



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PONTONES LATERALES Y
FRONTALES EN FIBRA DE CARBONO APLICADO A UN
VEHÍCULO PROTOTIPO KARTING PARA LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

ANGO CARGUA STEVEN PATRICIO

CALDERÓN LOGROÑO ELÍAS ANDRÉS

Riobamba – Ecuador

2023



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE PONTONES LATERALES Y
FRONTALES EN FIBRA DE CARBONO APLICADO A UN
VEHÍCULO PROTOTIPO KARTING PARA LA CARRERA DE
INGENIERÍA AUTOMOTRIZ.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

ANGO CARGUA STEVEN PATRICIO

CALDERÓN LOGROÑO ELÍAS ANDRÉS

DIRECTOR: ING. CELIN ABAD PADILLA PADILLA

Riobamba – Ecuador

2023

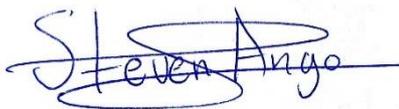
© 2023, Steven Patricio Ango Cargua & Elías Andrés Calderón Logroño

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, Steven Patricio Ango Cargua & Elías Andrés Calderón Logroño, 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, 07 de diciembre de 2023



Steven Patricio Ango Cargua
172720843-9



Elías Andrés Calderón Logroño
060458394-8

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 PONTONES LATERALES Y FRONTALES EN FIBRA DE CARBONO APLICADO A UN VEHÍCULO PROTOTIPO KARTING PARA LA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**, realizado por los señores: **ELIAS ANDRÉS CALDERÓN LOGROÑO & STEVEN PATRICIO ANGO CARGUA**, 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. Javier Milton Solis Santamaria PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-12-07
Ing. Celin Abad Padilla Padilla DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-07
Ing. Edison Patricio Abarca Pérez ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-12-07

DEDICATORIA

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres por el incondicional apoyo que me han brindado a lo largo de mi vida académica. Agradezco de todo corazón su presencia constante, su paciencia y su sacrificio, que han sido el motor que me ha impulsado a alcanzar esta meta académica. Sin su amor, comprensión y aliento, este logro no hubiera sido posible. Gracias por creer en mí y por ser mi fuente de inspiración.

Steven

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecerle a Dios por darme unos padres tan bondadosos que siempre me apoyaron a lo largo de toda mi carrera, también le agradezco por llenarme de salud y fuerza de voluntad para seguir adelante con determinación y constancia.

Elías

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA	2
1.1 Planteamiento del problema	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	2
<i>1.3.1 Objetivo general.....</i>	<i>2</i>
<i>1.3.2 Objetivos específicos</i>	<i>3</i>

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Historia del Karting.....	4
2.2 Clasificación de Karts	5
<i>2.2.1 Grupo 1.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2.2 Grupo 2.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2.3 Grupo 3.....</i>	<i>6</i>
<i>2.2.4 Grupo 4.....</i>	<i>7</i>
2.3 Regulaciones Técnicas.....	7

2.3.1	<i>Carrocería</i>	8
2.3.2	<i>Elementos de la carrocería</i>	8
2.3.3	<i>Material</i>	9
2.4	Homologaciones, Aprobaciones y Controles	10
2.4.1	<i>Homologación y aprobaciones</i>	10
2.4.2	<i>Identificaciones</i>	10
2.4.3	<i>Homologación de carrocería</i>	10
2.5	Condiciones aerodinámicas	11
2.6	Aerodinámica	11
2.7	Carga aerodinámica	12
2.8	Condiciones de diseño	14
2.8.1	<i>Características básicas de perfiles aerodinámicos</i>	14
2.8.2	<i>Tipos de perfiles aerodinámicos</i>	16
2.9	Líneas de flujo	17
2.9.1	<i>Capa límite</i>	17
2.9.2	<i>Principio de Bernoulli y efecto Venturi</i>	20
2.10	Fuerza de resistencia aerodinámica	21
2.10.1	<i>Densidad del aire.</i>	21
2.10.2	<i>Velocidad del vehículo (Respecto al aire)</i>	22
2.10.3	<i>Área o superficie frontal</i>	22
2.10.4	<i>Coeficiente de arrastre aerodinámico en los vehículos</i>	22
2.11	Dispositivos aerodinámicos para vehículos karting	23
2.11.1	<i>Antecedentes históricos</i>	23
2.11.2	<i>Carenado frontal</i>	25
2.11.3	<i>Carenado lateral</i>	25
2.12	Materiales compuestos.	26
2.12.1	<i>Generalidades.</i>	26
2.12.2	<i>Definición de material compuesto.</i>	26
2.12.3	<i>Tipos de materiales compuestos.</i>	27

2.12.4	<i>Concepto de matriz – refuerzo</i>	28
2.12.5	<i>Matriz polimérica para materiales compuestos</i>	30
2.12.6	<i>Clasificación de los polímeros</i>	31
2.12.7	<i>Funciones de la matriz polimérica en el material compuesto</i>	31
2.12.8	<i>Matrices termoestables</i>	32
2.12.9	<i>Proceso de curado de las resinas</i>	32
2.12.10	<i>Clasificación de las resinas</i>	34
2.12.11	<i>Materiales de refuerzo</i>	36
2.12.12	<i>Fibras inorgánicas</i>	36
2.12.13	<i>Fibra de carbono</i>	36
2.12.14	<i>Estructuras textiles</i>	38
2.13	Procesos de fabricación	40
2.14	Clasificación de los procesos	41
2.14.1	<i>Comparación de los procesos según el contenido de refuerzo</i>	41
2.14.2	<i>Comparación de los procesos según el coste de utillajes y equipos</i>	42
2.15	Técnicas de moldeo asistidas por vacío	43
2.15.1	<i>El vacío</i>	44
2.16	Laminado manual asistido por vacío	44
2.16.1	<i>Fundamentos de la técnica de laminado manual asistido por vacío</i>	44
2.16.2	<i>Desarrollo del método de laminado manual asistido por vacío</i>	45
2.17	Dinámica computacional de fluidos (CFD)	48
2.17.1	<i>Aplicaciones de la dinámica computacional de fluidos</i>	48
2.17.2	<i>Proceso para un estudio CFD (ANSYS CFX)</i>	49

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	52
3.1	Descripción de la metodología	52
3.2	Diagrama de etapas del proyecto	52

3.3	Definición del alcance	53
3.4	Diseño de investigación	53
3.5	Cronograma de actividades	54
3.6	Instrumentos de investigación	55
3.7	Desarrollo del proyecto	55
3.7.1	<i>Equipos y materiales</i>	55
3.7.2	<i>Modelación CAD de prototipos</i>	56
3.7.3	<i>Simulación de prototipos</i>	58
3.7.4	<i>Comparación de prototipos</i>	70
3.7.5	<i>Selección de material</i>	75
3.7.6	<i>Selección del proceso de manufactura</i>	76
3.7.7	<i>Construcción de probetas</i>	77
3.7.8	<i>Construcción de pontones</i>	80
3.7.9	<i>Construcción de los pontones</i>	83

CAPÍTULO IV

4.	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	93
4.1	Simulación en software	93
4.2	Resultados de los ensayos destructivos del material compuesto	95
4.2.1	<i>Ensayo de tracción del material compuesto</i>	96
4.2.2	<i>Ensayo de flexión del material compuesto</i>	98
4.2.3	<i>Caracterización de las propiedades del material compuesto mediante estadística descriptiva</i>	100

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	107
-----------	---	-----

5.1	Conclusiones.....	107
5.2	Recomendaciones.....	108

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Principales propiedades de las fibras de carbono	37
Tabla 2-2 Clasificación de los procesos de fabricación de materiales compuestos	41
Tabla 3-1: Cronograma de actividades	54
Tabla 3-2: Instrumentos de investigación	55
Tabla 3-3: Equipos y materiales.....	55
Tabla 3-4: Dimensiones túnel de viento	60
Tabla 3-5: Configuración de mallado	61
Tabla 3-6: Calidad del mallado.....	61
Tabla 3-7: Valores aerodinámicos diseño 1	64
Tabla 3-8: Valores aerodinámicos diseño 2.....	65
Tabla 3-9: Valores aerodinámicos diseño 3.....	66
Tabla 3-10: Parámetros para el volumen de control	69
Tabla 3-11: Coeficientes de arrastre de los distintos diseños	69
Tabla 3-12: Comparación de las velocidades en las zonas superior e inferior de los diseños. ..	71
Tabla 3-13: Comparación de las presiones en la zona superior de los perfiles.....	72
Tabla 3-14: Comparación de los coeficientes de sustentación (CL) de los diseños	74
Tabla 3-15: Comparación del coeficiente de arrastre aerodinámico (C_x) de los diseños.	74
Tabla 3-16: Dimensionamiento de las probetas para los ensayos.....	77
Tabla 4-1: Identificación del grupo de probetas	96
Tabla 4-2: Descripción del cumplimiento de los criterios dimensionales.	96
Tabla 4-3: Resultados del ensayo de tracción.....	97
Tabla 4-4: Nomenclatura de los tipos de falla del ensayo de tracción.....	98
Tabla 4-5: Descripción del cumplimiento de los criterios dimensionales.	98
Tabla 4-6: Resultados del ensayo de flexión.	99
Tabla 4-7: Valores estadísticos descriptivos del esfuerzo máximo de tracción.....	100
Tabla 4-8: Valores estadísticos descriptivos del porcentaje de elongación (a tracción).....	101
Tabla 4-9: Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad a tracción.	102
Tabla 4-10: Valores estadísticos descriptivos del esfuerzo máximo de flexión.	103
Tabla 4-11: Valores estadísticos descriptivos del porcentaje de elongación (a flexión).....	104
Tabla 4-12: Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad a flexión.	105

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Aumento del arrastre total del vehículo y la resistencia a la rodadura de los neumáticos en una superficie horizontal, vs la velocidad	12
Ilustración 2-2: Tendencias de aumento de la aceleración lateral en los últimos años	13
Ilustración 2-3: Geometría de un perfil aerodinámico	14
Ilustración 2-4: Análisis CDF de un perfil aerodinámico	15
Ilustración 2-5: Fuerzas resultantes en el perfil aerodinámico	16
Ilustración 2-6: Coeficiente de resistencia aerodinámico para diferentes formas.	17
Ilustración 2-7: Líneas de flujo laminar.	18
Ilustración 2-8: Líneas de flujo turbulento.	18
Ilustración 2-9: Flujos presentes en un perfil alar.	19
Ilustración 2-10: Presión de elevación y downforce.	20
Ilustración 2-11: Coeficientes de arrastre y la potencia necesaria, en kilovatios.	23
Ilustración 2-12: Juego de carenados experimental.....	24
Ilustración 2-13: Kart carente de carenados a principios de los 80.	24
Ilustración 2-14: Matriz celulosa - Lignina / Hemicelulosa de la madera.....	26
Ilustración 2-15: Principales resinas termoestables.....	27
Ilustración 2-16: Principales fibras de refuerzo.....	28
Ilustración 2-17: Desempeño de una probeta de fibras unidireccionales dispuestas de manera longitudinal sometida a tracción.	29
Ilustración 2-18: Desempeño de una probeta de fibras unidireccionales dispuestas de manera transversal sometida a tracción.	30
Ilustración 2-19: Estructura molecular de polímeros termoestables.	31
Ilustración 2-20: Curva exotérmica característica de una resina termoestable.	33
Ilustración 2-21: Comparativa de curvas exotérmicas en función del espesor el laminado.	33
Ilustración 2-22: Esquema de un tejido.	38
Ilustración 2-23: Tejido convencional.....	39
Ilustración 2-24: Sarga	40
Ilustración 2-25: Satén	40
Ilustración 2-26: Contenido de refuerzo según el proceso.	42
Ilustración 2-27: Coste de utillajes y equipos según el proceso.	43
Ilustración 2-28: Presiones absolutas y relativas.....	44
Ilustración 2-29: Diferencial de presiones del laminado antes y después de aplicar el vacío. ...	45
Ilustración 2-30: Distribución adecuada de los materiales fungibles sobre el laminado.....	46

Ilustración 2-31: Diagrama de la metodología para realizar un estudio CFD	49
Ilustración 3-1: Ensamble diseño 1	57
Ilustración 3-2: Ensamble diseño 2	57
Ilustración 3-3: Ensamble diseño 3	58
Ilustración 3-4: Representación del túnel de viento	59
Ilustración 3-5: Cerramiento después del mallado	60
Ilustración 3-6: Calidad de la malla	62
Ilustración 3-7: Contorno de velocidad diseño 1	63
Ilustración 3-8: Contorno de presión diseño 1	63
Ilustración 3-9: Contorno de velocidad diseño 2.....	64
Ilustración 3-10: Contorno de presión diseño 2	65
Ilustración 3-11: Contorno de velocidad diseño 3.....	66
Ilustración 3-12: Contorno de presión diseño 3	66
Ilustración 3-13: Curva Coeficiente de sustentación vs iteraciones del diseño 1.....	67
Ilustración 3-14: Curva Coeficiente de sustentación vs iteraciones del diseño 2.....	68
Ilustración 3-15: Curva Coeficiente de sustentación vs iteraciones del diseño 3.....	68
Ilustración 3-16: Comparación de velocidades de los diseños.....	70
Ilustración 3-17: Comparación de presiones de los diseños.....	72
Ilustración 3-18: Comparación de turbulencias de los diseños.	73
Ilustración 3-19: Materiales usados para la construcción de probetas.	78
Ilustración 3-20: Proceso de laminación de las probetas.....	78
Ilustración 3-21: Probetas para el ensayo de tracción.	79
Ilustración 3-22: Probetas para el ensayo de flexión.....	80
Ilustración 3-23: Corte de las secciones de espuma de poliestireno para la fabricación de los moldes.	81
Ilustración 3-24: Molde resultado del proceso de corte y pulido de la espuma de poliestireno.	82
Ilustración 3-25: Empastado y pintado del molde	82
Ilustración 3-26: Aplicación de desmoldante polivinílico sobre el molde.	83
Ilustración 3-27: Preparación de los materiales previos a la laminación.	83
Ilustración 3-28: Demarcado del <i>film</i> de nylon para la bolsa de vacío previo a su corte.	84
Ilustración 3-29: Secciones de corte de la fibra de carbono.	85
Ilustración 3-30: Aplicación de una capa de resina epoxi para laminación sobre el molde.	86
Ilustración 3-31: Aplicación de una capa de fibra de carbono sobre el molde.....	86
Ilustración 3-32: Aplicación del tejido pelable (<i>peel plie</i>) sobre el molde.....	87
Ilustración 3-33: Aplicación de la manta absorbente sobre el molde.....	87

Ilustración 3-34: Introducción del conjunto de laminado, <i>film</i> separador y <i>film</i> absorbente en la bolsa de vacío.....	88
Ilustración 3-35: Bolsa de vacío sellada y conectada a la bomba de vacío.	88
Ilustración 3-36: Presión inicial al interior de la bolsa antes de encender la bomba de vacío. ..	89
Ilustración 3-37: Presión final al interior de la bolsa después de haber encendido la bomba de vacío.	89
Ilustración 3-38: Vacío generado dentro de la bolsa.	90
Ilustración 3-39: Curado de la pieza manteniendo la presión generada por el vacío.	90
Ilustración 3-40: Pieza desmoldada.....	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 3-41: Aplicación de Coating Epoxy a la pieza final.....	91
Ilustración 3-42: Corte de excesos en la pieza final.....	92
Ilustración 4-1: Coeficientes de sustentación vs Iteraciones.....	93
Ilustración 4-2: Comparación de los coeficientes de arrastre de los tres diseños.....	94
Ilustración 4-3: Comparación de los coeficientes de sustentación de los tres diseños.....	94
Ilustración 4-4: Fuerza de arrastre y fuerza de sustentación de cada diseño a 80 km/h.....	95
Ilustración 4-5: Diagrama Fuerza aplicada (N) vs desplazamiento (mm).....	100
Ilustración 4-6: Esfuerzo máximo de tracción por probeta y valor medio.	101
Ilustración 4-7: Porcentaje de elongación por probeta (tracción) y valor medio.	102
Ilustración 4-8: Módulo de elasticidad a tracción por probeta y valor medio.	103
Ilustración 4-9: Esfuerzo máximo de flexión por probeta y valor medio.....	104
Ilustración 4-10: Porcentaje de elongación por probeta (flexión) y valor medio.	105
Ilustración 4-11: Módulo de elasticidad a flexión por probeta y valor medio.	106

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DISEÑO 1.

ANEXO B: PLANOS DISEÑO 2.

ANEXO C: PLANOS DISEÑO 3.

ANEXO D: FICHA TÉCNICA RESINA EPÓXICA PARA LAMINACIÓN.

ANEXO E: FICHA TÉCNICA DE FIBRA DE CARBONO 2X2 TWILL, BIAXIAL, +45°/-45°, 3K, 193 GSM.

ANEXO F: DIBUJO TÉCNICO, CARROCERÍA PARA CIRCUITOS CORTOS, GRUPOS 1 & 2, FIA 2023.

ANEXOS G: REGULACIONES TÉCNICAS Y HOMOLOGACIÓN, FIA 2023.

ANEXO H: NORMAS INEN PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS Y ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN.

RESUMEN

Uno de los obstáculos principales para aumentar el rendimiento de un karting es el peso excesivo que puede adquirir debido a los materiales utilizados en la fabricación de sus componentes corporales, por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue fabricar pontones laterales y frontales empleando fibra de carbono como material y así mejorar la resistencia aerodinámica y el rendimiento en pista del vehículo. La metodología implementada tuvo un enfoque cuantitativo y cualitativo, donde obtuvimos mediciones numéricas precisas y objetivas del rendimiento aerodinámico y la resistencia al avance a través de análisis de elementos finitos, asimismo se realizó comparaciones entre distintos prototipos CAD para relacionar sus distintos coeficientes y cargas aerodinámicas. Mediante esta metodología se logró determinar a través de simulaciones en el software ANSYS CFX que el diseño escogido para la construcción presentó un coeficiente de sustentación de -0.35 y un coeficiente de arrastre de 0.59 , además con relación a la resistencia del material se determinó que la fibra de carbono cuenta con buenas propiedades de flexión y tracción. En este contexto se concluyó que la fibra de carbono es un material suficientemente resistente y su desempeño estructural lo ubica como un buen remplazante para otros materiales comunes en competencias como plásticos o fibra de vidrio.

Palabras clave: <FIBRA DE CARBONO>, <LAMINACIÓN>, <COEFICIENTE DE ARRASTRE>, <COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN>, < MATERIALES COMPUESTOS>
0137-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

One of the main obstacles to increase the karting performance is the excessive weight it can acquire due to the materials used in the manufacture of its body components. For this reason, the objective of this research was to manufacture side and front pontoons using carbon fiber as a material and thus improve the aerodynamic resistance and track performance of the vehicle. The methodology implemented had a quantitative and qualitative approach, where we obtained precise and objective numerical measurements of aerodynamic performance and drag through finite element analysis, also comparisons were made between different CAD prototypes to relate their different coefficients and aerodynamic loads. By means of this methodology it was possible to determine through simulations in ANSYS CFX software that the design chosen for the construction presented a lift coefficient of -0.35 and a drag coefficient of 0.59, also in relation to the resistance of the material it was determined that carbon fiber has good bending and traction properties. In this context, it was concluded that carbon fiber is a sufficiently resistant material and its structural performance places it as a good replacement for other common materials in competitions such as plastics or fiberglass.

Keywords: <CARBON FIBER>, <LAMINATION>, <DRAG COEFFICIENT>, <LIFT COEFFICIENT>, <COMPOSITE MATERIALS>.



Lic. Sandra Paulina Porras Pumalema. Mgs.
0603357062

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la búsqueda por optimizar el rendimiento de los vehículos en competición es una constante en la industria automotriz y del deporte motor. El karting, como deporte base, no es la excepción. Con el objetivo de mejorar la velocidad, la estabilidad y la seguridad en pista, se ha buscado reducir el peso y la resistencia aerodinámica de los karts.

Por tal motivo, el uso de materiales compuestos ha cobrado gran importancia en la construcción de piezas para vehículos deportivos de alto desempeño. La fibra de carbono, en particular, es un material altamente resistente y ligero que se ha popularizado en la construcción de estructuras para karts de competición.

Por lo tanto, la presente tesis se enfoca en el diseño y construcción de pontones laterales y frontales en fibra de carbono para un vehículo prototipo karting, con el objetivo de mejorar su rendimiento en pista. El uso de la fibra de carbono como material de fabricación permitirá reducir el peso y la resistencia aerodinámica del kart, lo que se traducirá en una mayor velocidad y estabilidad en curvas.

Además, la construcción de estos pontones se llevará a cabo mediante técnicas de laminado y moldes abiertos. Este método tiene la ventaja de ser más flexible y permite a los fabricantes hacer ajustes durante el proceso de fabricación. Además, el uso de moldes abiertos también ayuda a reducir los costos de producción, ya que no es necesario invertir en equipos costosos de moldeo por inyección o vacío. De manera que, el uso de técnicas de laminado y moldes abiertos es una solución efectiva y económica para la construcción de pontones laterales y frontales en fibra de carbono para vehículos prototipo de carreras.

