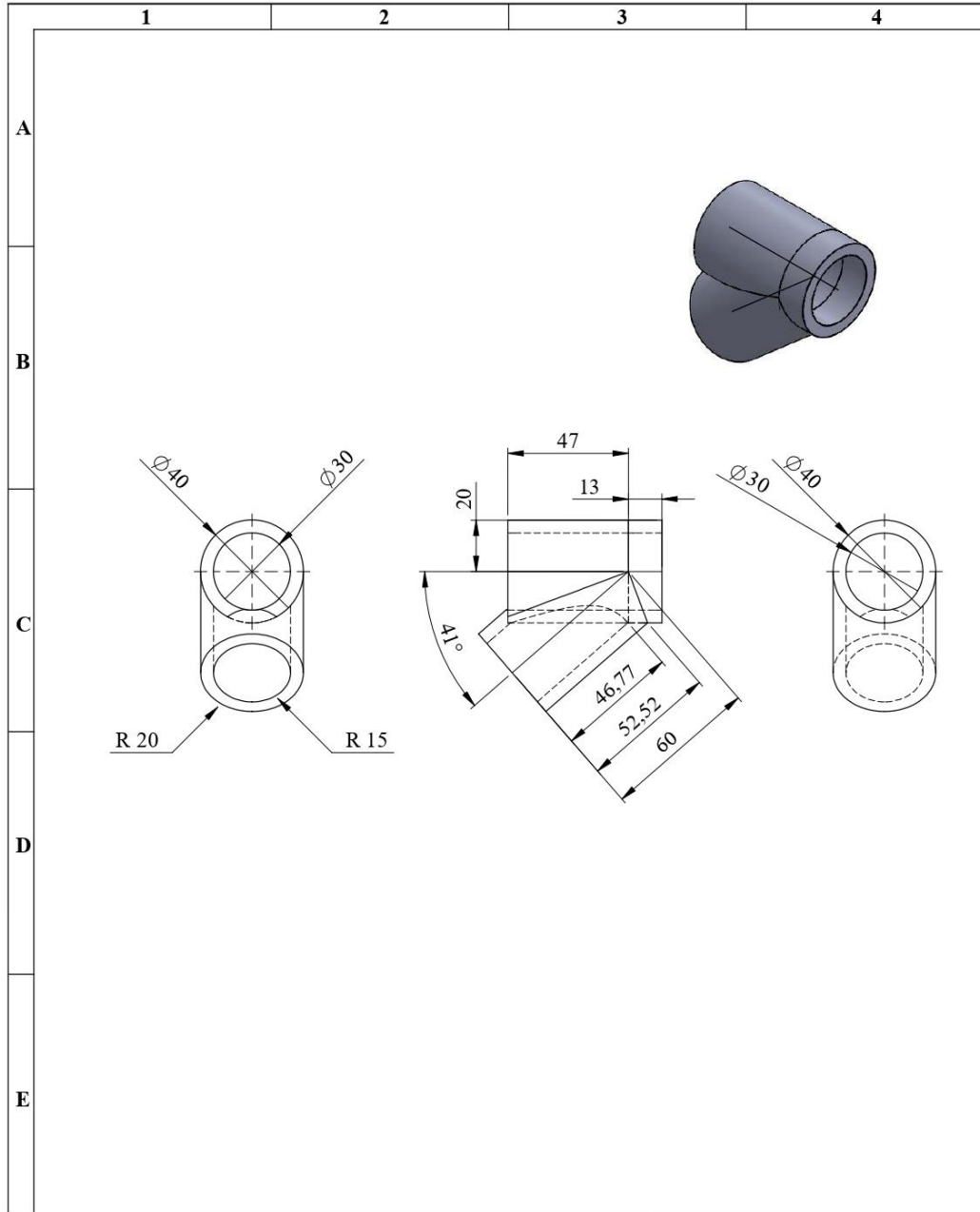
N°. Lámina: 07 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-007		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 7		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: TPU-95A		Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 	
Proyectó	M. Torres		15/04/2023			92.11	±0.3 [mm]	1 : 2			
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023								
Revisó	Ing. Luis Buenoño		08/08/2023								
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023	Nombre de archivo: PIEZA7.SLDPRT							



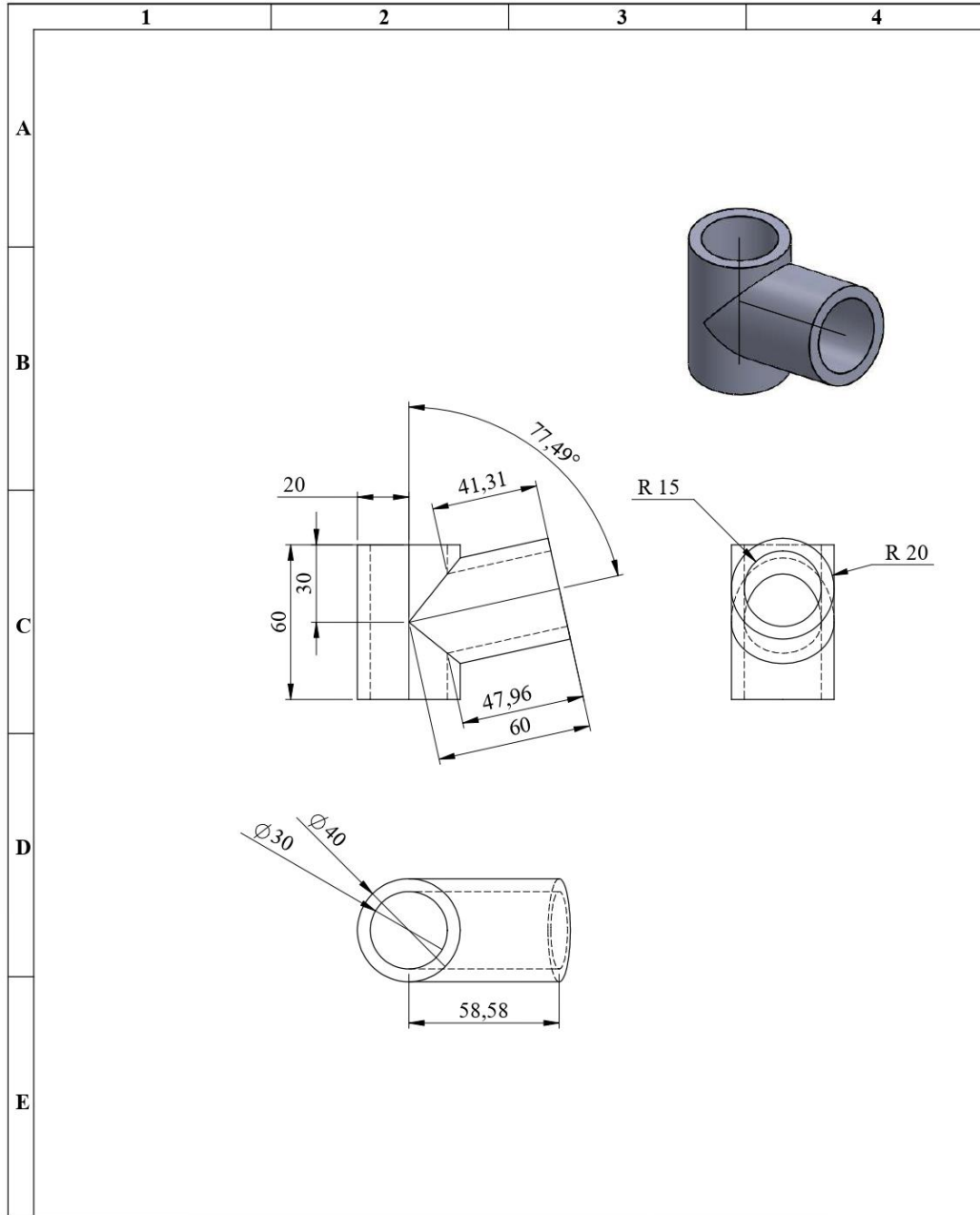
N°. Lámina: 08 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-008		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: alexis.lirio@espoch.edu.ec marco.torres@espoch.edu.ec						PIEZA 8		Peso [g]		Tolerancia		Escala		Registro	
Datos		Nombre		Firma				Fecha		85.64		±0.3 [mm]		1 : 2	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		Materiales: TPU-95A		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE MT. Y A L CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023									
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA8.SLDPRT							
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023									