Para finalizar, este proyecto de tesis busca explorar las posibilidades que ofrece la fibra de carbono en la construcción de piezas para vehículos de competición de bajo costo, con el objetivo de mejorar su desempeño en competencias y contribuir al avance de la ingeniería automotriz.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Con la popularización de las competencias de Go Karts a nivel nacional se ha constatado que en este tipo de eventos existe una gran competitividad por lo que constantemente se buscan técnicas para aumentar el rendimiento de los vehículos sin llegar a comprometer la seguridad del conductor. Uno de los principales factores que se interpone al momento de mejorar el rendimiento del vehículo es el excesivo peso que este puede llegar a tener debido a los materiales de fabricación de los componentes que forman parte del cuerpo de este. Para lo cual se propone el diseño y construcción de pontones en fibra de carbono que cumpla con los requerimientos de ligereza y resistencia necesarios para soportar impactos o colisiones.

1.2 Justificación

Con esta investigación se pretende diseñar y construir pontones que cumplan las exigencias de ligereza y resistencia, además de las normativas de homologación FIA; haciendo uso de la fibra de carbono como material de construcción, de modo tal que el vehículo sea capaz de lograr mejores desempeños en la pista y ofrecer seguridad al conductor en todo momento. Asimismo, se busca acumular experiencia en los ámbitos de diseño automotriz, procesos de manufactura, incentivar el interés a la investigación de materiales compuestos que cada vez son más usados dentro de la industria automotriz; permitiendo a estudiantes y docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo participar en competiciones nacionales de karting.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general*

Construir pontones laterales y frontales mediante el uso de la fibra de carbono como material de fabricación, con la finalidad de reducir el peso del vehículo, mejorando su resistencia aerodinámica y su rendimiento en pista.

1.3.2 Objetivos específicos

- Investigar los métodos y el proceso de construcción de pontones en fibra de carbono homologados por normativas internacionales FIA para adquirir conceptos fundamentales al momento de ejecutar la fase de diseño.
- Obtener probetas del material mediante metodología apropiada para ensayos mecánicos con el fin de obtener sus propiedades de resistencia.
- Diseñar los prototipos con la ayuda de un software CAD y analizar su comportamiento mecánico y aerodinámico mediante el método de elementos finitos para validar los datos de resistencia estructural.
- Construir los pontones del vehículo en fibra de carbono aplicando las técnicas y tratamientos adecuados, mediante el uso de moldes y resinas de manera que se pueda obtener piezas ligeras y resistentes.
- Realizar un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos en las pruebas destructivas, con la finalidad de inferir las propiedades físicas y mecánicas características del material de fabricación y proporcionar una comprensión detallada.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Historia del Karting

El karting se remonta a la década de 1956, cuando los entusiastas de los automóviles comenzaron a adaptar motores de motocicletas y de podadoras a pequeños chasis de cuatro ruedas. En 1957, Debido a los problemas que tenían con la policía algunos entusiastas encabezados por Don Boberick y Marvin Parchen crean el Club de Go Karts de América (GKCA), un organismo destinado a regular las actividades del karting y aplicar normas técnicas. A finales de diciembre de ese mismo año, se celebró la primera carrera de karts en California, Estados Unidos. (FIA, 2020)

En los años siguientes, el deporte creció rápidamente en popularidad, con la creación de varias asociaciones y organizaciones de carreras de karts en todo el mundo. En 1962 se estableció la Federación Internacional de Karting (CIK-FIA) para supervisar y regular el deporte a nivel internacional. Dos años después se crea el “Campeonato mundial de Karting” el cual se llevó a cabo en Parma, Italia, bajo la organización de la CIK-FIA, desde entonces, se ha convertido en un evento anual que atrae a los mejores pilotos de karts del mundo. (FIA, 2020 pág. 15)

Durante la década de 1960, los primeros karts no tenían pontones y los pilotos se sentaban prácticamente al ras del suelo, lo que hacía que el vehículo fuera más difícil de controlar en las curvas a alta velocidad, sin embargo, el karting continuó evolucionando, con la introducción de motores de dos tiempos y la adopción de neumáticos de caucho más suaves para aumentar la tracción. En la década de 1970, los pontones comenzaron a ser utilizados para elevar el asiento del conductor y mejorar la estabilidad del vehículo. Los primeros pontones eran simples tubos de metal que se extendían hacia los lados del kart, por otro lado, la tecnología de los karts se volvió más avanzada, con la introducción de motores de cuatro tiempos y frenos de disco. (FIA, 2020 pág. 15)

En las décadas siguientes, el deporte continuó creciendo en popularidad y la tecnología de los karts continuó mejorando. Los diseños de chasis se volvieron más aerodinámicos, los motores se hicieron más potentes y los neumáticos se hicieron más duraderos y resistentes al desgaste, del mismo modo, los pontones se volvieron más sofisticados y comenzaron a ser fabricados con materiales más livianos como el aluminio y la fibra de vidrio.

En 1986 la CIK-FIA hizo obligatorio el uso de pontones laterales para la Formula K, de igual manera, empezaron a regularizar el tamaño y la forma para brindar una mayor seguridad a los pilotos. En 1992, la CIK-FIA introduce varios cambios técnicos, con la imposición de alerones delanteros en los karts con homologaciones específicas. (FIA, 2020 pág. 16)

En la actualidad, el karting es un deporte popular en todo el mundo, con numerosas categorías y competiciones en diferentes niveles, desde el amateur hasta el profesional. La tecnología del karting sigue avanzando, con motores eléctricos cada vez más populares y el uso de materiales de fibra de carbono que permite una construcción más ligera y resistente.

2.2 Clasificación de Karts

Los karts utilizados en competición se dividen en los siguientes Grupos y Categorías:

2.2.1 Grupo 1

2.2.1.1 Categoría KZ

La categoría KZ es una de las categorías de karting de mayor nivel, diseñada para pilotos experimentados y profesionales. Esta categoría es muy competitiva y cuenta con karts que tienen una capacidad de 125 cc. En esta categoría, el peso mínimo de un kart con piloto es de 175 kg, incluyendo el peso del combustible. (FIAKarting, 2023 pág. 16)

2.2.2 Grupo 2

2.2.2.1 Categoría KZ2

La categoría KZ2 es una categoría de karting que se encuentra justo debajo de la categoría KZ. Es una categoría de alto rendimiento que utiliza motores de dos tiempos refrigerados por agua de hasta 6 velocidades y 125cc, capaces de alcanzar velocidades de hasta 140 km/h en pistas de carreras. En esta categoría, el peso mínimo de un kart con piloto es de 175 kg, incluyendo el peso del combustible (FIAKarting, 2023 pág. 16)

2.2.2.2 Categoría OK

La categoría OK en el karting es una de las más recientes y fue creada en el 2016 por la Federación Internacional del Automóvil (FIA). Es una categoría de alto rendimiento que utiliza motores de 125cc sin válvulas, con una potencia de alrededor de 40 caballos de fuerza. Los motores son producidos por un solo fabricante designado por la FIA y tienen un límite máximo de revoluciones de 16.000 RPM. (Faluga, 2022 pág. 25)

La categoría OK está diseñada para pilotos de entre 14 y 18 años, y es considerada como una categoría intermedia entre las categorías de karting junior y las categorías de karting de mayor potencia, como la KZ. Los karts de la categoría OK son más ligeros que los karts de la categoría KZ, con un peso mínimo de 150 kg (incluyendo al piloto), cuentan con neumáticos más estrechos que los de la categoría KZ. (FIAKarting, 2023 pág. 18)

2.2.2.3 Categoría OK-N

La categoría de karting OK-N es una categoría reconocida por la FIA Karting. Esta categoría es para karts de chasis de 30 mm de diámetro y utiliza motores de 125 cc de dos tiempos refrigerados por agua. La categoría OK-N es una categoría de nivel nacional y se encuentra en un escalón inferior a la categoría de nivel internacional OK. El límite de edad para esta categoría es de 14 a 15 años. El peso mínimo del kart completo (incluyendo al piloto) es de 155 kg y tiene un límite de revoluciones de 15.000 RPM. (FIAKarting, 2023 pág. 18)

2.2.2.4 Categoría OK-Junior

La categoría OK Junior es una categoría de karting de la FIA para pilotos de entre 12 y 14 años. Utilizan motores de 125 cc y tienen un peso mínimo de 140 kg (incluyendo al piloto). La potencia máxima permitida es de 22 hp y están equipados con frenos hidráulicos en las cuatro ruedas. Tiene un límite de revoluciones de 14.000 RPM. (FIAKarting, 2023 pág. 18)

2.2.2.5 Categoría OK-N Junior

Esta categoría se diferencia de OK-N por un restrictor de 26 mm en el escape, el motor es estrictamente idéntico, así como el carburador y el sistema de escape. El kart tiene un peso de 145 kg incluyendo al piloto (Vroomkart, 2022 pág. 12)

2.2.3 Grupo 3

2.2.3.1 Categoría Mini

La categoría Mini Karting es una categoría de karting para niños de entre 7 y 9 años. Está diseñada para ser una introducción al mundo del karting y utiliza karts más pequeños y menos potentes que las categorías para adultos. Los motores utilizados suelen ser de 60cc y la velocidad máxima permitida es de alrededor de 50 km/h. El peso mínimo del Kart incluyendo al conductor es de 110 kg. (FIAKarting, 2023 pág. 19)

2.2.3.2 *Categoría MiniXS*

Esta categoría utiliza motores con cilindrada de 60 cc y un peso de 105 kg incluyendo al conductor. Cuenta con un carburador de cámara flotante con difusor tipo Venturi de 15 mm, también tiene un límite de revoluciones de 12.000 RPM. (FIAKarting, 2023 pág. 10)

2.2.4 *Grupo 4*

2.2.4.1 *Categoría Superkart*

Los karts de la categoría Superkart tienen un peso mínimo de 218 kg incluyendo la carrocería, un motor de cuatro tiempos con cilindrada de 250 cc, lo que les permite alcanzar velocidades superiores a los 250 km/h. (FIAKarting, 2023 pág. 19)

2.3 **Regulaciones Técnicas**

Según (FIAKarting, 2023 pág. 37), ninguna parte de la carrocería debe:

- Estar a una altura superior a 60 cm del suelo (excepto estructuras únicamente diseñadas como reposacabezas sin posible efecto aerodinámico)
- Extenderse más allá del parachoques posterior
- Estar más cerca del suelo que la bandeja de suelo
- Extenderse lateralmente más allá del exterior de las ruedas delanteras y posteriores
- Tener una anchura superior a 140 cm
- Tener un espacio de menos de 25 mm entre cualquier parte de la carrocería y los neumáticos; o ser ajustable desde el asiento del conductor en condiciones de carrera cuando el kart está en movimiento.
- La carrocería, el escudo de burbujas y el ala deben estar hechos de un material no metálico. En el caso de que una carrocería completa con escudo de burbujas sea usada, el escudo de burbujas debe estar conectado a la carrocería por no más que cuatro clips de liberación rápida y no debe tener ningún dispositivo de fijación.
- En el caso de que el escudo de burbujas sea una estructura separada, su ancho máximo debe ser de 50 cm y el ancho de su marco de fijación de 25 cm. El protector de burbujas no debe estar ubicado por encima del plano vertical, definido por la parte superior del volante, o ser menos de 5 cm de cualquier parte del volante.
- En la parte inferior del protector de burbujas debe finalizar simétricamente al menos 15 cm de los pedales en la posición normal de reposo y no debe cubrir los pies o los tobillos. Cuando se quita el protector de burbuja, ninguna parte de la carrocería debe cubrir cualquier parte del conductor sentado en la posición normal visto desde arriba
- El carenado delantero no debe tener bordes afilados y poseer un radio mínimo de 20 mm.

- El carenado delantero debe ser tal que sea posible para el parachoques delantero, cumplir con los requisitos de estas regulaciones y no ser más ancho que las ruedas delanteras cuando está en una posición mirando hacia adelante
- La bandeja de piso no debe extenderse más allá de los parachoques delantero o posterior. Su ancho no debe extender las dimensiones de la carrocería incluyendo alas y placas finales.

2.3.1 Carrocería

Según (FIAKarting, 2023 pág. 10), “La carrocería está constituida por todas las partes del kart que están en contacto con el aire, excepto las partes mecánicas definidas en los artículos 4 y 5, el depósito de combustible y la placa de matrícula.”

2.3.2 Elementos de la carrocería

Según (FIAKarting, 2023 pág. 10), la carrocería debe cumplir con la categoría en la cual el kart está inscrito. Según la clase, debe estar compuesto de un carenado delantero, un kit de montaje del carenado delantero, un panel frontal, dos pontones laterales y una protección de la rueda posterior.

2.3.2.1 Carenado delantero

De acuerdo con (FIAKarting, 2023 pág. 11), el carenado delantero debe cumplir con las siguientes características

- Anchura mínima: 1000 mm
- Anchura máxima: anchura total posterior de la unidad del eje/rueda delantera
- Distancia máxima entre las ruedas delanteras y la parte posterior del carenado: 180 mm
- Voladizo delantero: 680 mm máximo, ver ANEXO F.

2.3.2.2 Carrocería lateral

Según (FIAKarting, 2023 pág. 11), la carrocería lateral debe cumplir con las siguientes características

- La superficie de la carrocería lateral deberá ser uniforme y lisa; no deberá tener más orificios que los necesarios para su fijación.
- Ninguna parte de la carrocería lateral podrá cubrir parte alguna del conductor sentado en posición normal de conducción
- La carrocería lateral no debe solapar el bastidor visto desde abajo
- No debe retener agua o grava

- Debe estar firmada a los parachoques laterales
- Debe existir un espacio para los números de competición en la superficie vertical cerca de las ruedas traseras
- No debe en ningún caso estar situada por encima del plano definido por la parte superior de los neumáticos delanteros y posteriores ni sobresalir más de 40 mm más allá del plano definido por el borde exterior de las ruedas delanteras y posteriores (en posición recta)
- Debe tener una distancia al suelo de 25 mm como mínimo y 60 mm como máximo
- Distancia entre la parte delantera de la carrocería lateral y las ruedas delanteras 150 mm como máximo
- Distancia entre la parte posterior de la carrocería lateral y las ruedas posteriores 60 mm como máximo
- En condiciones de lluvia, la carrocería lateral no debe sobresalir más allá del plano definido por el borde exterior de las ruedas posteriores

2.3.2.3 *Panel frontal*

De acuerdo con (FIAKarting, 2023 pág. 12), el panel frontal debe cumplir con las siguientes características

- El panel frontal no debe situarse por encima del plano horizontal definido por la parte posterior del volante.
- No debe impedir el funcionamiento normal de los pedales ni cubrir ninguna parte de los pies en posición normal de conducción
- Deberá dejar un espacio de al menos 50 mm entre el panel y el volante y no debe sobresalir del carenado delantero
- Anchura: 250 mm como mínimo y 300 mm como máximo
- La parte inferior del panel debe estar firmemente sujeta a la parte delantera del bastidor del chasis, directa o indirectamente
- Su parte superior debe estar fijada al soporte de la columna de dirección con una o varias barras independientes
- Debe existir un espacio para los números de competición

2.3.3 *Material*

De acuerdo con (FIAKarting, 2023 pág. 10), solo fibra de carbono, fibra de vidrio y Kevlar son permitidos en el Grupo 4. La carrocería debe tener un acabado impecable, no debe ser de naturaleza improvisada y no tener aristas puntiagudas. El radio mínimo de los ángulos o esquinas

es de 5 mm. Si se usa plástico, no debe astillarse ni formar aristas vivas como consecuencia de posibles roturas. Puede ser de cualquier color.

2.4 Homologaciones, Aprobaciones y Controles

Los formularios de homologación (HF), los formularios de aprobación (AF) y las regulaciones de homologación (HR), están disponibles en la secretaría de la CIK-FIA, o en la página oficial de la FIA karting.

2.4.1 Homologación y aprobaciones

Todo el material que tiene una homologación válida se publica en la página oficial de la FIA karting, solo este material se podrá usar para las competencias de acuerdo con las categorías internacionales descritas en las regulaciones técnicas (TR). Por lo tanto, los clubes que solicitan una homologación CIK-FIA tienen la obligación de respetar las normas CIK-FIA. Las piezas homologadas deben utilizarse como se muestra en el HF. (FIAKarting, 2023 pág. 13)

2.4.2 Identificaciones

Dentro de la forma de homologación, debe ser posible identificar un producto homologado, usando descripciones técnicas como fotos, planos, dimensiones, etc. Teniendo en cuenta las modificaciones permitidas en la regulación técnica. La CIK-FIA puede solicitar en cualquier momento que las partes se sometan a controles. (FIAKarting, 2023 pág. 13)

2.4.3 Homologación de carrocería

Según (FIAKarting, 2023), para la homologación de una carrocería es necesario cumplir los siguientes requisitos:

- Ser propietario intelectual y físico de todos los planos de producción
- Ser propietario de los moldes y plantillas usadas en la manufactura
- Dominar el diseño de los elementos de la carrocería, y tener acceso a un departamento de investigación adecuado
- Poseer los derechos de propiedad intelectual sobre la carrocería, es decir; definir las operaciones de fabricación y tener la experiencia técnica adecuada.
- El fabricante deberá diseñar y dibujar los elementos plásticos de la carrocería; sin embargo, la producción puede ser subcontrata.

2.4.3.1 *Carenado delantero*

- Grupo 1 y 2: El carenado delantero debe comprender en su cara delantera una superficie vertical (con tolerancia de $\pm 10^\circ$ medida en el centro del carenado delantero en relación con el plano vertical teórico) con una longitud mínima de 200 mm y una altura de 70 mm situado inmediatamente por encima de la distancia al suelo. Dentro de esta superficie vertical (200 mm – 70 mm) en ambas direcciones se acepta una esquina, pero no debe tener un radio menor a 250 mm.
- Grupo 3: El carenado delantero debe comprender en su cara delantera una superficie vertical (con tolerancia de $\pm 10^\circ$ medida en el centro del carenado delantero en relación con el plano vertical teórico) con una longitud mínima de 180 mm y una altura de 50 mm situado inmediatamente por encima de la distancia al suelo. Dentro de esta superficie vertical (180 mm – 50 mm) en ambas direcciones se acepta una esquina, pero no debe tener un radio menor a 200 mm.

2.4.3.2 *Carrocería lateral*

- La carrocería lateral debe comprender en su lado exterior una superficie (con una tolerancia de $\pm 5^\circ$ en relación con el plano vertical teórico) de una altura mínima de 100 mm y una longitud mínima de 400 m situada inmediatamente por encima de la distancia del suelo.

2.5 **Condiciones aerodinámicas**

En el proceso de diseño de los pontones, se tienen en cuenta los aspectos aerodinámicos y se enfoca en la zona principal donde el viento tiene mayor impacto. Con esta información, se toman decisiones para desarrollar un modelo futuro. (Katz, 2016 pág. 20)

2.6 **Aerodinámica**

Un karting de competición es un vehículo aerodinámico altamente complejo, a diferencia de un avión, un karting siempre está en proximidad con el suelo. Esto dificulta el flujo de aire alrededor del kart, sin embargo, un avión y un kart tienen una cosa en común, ambos generan una fuerza de arrastre que se opone al movimiento. Un avión tiene que generar una fuerza hacia arriba equivalente a su propio peso para mantener un vuelo nivelado, mientras que, un vehículo tiene que permanecer en el suelo para que sus neumáticos puedan generar adherencia y fuerzas de tracción. (Katz, 2016 pág. 21)

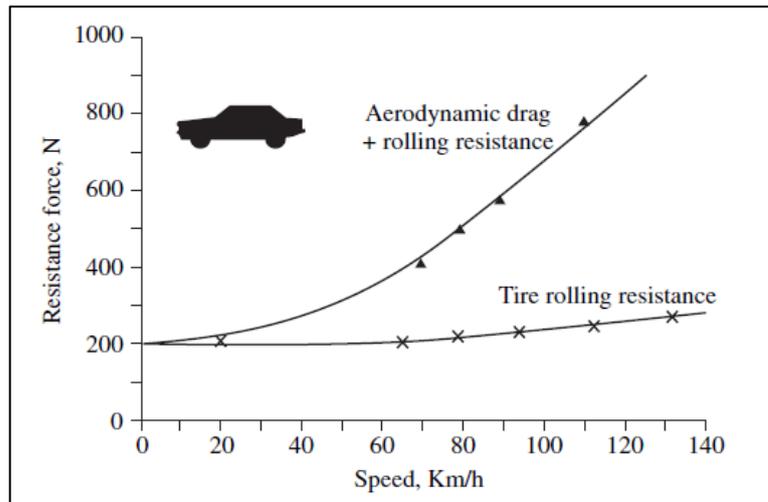


Ilustración 2-1: Aumento del arrastre total del vehículo y la resistencia a la rodadura de los neumáticos

Fuente: (Katz, 2016 pág. 20)

La figura 2-1 muestra que el arrastre aerodinámico aumenta con el cuadrado de la velocidad mientras que la resistencia a la rodadura de los neumáticos cambia marginalmente. Debido a esto, los ingenieros crearon un número adimensional llamado coeficiente de arrastre (C_D), el cual indica la eficiencia aerodinámica de un objeto en relación con su forma y tamaño. Un coeficiente aerodinámico menor indica que el objeto tiene una menor resistencia al avance del aire y, por lo tanto, es más eficiente desde el punto de vista aerodinámico. (Katz, 2016 pág. 20)

$$C_D = \frac{D}{0.5 * \rho * U^2 * S} \quad (2-1)$$

Donde D es la fuerza de arrastre aerodinámico, ρ es la densidad del medio, U es la velocidad del vehículo y S es el área frontal del vehículo

2.7 Carga aerodinámica

La carga aerodinámica es una fuerza que se ejerce perpendicularmente al plano de la superficie del vehículo, hacia abajo, y es creada por la interacción entre la corriente de aire y las formas del vehículo, como alerones, carenados, pontones. La carga aerodinámica es importante porque

aumenta la adherencia de los neumáticos en el suelo, mejorando la tracción y el rendimiento del vehículo en curvas y a altas velocidades. (Katz, 2016 pág. 21)

La figura 2-2 muestra la evolución de la aceleración máxima lateral (durante las curvas) a lo largo de los años. El área gris muestra la mejora en autos deportivos, la cual es resultado directo de las mejoras en los neumáticos. La línea continua muestra un rendimiento superior debido a la implementación de neumáticos blandos y pegajosos utilizados en competición. El rápido aumento que muestra la línea entre cortada se debe a la mejora en las cargas aerodinámicas del vehículo. (Katz, 2016 pág. 21)

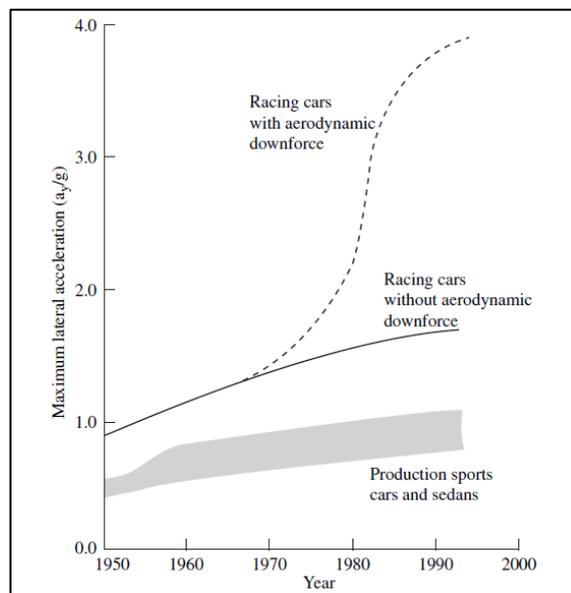


Ilustración 2-2: Tendencias de aumento de la aceleración lateral en los últimos años

Fuente: (Katz, 2016 pág. 21)

El hecho de que el coeficiente de arrastre sea bajo no garantiza automáticamente que el automóvil vaya más rápido. Debido a que la mayoría de las competencias involucra curvas a alta velocidad y aceleración, el aumento de la adherencia de los neumáticos (usando cargas aerodinámicas), permite una toma de curvas a mayor velocidad, así como, una mejora en el frenado y aceleración. Por su puesto, la velocidad máxima se ve afectada, sin embargo, los vehículos con carga aerodinámica no solo son más rápidos en pista cerrada, sino también más estables. (Katz, 2016 pág. 22)

2.8 Condiciones de diseño

El diseño de la carrocería de un vehículo no solamente influye en su apartado estético, cuando un automóvil de competición se encuentra en movimiento, el desempeño de este se ve afectado debido a la fuerza aerodinámica generada por la resistencia al viento.

La resistencia o arrastre aerodinámico es influenciado principalmente por la velocidad del vehículo, sin embargo, no es el único factor que interviene en su determinación, esta fuerza también es definida mediante la densidad atmosférica, la superficie de contacto con el aire y un coeficiente aerodinámico.

Los fabricantes al rededor del mundo invierten grandes cantidades de tiempo y dinero en realizar pruebas y construir prototipos para conseguir un vehículo que complemente tanto el aspecto visual con la ingeniería y así entregar un producto atractivo y bajo en consumo, características que forman parte del valor final del auto. (Fraija B. 2006, p. 66)

2.8.1 Características básicas de perfiles aerodinámicos

En el principio de la aerodinámica de los vehículos de carreras, se usaron simples perfiles aerodinámicos, los cuales mostraban grandes similitudes con perfiles utilizados en aviación. La figura 2-3 muestra un perfil comúnmente usado en la aeronáutica. (Fromming, 2019 pág. 50)

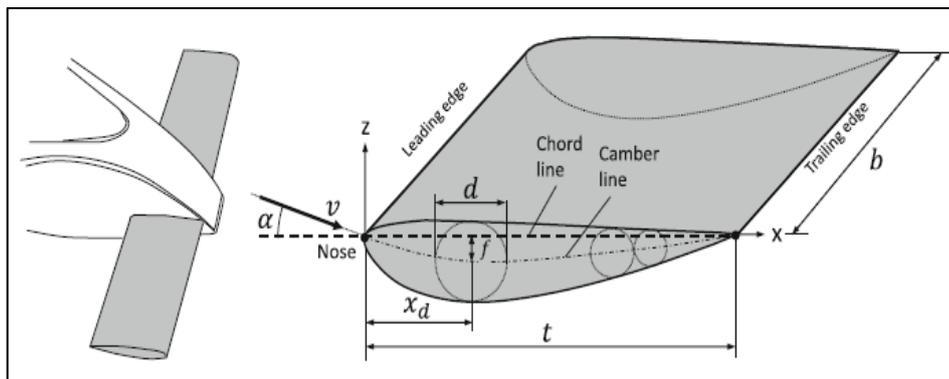


Ilustración 2-3: Geometría de un perfil aerodinámico

Fuente: (Fromming, 2019 pág. 50)

La línea de conexión entre el borde frontal (con la punta de la nariz) y el borde posterior se llama cuerda, su longitud se llama profundidad o longitud de cuerda t . La cuerda y la dirección de flujo forman el ángulo de ataque α . Desde el ancho b y la profundidad del perfil aerodinámico t , se obtiene el área plana del ala A_f . El coeficiente aerodinámico dado por los perfiles usualmente se refiere a esta extensión plana, representado por la siguiente ecuación. (Fromming, 2019 pág. 51)

$$\lambda_F = \frac{b}{t} = \frac{b^2}{A_f} \quad (2-2)$$

El espesor del perfil a lo largo de la cuerda es determinado por los centros de los círculos tocando el lado superior e inferior del perfil. La línea resultante es llamada línea esqueleto. La desviación de la línea esqueleto desde la cuerda se llama altura de peralte f . (Fromming, 2019 pág. 52)

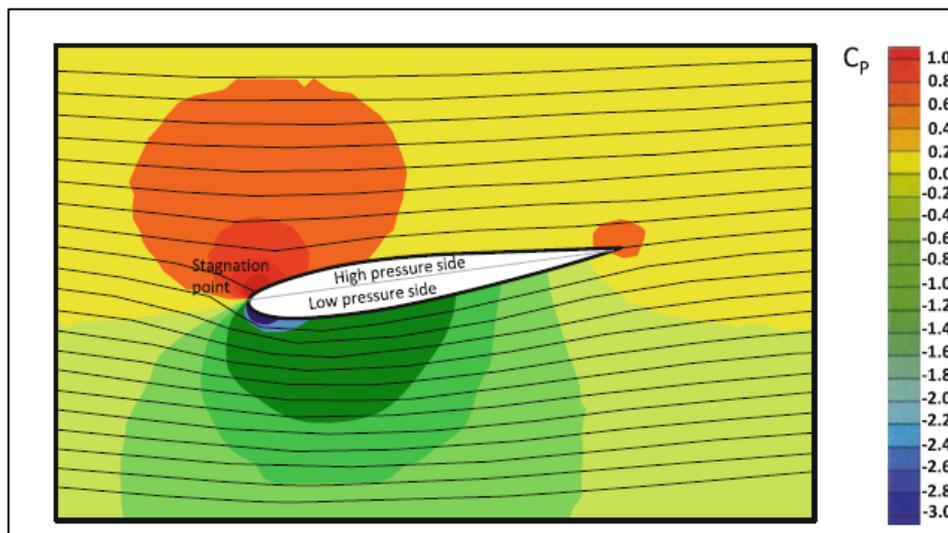


Ilustración 2-4: Análisis CFD de un perfil aerodinámico

Fuente: (Fromming, 2019 pág. 52)

En la figura 2-4 se observa un análisis CFD de un perfil aerodinámico, este perfil tiene un ángulo de ataque de 10° , se observa que se produce un estancamiento de aire en la punta de la nariz del perfil debido al ángulo de ataque, este estancamiento produce una reducción de velocidad de aire igual a cero en este punto y consecuentemente un aumento de presión. (Fromming, 2019 pág. 54)

Desde la alta presión en la parte superior y la baja presión en la parte inferior de la superficie, surge una fuerza resultante, la cual está formada de una componente de carga aerodinámica y otra componente de arrastre. Cuando el flujo de aire llega al borde posterior del perfil, la presión crece

nuevamente a una presión ambiental. La parte superior es una superficie de presión con un $C_p > 0$ y la parte inferior es una superficie de succión con un $C_p < 0$. (Fromming, 2019 pág. 54)

La Figura 2-5 muestra la fuerza resultante en un perfil aerodinámico, una fuerza se obtiene integrando las curvas de presión a lo largo del perfil aerodinámico, la cual actúa sobre el perfil y sobre un punto DP. Esta fuerza puede ser dividida en una parte paralela a la dirección del movimiento F_{xF} y una parte perpendicular a la dirección del movimiento F_{zF} . Estas componentes corresponden al arrastre y a la carga aerodinámica del perfil. (Fromming, 2019 pág. 55)

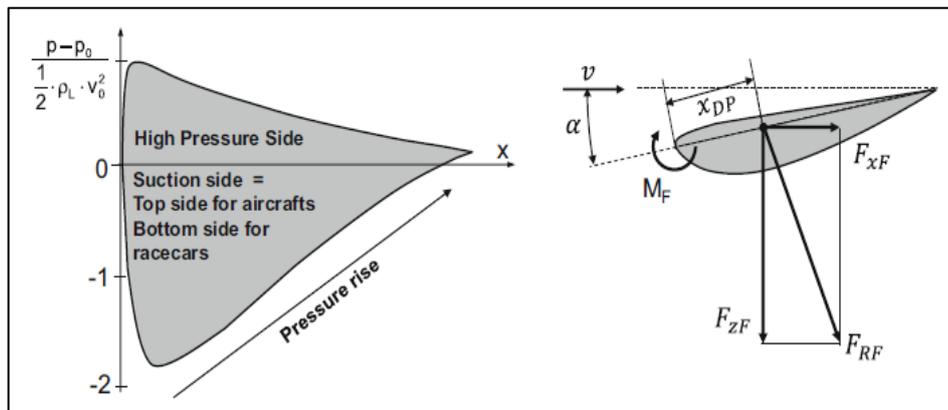


Ilustración 2-5: Fuerzas resultantes en el perfil aerodinámico

Fuente: (Fromming, 2019 pág. 55)

2.8.2 Tipos de perfiles aerodinámicos

El coeficiente de resistencia aerodinámica presenta una influencia notable en la fuerza de arrastre aerodinámico. El coeficiente de arrastre aerodinámico puede entenderse como la cualidad aerodinámica de la forma de un perfil en un fluido. Dependiendo de la forma del perfil, el coeficiente de arrastre aerodinámico puede variar notablemente. (X-ENGINEER 2016)

Shape		Drag Coefficient
Sphere	→ 	0.47
Half-sphere	→ 	0.42
Cube	→ 	1.05
Streamlined Body	→ 	0.04
Streamlined Half-body	→ 	0.09

Ilustración 2-6: Coeficiente de resistencia aerodinámica para diferentes formas.

Fuente: (X-ENGINEER, 2016 pág. 5)

La eficiencia energética es mayor mientras menor sea el coeficiente de resistencia aerodinámica (*Drag Coefficient*), El perfil aerodinámico óptimo es la forma de una gota de agua ($C_d=0.04$). De manera natural, la gota de agua se ve obligada a tomar la forma que presenta menor resistencia debido a la fricción con el aire, de forma que adquiere el perfil con el menor coeficiente de resistencia aerodinámico.

2.9 Líneas de flujo

Para comprender el desempeño aerodinámico, se debe tomar en cuenta la mecánica de fluidos, que se centra en el estudio de los fenómenos de movimientos relativos de un fluido gaseoso, sobre un objeto con una superficie sólida, para el reconocimiento de fuerzas y presiones. (Arcos Andrade 2016, p. 8)

2.9.1 *Capa límite*

Según la mecánica de fluidos, la capa límite de un fluido es la región donde el movimiento de este se ve alterado por la existencia de una superficie sólida con la que entra en contacto. La capa límite se comprende como aquella en la que, la velocidad del fluido con relación al sólido que se desplaza cambia desde ser nula hasta el 99% de la rapidez de la corriente no alterada. (García Martín, Marcelino Sádaba 2010, p. 23)

La capa límite se puede diferenciar en 2 tipos: capa laminar en donde actúa un flujo laminar y capa turbulenta en donde actúa un flujo turbulento.

2.9.1.1 Flujo laminar

Cuando las partículas del fluido se mueven de manera ordenada, suave, estratificada de forma que se desplazan en laminas paralelas en la misma dirección que el medio y las líneas de flujo sin llegar a mezclarse entre sí.

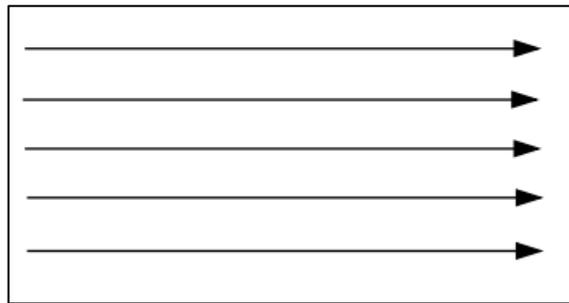


Ilustración 2-7: Líneas de flujo laminar.

Fuente: (Stern 2016, p. 95)

2.9.1.2 Flujo turbulento

Cuando las partículas del fluido se mueven de forma caótica y desordenada, las líneas de flujo dejan de ser paralelas y se mezclan entre sí formando pequeños remolinos.

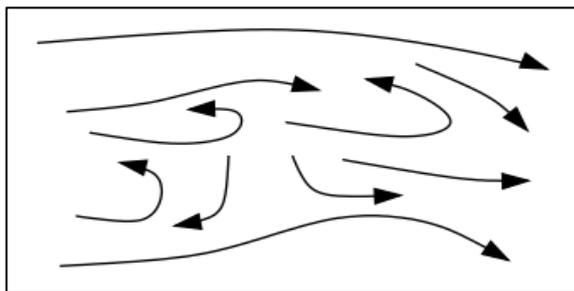


Ilustración 2-8: Líneas de flujo turbulento.

Fuente: (Stern 2016, p. 95)

Aunque, por intuición, se pueda pensar que es más favorable el flujo laminar, el flujo turbulento presenta ciertas ventajas en comparación al flujo laminar; en consecuencia, ambos tipos de flujo deben encontrarse para un mejor rendimiento aerodinámico. (Jiménez Arribas 2015, p. 25)

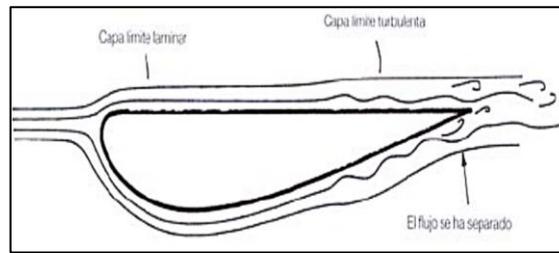


Ilustración 2-9: Flujos presentes en un perfil alar.

Fuente: (Jiménez Arribas 2015, p. 25)

2.9.1.3 Numero de Reynolds

La importancia del número de Reynolds radica en que nos habla del régimen con el que fluye un fluido, lo que es fundamental para el estudio de este. El número de Reynolds se puede considerar como la razón de fuerzas inerciales a fuerzas viscosas que actúan sobre un elemento de fluido. (ÇENGEL, CIMBALA 2006, p. 324)

En valores elevados de Reynolds, las fuerzas inerciales, proporcionalmente vinculadas a la densidad y al cuadrado de la velocidad del fluido, sobrepasan ampliamente las fuerzas viscosas. Consecuentemente, las fuerzas viscosas no pueden controlar las fluctuaciones rápidas y aleatorias del fluido. En contraste, en números bajos o medianos de Reynolds, las fuerzas viscosas son lo suficientemente significativas para suprimir estas fluctuaciones y mantener la dirección fluida de manera ordenada. Por consiguiente, en la primera circunstancia el flujo es turbulento, mientras que en la segunda es laminar. (ÇENGEL, CIMBALA 2006, p. 324)

El número de Reynolds se puede estimar mediante la siguiente formula:

$$Re = \frac{\rho * v * L_c}{\mu} \quad (2-3)$$

Donde,

- v , es la velocidad de un fluido en m/s
- L_c , es la longitud característica del cuerpo de estudio y se mide en m.
- μ , es la viscosidad dinámica de un fluido en Pa·s.
- ρ , es la densidad del fluido medido en kg/m³.

- Re , es el número Reynolds y es adimensional.

2.9.2 Principio de Bernoulli y efecto Venturi

El principio de Bernoulli describe el comportamiento de un fluido incompresible que se mueve mediante una o varias líneas de flujo alrededor de un perfil aerodinámico. Este principio dicta que, en un flujo constante, la suma de la presión estática, la presión dinámica y potencial de se mantiene constante a lo largo de la línea de flujo.

El efecto Venturi, por su parte, se basa en el principio de Bernoulli y ocurre cuando un fluido pasa a través de una sección de área más estrecha dentro de un conducto. Según el principio de Bernoulli, cuando el fluido pasa por la garganta y la velocidad aumenta, la presión disminuye. Esto crea una zona de baja presión en las paredes de la garganta en comparación con las zonas circundantes de mayor presión. Como resultado, el fluido circundante tiende a ser aspirado hacia la zona de baja presión.

Para los perfiles aerodinámicos en los vehículos de competición, esto significa que cuando el flujo de aire se mueve más rápido debajo del perfil, se crea una zona de baja presión en la parte inferior del mismo. Esta diferencia de presión genera una fuerza hacia abajo, conocida como sustentación negativa o *downforce*, que ayuda a mantener el vehículo pegado al suelo y mejorar la tracción.

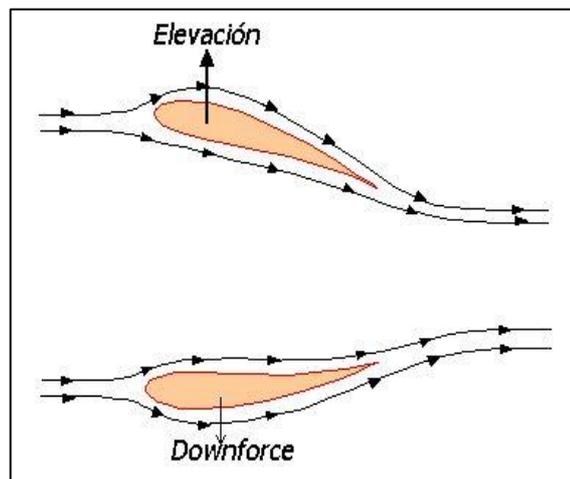


Ilustración 2-10: Presión de elevación y downforce.

Fuente: (Rodríguez, 2014, p. 25)

Si un fluido fluye alrededor de un objeto a diferentes velocidades, el flujo más lento creará una presión mayor sobre el objeto en comparación con el flujo más rápido. Esto resultará en que el objeto sea empujado en dirección al flujo de mayor velocidad. Como resultado de este fenómeno, se genera la sustentación o carga aerodinámica, ambos dependiendo de la posición y longitud de la región de interacción del cuerpo aerodinámico. La sustentación ocurre cuando la longitud de la superficie de contacto está orientada hacia arriba, mientras que la carga descendente se produce cuando esta longitud está en la dirección opuesta. (Rodríguez 2014, p. 25)

2.10 Fuerza de resistencia aerodinámica

La fuerza de resistencia aerodinámica se puede medir mediante la siguiente ecuación:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot C_D \quad (2-4)$$

Donde,

- F_D , es la fuerza de resistencia aerodinámica cuya unidad es el newton N.
- ρ , es la densidad del aire que se mide en kg/m^3 .
- V , es la velocidad del vehículo medida con respecto al aire en m/s .
- A , es el área o superficie frontal del vehículo en m^2
- C_D , es el coeficiente de resistencia aerodinámica que es adimensional.

Al ser una fuerza de arrastre, la fuerza de resistencia aerodinámica se opone al movimiento del vehículo dificultando su avance mientras mayor sea la velocidad.

2.10.1 Densidad del aire.

La densidad del aire es la cantidad masa del aire en relación con su volumen. Es representada por la letra griega ρ (rho) y es medida en kg/m^3 en unidades del SI. Considerando el aire seco como un gas ideal, la densidad se calcula en función de la presión atmosférica, de la constante específica del gas (ideal) y de la temperatura absoluta.

La densidad del aire varía en función de la temperatura y la presión. En condiciones de presión y temperatura estándar (STP), el valor de la densidad del aire depende de la norma o estándar que

se emplee. Según la norma de la Atmósfera Estándar Internacional (ISA), la densidad del aire seco se estipula en $1,225 \text{ kg/m}^3$ o $0,0765 \text{ lb/ft}^3$. La Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (UIQPA) presenta una definición diferente para la densidad del aire. De acuerdo con la UIQPA, la densidad del aire se establece en $1,2754 \text{ kg/m}^3$ o $0,0796 \text{ lb/ft}^3$ a una presión de 1000 hPa y una temperatura de $0 \text{ }^\circ\text{C}$. (Zolotkov 2017, p. 55)

2.10.2 Velocidad del vehículo (Respecto al aire)

La velocidad del vehículo respecto al aire toma en consideración la velocidad del viento del medio en el cual se encuentra circulando, si el vehículo se circula a favor del viento, esta se restará de la velocidad del vehículo con respecto al suelo y de manera contraria si se encuentra circulando en contra del viento.