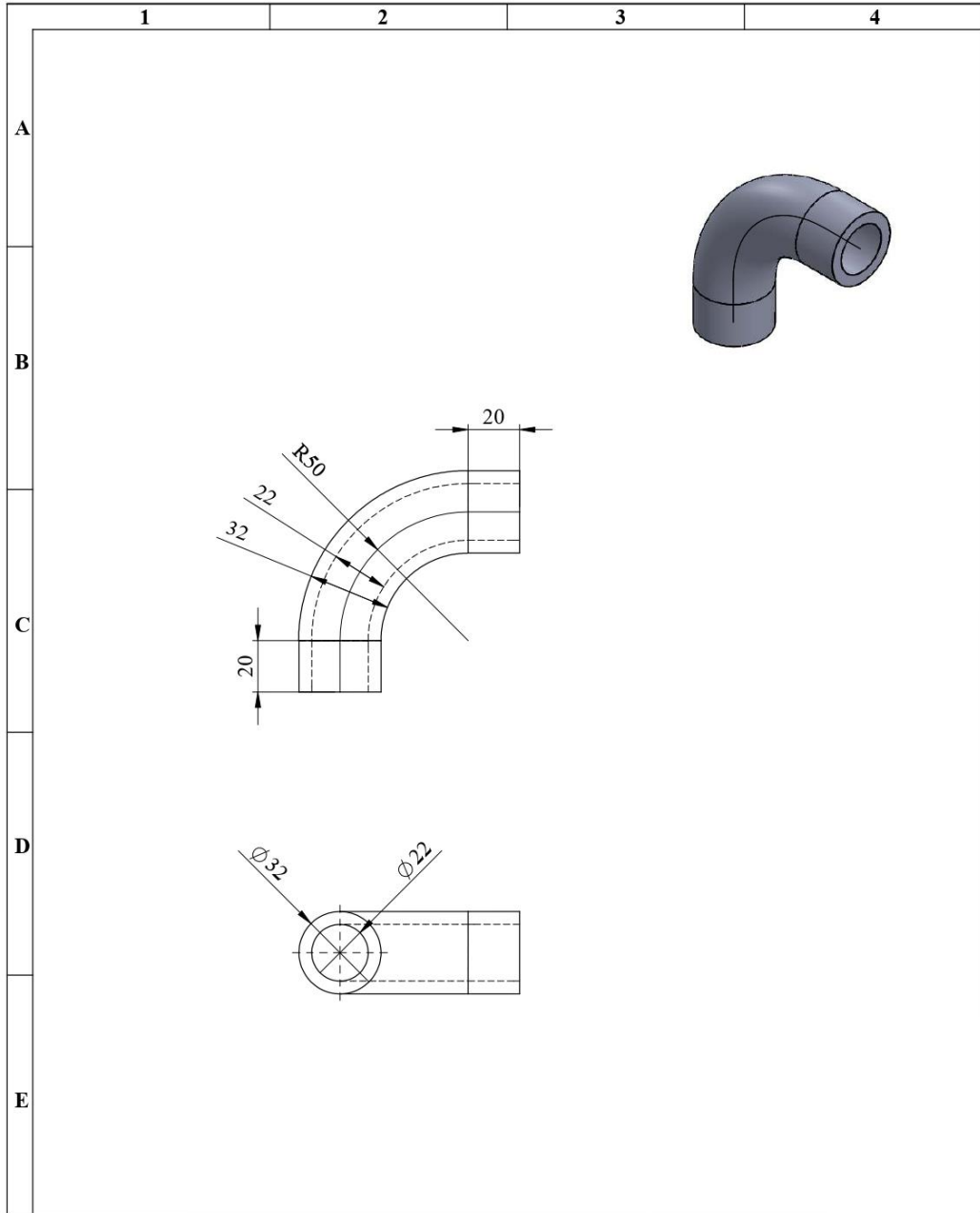
N°. Lámina: 09 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-009		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						PIEZA 9		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [g]	Tolerancia
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		88.84	±0.3 [mm]	1 : 2	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023					
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023					
						Materiales: TPU-95A					
						Nombre de archivo: PIEZA9.SLDPRT					



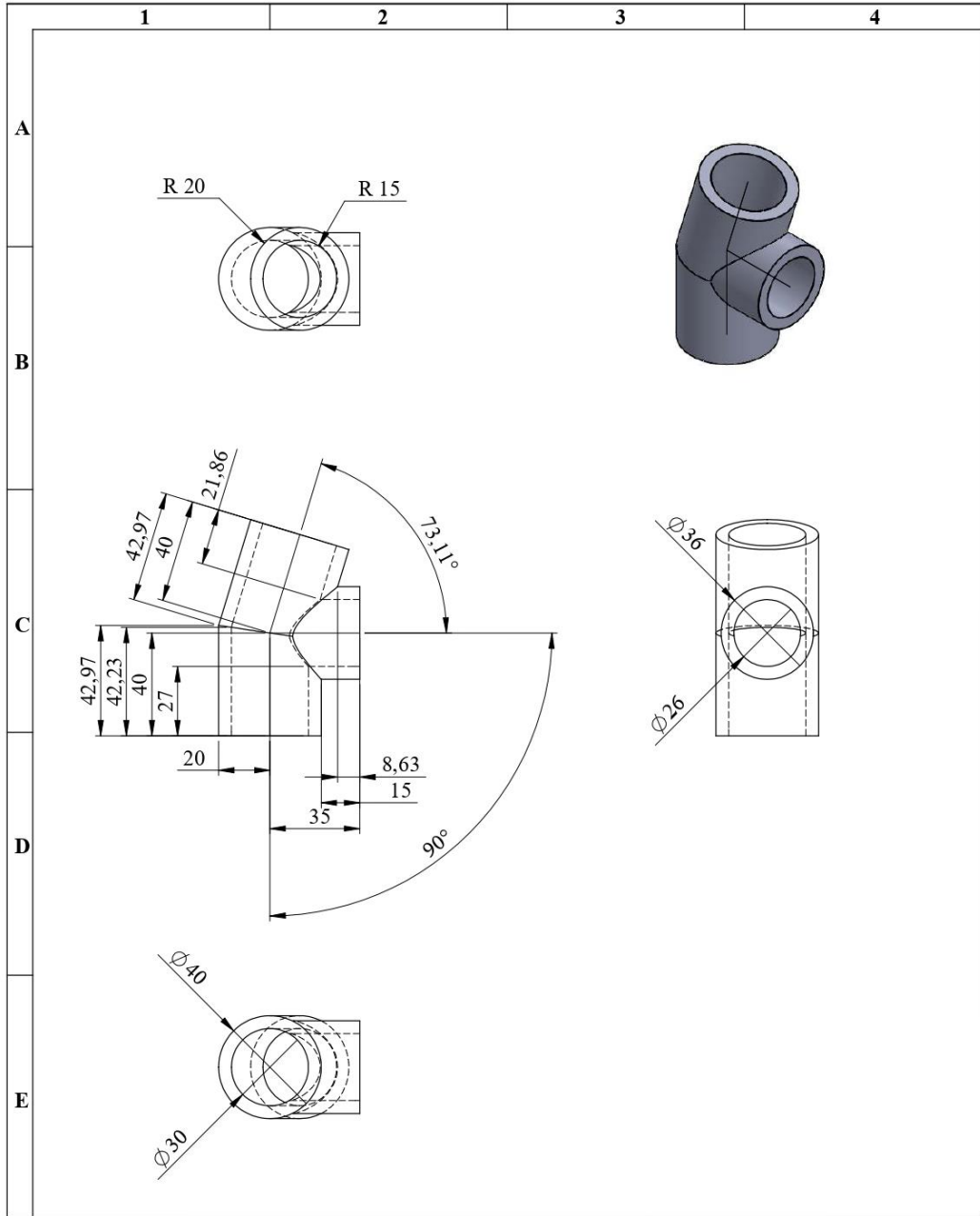
N°. Lámina: 10 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-010		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 10		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		13.78	±0.3 [mm]	1 : 2	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023					
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023					
Materiales: TPU-95A						Nombre de archivo: PIEZA10.SLDPRT					