La resistencia aerodinámica incrementa con el cuadrado de la velocidad, el incremento es exponencial de modo que incrementos pequeños de la velocidad provocan grandes incrementos de la resistencia.

2.10.3 Área o superficie frontal

La superficie frontal se refiere al espacio que el vehículo ocupa en una vista frontal y se expresa en metros cuadrados (m^2). Por lo tanto, es posible deducir que un automóvil de dimensiones amplias y elevadas, equipado con retrovisores y neumáticos de mayor tamaño, presentará una mayor resistencia al avance en comparación con un automóvil de menor altura y anchura, con retrovisores de dimensiones reducidas y neumáticos más delgados. (Artés, 2020, p. 31)

La importancia de esta medida se basa en que el área frontal es directamente proporcional a la cantidad de aire que se tendrá que desplazar para que el vehículo avance. Habitualmente en vehículos de uso habitual el área frontal de un coche suele comprender entre los 2 m^2 y los $2,5 \text{ m}^2$. (Artés, 2020, p. 31)

2.10.4 Coeficiente de arrastre aerodinámico en los vehículos

De acuerdo con el tipo de carrocería del vehículo y de los componentes montados en su exterior como retrovisores, alerones o limpiaparabrisas, El coeficiente de resistencia aerodinámico aumenta conforme la disposición y forma de las piezas.

	cW	40 km/h	80 km/h	120 km/h	160 km/h
 Open convertible	0.5...0.7	1	7.9	27	63
 Station wagon (2-box)	0.5...0.6	0.91	7.2	24	58
 Conventional form (3-box)	0.4...0.55	0.78	6.3	21	50
 Wedge shape, headlamps and bumpers integrated into body, wheels covered, underbody covered, optimized flow of cooling air.	0.3...0.4	0.58	4.6	16	37
 Headlamps and all wheels enclosed within body, underbody covered	0.2...0.25	0.37	3.0	10	24
 Reversed wedge shape (minimal cross-section at tail)	0.23	0.38	3.0	10	24
 Optimum streamlining	0.15...0.2	0.29	2.3	7.8	18

Ilustración 2-11: Coeficientes de arrastre y la potencia necesaria, en kilovatios.

Fuente: (Bosch GmbH 2002, p. 592)

La imagen muestra los coeficientes de arrastre y la potencia necesaria, en kilovatios, de vehículos con un área frontal promedio de dos metros cuadrados a determinadas velocidades.

El área frontal y el coeficiente de resistencia aerodinámica son condiciones que dependen de la forma de los elementos de la carrocería que se encuentran en fricción con el aire y de la superficie en contacto de estas. Básicamente son factores que se pueden modificar según el diseño que tengan las piezas.

2.11 Dispositivos aerodinámicos para vehículos karting

Los conocidos como carenados son de los elementos que más han revolucionado la estética y la aerodinámica del kart en las últimas décadas. Los avances son notorios tanto en el diseño como en los materiales de construcción de estos, teniendo un gran impacto en el desempeño y rendimiento de los vehículos en competiciones.

2.11.1 Antecedentes históricos

El primer conjunto de carenados utilizado de forma experimental en los karts incluía los pontones laterales y un pequeño carenado frontal que servía como soporte para el número de identificación. Antes, este accesorio consistía en una simple tabla con el número pegado, colocada entre el volante y el depósito, o directamente en el tubo frontal del chasis. El carenado frontal tenía una

forma redondeada y comenzaba en el soporte de la columna de dirección, ascendiendo hacia el volante mientras aumentaba de tamaño. Estos carenados no estaban regulados por un conjunto de normas, lo que resultaba en una variedad de formas. Algunos de ellos presentaban aberturas en la parte frontal para canalizar el flujo de aire hacia el carburador. (Bernardi, 2019, p. 43)



Ilustración 2-12: Juego de carenados experimental.

Fuente: (Bernardi, 2019, p. 43)

El primer juego de pontones se usó a modo experimental en el año de 1985. Con estos también se corrió el campeonato mundial de fórmula k, la nueva categoría con motores de 135 cc, con la finalidad de reunir el kart norteamericano y el europeo en un mismo reglamento (Bernardi, 2019, p. 43)

A inicios de la década de los 80 las competiciones oficiales no contemplaban el uso de juegos de carenados, únicamente se visualiza un pequeño portanúmero frontal sujeta en soporte de la dirección.



Ilustración 2-13: Kart carente de carenados a principios de los 80.

Fuente: (Bernardi, 2019, p. 43)

En contraste, a finales de la década de los 80 ya se contaban con especificaciones sobre el uso de carenados para las competiciones oficiales y se podía visualizar a los vehículos de los equipos participantes con sus propios conjuntos de fabricación artesanal.

En 1992 ya se contaba con conjuntos de carenados que estaban conformados por pontones laterales, portanúmero frontal y alerón delantero, los cuales ya eran de uso obligatorio desde aquel año. Sin embargo, aún no existía una homologación, únicamente habían definidos tamaños a los que se debían ajustar los equipos.

2.11.2 Carenado frontal

El carenado frontal consiste en 2 componentes: el alerón delantero y el panel portanúmero frontal.

2.11.2.1 Alerón delantero

El alerón delantero es el encargado de cubrir y brindar protección a los pies del piloto de posibles elementos externos que pueden ser expulsados de otro kart o por alguna colisión durante la competición. La forma aerodinámica de este componente puede tener un impacto significativo en el rendimiento del vehículo debido a que se encarga de brindar una sustentación negativa para mejorar el agarre de este.

2.11.2.2 Panel portanúmero frontal

El portanúmero frontal cumple la función de cubrir las piernas del piloto y disminuir el flujo directo hacia el casco, además reduce la resistencia aerodinámica desplazando los flujos a los lados del vehículo disminuyendo las posibles turbulencias creadas por el impacto de las líneas de flujo con el cuerpo del piloto.

2.11.3 Carenado lateral

El carenado lateral está conformado por dos pontones simétricos fijados de manera sólida a los parachoques laterales. Estos se encargan de evitar que objetos entren en el espacio entre los ejes del kart, evitando trabas con otros vehículos y/o con las protecciones y otros elementos del circuito. También, ayuda en el desempeño aerodinámico del kart y brindan un lugar idóneo en el que ubicar el dorsal de identificación del kart. (Lizarraga Ganuza, Marcelino Sábada 2019, p. 74)

2.12 Materiales compuestos.

2.12.1 Generalidades.

Contrario a lo que se puede creer, los materiales compuestos no son solo materiales de ingeniería desarrollados durante las últimas décadas, los materiales compuestos están presentes desde hace milenios siendo tan antiguos como la naturaleza misma. Algunos ejemplos de materiales compuestos naturales son: la madera, conformada de una matriz de celulosa reforzada por fibras de lignina y hemicelulosa; el hueso, constituido por una matriz de ósea de fosfato de calcio y reforzada por fibras de colágeno.

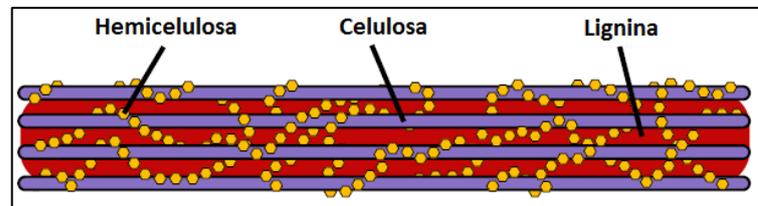


Ilustración 2-14: Matriz celulosa - Lignina / Hemicelulosa de la madera

Fuente: Adaptado de (Castillo Saldarriaga 2014, p. 12)

El uso de materiales compuestos en la industria automotriz ha renovado la forma en la que se diseñan y fabrican las carrocerías de los vehículos. Materiales como la fibra de vidrio o la fibra de carbono se encuentran cada vez más formando estructuras resistentes y livianas permitiendo a los fabricantes mejorar la eficiencia energética, el rendimiento y la seguridad de los coches.

2.12.2 Definición de material compuesto.

Se define como material compuesto todo sistema o combinación de materiales constituido a partir de una unión (no química, insoluble, entre sí) de dos o más componentes, que da lugar a uno nuevo con propiedades y características específicas, no siendo estas nuevas propiedades ninguna de las anteriores. (Besednjak Dietrich 2005, p. 15)

Debido a que los componentes de un material compuesto no deben fusionarse completamente entre sí, es posible identificar dos fases: la matriz conformando la fase continua y el refuerzo conformando una fase discontinua. Los componentes y su interfase pueden ser distinguidas por medios físicos.

2.12.3 Tipos de materiales compuestos.

Dependiendo del tipo de matriz presente en el material podemos diferenciar 3 grupos principales:

- a) Materiales compuestos de matriz metálica.
- b) Materiales compuestos de matriz cerámica.
- c) Materiales compuestos de matriz polimérica.

2.12.3.1 Materiales compuestos de matriz polimérica

Poseen características particulares debido a su composición, pueden ser moldeados con total libertad pudiendo adoptar infinidad de formas, poseen buenas propiedades mecánicas, alta resistencia a la corrosión y alta resistencia ante agentes químicos. En general estos materiales cuentan con una matriz constituida por un polímero y el refuerzo es conformado por algún tipo de fibra natural o sintética.



Ilustración 2-15: Principales resinas termoestables.

Fuente: (Naval Composites, 2016, p. 31)

Podemos distinguir los materiales compuestos termoestables, con sus grupos principales de matrices, las resinas epoxi, vinil éster, poliéster y fenólicas; y, de parte de los materiales de refuerzo, las fibras de carbono, las aramídicas (kevlar) y las de vidrio, conformando numerosos grupos de estructuras textiles simples o combinadas. (Besednjak Dietrich 2005, p. 16)



Ilustración 2-16: Principales fibras de refuerzo.

Fuente: (Naval Composites, 2016, p. 16)

2.12.4 *Concepto de matriz – refuerzo.*

Las propiedades mecánicas de un nuevo material compuesto resultado de la combinación de matriz – refuerzo son otorgadas principalmente por este último. Por si solas las fibras de refuerzo son el elemento que otorga resistencia al material, sin embargo, de manera aislada su desempeño y eficiencia no es la óptima. Para soportar factores externos o incluso algún tipo de esfuerzo en particular es necesario combinar las fibras con una matriz generalmente polimérica.

La orientación de las fibras de refuerzo es un factor determinante. Para el caso de una probeta constituida por fibras unidireccionales sometidas a tracción en el sentido longitudinal del refuerzo la resistencia a tracción de la matriz en el material compuesto tiene valores más altos que la matriz por si sola. Al contrario, la resistencia de las fibras de refuerzo es ligeramente menor a la del refuerzo solamente.

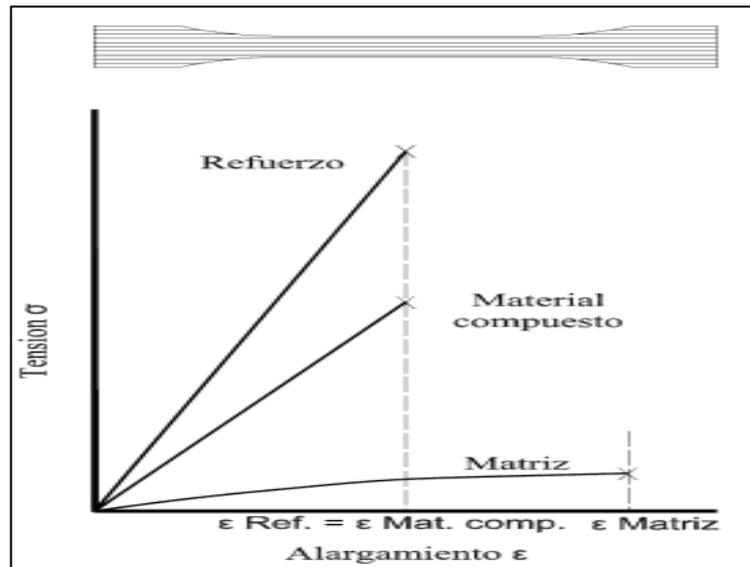


Ilustración 2-17: Desempeño de una probeta de fibras unidireccionales dispuestas de manera longitudinal sometida a tracción.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 17)

Si se realiza el mismo análisis, ahora, para fibras unidireccionales en el sentido transversal del refuerzo, los valores de resistencia del material nuevo son menores al de cada componente previo por separado.

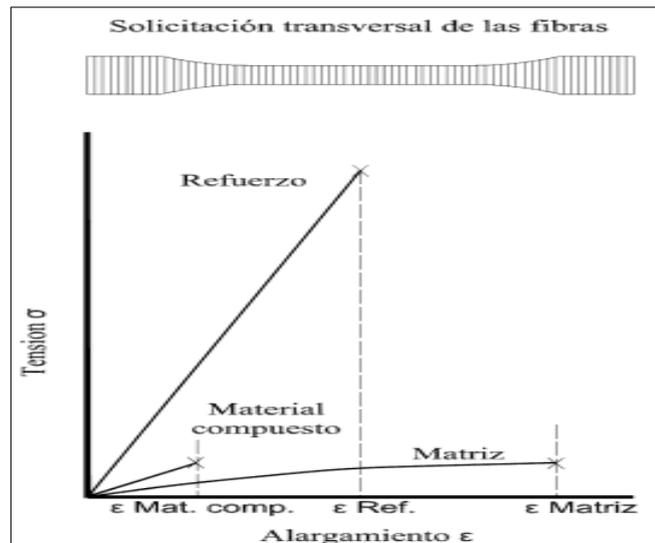


Ilustración 2-18: Desempeño de una probeta de fibras unidireccionales dispuestas de manera transversal sometida a tracción.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 18)

Las propiedades previas de los materiales constituyentes pueden ser mejoradas siempre y cuando se empleen de forma adecuada al momento de formar el nuevo material compuesto.

En contraposición a los materiales isotrópicos comunes, como el aluminio o el acero, con los materiales compuestos se pueden modificar las características que poseerá el nuevo material, otorgando la posibilidad de contar con una verdadera “selección a la carta” de las propiedades finales del mismo. (Besednjak Dietrich 2005, p. 18)

2.12.5 *Matriz polimérica para materiales compuestos.*

Dentro de la industria automotriz los materiales compuestos de matriz polimérica son ampliamente utilizados debido a su facilidad para adoptar diferentes formas y su capacidad de ser moldeados con libertad. Además, con el refuerzo adecuado, pueden llegar a tener propiedades mecánicas similares o superiores a los materiales isotrópicos convencionales como el aluminio.

2.12.6 Clasificación de los polímeros.

Los polímeros pueden clasificarse según la termo dependencia de sus propiedades, esta clasificación es la más adecuada y aceptada al momento de hablar de materiales compuestos debido a que establece el comportamiento y la procesabilidad de los mismo, de ese modo tenemos:

- a) Termoplásticos
- b) Elastómeros
- c) Termoestables

2.12.6.1 Polímeros termoestables.

Los termoestables son polímeros que, debido a su estructura entrecruzada, no pueden fluir para su remodelado bajo el efecto de la temperatura. Estas resinas tienden a ser extremadamente rígidas y su exposición a altas temperaturas puede provocar la descomposición química del polímero, resultando en carbonización. A temperatura ambiente, estos materiales se caracterizan por su dureza y fragilidad. (Besednjak Dietrich 2005, p. 22)

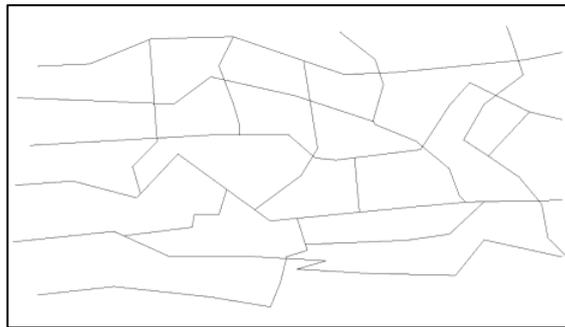


Ilustración 2-19: Estructura molecular de polímeros termoestables.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 22)

Los principales polímeros (resinas) termoestables usados como matriz para materiales compuestos son las resinas viniléster, las resinas poliéster y las resinas *epoxi*.

2.12.7 Funciones de la matriz polimérica en el material compuesto

Las principales funciones que cumplen los polímeros como matriz en el material compuesto son:

- a) Transmitir los esfuerzos a las fibras de refuerzo a través de la frontera entre fibra y matriz.
- b) Proteger a las fibras de los esfuerzos de compresión.
- c) Unir las fibras de refuerzo mediante fuerzas adhesivas.
- d) Asegurar y mantener a las fibras de refuerzo de acuerdo con la forma preestablecida.
- e) Proteger a las fibras de las inclemencias externas como humedad o químicos.

2.12.8 Matrices termoestables

Al inicio los polímeros termoestables son un líquido viscoso, mediante una reacción de endurecimiento pasa a un estado gelificado y finalmente pasa a ser un sólido. Según el grado de esta reticulación se obtiene la resistencia a la temperatura y la fragilidad del material final. La importancia radica en obtener soluciones de equilibrio entre ductilidad y resistencia térmica.

Las principales ventajas de los materiales termoestables contamos:

- a) Alta rigidez.
- b) Bajo peso.
- c) Alta estabilidad dimensional.
- d) Resistencia a la fluencia y la deformación en condiciones de carga.
- e) Buenas propiedades como aislante térmico y eléctrico.
- f) Alta estabilidad térmica.

2.12.9 Proceso de curado de las resinas

El proceso de curado consiste en el proceso mediante el cual una resina se transforma de estado líquido a sólido.

Para lograr este cambio de estados se necesita agregar a la resina sustancias como el catalizador y el acelerador. El proceso de endurecimiento comienza en el momento en el que se produce la mezcla de resina y activador (catalizador y acelerador). Durante un tiempo no existe un incremento notable en la temperatura de la mezcla, la viscosidad de este si aumenta, hasta el momento en que se transforma un gel siendo imposible seguir impregnando las fibras de refuerzo: este punto es conocido como punto de gel y es el límite con el que se puede trabajar a la resina. El tiempo depende de variables como la cantidad de catalizador, el espesor del laminado y la temperatura ambiente.

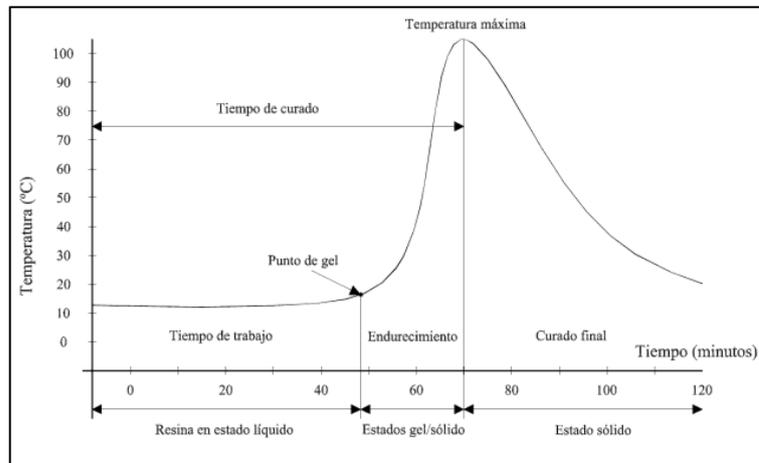


Ilustración 2-20: Curva exotérmica característica de una resina termoestable.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 25)

Posterior al punto de gel comienza la fase de endurecimiento de la resina; mediante una reacción exotérmica se genera el endurecimiento de las moléculas por lo cual la mezcla produce un notable cambio de temperatura. El tiempo y la temperatura de esta fase se encuentra en función del porcentaje de catalizador – activador, del espesor del laminado y de la temperatura de la mezcla.

Es conveniente siempre laminar haciendo uso de espesores reducidos evitando así grandes picos exotérmicos. La decadente conductividad térmica de las resinas no contribuye a la disipación del calor formado por la reacción, y estas demasías de temperatura pueden llegar a perjudicar los moldes y la pieza. (Besednjak Dietrich 2005, p. 26)

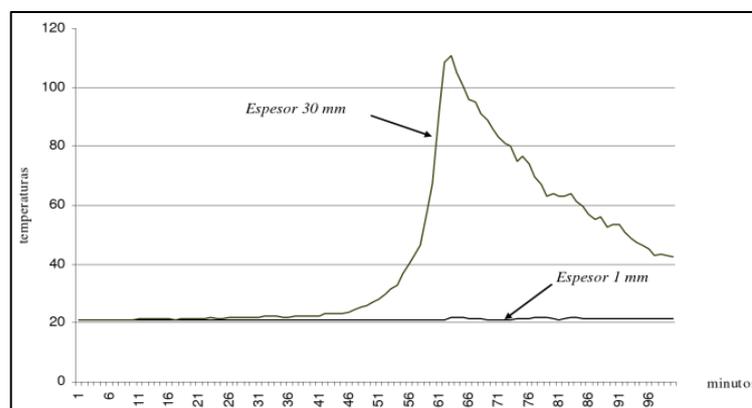


Ilustración 2-21: Comparativa de curvas exotérmicas en función del espesor el laminado.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 26)

Para laminados de mayor espesor el proceso se realiza en varias etapas, así, la superficie expuesta puede disipar el calor que se produce por la reacción exotérmica, evitando así imperfecciones en la pieza.

Los factores que intervienen durante el proceso de curado son:

- a) Tipo de resina
- b) Temperatura del ambiente de trabajo (ideal 17-22° C)
- c) Naturaleza y cantidad de catalizador – acelerador
- d) Espesor del laminado
- e) Proceso de curado o postcurado
- f) Humedad relativa del ambiente
- g) Presencia o ausencia de cargas
- h) Luz solar

2.12.10 Clasificación de las resinas

- a) Resinas de poliéster
- b) Resinas de viniléster
- c) Resinas epoxi
- d) Resinas fenólicas
- e) Resinas bismaleimida
- f) Resinas poliimida
- g) Esteres de cianato
- h) Polieteramida

2.12.10.1 Resina epoxi

Los materiales compuestos de alta calidad, en su mayoría, poseen una matriz polimérica de resina epoxi, debido a que sus propiedades físicas y mecánicas son superiores a las de las resinas de poliéster y de viniléster. Además, la resina epoxi posee una excelente capacidad de adhesión sobre diferentes tipos de materiales de refuerzo lo cual le permite formar laminados con un contenido de fibras elevado.

La composición se fundamenta en epóxidos (frecuentemente bisfenol A) que experimentan procesos de curado a través de reacciones de poliadición al interactuar con agentes de endurecimiento (iniciadores) de naturaleza polifuncional como fenoles, aminas o poliácidos. La reacción es regulada empleando catalizadores y aceleradores. Las resinas epoxi consisten en una mezcla sofisticada de componentes que incluyen resinas, agentes de endurecimiento, aceleradores, catalizadores, ajustadores termoplásticos y diversos aditivos. (Besednjak Dietrich 2005, p. 31)

Dependiendo del tipo de epóxido y del agente de curación, las características como la resistencia térmica, ductilidad y modo de endurecimiento pueden variar.

Similar a las resinas poliéster y viniléster el proceso de curado de la resina epoxi comienza mediante la adición del endurecedor, debe realizarse según las indicaciones del fabricante y los porcentajes de los componentes suelen ser fijos. La falta o adición de poco endurecedor resultará en una reacción incompleta, un exceso provocará modificaciones en la composición y el peso molecular de la resina dando como resultado propiedades físicas inferiores.

La mayoría de las resinas epoxi necesitan de la aportación de calor externo para que el proceso de curado o postcurado se complete en su totalidad.

Tienen las mejores propiedades mecánicas, una gran resistencia térmica y una excelente resistencia a la abrasión; casi nula contracción durante el curado (0-1%), buenas propiedades eléctricas y térmicas, y buena resistencia ante agentes químicos. También se pueden obtener estiramientos superiores a las de la resina poliéster haciendo uso de aditivos. Su principal inconveniente es su elevado coste. (Besednjak Dietrich 2005, p. 32)

Debido a la amplia gama de resinas epoxi presentes en el mercado, la elección de una resina según el tipo de propiedades físicas y mecánicas, la técnica de procesado a emplear y el tipo de aplicación se debe realizar acorde a las propiedades finales particulares que se deseen.

El uso de este tipo de resina es común en piezas que requieran una alta resistencia con el peso mínimo, como por ejemplo vehículos de competición, carrocerías de vehículos de alta gama e incluso embarcaciones de alta velocidad. También posee aplicaciones aeroespaciales, en equipos y herramientas, depósitos y tanques de almacenamiento, tuberías, etc.

2.12.11 Materiales de refuerzo

La fusión de una matriz polimérica termoestable con fibras de refuerzo lleva a la formación de un nuevo material estructural conocido como material compuesto. Dentro de sus componentes, las fibras son las encargadas de dotar la resistencia y las propiedades mecánicas propicias, que se traducen en rigidez y resistencia. (Besednjak Dietrich 2005, p. 39)

2.12.12 Fibras inorgánicas

Las fibras inorgánicas para refuerzo en un material compuesto más utilizadas en la industria automotriz son: fibras de vidrio, fibras aramídicas, fibras de carbono.

2.12.13 Fibra de carbono

Las fibras de carbono fueron desarrolladas en los años 70 para su uso en las industrias aeronáutica y aeroespacial. En combinación con matrices *epoxy*, el material resultante posee una elevada resistencia y un módulo de elasticidad alto, también, resulta en un material bastante ligero.

2.12.13.1 Tipos de fibra de carbono

Podemos diferenciar los distintos tipos de fibra de carbono según la temperatura de tratamiento:

Fibras de alta tenacidad (HT): su tenacidad y resistencia es mayor a las de las fibras de vidrio, pero menor del resto de las fibras de carbono. El costo que presenta es medio y se adaptan bien a un vasto espectro de aplicaciones. (Besednjak Dietrich 2005, p. 43)

Fibras de alto módulo (HM): producto de los requerimientos de alta rigidez de piezas aeronáuticas y aeroespaciales, estas fibras tienen un módulo de elasticidad muy alto. Presentan un costo moderadamente alto, un bajo desempeño de elongación antes de la rotura y, debido a las diferencias de potencial al entrar en contacto con metales, pueden provocar corrosión galvánica. (Besednjak Dietrich 2005, p. 43)

Fibras de módulo intermedio (IM): solución de convenio entre fibras HT y HM, son un tipo de fibra que aumentan tanto su rigidez como resistencia. (Besednjak Dietrich 2005, p. 43)

2.12.13.2 Propiedades mecánicas

Las fibras de carbono reflejan sus mejores propiedades mecánicas cuando se asocian con matrices de tipo epoxi.

Una particularidad intrigante de estas fibras radica en su coeficiente de dilatación térmica, el cual es negativo en la orientación de las fibras y positivo en la dirección perpendicular. Mediante la cuidadosa unión de matrices y refuerzos, es viable lograr un compuesto resultante que no experimente alteraciones térmicas a lo largo de un extenso intervalo de temperaturas, exhibiendo una destacada estabilidad dimensional. (Besednjak Dietrich 2005, p. 43)

Otras propiedades para destacar son:

- a) Alta resistencia a la vibración
- b) Buena conductividad térmica
- c) Buena conductividad eléctrica
- d) Bajo coeficiente de dilatación térmica
- e) Elevada resistencia química a ácidos, disolventes y alcálisis
- f) Elevada resistencia y rigidez
- g) Buen comportamiento a la fatiga
- h) Resistencia a altas temperaturas

La desventaja principal que presenta la fibra de carbono es su elevado costo.

Tabla 2-1: Principales propiedades de las fibras de carbono

<i>Tipo</i>	<i>Carbono HT</i>	<i>Carbono HM</i>	<i>Carbono IM</i>
<i>Resistencia a la tracción (GPa)</i>	2,6 – 5	2,0 – 3,2	3,4 – 5,9
<i>Módulo elástico (GPa)</i>	228 - 238	350 - 490	280 - 400
<i>Densidad (Kg/m³)</i>	1740 - 1830	1790 - 1910	1730 - 1800
<i>Alargamiento a la rotura (%)</i>	1,2 – 2	0,4 – 0,8	1,1 – 1,9
<i>Resistencia específica (GPa * cm³/g)</i>	1,5 - 2	1,1 – 1,7	2,0 – 3,1
<i>Módulo E específico (GPa * cm³/g)</i>	127 - 134	190 - 260	160 - 200
<i>Chef. Transmisión térmica (10⁻⁶/°K)</i>	-0,1 a -0,7	-0,5 a -1,3	--
<i>Diámetro del filamento (µm)</i>	7 - 8	6,5 - 8	5 - 7

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 44)

2.12.14 Estructuras textiles

Las características últimas del material compuesto dependerán de principalmente de la cantidad de material de refuerzo y de su posicionamiento acorde con las cargas que serán soportadas.

Según (Besednjak Dietrich 2005, p. 46), para facilitar la constitución de las fibras (uniformidad de espesores, impregnación y disposición geométrica), éstas se conforman en ordenamiento planos, que se denominan estructuras textiles. Estas estructuras se conocen como materiales intermedios y se encuentran bajo varias configuraciones:

- a) Feltros
- b) Sistemas no mallados (tejidos, ensamblados, trenzados)
- c) Sistemas mallados (mallas, encadenados)

2.12.14.1 Tejidos

Para su fabricación se cruzan diferentes fibras perpendicularmente, formando estructuras textiles (tejidos).

Las fibras de composición se denominan trama y urdimbre. Los hilos de urdimbre son aquellos que se disponen en el sentido longitudinal del rollo, y los de trama, los que se cruzan de forma perpendicular, formando puntos de cruce denominados ligamentos. ((Besednjak Dietrich 2005, p. 48)

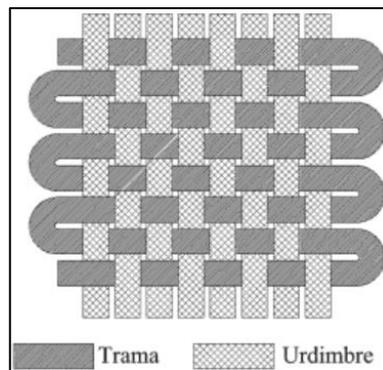


Ilustración 2-22: Esquema de un tejido.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 48)

Generalmente trama y urdimbre se encuentran orientadas a 0° y 90°; su modo de empleo es mayoritariamente en laminados manuales.

Diferentes tipos de tejidos:

- Tela o tafetán
- Sarga
- Satén
- Raso

a) Tela o tafetán

Es el ligamento más simple y utilizado; cada hilo de urdimbre se enlaza con una pasada de trama que alternativamente pasa una vez por encima y otra por debajo de cada hilo de urdimbre. (Besednjak Dietrich 2005, p. 48)

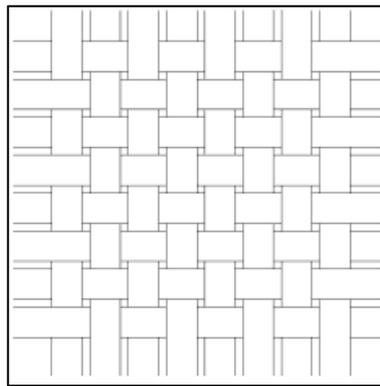


Ilustración 2-23: Tejido convencional

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 44)

b) Sarga

Este ligamento se reconoce de manera rápida debido a que presenta unas líneas en diagonal. Presenta derecho y revés, los hilos de urdimbre del telar puede variar.

Cada hilo de urdimbre o de trama hace una basta de dos o más hilos de urdimbre o trama, con un avance de cruce de uno a la derecha o a la izquierda para conformar una línea diagonal identificable. (Besednjak Dietrich 2005, p. 49)

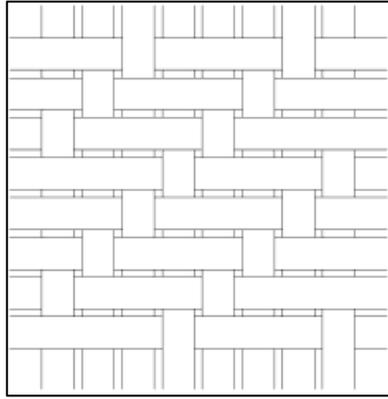


Ilustración 2-24: Sarga

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 49)

c) Satén

En este tipo de ligadura cada hilo de urdimbre hace una basta sobre cuatro pasadas de trama y se entrelaza con la quinta pasada de trama con una progresión de dos a la derecha o a la izquierda. (Besednjak Dietrich 2005, p. 49)

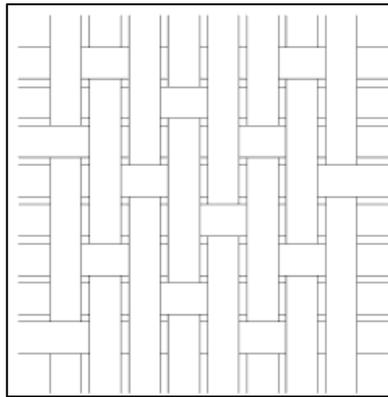


Ilustración 2-25: Satén

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 49)

2.13 Procesos de fabricación.

En la construcción, existen dos enfoques fundamentales: uno utilizando materiales tradicionales, donde las piezas se elaboran a partir de un material ya existente, y otro que involucra materiales compuestos, donde tanto las piezas como el material se crean simultáneamente durante la fabricación. Este último enfoque presenta desafíos particulares en la industria automotriz debido a las complejas formas de las piezas. La elección y desarrollo del método de fabricación son críticos, ya que influyen en las características finales de la pieza.

2.14 Clasificación de los procesos.

Dentro de la industria automotriz con respecto a los procesos utilizados para la fabricación de carrocerías o sus componentes se destacan los siguientes:

Tabla 2-2 Clasificación de los procesos de fabricación de materiales compuestos

<i>Moldeo por contacto</i>	<i>Moldeo asistido por vacío</i>	<i>Moldeo por vía líquida</i>	<i>Moldeo con autoclave</i>
a) <i>Laminación por contacto</i>	a) <i>Laminación por contacto asistido por vacío</i>	a) <i>RTM</i>	
b) <i>Proyección simultánea</i>	b) <i>Preimpregnados</i>	b) <i>VARTM</i>	
c) <i>Impregnadores</i>	c) <i>Preimpregnados parciales</i>	c) <i>Infusión</i>	

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 63)

Los distintos procesos de fabricación se originaron con propósitos específicos, pero se aplicaron posteriormente en diversas industrias. Cada método tiene ventajas y desventajas, y compararlos resulta muy complicado debido a la multitud de variables involucradas.

De manera aproximada se puede comparar ciertos aspectos de los distintos métodos de fabricación como el contenido de refuerzo resultante y coste de equipos e instrumentos.

2.14.1 Comparación de los procesos según el contenido de refuerzo.

La proporción de material de refuerzo en un laminado de material compuesto es clave para determinar sus propiedades mecánicas. Un mayor porcentaje de refuerzo generalmente resulta en mejores propiedades. Sin embargo, existen límites tanto superiores como inferiores, ya que fibras muy secas no actúan como un material compuesto, mientras que fibras demasiado impregnadas añaden peso sin aumentar la resistencia.

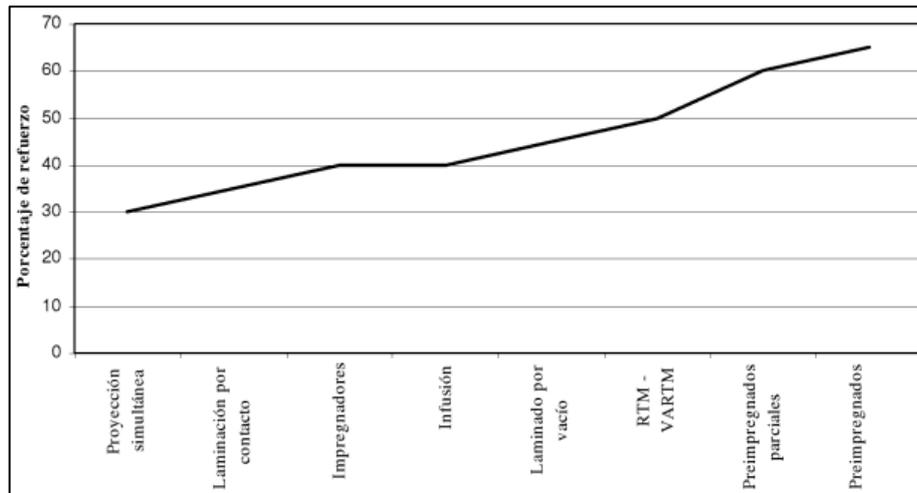


Ilustración 2-26: Contenido de refuerzo según el proceso.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 64)

Es notable que los procesos que involucran una presión externa para compactar las capas de laminado contienen un mayor porcentaje de fibra de refuerzo o a su vez una menor cantidad de resina.

2.14.2 Comparación de los procesos según el coste de utillajes y equipos

Cada método de trabajo requiere herramientas y equipos específicos. El costo más alto de estos materiales se relaciona directamente con la calidad del laminado. Por ejemplo, los requisitos de un molde para laminado manual son muy diferentes de los utilizados para fabricar piezas pre - impregnadas, donde la estabilidad térmica y la resistencia a la presión son críticas para el costo final.

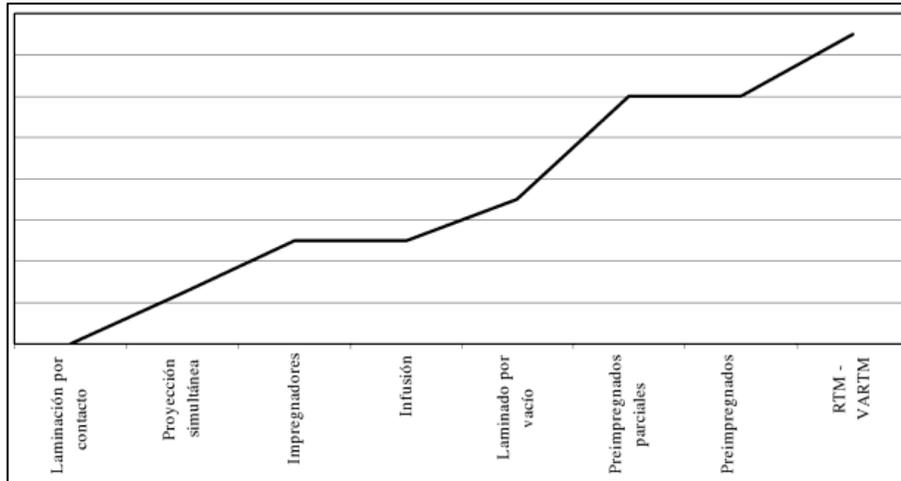


Ilustración 2-27: Coste de utillajes y equipos según el proceso.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 65)

No solamente se debe considerar los moldes, sino también todas las herramientas manuales requeridas para llevar a cabo el proceso de laminado, las instalaciones junto con sus dispositivos adicionales, así como los equipos y dispositivos de seguridad para la salud y el medio ambiente.

2.15 Técnicas de moldeo asistidas por vacío

Las técnicas de moldeo asistidas por vacío permiten obtener materiales compuestos con mejores propiedades mecánicas y físicas que los materiales resultantes de las técnicas de moldeo por contacto, aunque sus costes constitutivos suelen ser ligeramente mayores. (Besednjak Dietrich 2005, p. 87)

El aprovechamiento de una presión externa para compactar el laminado y reducir el contenido de matriz final del material compuesto mejora la adhesión entre capas de laminado lo que aumenta la densidad de la pieza final.

Los procesos representativos de este grupo son:

- Laminado manual asistido por vacío.
- Laminado con preimpregnados.
- Laminado con preimpregnados parciales.

2.15.1 El vacío

Se denomina vacío a los valores de presión inferiores a la presión atmosférica a nivel del mar (1.013 bar), aunque este valor es una referencia, el vacío absoluto se considera a la ausencia absoluta de presión.

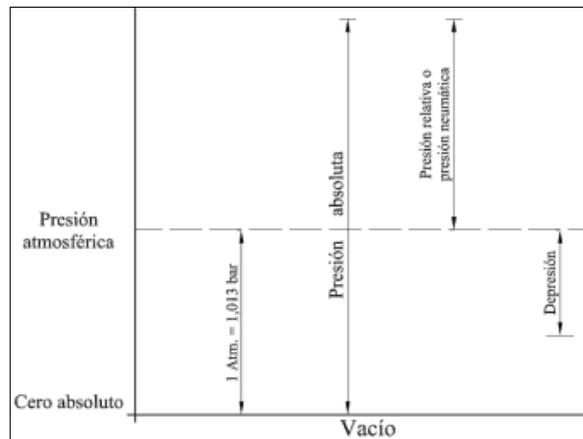


Ilustración 2-28: Presiones absolutas y relativas.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 87)

2.16 Laminado manual asistido por vacío

El moldeo asistido por vacío de laminado manual consiste en formar una presión externa sobre las capas de laminado durante su tiempo de curado. El objetivo principal de esta técnica es optimizar las relaciones de matriz y refuerzo del material de la pieza final.

La presurización del conformado cumple además con otras funciones importantes: remueve el aire contenido entre capas; comprime las capas de refuerzo, proporcionando laminados más uniformes; evita que la dirección del laminado cambie durante el curado; y reduce la humedad. (Besednjak Dietrich 2005, p. 90)

2.16.1 Fundamentos de la técnica de laminado manual asistido por vacío

El método de laminado manual consiste en aplicar capas de material de refuerzo y matriz sobre un molde de manera sucesiva para su impregnación mediante la aplicación de una brocha o rodillo.

El método de laminado manual asistido por vacío consiste en una mejora del método anterior, la presión se aplica a las capas de laminado cuando ha sido terminado por completo y la resina se encuentra en estado líquido previo al estado de gel.