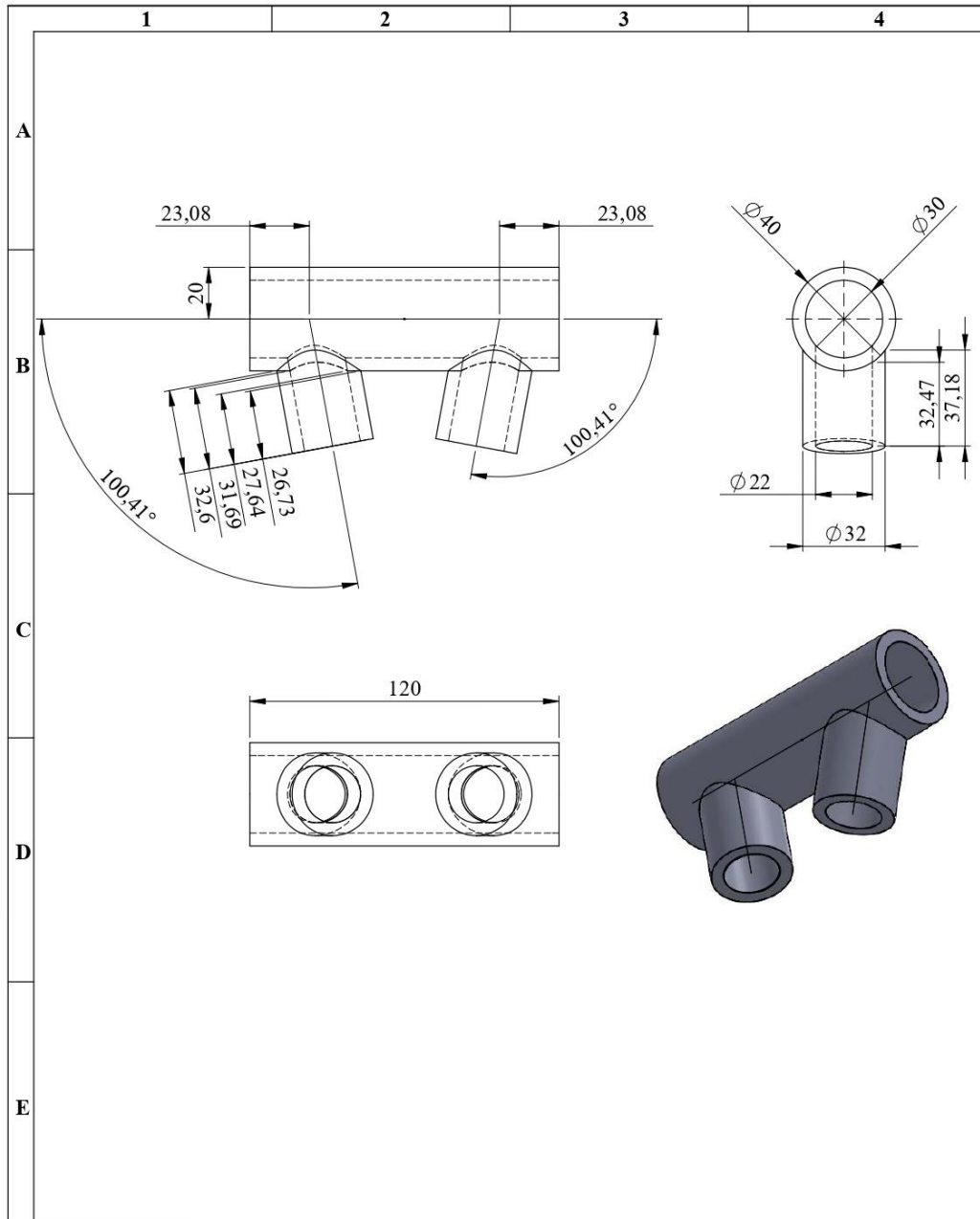
N°. Lámina: 11 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-011		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 11		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		13.78	±0.3 [mm]	1 : 2	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023					
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023					
Materiales: TPU-95A						Nombre de archivo: PIEZA11.SLDPRT					



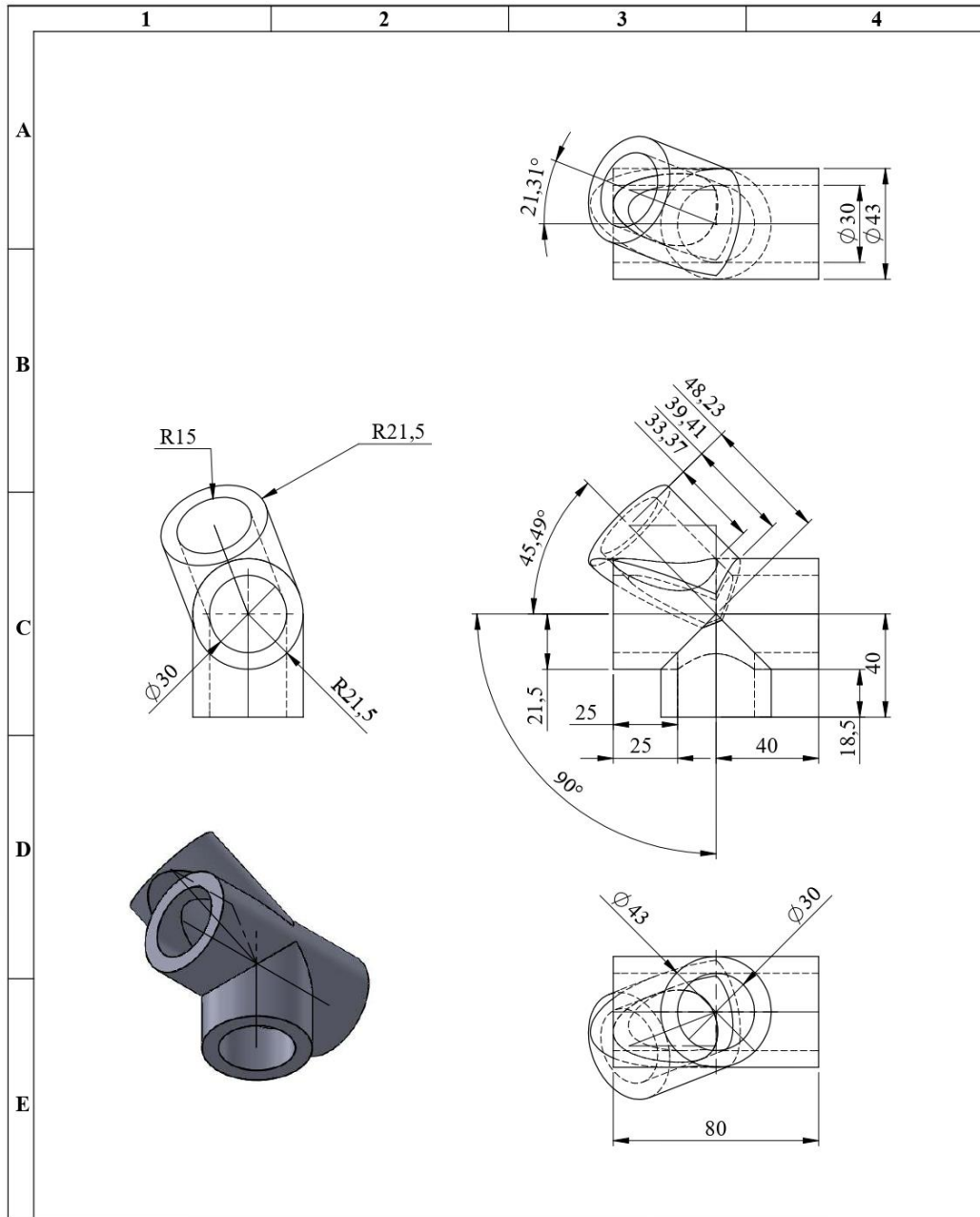
N°. Lámina: 12 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-012		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						PIEZA 12		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Dato		Nombre		Firma				Fecha		Peso [g]	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		13.78		±0.3 [mm]	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		1 : 2			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023		Materiales: TPU-95A		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 	
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA12.SLDPRT			