La presión se forma a través de un diferencial de presiones. Se ubica sobre las capas de laminado una membrana fija y se extrae el aire que existe al interior, mediante un sistema de vacío. Al minimizar la presión dentro de la bolsa, la presión atmosférica externa actúa sobre el laminado compactándolo. En función de la capacidad del equipo generador de vacío y del nivel de sellado alcanzado, obtendremos mayor presión de compactado. (Besednjak Dietrich 2005, p. 90)

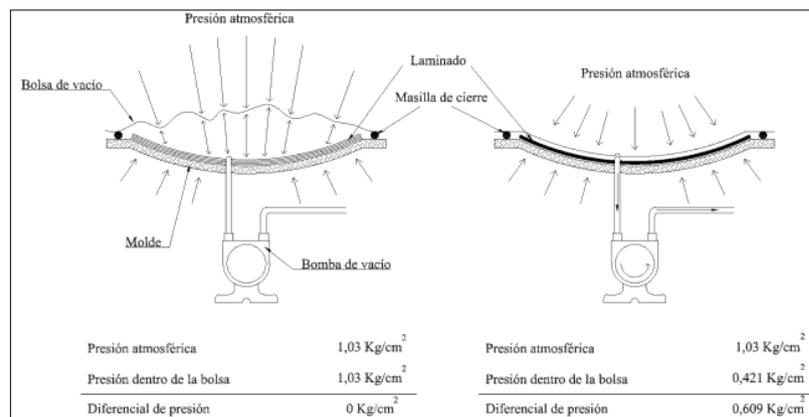


Ilustración 2-29: Diferencial de presiones del laminado antes y después de aplicar el vacío.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 87)

2.16.2 Desarrollo del método de laminado manual asistido por vacío

Cuando ha terminado el laminado manual por contacto y la resina aún no se encuentra en su punto de gel el proceso asistido por vacío continúa haciendo uso de los materiales fungibles.

Estos materiales permitirán formar el compactado, evitar que dichos materiales se queden pegados a la pieza, extraer los excesos de resina, facilitarán el desmoldeo y reducirán las emisiones de productos volátiles orgánicos al ambiente. (Besednjak Dietrich 2005, p. 91)

Los materiales fungibles son:

- Tejidos pelables (*peel-plies*)
- *Films* desmoldeantes

- Manta de absorción
- Bolsa para vacío (*film* de nylon)
- Masillas para cierre (*tacky-tape*)

La distribución adecuada de los materiales fungibles sobre el laminado se muestra en la siguiente ilustración:

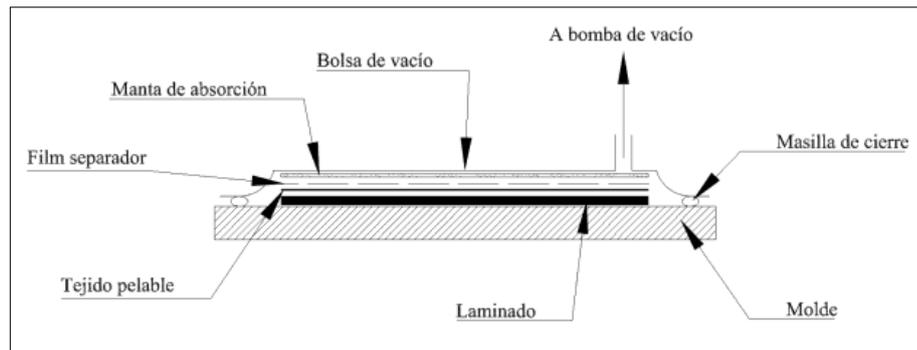


Ilustración 2-30: Distribución adecuada de los materiales fungibles sobre el laminado.

Fuente: (Besednjak Dietrich 2005, p. 92)

2.16.2.1 Tejidos pelables

Los tejidos pelables son el último material que se aplica en la secuencia del laminado. Están diseñados para ser retirados de la superficie del laminado con mayor facilidad, favoreciendo los procesos posteriores de acabado, masillado o pintado, sin necesidad de abrasión previa. (Besednjak Dietrich 2005, p. 92)

Estos tejidos también actúan como superficies protectoras para el laminado y es recomendable retirarlos solo cuando sea necesario.

2.16.2.2 Films separadores

Los *films* separadores son usados para separar el laminado de los otros materiales del proceso de vacío (desmoldante). Los *films* sangradores son los mismos *films* separadores pero que se encuentran perforados siguiendo un patrón establecido, que permite la salida del exceso de resina que puede presentarse en el laminado. (Besednjak Dietrich 2005, p. 92)

Los films separadores permiten salir el exceso de aire y resina que se encuentren atrapados entre capas de laminado.

Los diseños de perforado se disponen de acuerdo con el proceso de fabricación elegido. El diámetro de perforado dependerá del flujo del excedente de resina y está en función de: el sistema de matriz, la temperatura de curado, el tiempo de trabajo, la viscosidad de la resina, y la presión de compactación. (Besednjak Dietrich 2005, p. 93)

Otras propiedades que presentan estos films separadores son: alta elongación, ausencia de contaminantes, resistencia a temperaturas elevadas y bajo coste.

2.16.2.3 *Manta de absorción*

Las funciones que cumplen este tipo de mantas son:

- Permitir la salida del aire atrapado por el interior de la bolsa.
- Absorber el exceso de resina que desprende el laminado debido a la presión externa.

Según los criterios de presión y temperatura de trabajo, podemos encontrar una extensa gama de tejidos resistentes a presiones de funcionamiento desde 1 a 14 bar, y a temperaturas de trabajo de hasta 430° C. De bajo peso (alrededor de 140gr/m²) y excelente adaptabilidad, permiten acoplarse diversas formas. No poseen propiedades desmoldeantes, por lo que necesitan ser separados del laminado mediante un tejido separador o tejido pelable. (Besednjak Dietrich 2005, p. 93)

2.16.2.4 *Films para bolsa de vacío*

Se encargan de cubrir todo el laminado incluidos los otros materiales fungibles, El vacío se realiza al interior de la membrana formada por este film, que una vez sellado, permite que actúe la presión atmosférica.

Los films de nylon para vacío son higroscópicos y el nivel de humedad genera sobre ellos un efecto plastificante, teniendo incidencia sobre sus propiedades mecánicas. Cuando su nivel de humedad es bajo, el *film* aumenta su rigidez, se vuelve quebradizo, y sus propiedades de

alargamiento se reducen. Por ello, es recomendable almacenarlos en lugares en los cuales exista una humedad relativa mayor del 55%. (Besednjak Dietrich 2005, p. 94)

2.16.2.5 Masillas de cierre

Las masillas de cierre aseguran que no existan fugas de presión entre la bolsa de vacío y el molde.

Conformados de una mezcla de caucho sintético junto con cargas inertes, plastificantes y aditivos que les proporcionan adhesividad, deben ser formuladas para que su retiro del molde sea fácil y no produzca impurezas ni residuos en el mismo después del ciclo de curado. (Besednjak Dietrich 2005, p. 94)

2.17 Dinámica computacional de fluidos (CFD)

La dinámica de fluidos computacional (CFD) es una derivación de la mecánica de fluidos que, mediante el uso de análisis numéricos y algoritmos, permite resolver y analizar problemas relacionados con los flujos de fluidos. Se utilizan computadoras que realizan los cálculos necesarios para simular la interacción de fluidos como gases o líquidos con superficies definidas por las condiciones de contorno. (Gómez González 2017, p. 39)

La discretización y las ecuaciones diferenciales en ecuaciones algebraicas deben resolverse mediante algoritmos apropiados, en su mayoría desarrollados por computadores, para una solución numéricamente aproximada. La principal ventaja de la Dinámica de Fluidos Computacional es el bajo costo que representa la simulación de modelos numéricos en comparación con ensayos de modelos a escala real o reducida. (Carrera Galárraga 2019, p. 39)

2.17.1 Aplicaciones de la dinámica computacional de fluidos

Algunos campos de la ingeniería en donde se aplica la dinámica de fluidos computacional son:

- Aerodinámica – automóviles y aviones
- Construcción – ventilación de edificios y planificación de tuberías
- Máquinas de compresión – bombas y turbinas
- Hidrodinámica – embarcaciones
- Hidráulica – canales, redes de tuberías, depósitos, presas.

2.17.2 Proceso para un estudio CFD (ANSYS CFX)

De manera similar a otros tipos de análisis computacional, un estudio CFD se puede dividir en 3 etapas: pre – procesamiento, procesamiento y post – procesamiento.

La ilustración 2-31 muestra un diagrama metodológico para la realización de un estudio CFD:

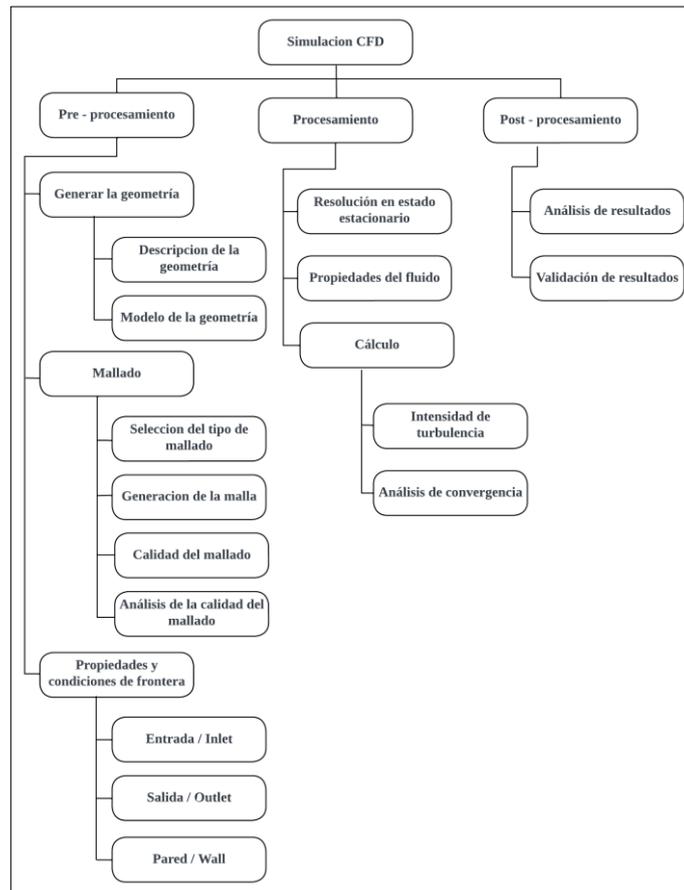


Ilustración 2-31: Diagrama de la metodología para realizar un estudio CFD

Fuente: (Ordoñez-Viñán et al. 2018, p. 438)

2.17.2.1 Generación de la geometría / malla

Se requiere la geometría generada mediante un modelo CAD (SolidWorks) que represente de manera fehaciente el fenómeno físico de la situación experimental. Los módulos que se encuentran en ANSYS CFX para este fin son: SpaceClaim y DesingModeler.

En el procedimiento de mallado mediante ANSYS CFX se encuentran diversos métodos de mallas para volúmenes. Se realiza la selección del método que presente una menor deformación en el dominio y que tenga una mejor representación del modelo.

La calidad de malla se puede evaluar mediante distintos criterios presentes en el módulo de ANSYS CFX. Los criterios que indican la calidad de malla presentan distintos números que se ajustan a unos valores recomendados, de esta forma se cumple con un análisis adecuado.

2.17.2.2 Definición de las propiedades y parámetros de frontera.

Recrea la información necesaria para el solucionador. Se establece el espacio y la superficie de control, que es la frontera de este volumen. La forma del volumen de control permanece fija, aunque la cantidad y la identidad de la materia y el volumen de control pueden cambiar con el tiempo.

Se definen las condiciones físicas del modelo, las condiciones de contorno y los parámetros de solución, ANSYS CFX requiere las condiciones ambientales, características del fluido, condiciones de frontera que consisten en: entrada (inlet), salida (outlet) y pared (wall).

2.17.2.3 Resolución del estudio CFD

ANSYS CFX, mediante el componente Solver, es capaz de resolver el problema de dinámica computacional de fluidos. La caracterización de las condiciones de frontera conlleva a la formulación de las ecuaciones diferenciales parciales presentes en todos los volúmenes de control en la región de interés.

Las ecuaciones que gobiernan el modelo se transforman en un sistema de ecuaciones algebraicas que son desarrolladas de manera iterativa dando como resultado una solución aproximada que se aproxima a la solución exacta cuando ambas convergen.

2.17.2.4 Análisis y validación de resultados

ANSYS CFX permite realizar una visualización de los resultados del análisis mediante el componente Post-Processor. Esta herramienta permite analizar, visualizar y mostrar los resultados del estudio de manera interactiva. Las características más importantes de esta herramienta son:

- Visualización de la geometría y volúmenes de control
- Gráficos vectoriales que muestran la dirección y la magnitud del flujo
- Visualización de la variación de variables escalares (temperatura, presión, velocidad) a través del dominio.
- Cálculos numéricos cuantitativos
- Animaciones
- Graficas variables

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción de la metodología

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque mixto, debido a que, se usan herramientas del enfoque cuantitativo como la medición objetiva, donde, obtenemos mediciones numéricas precisas y objetivas del rendimiento aerodinámico, resistencia al avance, carga aerodinámica, a través de análisis de elementos finitos.

También se realizan comparaciones cuantitativas donde, se compara directamente distintos prototipos CAD de pontones, relacionando sus coeficientes aerodinámicos, y sus cargas aerodinámicas, para así, determinar cuál de estos es la mejor alternativa para conseguir un mejor desempeño en pista.

Una ventaja de usar este enfoque cuantitativo es su precisión y replicabilidad, debido a que, los procedimientos de medición y análisis se pueden estandarizar y replicar fácilmente. Esto garantiza que otros investigadores puedan replicar nuestros experimentos para validar nuestros hallazgos.

Sin embargo, esta investigación también se basa en un enfoque cualitativo, mediante el uso de entrevistas a profesionales en el uso de materiales compuestos para recopilar información relacionada a las técnicas de moldeo y elegir los mejores métodos para la realización de moldes.

Al combinar estos enfoques respaldamos las mejoras en el rendimiento y la reducción de peso lograda mediante el uso de la fibra de carbono, así como la información cualitativa sobre los aspectos técnicos y prácticos asociados con la construcción de los pontones. Esta combinación nos brinda una visión completa y sólida de los resultados de la investigación.

3.2 Diagrama de etapas del proyecto

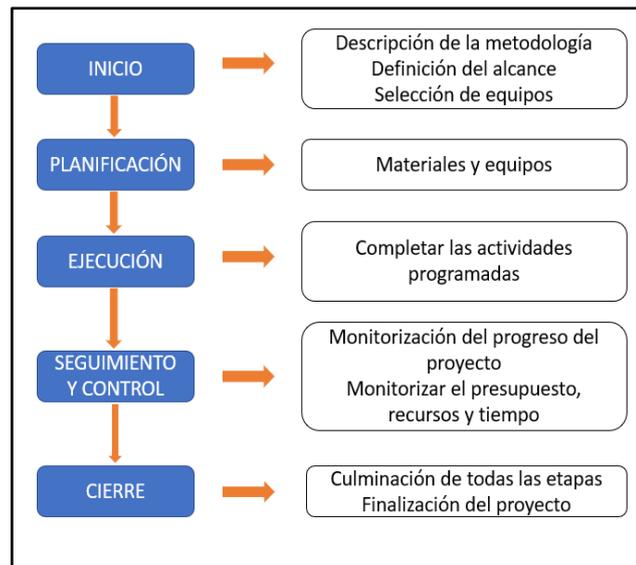


Ilustración 3-1: Diagrama de etapas del proyecto

Realizado por: Anjo S., 2023

3.3 Definición del alcance

Para esta investigación se delimitó un alcance descriptivo, debido a que, este enfoque permitirá adquirir un conocimiento exhaustivo sobre los pontones de fibra de carbono y su impacto en el rendimiento de los Karts. Al describir detalladamente los procesos de fabricación, los materiales utilizados y las especificaciones técnicas, se obtendrá una comprensión clara de cómo se construyen y cómo contribuyen a la reducción de peso y mejora de resistencia aerodinámica.

Por otra parte, el uso de un enfoque descriptivo permitirá obtener información práctica y aplicable para diseñadores, fabricantes y profesionales del sector. Al describir las técnicas y materiales utilizados, se brindará directrices y recomendaciones que puedan ser impresas en la producción de pontones de fibra de carbono, mejorando así la eficiencia y el rendimiento de los vehículos.

3.4 Diseño de investigación

La presente investigación se basa en un diseño experimental, debido a que, en el apartado de análisis CFD se considera el coeficiente de resistencia aerodinámica (c_d), la resistencia y la carga aerodinámicas como variables dependientes. Estas variables representan la respuesta o el resultado que servirán para realizar comparaciones entre los distintos prototipos y elegir cual se desempeña mejor.

Por otro lado, los distintos diseños CAD de los pontones serán nuestras variables independientes, debido a que, estamos manipulando y controlando las características de los pontones, como su forma, tamaño y perfil para evaluar cómo afectan a las variables dependientes anteriormente mencionadas.

Al analizar los resultados de las simulaciones CFD, podremos comparar los valores del coeficiente de resistencia aerodinámico, la resistencia al viento y la carga aerodinámica entre los distintos diseños de pontones. Esto permitirá determinar que diseño ofrece mejores características aerodinámicas y, por lo tanto, un mejor rendimiento en términos de resistencia al avance.

En el caso de las pruebas destructivas con probetas del material, nuestras variables dependientes serían las propiedades mecánicas del material, como son, la resistencia a la tracción, la resistencia a la flexión, la rigidez, entre otras. Estas variables representan los resultados o el comportamiento del material bajo condiciones específicas de carga y deformación.

Las variables independientes en este caso incluyen factores como las condiciones de carga aplicadas a las probetas, las condiciones de ensayo, y las características de las probetas

3.5 Cronograma de actividades

Tabla 3-1: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	SEMANAS
Revisión bibliográfica y desarrollo del marco teórico	1, 2, 3
Desarrollo de prototipos en software CAD.	4, 5
Análisis del comportamiento mecánico mediante software CAE.	6,7
Construcción de pontones en fibra de carbono.	8, 9, 10, 11, 12
Realización de ensayos de laboratorio y análisis de resultados.	13, 14, 15
Presentación del trabajo final.	16

Realizado por: Ango S., 2023

3.6 Instrumentos de investigación

Tabla 3-2: Instrumentos de investigación

TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN
Diseño y modelación de prototipos	Investigaciones previas Artículos científicos Normas Software CAD
Simulación de prototipos	Software ANSYS
Validación de prototipos	Software ANSYS
Manufactura	Investigaciones previas Artículos científicos Entrevistas

Realizado por: Calderón E., 2023

3.7 Desarrollo del proyecto

3.7.1 Equipos y materiales

En la siguiente tabla se describe los equipos y materiales necesarios para el desarrollo del proyecto

Tabla 3-3: Equipos y materiales

EQUIPOS Y MATERIALES	CANTIDAD
Computadora Dell Ryzen 5	1
Software ANSYS módulo CFX	1
Software SolidWorks 2020	1
Flexómetro	1
Fibra de carbono 2x2 Twill Biaxial +45/-45 grados 3k de 193 gsm	18 unidades de 1.21 x 0.91 m
Resina epoxi para laminación 1300 cPs	4 Kg
Endurecedor	800 gr
Plástico de sellado para vacío	3 unidades de 1.5 x 3 m
Tejido antiadherente	1.5 x 3 m
Rollo de cinta de sellado	2 unidades de 7.62 m

Absorbente de resina estándar 4 oz	1.5 x 3m
Prensa para manguera de infusión	2
Alcohol polivinílico desmoldante	1 Kg
Manguera para vacío con acoples rápidos	3 m
Tijeras aserradas recubiertas de titanio	1
Espuma flex	4 unidades de 2 x 0.04 m
Lijas	4
Brochas	2
Formatos A0	2
Bomba de vacío 1HP	1
Cinta adhesiva	2

Realizado por: Ango S., 2023

3.7.2 Modelación CAD de prototipos

La modelación de los distintos diseños se realizó en el software SolidWorks haciendo uso de splines y superficies, también se aplicó una apariencia de fibra de carbono y se realizó un renderizado para tener una perspectiva más exacta del diseño final.

3.7.2.1 Diseño N°1

Para este diseño se consideró una superficie plana en el frente del carenado, se usaron más líneas rectas y bordes agudos, pero respetando el límite permitido por la norma, en la parte superior se optó por superficies curvas para que el aire fluya uniformemente a través del carenado, así mismo se añadió un ángulo de inclinación con el fin de aumentar la carga aerodinámica y mejorar la estabilidad en las curvas.



Ilustración 3-1: Ensamble diseño 1

Realizado por: Calderón E., 2023

Los laterales se diseñaron con suficientes curvas para que el aire rodee completamente el pontón y se generen menos turbulencias.

3.7.2.2 *Diseño N°2*



Ilustración 3-2: Ensamble diseño 2

Realizado por: Calderón E., 2023

En el diseño 2 se cambió el diseño del panel permitiendo que el aire rodee mejor al conductor, también se cambió la forma de carenado frontal para dirigir mejor el flujo de aire hacia la parte lateral del conductor con el fin de reducir el flujo turbulento entre el panel y el conductor

3.7.2.3 *Diseño N°3*

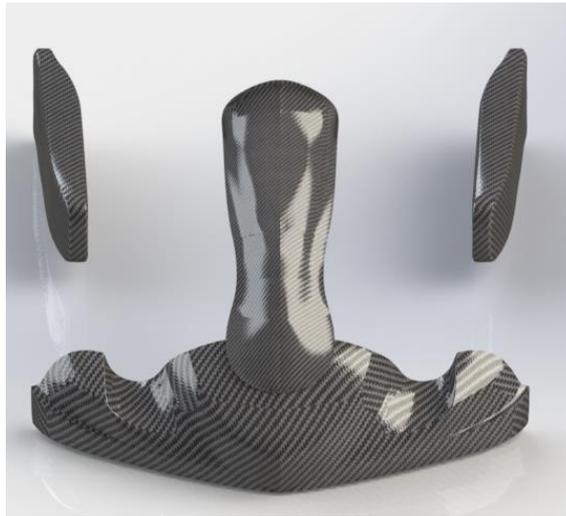


Ilustración 3-3: Ensamble diseño 3

Realizado por: Ango S., 2023

En este diseño se consideró superficies más curvas en la parte superior y en las alas, con un área frontal más redondeada en comparación con el primer diseño, se disminuyó el ancho de los laterales y las partes internas se realizaron con superficies rectas

3.7.3 *Simulación de prototipos*

Una vez dibujados los diseños en Solidworks se procedió a la simulación aerodinámica de los tres diseños establecidos con ayuda del software de elementos finitos Ansys Workbench student edition. Se comparó cada uno de los modelos para seleccionar aquel que presenta el menor coeficiente de arrastre.

3.7.3.1 *Parámetros que se tomaron en cuenta para el análisis aerodinámico*

Para la simulación es necesario tomar parámetros como la temperatura del lugar donde se desempeñará el karting, la densidad del aire conforme a la temperatura del lugar y la velocidad del karting.

- Temperatura: En este caso se consideró la temperatura promedio de la ciudad de Riobamba 25°C
- Densidad del aire: A 25°C tenemos una densidad de $1.18 \frac{Kg}{m^3}$
- Velocidad: según encuestas a diferentes pilotos determinamos que la velocidad media de un karting en pista es de $80 \frac{Km}{h}$

3.7.3.2 Dominio

Para simular un túnel de viento primero importamos en la geometría de Ansys el diseño en formato STEP o Parasolid, luego, encerramos a los pontones en una caja rectangular, seguido de esto, se definieron las condiciones de frontera tanto de entrada, salida, superficies abiertas y las paredes del pontón.

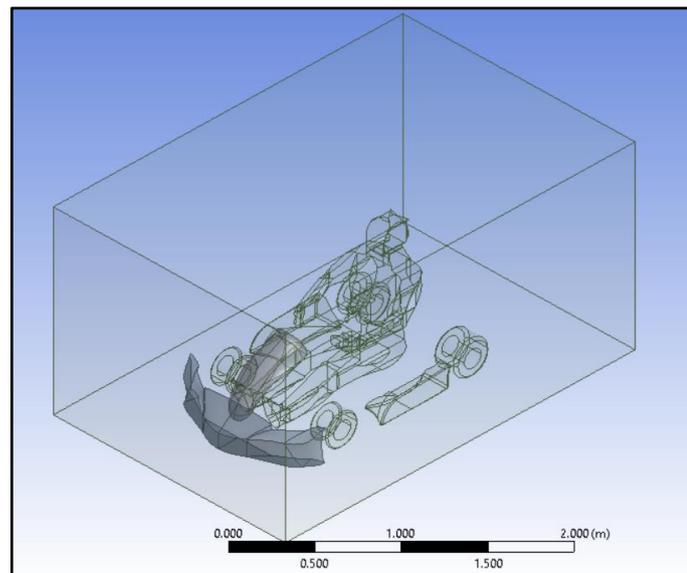


Ilustración 3-4: Representación del túnel de viento

Realizado por: Calderón E., 2023

En la siguiente tabla se muestra las dimensiones de la caja rectangular para el análisis aerodinámico

Tabla 3-4: Dimensiones túnel de viento

X	0.4 m
Y	0.5 m
Z	0.4 m
-X	0.4 m
-Y	0.001 m
-Z	0.7 m

Realizado por: Calderón E., 2023

3.7.3.3 *Mallado*

El mallado de los pontones se realiza para discretizar el modelo y dividirlo en elementos más pequeños, el mallado es un requisito necesario para resolver las ecuaciones de flujo y obtener resultados precisos en la simulación.

El objetivo principal del mallado es capturar adecuadamente los detalles y las características de los pontones, permitiendo así obtener resultados precisos en la simulación del flujo de aire. Un mallado adecuado garantiza una distribución uniforme de los elementos finitos y una resolución adecuada de las características aerodinámicas del diseño de los pontones.

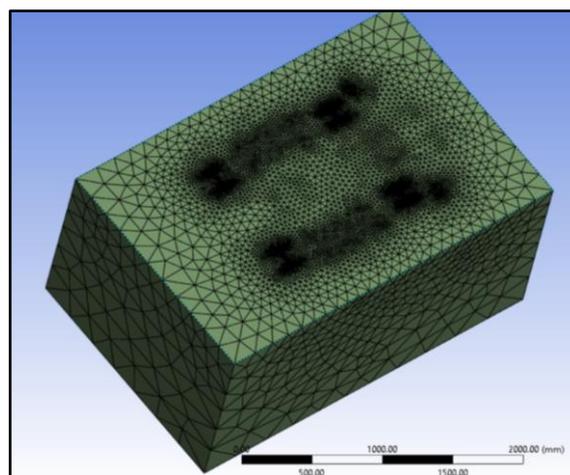


Ilustración 3-5: Cerramiento después del mallado

Realizado por: Calderón E., 2023

El área de interés tiene un mallado más denso en comparación con el resto del cerramiento, la malla más fina está más cerca de la superficie del kart, sobre la que tienden a actuar las fuerzas aerodinámicas.

Tabla 3-5: Configuración de mallado

Variable	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Preferencia física	CFD	CFD	CFD
Preferencia del solucionador	CFX	CFX	CFX
Orden de elementos	Cuadrático	Cuadrático	Cuadrático
Tamaño de elementos	390 mm	390 mm	390 mm
Número de elementos	2530267	2237755	2678214
Nodos	3511780	3114902	3725811
Suavizado	Alto	Alto	Alto

Realizado por: Calderón E., 2023

- Calidad de los elementos

Un valor alto indica que los elementos son de buena calidad y están bien formados, lo que significa que proporcionarán resultados más precisos y estables en el análisis, por otro lado, un valor bajo indica que los elementos pueden estar distorsionados, deformados o tener problemas geométricos, lo que puede afectar la precisión y estabilidad de los resultados (ANSYS, 2010)

Tabla 3-6: Calidad del mallado

Métrica	Diseño 1	Diseño 2	Diseño 3
Element Quality	0.8331	0.8314	0.839

Realizado por: Calderón E., 2023

La Tabla 3-6 muestra la calidad de los elementos usando la métrica de Ansys “Element Quality” que proporciona información sobre la forma y la calidad de los elementos en relación con los criterios de precisión y estabilidad del análisis numérico.

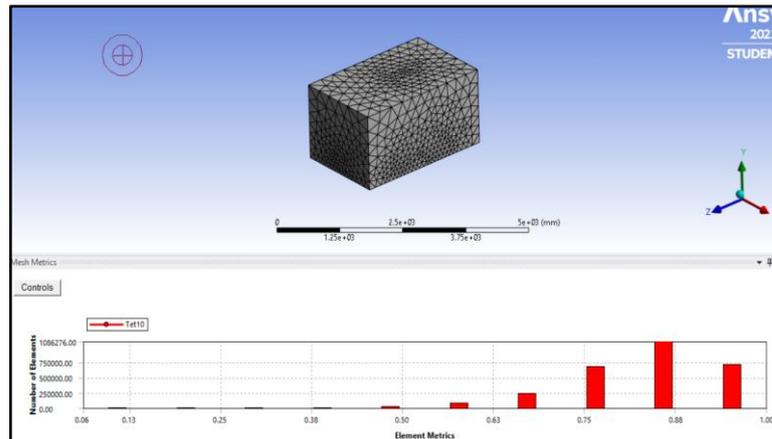


Ilustración 3-6: Calidad de la malla

Realizado por: Calderón E., 2023

En la ilustración 3-15 se observa que en la mayor parte de la malla se usa una calidad de elementos cercana a 1

3.7.3.4 Contornos

Los contornos que se presentan a continuación corresponden a la presión y velocidad de los distintos modelos, estos fueron obtenidos con el módulo de Ansys Fluid Flow (CFX).

- Desempeño del primer diseño

El siguiente diseño está simulado en un estado estático con una velocidad del fluido de 80 km/h

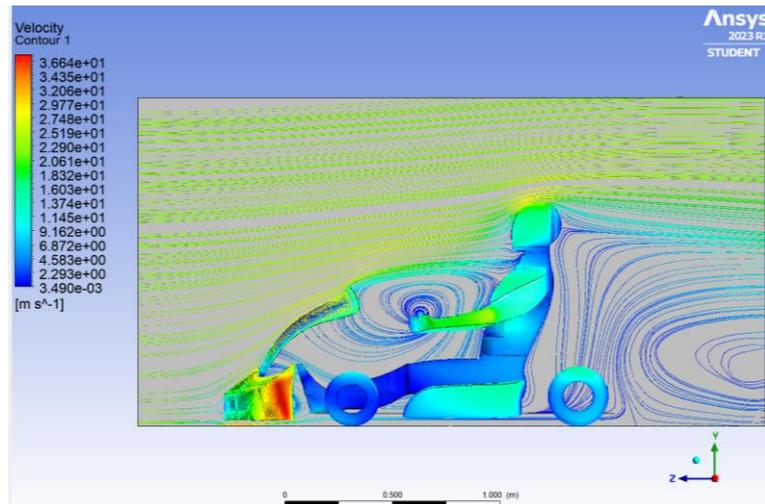


Ilustración 3-7: Contorno de velocidad diseño 1

Realizado por: Calderón E., 2023

La Ilustración 3-7 nos muestra que el flujo de aire del primer diseño es turbulento en el área entre el panel y el conductor debido al diseño del panel

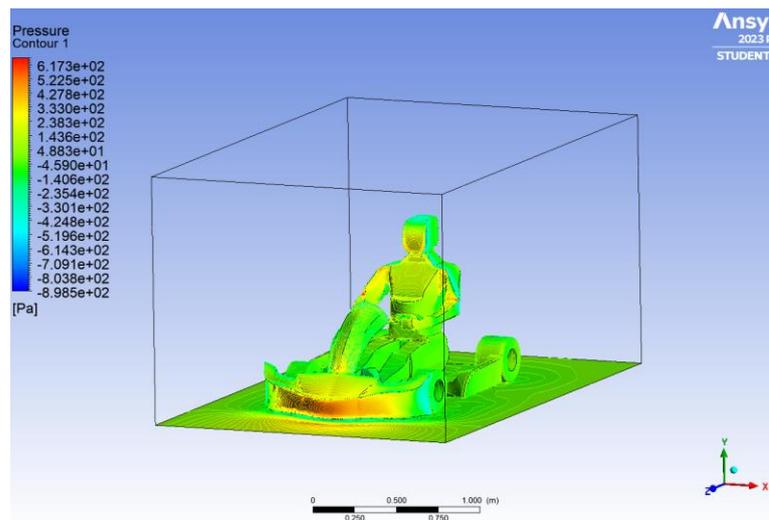


Ilustración 3-8: Contorno de presión diseño 1

Realizado por: Calderón E., 2023

Una vez realizado el análisis de contornos usamos la función de calculadora de Ansys para calcular la fuerza de arrastre y de sustentación en los ejes Z y Y respectivamente para obtener los siguientes resultados.

Tabla 3-7:Valores aerodinámicos diseño 1

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación (N)
-92.18 N	-29.98 N

Realizado por: Calderón E., 2023

- Desempeño del segundo diseño

El siguiente diseño está simulado en un estado estático con una velocidad del fluido de 80 km/h

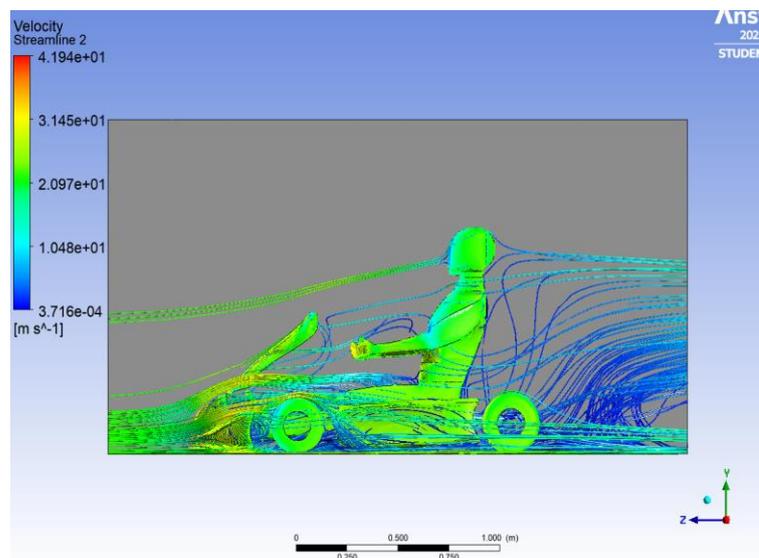


Ilustración 3-9: Contorno de velocidad diseño 2

Realizado por: Calderón E., 2023

Ante un aumento de la velocidad del flujo de aire en el eje Z también se reduce la presión, y viceversa, a medida que se reduce la velocidad del fluido aumenta la presión. Este efecto es de crucial importancia para lograr un rendimiento aerodinámico adecuado en cualquier vehículo de carreras. La distribución de la presión a lo largo de las líneas de flujo o de la superficie se describe como coeficiente de presión. Un valor negativo significa una reducción de presión, así como un valor positivo significa un aumento de presión

La presión negativa crea un efecto de succión, el cual resulta en la elevación del cuerpo. La alta presión prevalece en el área frontal del vehículo lo que contribuye a la fuerza de arrastre.

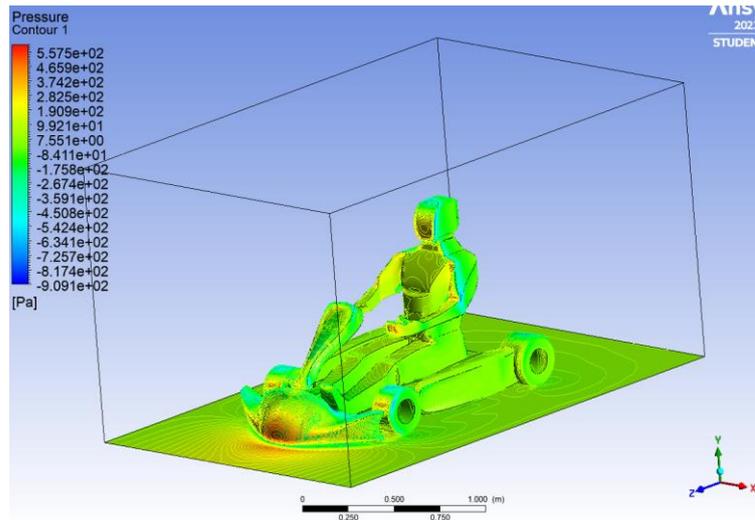


Ilustración 3-10: Contorno de presión diseño 2

Realizado por: Calderón., E 2023

Una vez realizado el análisis de contornos usamos la función de calculadora de Ansys para calcular la fuerza de arrastre y de sustentación en los ejes Z y Y respectivamente para obtener los siguientes resultados.

Tabla 3-8: Valores aerodinámicos diseño 2

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación (N)
-104.50 N	-0.34 N

Realizado por: Calderón., E 2023

- Desempeño del tercer diseño

El siguiente diseño está simulado en un estado estático con una velocidad del fluido de 80 km/h

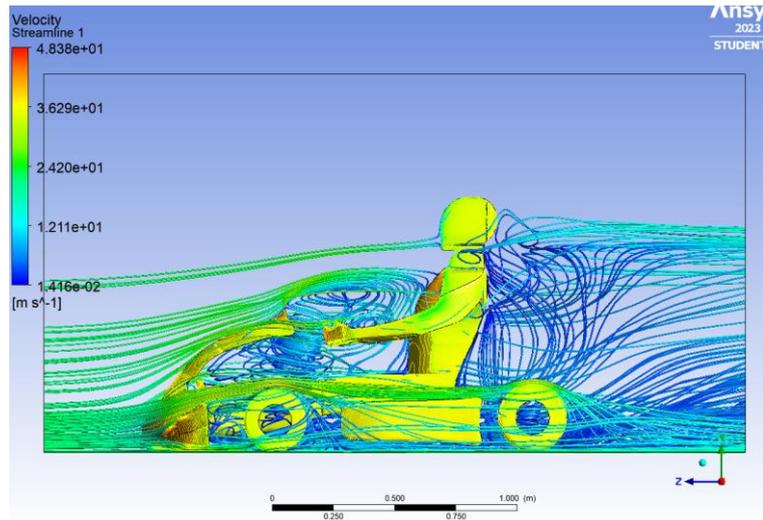


Ilustración 3-11: Contorno de velocidad diseño 3

Realizado por: Ango S., 2023

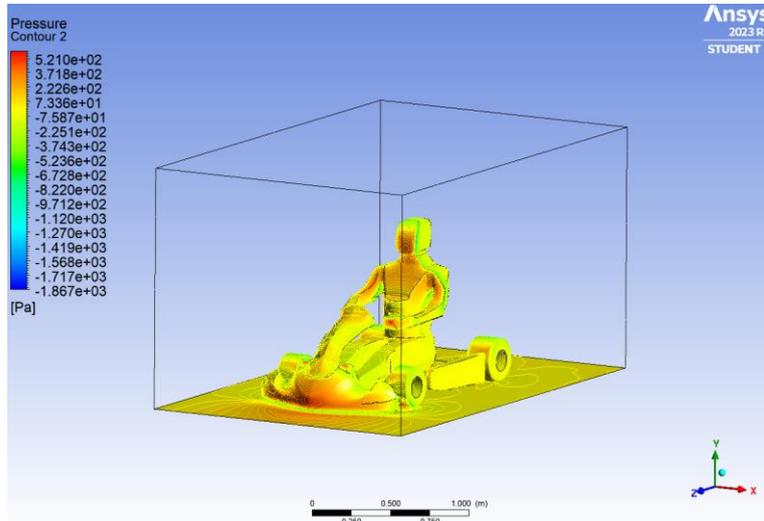


Ilustración 3-12: Contorno de presión diseño 3

Realizado por: Ango S., 2023

Una vez realizado el análisis de contornos usamos la función de calculadora de Ansys para calcular la fuerza de arrastre y de sustentación en los ejes Z y Y respectivamente para obtener los siguientes resultados.

Tabla 3-9: Valores aerodinámicos diseño 3

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación (N)
-92.509 N	-54.33 N

Realizado por: Ango S., 2023

3.7.3.5 Coeficientes de sustentación

El coeficiente de sustentación o lift en inglés es una medida utilizada en aerodinámica para cuantificar la capacidad de un objeto para generar sustentación o fuerza ascendente. Un coeficiente de sustentación positivo indica que el objeto genera sustentación hacia arriba, mientras que un coeficiente de sustentación negativo indica que el objeto genera sustentación hacia abajo.

Para calcular este valor se usó el software Ansys Fuid Flow (Fluent), el cual después de realizar 100 iteraciones logró estabilizar la curva, dándonos los valores que se muestran a continuación.