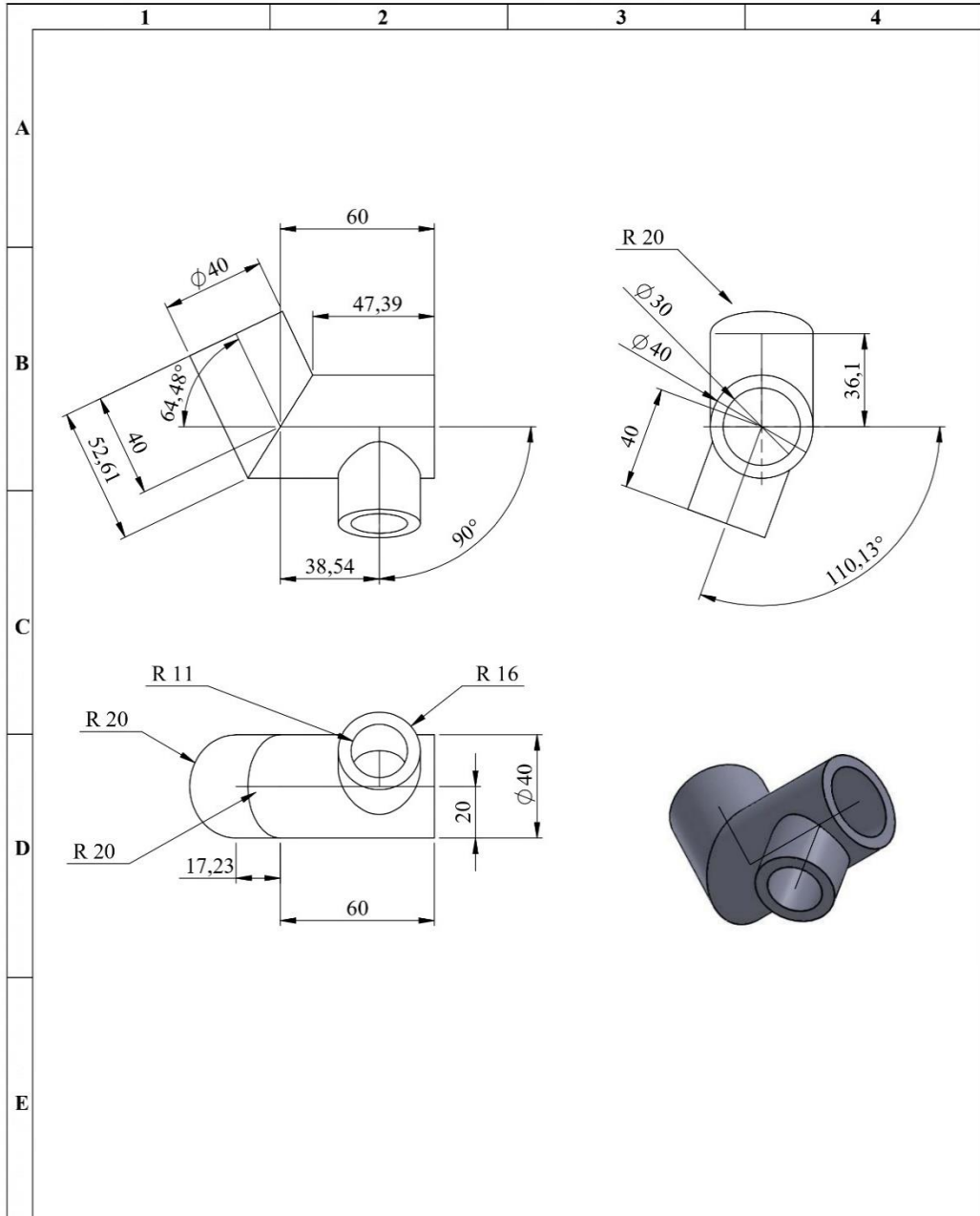
N°. Lámina: 13 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-013		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PIEZA 13		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: TPU-95A		Peso [g]	Tolerancia	Escala	Registro		
Proyectó	M. Torres		15/04/2023			94.58	± 0.3 [mm]	1 : 2			
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY 					
Revisó	Ing. Luis Buenaño		08/08/2023								
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023	Nombre de archivo: PIEZA13.SLDPRT							



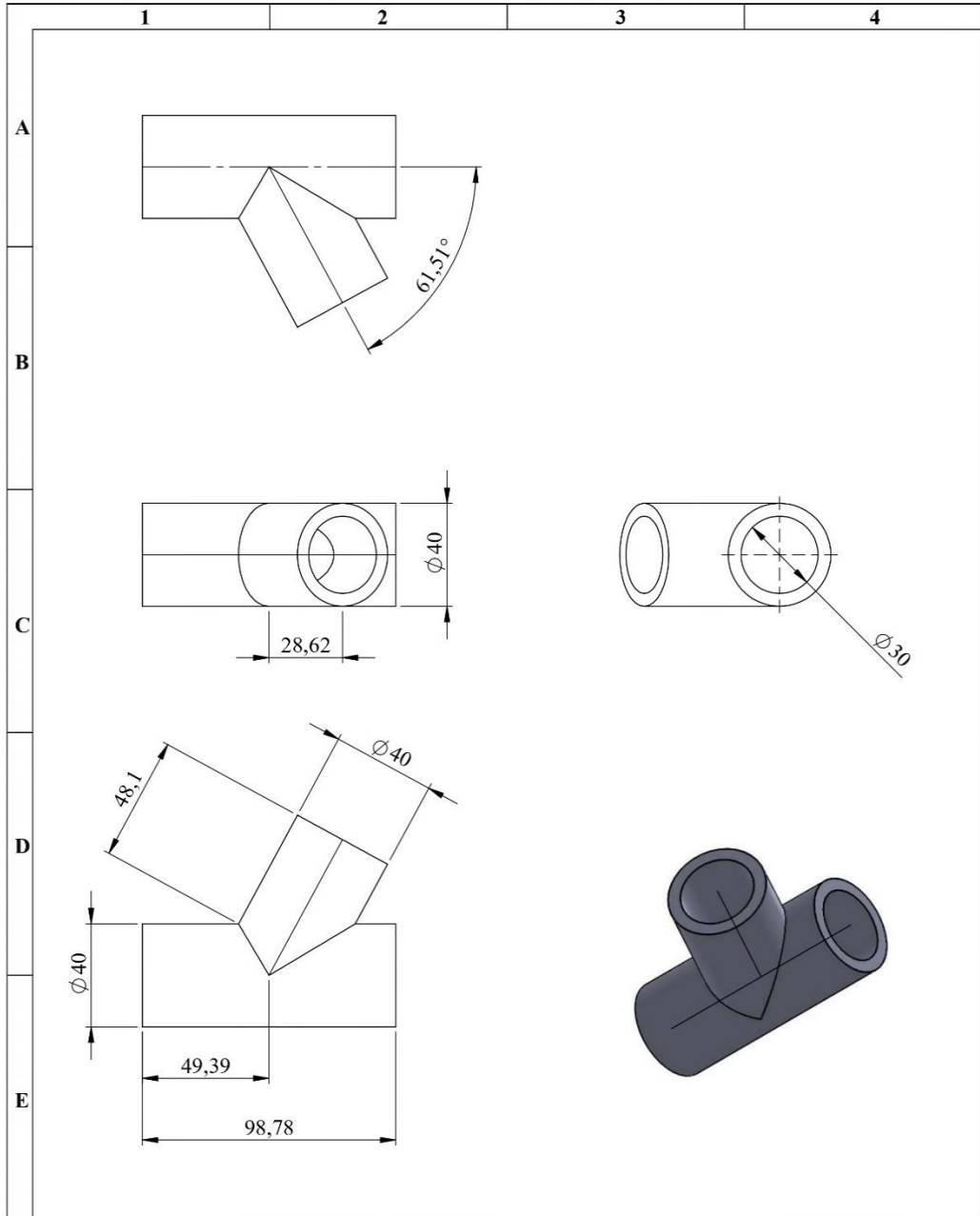
N°. Lámina: 14 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-014		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						PIEZA 14		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [g]	Tolerancia
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		85.64	± 0.3 [mm]	1 : 2	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023					
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023					
						Materiales: TPU-95A					
						Nombre de archivo: PIEZA14.SLDPRT					



N°. Lámina: 15 de 15		N°. Hojas: 15		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-015		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA							
Email: alexis.lirio@esPOCH.edu.ec marco.torres@esPOCH.edu.ec						Denominación: PIEZA 15		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Dato		Nombre		Firma		Fecha		Peso [g]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		90.15		±0.3 [mm]		1 : 2			
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		Materiales: TPU-95A		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.T. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY					
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023									
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA15.SLDPRT							

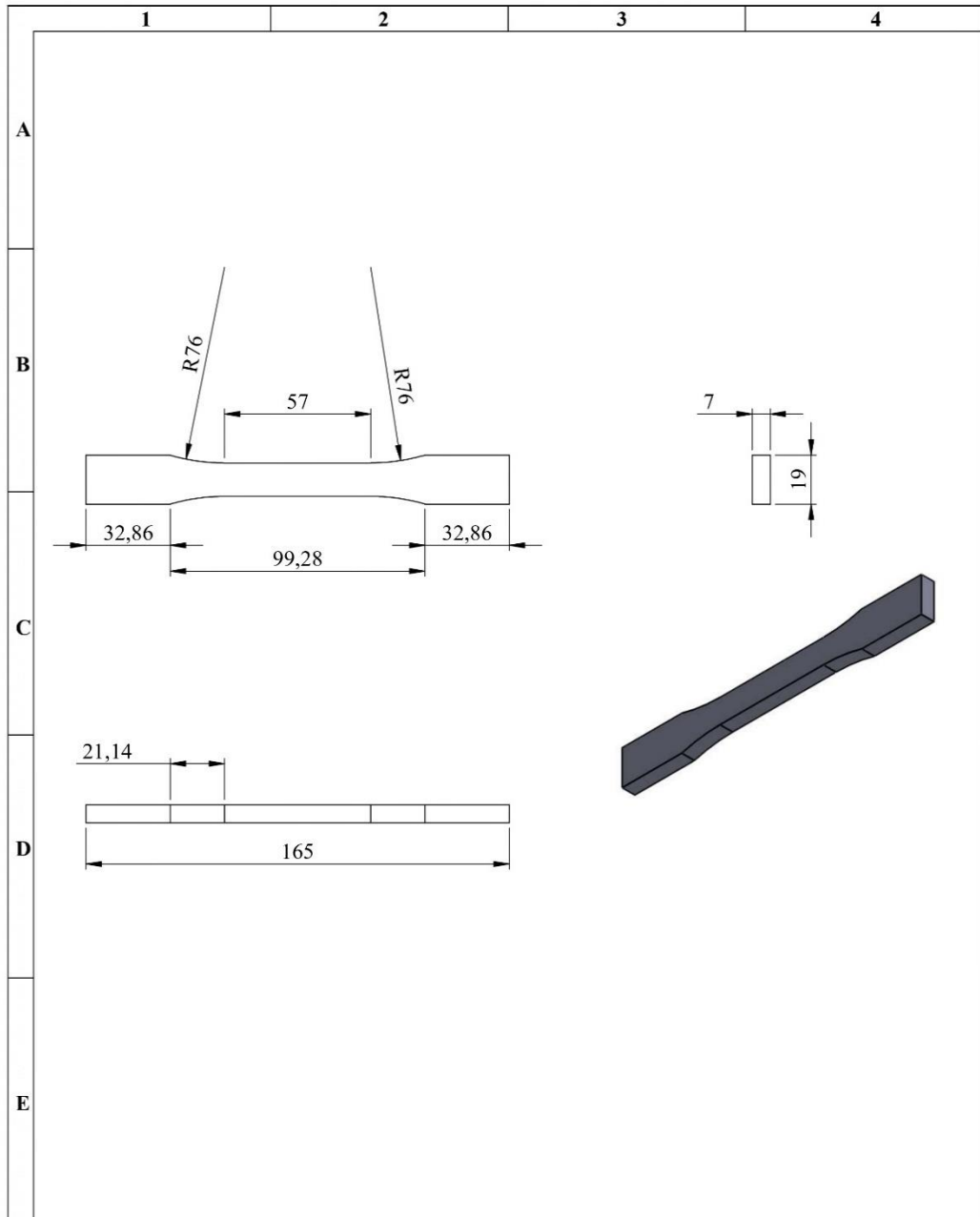


Nº. Lámina: 16 de 17		Nº. Hojas: 17		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-016		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						PIEZA 16		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [g]	
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		110.48		±0.3 [mm]	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		1 : 2			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023		Materiales: TPU-95A		<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE M.I. Y A.L. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 	
Aprobó		Ing. Celin Padilla				08/08/2023		Nombre de archivo: PIEZA16.SLDPRT			



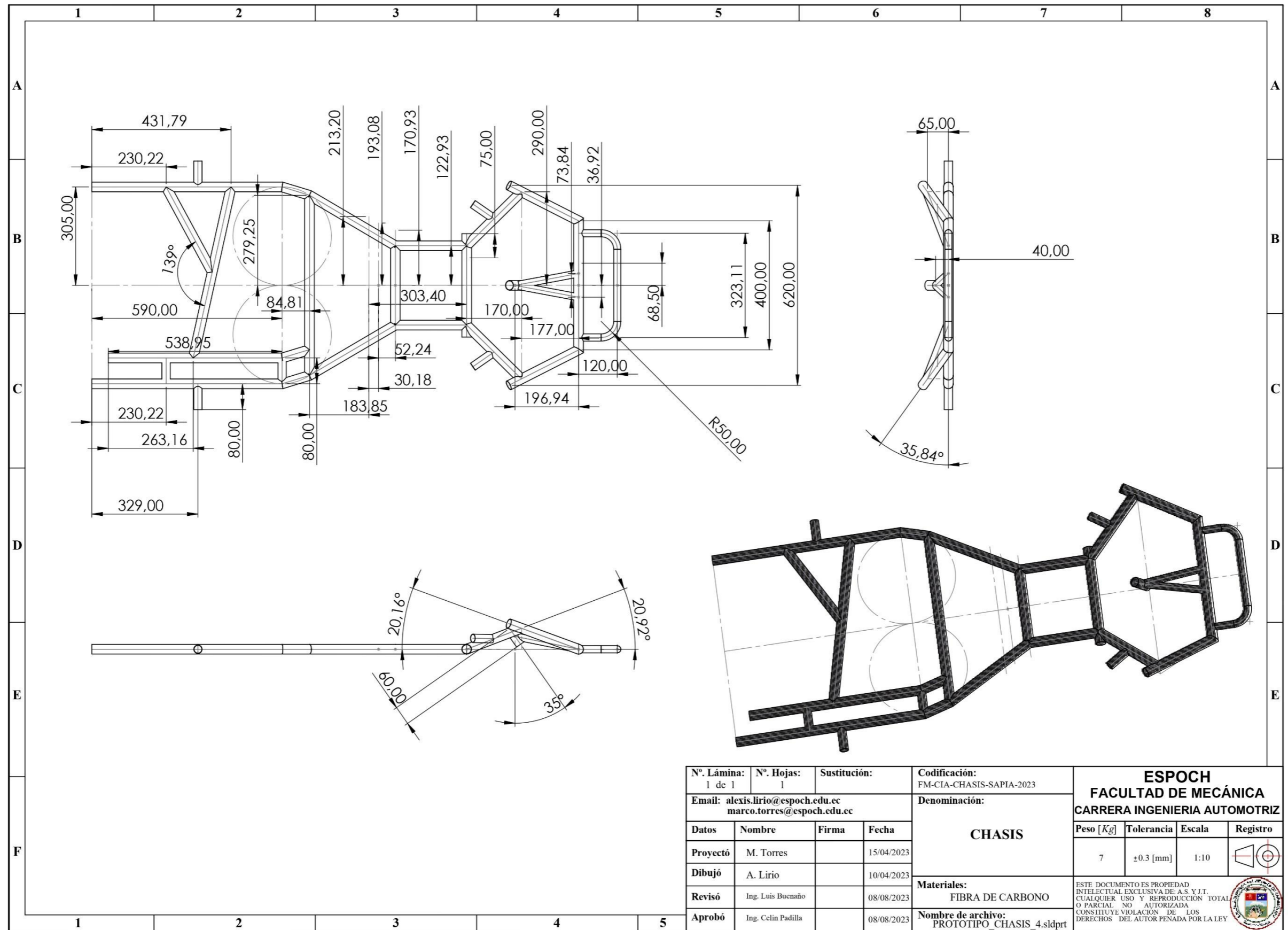
Nº. Lámina: 17 de 17		Nº. Hojas: 17		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PARTE-017		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA			
Email: alexis.lirio@esPOCH.edu.ec marco.torres@esPOCH.edu.ec						PIEZA 17		CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos		Nombre		Firma				Fecha		Peso [g]	Tolerancia
Proyectó		M. Torres				15/04/2023		13.78	± 0.3 [mm]	1 : 5	
Dibujó		A. Lirio				10/04/2023		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE C.M. Y G.O. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó		Ing. Luis Buenaño				08/08/2023					
Aprobó		Ing. Celín Padilla				08/08/2023					
						Materiales: TPU-95A					
						Nombre de archivo: PIEZA17.SLDPRT					

Anexo B: Plano de las probetas.



N°. Lámina: 1 de 1		N°. Hojas: 1		Sustitución:		Codificación: FM-CIA-SAPIA-2023-PROBETA		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ						
Email: alexis.lirio@epoch.edu.ec marco.torres@epoch.edu.ec						Denominación: PROBETA						Peso [g]	Tolerancia	Escala
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: TPU-95A Nombre de archivo: probeta.SLDPRT				28.78	±0.3 [mm]	1 : 2				
Proyectó	M. Torres		15/04/2023					ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE: C.M. Y G.Q. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY						
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023											
Revisó	Ing. Luis Buenaño		08/08/2023											
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023											

Anexo C: Planos del chasis.



Anexo D: Ensamble chasis y uniones.

The drawing shows a chassis assembly with 17 numbered parts. The parts are distributed across the drawing as follows:

- Parts 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, and 17 are shown in the main assembly view.
- Part 17 is shown as a separate component in the top right.
- Parts 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, and 17 are shown in the bottom view.

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	PIEZA 17	1
2	PIEZA 9	1
3	PIEZA 8	1
4	PIEZA 5	2
5	PIEZA 15	1
6	PIEZA 1	2
7	PIEZA 17	1
8	PIEZA 14	1
9	PIEZA 12	2
10	PIEZA 3	2
11	PIEZA 4	2
12	PIEZA 13	1
13	PIEZA 6	1
14	PIEZA 2	4
15	PIEZA 11	1
16	PIEZA 10	1
17	PIEZA 7	1

N.º Lámina: 1 de 1	N.º Hojas: 1	Sustitución:	Codificación: FM-CIA-SAPIA-ENSAMBLE-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA INGENIERIA AUTOMOTRIZ				
Email: alexis.liio@esPOCH.edu.ec marco.torres@esPOCH.edu.ec			Denominación: ENSAMBLE					Peso [Kg]
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Materiales: Fibra de carbono-TPU Nombre de archivo: CHASIS ENSAMLE.SLDASM	7	±0.3 [mm]	1:10	
Proyectó	M. Torres		15/04/2023					
Dibujó	A. Lirio		10/04/2023					
Revisó	Ing. Luis Buenaño		08/08/2023					
Aprobó	Ing. Celin Padilla		08/08/2023	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE A.S. Y I.T. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DEL AUTOR PENADA POR LA LEY				

8.15 Silencieux d'échappement

Voir Article 9.16.1.

8.16 Transmission

La chaîne et les pignons sont libres.

8.15 Exhaust silencer

See Article 9.16.1.

8.16 Gearing

The chain and sprockets are free.

ARTICLE 9: RÈGLEMENT DU GROUPE 2

9.1 Châssis

Tous les châssis du Groupe 2 doivent être homologués par la CIK-FIA. Une FH est délivrée après une inspection d'homologation et doit être fournie avec le châssis. L'homologation des châssis a lieu tous les trois ans.

9.1.1 Dimensions du châssis

Groupe 2

Empattement: 101-107 cm.

Voie: au moins 2/3 de l'empattement utilisé.

Largeur hors-tout: maximum 140 cm.

Hauteur: maximum 65 cm depuis le sol, sans le siège.

Le châssis doit respecter à tout moment les dimensions indiquées.

Aucune pièce ne doit dépasser le quadrilatère formé par le carénage avant, les roues et la protection des roues arrière.

9.1.2 Caractéristiques du châssis

Les modifications du cadre de châssis (p.ex. la position des tubes) ne sont autorisées que dans les limites des dimensions décrites dans la FH. Les coudes de tube ne peuvent être déplacés que sur le tube où ils sont indiqués dans la FH.

9.2 Arbre arrière

Diamètre extérieur maximum de 50 mm (épaisseur de la paroi selon l'Article 4.2.2).

9.3 Capacité du réservoir de carburant

Minimum 8 litres.

9.4 Pare-chocs

Les protections frontales et latérales sont obligatoires. Elles doivent être réalisées en tubes ronds d'acier magnétique et être homologuées avec la carrosserie. En l'absence d'un pare-chocs arrière, une protection des roues arrière homologuée est obligatoire.

9.4.1 Pare-chocs avant

Voir Article 8.4.1.

9.4.2 Pare-chocs latéraux

Voir Article 8.4.2.

9.5 Carrosserie

Voir Article 8.5.

9.5.1 Matériau

Voir Article 4.10.2.

9.5.2 Carénage avant

Voir Article 8.5.2.

9.5.3 Panneau avant

Voir Article 8.5.3.

ARTICLE 9: GROUP 2 REGULATIONS

9.1 Chassis

All Group 2 chassis have to be homologated by the CIK-FIA. A HF is issued after a homologation inspection and must be supplied with the chassis. Chassis homologation takes place every three years.

9.1.1 Chassis dimensions

Group 2

Wheelbase: 101-107 cm.

Track: at least 2/3 of the wheelbase used.

Overall width: maximum 140 cm.

Height: 65 cm maximum from the ground, without the seat.

The chassis must respect at all times the dimensions given.

No part may protrude beyond the quadrangle formed by the front fairing, the wheels and the rear wheel protection.

9.1.2 Chassis characteristics

Modifications to the chassis frame (e.g. position of tubes) are only allowed within the dimensions described in the HF. Tube bends are allowed to be moved only on the tube where they were shown in the HF.

9.2 Rear axle

Maximum 50 mm outside diameter (wall thickness according to Article 4.2.2).

9.3 Fuel tank capacity

8 litres minimum.

9.4 Bumpers

Front and side protections are compulsory. They must be made of magnetic steel round tubing and be homologated with the bodywork. In the absence of a rear bumper, a homologated rear wheel protection is mandatory.

9.4.1 Front bumper

See Article 8.4.1.

9.4.2 Side bumpers

See Article 8.4.2.

9.5 Bodywork

See Article 8.5.

9.5.1 Material

See Article 4.10.2.

9.5.2 Front fairing

See Article 8.5.2.

9.5.3 Front panel

See Article 8.5.3.

Anexo F: Ficha técnica fibra de carbono Twill 3K.



**FICHA
TÉCNICA**
Rev.0: Junio 2021

FIBRA DE CARBONO 3K TWILL

DESCRIPCIÓN:

Tejido sarga de fibra de carbono 3k para la realización de piezas mediante trabajos de laminado (composites) con resinas de poliéster, epóxicas, etc... Las piezas fabricadas con este tipo de tejido, son famosas por ser sumamente resistentes a la vez que ligeras, lo que convierte al tejido de fibra de carbono en uno de los materiales más usados en la confección de piezas para vehículos automovilísticos de alta competición.

CARACTERÍSTICAS:

- Elevada resistencia mecánica..
- Resistencia a las variaciones de temperatura conservando su forma.
- Material de baja densidad y conductividad térmica.
- Material flexible y maleable.
- Buena resistencia química, al fuego y a la corrosión.
- Alta durabilidad.

ESPECIFICACIONES/ PROPIEDADES:

FIBRA DE CARBONO 3K, TWILL 200GR			FIBRA DE CARBONO 3K, TWILL 240GR		
Tipo de tejido	Twill / Sarga		Tipo de tejido	Twill / Sarga	
Ancho	1000±10 mm		Ancho	1000±10 mm	
Peso gr/m ²	200 ±5%		Peso gr/m ²	240 ±5%	
Densidad	Deformación	5 ±1 ud/cm	Densidad	Deformación	6 ±1 ud/cm
	Trama	5 ±1 ud/cm		Trama	6 ±1 ud/cm
Fuerza de rotura (Mpa)	Deformación	≥3000-3500 (3165)	Fuerza de rotura (Mpa)	Deformación	≥3000-3500 (3189)
	Trama	≥3000-3500 (3133)		Trama	≥3000-3500 (3145)
Grosor (mm)	0.26±0.1		Grosor (mm)	0.28±0.1	

*Condiciones del Test - Temperatura ambiente: 23° C, Humedad ambiente: 64 %.

USOS:

Tejido de fibra de carbono para la fabricación de piezas mediante laminados compuestos.
Apto para la fabricación de moldes y piezas en la industria automovilística, deportiva, náutica e industrial.
Compatible con todo tipo de resinas termoestables como epoxi, poliéster, vinilester...
Tablas de surf, encadenados, motocicletas, automóviles, aviones, hélices eólicas etc...

MODO DE EMPLEO:

- Impregnar el tejido de fibra de carbono con resinas epoxídicas, poliéster o vinílicas realizando laminados compuestos.
- Los laminados con resinas epoxídicas pueden llegar a alcanzar un mayor rendimiento estructural.
- Usar técnica de vacío para mejor compactación y mayores prestaciones.

RESINA EPOXI

Información técnica



PRODUCTO DESTINADO SOLAMENTE PARA USO PROFESIONAL

Componentes del producto	Resina epoxi - componente A Activador de poliamina - componente B																								
Descripción del producto	Resina epoxi estructural, destinada para laminado manual, completamente compatible con fibra de vidrio y carbono. La viscosidad del producto ha sido adaptada, para equilibrar una fácil aplicación con adecuada penetración en las fibras. El laminado endurecido ofrece excelentes propiedades mecánicas y resistencia a altas temperaturas.																								
Datos físicos y químicos	Color: incolora Grado de brillo: Brillo Rendimiento: 0,3÷0,7 kg por 1m ² en una capa.																								
Propiedades mecánicas de resina endurecida	<table><tr><td>Resistencia a la tracción</td><td>80</td><td>MPa</td></tr><tr><td>Alargamiento hasta rotura</td><td>7</td><td>%</td></tr><tr><td>Módulo de elasticidad durante alargamiento</td><td>3400</td><td>MPa</td></tr><tr><td>Resistencia a la flexión</td><td>130</td><td>MPa</td></tr><tr><td>Módulo de elasticidad durante flexión</td><td>3400</td><td>MPa</td></tr><tr><td>Compresión</td><td>110</td><td>MPa</td></tr><tr><td>Resistencia a martilleo</td><td>30÷40</td><td>kJ/m²</td></tr><tr><td>Resistencia térmica</td><td>64</td><td>°C</td></tr></table> <p>* para endurecimiento en condiciones: 5 horas, 50°C.</p>	Resistencia a la tracción	80	MPa	Alargamiento hasta rotura	7	%	Módulo de elasticidad durante alargamiento	3400	MPa	Resistencia a la flexión	130	MPa	Módulo de elasticidad durante flexión	3400	MPa	Compresión	110	MPa	Resistencia a martilleo	30÷40	kJ/m ²	Resistencia térmica	64	°C
Resistencia a la tracción	80	MPa																							
Alargamiento hasta rotura	7	%																							
Módulo de elasticidad durante alargamiento	3400	MPa																							
Resistencia a la flexión	130	MPa																							
Módulo de elasticidad durante flexión	3400	MPa																							
Compresión	110	MPa																							
Resistencia a martilleo	30÷40	kJ/m ²																							
Resistencia térmica	64	°C																							

Proceso de aplicación



Uso

Producto de uso universal. Útil para construir y reparar elementos dañados de embarcaciones. Recomendado para laminado, cerramiento, refuerzo de superficies, pegado y unión de diferentes elementos estructurales. Unida con láminas de fibra de vidrio, ideal para reparaciones manuales de daños por encima y por debajo de la línea de flotación.

El producto presenta una excelente adherencia a cualquier tipo de superficie. Se puede aplicar sobre superficies metálicas, también sin imprimación, superficies de acero o aluminio, laminados de epoxi y poliéster, madera.

Preparación de superficie

La superficie debe desengrasarse y lijarse con papel de lija, con grano 80÷180. Limpiar el polvo y desengrasar. La sal y demás suciedad, debe limpiarse con agua potable.

Condiciones de aplicación

La temperatura mínima de aplicación de resina epoxi es de +15°C. Los mejores resultados se obtienen a temperatura 20÷25°C. Humedad relativa del aire no debe superar 70%.



Proporciones de componentes	Resina : Activador
Partes de peso: (g)	100 : 35
Partes de volumen: (l)	100 : 40

Mezclar bien los componentes. Preparar justo la cantidad necesaria, para que pueda ser utilizada durante un breve periodo de tiempo.

Anexo H: Ficha técnica TPU-95A.

<u>Propiedades mecánicas (*)</u>	<u>Moldeo por inyección</u>		<u>Impresión 3D</u>	
	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>
Módulo de elasticidad a la tracción	-	-	26,0 MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-	8,6 MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	39,0 MPa	ASTM D638
Alargamiento a la deformación	-	-	55,0 %	ASTM D638
Alargamiento a la rotura	-	-	580,0 %	ASTM D638
Resistencia a la flexión	-	-	4,3 MPa	ISO 179
Módulo de flexión	-	-	78,7 MPa	ISO 179
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	34,4 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-	-	-
Dureza	-	-	95 (Shore A) 46 (Shore D)	ASTM D2240 Durómetro
Resistencia a la abrasión	-	-	0,06 g	ASTM D4060 (pérdida de masa, 10 000 ciclos)

<u>Propiedades térmicas</u>	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>
Índice de fluidez (MFR)	15,9 g/10 min	ISO 1133 (225 °C, 1,2 kg)
Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa	74 °C	ASTM D648
Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa	49 °C	ASTM D648
Transición vítrea	-24 °C	DSC
Coefficiente de expansión térmica	100·10 ⁻⁶ °C ⁻¹	ASTM E693
Temperatura de fusión	220 °C	DSC
Contracción térmica	-	-

<u>Propiedades eléctricas</u>	<u>Valor típico</u>	<u>Método de ensayo</u>
Resistividad de volumen	10 ¹¹ Ω·m	IEC 60093
Resistencia superficial	2·10 ¹⁴ Ω	IEC 60093

(*) Ver las notas.

Anexo I: Ficha técnica fibra de carbono Twill 3K Hexcel AS4.



TECHNICAL DATA SHEET

**CARBON FIBER FABRIC 2X2 TWILL 3K HEXCEL AS4
MODEL #: F-1286**

TYPICAL FIBER PROPERTIES	U.S. UNITS	SI UNITS
Tensile Strength 3K 6K 12K	670 ksi 640 ksi 640 ksi	4,620 MPa 4,410 MPa 4,410 MPa
Tensile Modulus (Chord 6000-1000)	33.5 Msi	231 GPa
Ultimate Elongation at Failure 3K 6K 12K	1.8% 1.7% 1.7%	1.8% 1.7% 1.7%
Density	0.0647 lb/in ³	1.79 g/cm ³
Weight/Length 3K 6K 12K	11.8 x 10 ⁻⁶ lb/in 23.9 x 10 ⁻⁶ lb/in 48.0 x 10 ⁻⁶ lb/in	0.210 g/m 0.427 g/m 0.858 g/m
Approximate Yield 3K 6K 12K	7,086 ft/lb 3,485 ft/lb 1,734 ft/lb	4.76 m/g 2.34 m/g 1.17 m/g
Tow Cross-Sectional Area 3K 6K 12K	1.82 x 10 ⁻⁴ in ² 3.70 x 10 ⁻⁴ in ² 7.43 x 10 ⁻⁴ in ²	0.12 mm ² 0.24 mm ² 0.48 mm ²
Filament Diameter	0.280 mil	7.1 microns
Carbon Content	94.0%	94.0%
Twist	Never Twisted	Never Twisted

Anexo J: Ficha técnica impresora CP-01.

<http://www.agelectronica.com>

Especificaciones Técnicas

Especificaciones Técnicas (Impresión 3D)

Tecnología de modelado: FDM	Espesor de la capa: 0.1 mm-0.4 mm
Tamaño de impresión: 220×220×200 mm	Fuente de alimentación: CA 100-120V 60Hz a CD 24V 270W
Formato de archivos: STL, OBJ, AMF	Filamento: PLA, ABS, TPU, PVA etc.
Software: Cura/Repetier-Host/Simplify3D	Peso de la máquina: 6.98 Kg
Diámetro de la boquilla: 0.4 mm/0.6 mm/0.8 mm/ 1 mm/ 1.2 mm	Precisión de impresión: ±0.1 mm
Temperatura de la cama: ≤100°	Velocidad de la impresión: 10-80 mm/s

Especificaciones Técnicas (Maquinado CNC)

Tamaño de corte: 200×200 mm
Materiales soportados: madera, papel, PCB, plástico, etc.
Formato de archivos: JPG, JPEG
Velocidad del husillo: 4,800 rpm
Fresa de aleación de Tungsteno
Rango de sujeción del portabrocas: 0-4mm

Especificaciones Técnicas (Grabado láser)

Tamaño de grabado: 200×200 mm
Materiales soportados: madera, papel, plástico, MDF, etc.
Formato de archivos: JPG, JPEG
Potencia del láser: Menos de 0.5 W

Anexo K: Ficha técnica impresora CR-10 MAX.



Parámetros

Tamaño de impresión	450X450X470mm	Material de impresión	PLA,TPU,PETG,Madera, materiales degradados y materiales que contienen cobre
Tamaño de la máquina	650X785X735mmmm	Modo de trabajo	En línea o tarjeta TF fuera de línea
Tamaño del embalaje	735X735X305mm	Dispositivo de demostración	4,3 inch touch screen
N.W. de máquina	20kg	Formato de archivo	STL, OBJ, AMF
G.W. de máquina	24.8kg	Software de corte	Cura, Simplify3D
Tecnología de modelado	FDM	Potencia de la máquina	750W
Precisión de impresión	±0.1mm	Parámetros de la fuente de alimentación	Placa base 75W, 24V, entrada: 100-240V AC, salida: 24V Hotbed 750W, 24V, entrada: 100-240V AC, salida: 24V
Grosor de corte	0.1-0.4mm		

Ventajas



Tamaño súper grande

Tamaño de moldura súper grande de 450 x 450 x 470 mm para cumplir con diversos requisitos de impresión.



Dos fuentes de alimentación con amplio voltaje

Dos fuentes de alimentación para placa base y semillero mediante salida bidireccional, fuente de alimentación sincrona para una respuesta rápida y un funcionamiento estable.



Transmisión estable

Correas de transmisión dobles del eje Y y un motor de doble eje con gran impulso para una transmisión estable y precisión de impresión.



Alimentación suave

Estructura de extrusión de engranajes BONDTECH, engranajes de accionamiento doble para un fuerte empuje y un alto rendimiento de extrusión y alimentación.



Estructura estable

Triángulo dorado para reducir la vibración del eje Z para una alta precisión de impresión de gran tamaño.



Sonda de alimentación importada

Tubo de teflón Capricornio azul resistente a altas temperaturas que no se bloquea fácilmente para una alimentación suave y eficiencia de impresión.



Nivelación automática

Importado BL Touch 16 puntos de nivelación rápida



Detección de escasez de material

Suspensión automática cuando los materiales se agotan, se rompen o se encuentran con otras anomalías para la conservación de energía y la reducción del consumo.



Reanudar la impresión incluso después un apagón

Guarde automáticamente los registros de impresión, continúe imprimiendo después del encendido para obtener una alta tasa de éxito en la impresión de modelos.

CREALITY

Shenzhen Creality 3D Technology Co., Ltd.
11F & Room 1201, Block 3, JinChengYuan, Tongsheng Community,
Dalang, Longhua District, Shenzhen, China, 518109
Official Website: www.creality3d.cn
Tel: +86 755 8105 0155



Anexo L: Ficha de homologación grupo 2.

**FICHE D'HOMOLOGATION
HOMOLOGATION FORM**

Homologation N°

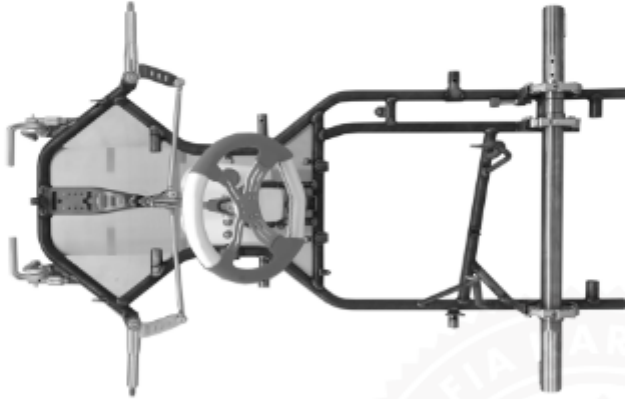


012-CH-20



**COMMISSION
INTERNATIONALE
DE KARTING - FIA**



CADRE DU CHÂSSIS / CHASSIS FRAME

Constructeur / Manufacturer	OTK KART GROUP SRL
Marque / Make	OTK
Modèle / Model	TDX
Catégorie / Category	Group 2
Durée de l'homologation / Validity of the Homologation	2 ans / 2 years
Nombre de pages / Number of pages	4
La présente Fiche d'Homologation reproduit descriptions, illustrations et dimensions du cadre du châssis au moment de l'homologation CIK-FIA.	This Homologation Form reproduces descriptions, illustrations and dimensions of the chassis frame at the time of the CIK-FIA homologation.
	
<p>Photo du dessus du châssis complet identique à l'un des modèles présentés à l'homologation sans pare-chocs, freins, carrosserie, siège ni pneumatiques Photo from above of complete chassis identical to one of the models submitted for homologation without bumpers, brakes, bodywork, seat or tyres.</p>	
Signature et tampon de l'ASN / Signature and stamp of the ASN	Signature et tampon de la CIK-FIA Signature and stamp of the CIK-FIA
	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 24/01/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: ALEXIS ADRIÁN LIRIO SÁNCHEZ MARCO ANTONIO TORRES NÚÑEZ
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
Título a optar: INGENIERO AUTOMOTRIZ
  Ing. Celin Padilla Firma del Director del Trabajo de Titulación  Ing. Luis Buenaño Firma del Asesor del Trabajo de Titulación