Para el primer diseño tenemos un coeficiente de sustentación de -0.20 como lo muestra la Ilustración 3-22

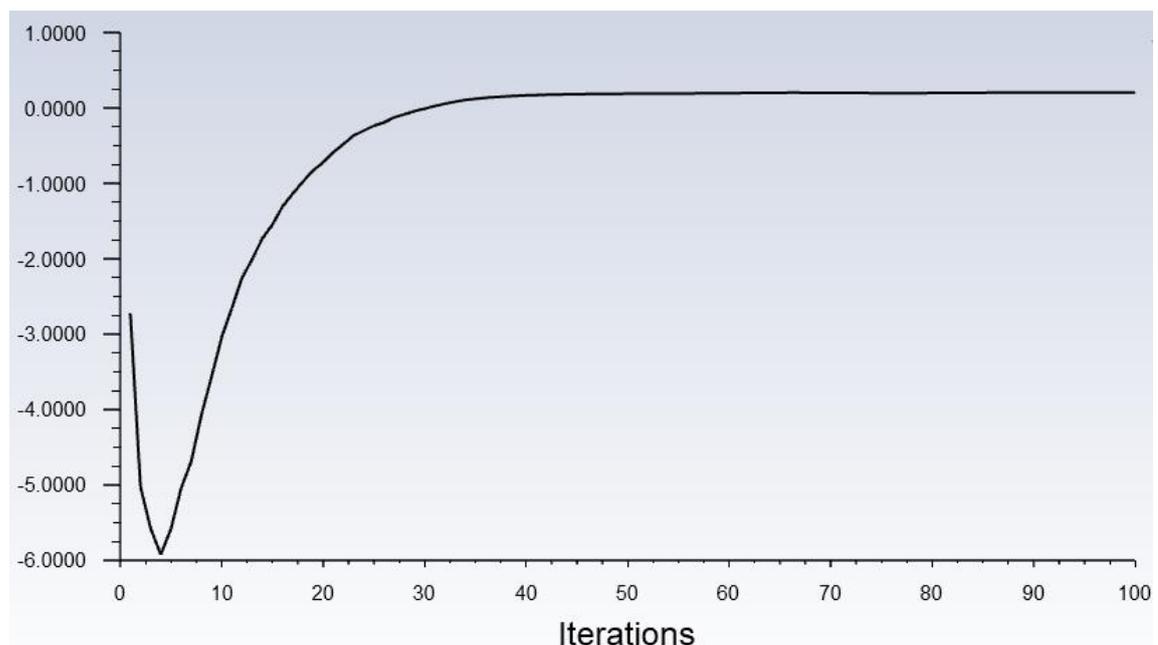


Ilustración 3-13: Curva Coeficiente de sustentación vs iteraciones del diseño 1

Realizado por: Calderón E., 2023

Para el segundo diseño tenemos un coeficiente de sustentación de -0.0023 como lo muestra la Ilustración 3-23

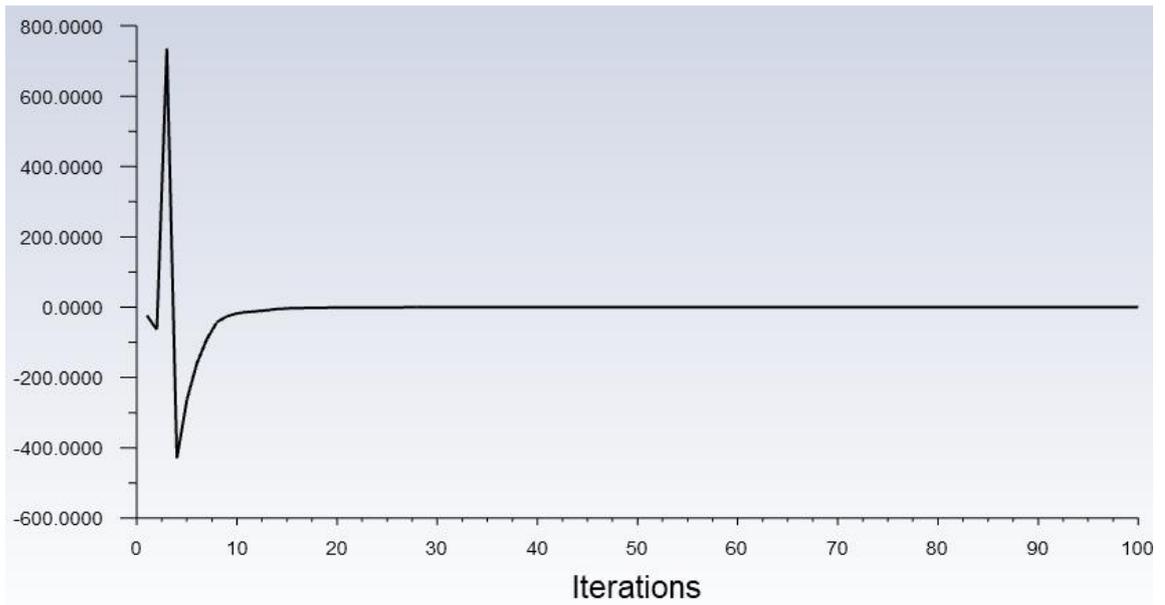


Ilustración 3-14: Curva Coeficiente de sustentación vs iteraciones del diseño 2

Realizado por: Calderón E., 2023

Para el tercer diseño tenemos un coeficiente de sustentación de -0.35 como lo muestra la Ilustración 3-24

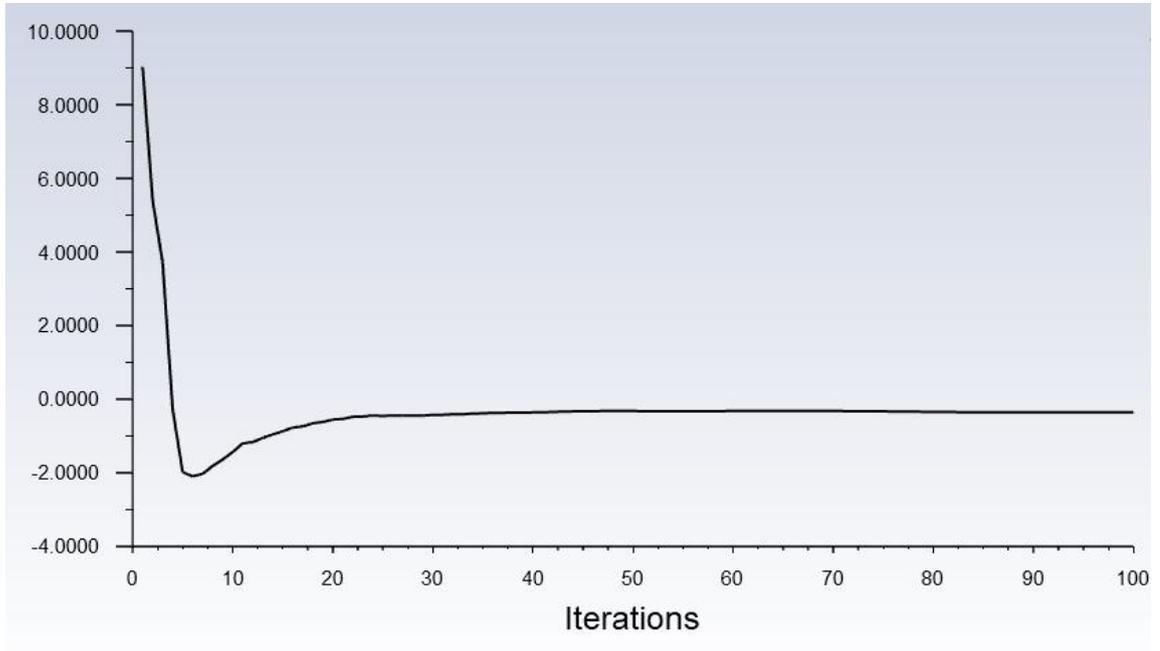


Ilustración 3-15: Curva Coeficiente de sustentación vs iteraciones del diseño 3

Realizado por: Ango S., 2023

3.7.3.6 Coeficientes de arrastre

El coeficiente de arrastre se utiliza para evaluar la eficiencia aerodinámica de un diseño o componente. Un valor más bajo de C_d indica una menor resistencia al avance y una mejor aerodinámica, lo que resulta en una mayor eficiencia y velocidad del objeto en movimiento.

- Datos del volumen de control

Para el cálculo del coeficiente de arrastre C_d utilizamos los siguientes parámetros:

Tabla 3-10: Parámetros para el volumen de control

Datos del volumen de control		
Concepto	Magnitud	Unidad
Velocidad del flujo de aire	80	km/h
	22.22	m/s
Presión atmosférica	1	atmósferas
	101.33	Pa
Temperatura ambiente	25	°C
	298.15	K
Densidad del aire (ideal)	1.18	Kg/m ³

Realizado por: Ango S., 2023

- Cálculo del coeficiente de arrastre C_d

Para este cálculo se tomó en cuenta la ecuación del coeficiente de arrastre que relaciona el área frontal del cuerpo, la velocidad a la que circula, la fuerza de arrastre a la que está sometido el cuerpo y la densidad del aire.

La siguiente tabla muestra los coeficientes de arrastre de los distintos diseños.

Tabla 3-11: Coeficientes de arrastre de los distintos diseños

Diseño 1	Magnitud	Unidad
Fuerza de arrastre	92.188	N
Área frontal	0.5	m ²
Coeficiente de arrastre (C_d)	0.631	-
Diseño 2	Magnitud	Unidad
Fuerza de arrastre	104.5	N

Área frontal	0.51	m2
Coefficiente de arrastre (Cd)	0.702	-
Diseño 3	Magnitud	Unidad
Fuerza de arrastre	92.5099	N
Área frontal	0.53	m2
Coefficiente de arrastre (Cd)	0.597	-

Realizado por: Ango S., 2023

3.7.4 Comparación de prototipos

Se compararon los distintos diseños mediante aspectos como: presión y velocidad a través del perfil, turbulencia generada por los perfiles, coeficiente de arrastre y coeficiente de sustentación.

3.7.4.1 Comparación de velocidades de los diseños

La velocidad de aire a través del perfil es un parámetro que puede ser útil al momento de elegir el diseño más adecuado. Para el caso de vehículos de competición es importante que exista un flujo de aire a mayor velocidad por la zona inferior del perfil en comparación con la zona superior, de esta forma se genera una presión mayor en la zona superior lo que resulta en una fuerza de sustentación negativa (*downforce*). Una fuerza de sustentación negativa mayor da como resultado una mejor adherencia del perfil al suelo, una mejor estabilidad del prototipo a altas velocidades y mejor desempeño en curvas.

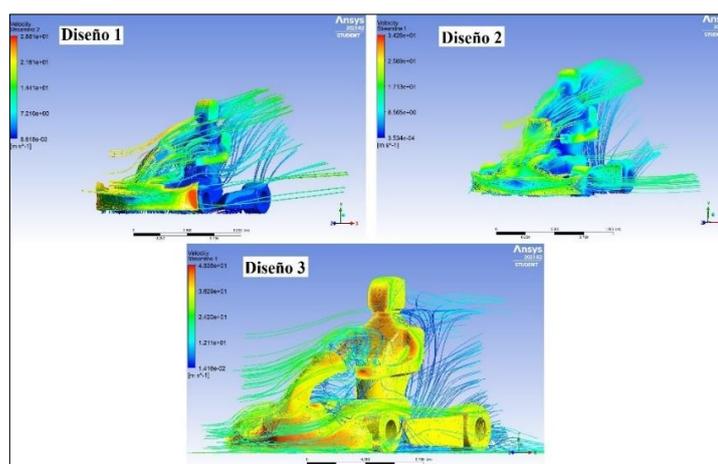


Ilustración 3-16: Comparación de velocidades de los diseños.

Realizado por: Ango S., 2023

La siguiente tabla muestra las mediciones de las velocidades medias de los distintos diseños en las zonas superior e inferior.

Tabla 3-12: Comparación de las velocidades en las zonas superior e inferior de los diseños.

DISEÑO	ZONA	VELOCIDAD (m/s)
1	Superior	14,13
	Inferior	15,34
2	Superior	21,81
	Inferior	23,61
3	Superior	17,21
	Inferior	28,46

Realizado por: Ango S. 2023

Los 3 diseños presentan la condición de que el flujo del aire es más rápido en la zona baja del perfil. El perfil 3 es el que presenta la mayor velocidad en la zona baja del perfil con 28.46 m/s; en comparación a los perfiles 1 y 2 con 15.34 m/s y 23.61 m/s respectivamente.

Las velocidades en las zonas superiores de los perfiles oscilan entre los 14.13 m/s y 21.81 m/s, en esta ocasión el diseño 1 es el que muestra un mejor desempeño siendo la menor velocidad en comparación a los otros perfiles.

3.7.4.2 Comparación de presiones de los diseños

La presión alrededor del perfil es un factor que puede determinar el desempeño del prototipo a altas velocidades, si se tiene una presión mayor en la zona superior del perfil existe un coeficiente de sustentación negativo lo que resulta en un mejor control tanto a altas velocidades como en curvas dentro de un circuito. Otros aspectos en los que influye el perfil de presiones son la fuerza de arrastre generada en la zona frontal y la resistencia generada por la densidad del aire.

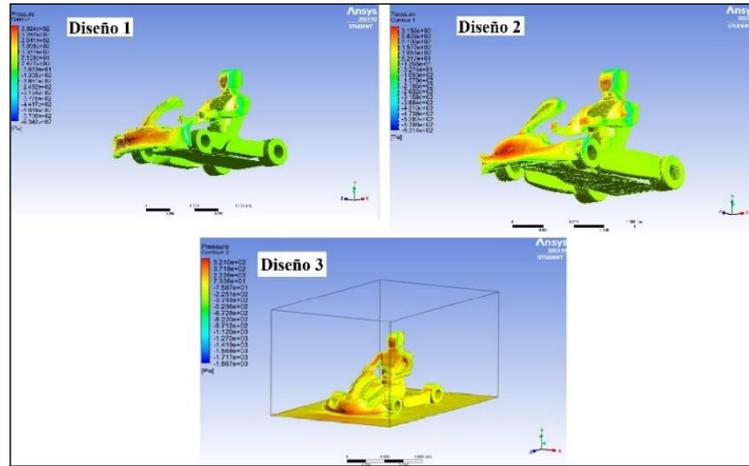


Ilustración 3-17: Comparación de presiones de los diseños.

Realizado por: Ango S. 2023

La siguiente tabla muestra las presiones que se generan en la zona superior de los perfiles en dirección perpendicular al movimiento de avance.

Tabla 3-13: Comparación de las presiones en la zona superior de los perfiles.

DISEÑO	PRESIÓN (Pa)
1	-10,076
2	-7,154
3	-16,848

Realizado por: Ango S. 2023

Debido al plano de referencia de las simulaciones, las fuerzas que actúan en dirección hacia el suelo tienen signo negativo, para la comparación tomamos en cuenta la fuerza que posee un mayor modulo.

El diseño 3 es el que genera una mayor fuerza en la zona superior del perfil y en dirección hacia el suelo, esta condición muestra que el diseño 3 genera una mejor adherencia al suelo y por lo tanto un mejor control de vehículo en diversas condiciones.

3.7.4.3 Comparación de turbulencias de los diseños

Las partículas de un fluido que se encuentra en contacto con un sólido y se mueven a la misma velocidad de este, están sometidas a una condición de no deslizamiento. Podemos observar las líneas de flujo turbulento generadas por los 3 diseños.

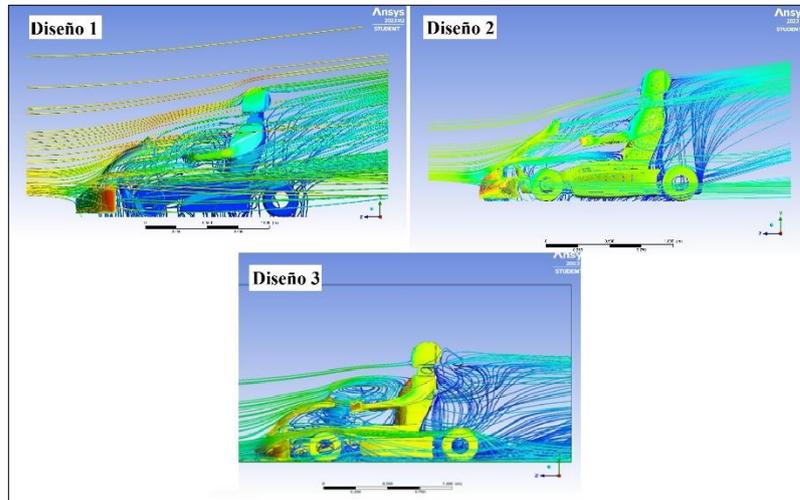


Ilustración 3-18: Comparación de turbulencias de los diseños.

Realizado por: Ango S. 2023

La condición de no deslizamiento genera una velocidad relativa entre el fluido y el sólido de cero, la trayectoria de las partículas del fluido es paralelas al perfil del sólido, también, las partículas se encuentran en contacto consigo mismas. De manera ideal, las partículas siguen en su totalidad la forma del sólido, sin embargo, es inevitable que las líneas de flujo se deformen conforme aumenta la velocidad, generando un flujo turbulento.

El problema con el flujo turbulento es que provoca que las fuerzas de arrastre aerodinámico crezcan, genera inestabilidad y reduce la maniobrabilidad.

Los 3 diseños generan turbulencia en la zona ubicada entre el panel y el conductor, sin embargo, si comparamos las turbulencias que generan los perfiles hacia las zonas de las llantas y los pontones laterales, podemos notar que el diseño 3 es el que mantiene mejor las líneas de flujo laminar en comparación a los diseños 1 y 2. Podemos inferir que la estabilidad se verá alterada en menor medida gracias al diseño 3.

3.7.4.4 Comparación del coeficiente de sustentación de los diseños

Las fuerzas en dirección perpendicular al movimiento del perfil generan un coeficiente de sustentación. Para vehículos de competición se espera que este coeficiente sea el menor posible, de modo que el efecto suelo (*downforce*) mejore y genere una mejor estabilidad.

La siguiente tabla muestra la comparación de los coeficientes de sustentación de los diseños:

Tabla 3-14: Comparación de los coeficientes de sustentación (C_L) de los diseños

DISEÑO	VALOR
1	-0,2
2	-0,0023
3	-0,35

Realizado por: Ango S. 2023

Según los valores obtenidos mediante las simulaciones podemos deducir que el perfil que presenta un mejor coeficiente de sustentación (C_L) es el diseño 3 teniendo el valor más bajo de la comparación.

3.7.4.5 Comparación del coeficiente de arrastre aerodinámico de los diseños

El coeficiente de arrastre aerodinámico indica la resistencia al avance frente al viento debido a la forma del perfil, es independiente de la velocidad y es un valor adimensional. De forma teórica un objeto que retiene la totalidad del aire en su frente tiene un coeficiente de arrastre igual a uno, un objeto que no ofrece resistencia alguna frente al aire tiene un coeficiente de arrastre igual a 0.

Tabla 3-15: Comparación del coeficiente de arrastre aerodinámico (C_x) de los diseños.

DISEÑO	VALOR
1	0,631
2	0,702
3	0,597

Realizado por: Ango S. 2023

La tabla 3-15 muestra la comparación de los coeficientes de arrastre aerodinámico de los diseños.

Según (Covini 2023) el coeficiente de arrastre aerodinámico C_x (conocido también como «coeficiente de drag»), para un kart de la actualidad se sitúa entre 0,6 y 0,8 (para tener una referencia, el de un vehículo es de alrededor de 0,3).

Con esta información podemos inferir que los 3 diseños se encuentran dentro del rango “habitual” de coeficiente de arrastre aerodinámico. El diseño 3 es el que tiene un menor valor para este coeficiente siendo el perfil que menor resistencia presentara al avance debido a la resistencia del viento a altas velocidades.

3.7.4.6 Selección del diseño para la construcción

El diseño seleccionado para la construcción fue el diseño 3 debido a que presenta las mejores características según los aspectos comparados previamente siendo:

- Velocidad de flujo de aire mayor en la zona inferior que la zona superior del perfil acorde al concepto de efecto suelo o *downforce*.
- Presión de sustentación negativa con el mayor módulo en la zona superior del perfil en la dirección perpendicular al movimiento (en sentido negativo).
- Menor generación de turbulencia en los extremos del diseño generando una mayor estabilidad.
- Coeficiente de sustentación negativa (*downforce*) más bajo de los 3, mejor efecto suelo, mayor control y estabilidad.
- Coeficiente de arrastre aerodinámico más bajo de los 3, menor resistencia al avance debido a la fricción con el aire a velocidades altas.

3.7.5 Selección de material

Para la construcción de los pontones, se eligió la fibra de carbono como material de refuerzo básico, porque el rendimiento de esta fibra es mejor que el de otros materiales comunes como el plástico ABS y la fibra de vidrio.

3.7.5.1 Material de refuerzo

El material de refuerzo seleccionado fue una tela de fibra de carbono 2x2 twill, biaxial, +45°/-45°, 3k, 193 gsm de la marca BIMAX elaborada con fibra de carbono del fabricante HEXCEL bajo la denominación AS4C, las propiedades de la fibra se muestran en el Anexo E

3.7.5.2 Material matriz

La matriz del material compuesto es una matriz PMC (material compuesto de matriz polimérica), el material seleccionado para la matriz fue una resina *epoxi* de altas prestaciones para laminación de materiales compuestos poliméricos reforzados con fibras, las propiedades de la resina se muestran en el Anexo D

3.7.6 Selección del proceso de manufactura

Para la fabricación de piezas de materiales compuestos reforzados de fibras sintéticas de manera artesanal existen diversos métodos, podemos distinguir los métodos de moldeo por contacto y los métodos asistidos por vacío.

El método seleccionado para la fabricación artesanal de los pontones es el modelo mediante laminación por contacto asistido por vacío.

Este método presenta ventajas y desventajas en comparación con otros procesos de fabricación de piezas, las principales ventajas que presenta este método son:

- Las piezas resultantes poseen porcentajes altos de fibras de refuerzo (40% - 55%).
- Las piezas presentan una mayor densidad y una menor cantidad de porosidades.
- Las fibras de refuerzo se impregnan de mejor manera.
- Las piezas no tienen límite de tamaño.
- El costo de los moldes utilizados no es elevado.

De la misma manera existen ciertas desventajas que este proceso presenta:

- El costo de este proceso se incrementa ligeramente debido al uso de equipos auxiliares.
- Los tiempos de laminado son más extensos reduciendo la productividad.
- Este proceso particular presenta desperdicios mayores en comparación a otros métodos.

Aunque el laminado por contacto asistido por vacío es un proceso más extenso y su costo ligeramente superior a otros métodos, ofrece piezas de buena calidad con mejores propiedades físicas y a un costo moderado. Es un proceso bastante equilibrado entre costo y calidad.

3.7.7 Construcción de probetas

3.7.7.1 Dimensionamiento

En base a la norma ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) el dimensionamiento de las probetas se realiza mediante el tipo de ensayo y el tipo de material, la norma indica las características y el número mínimo de probetas de cada ensayo. En la siguiente tabla se muestran las especificaciones de las probetas para los ensayos a realizar:

Tabla 3-16: Dimensionamiento de las probetas para los ensayos.

TIPO DE ENSAYO	NORMA	DIMENSIONES			N° MINIMO DE PROBETAS
		Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)	
Tracción	NTE INEN 2043 en base a la norma ASTM D3039	250	25	3	5
Flexión	NTE INEN 2047 en base a la norma ISO 178	80 +/- 2	10 +/- 0.2	4 +/- 0.2	5

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.7.2 Construcción de las probetas

Para la construcción de las probetas se usó moldes de acrílico PMMA (poli metil metacrilato), las láminas de acrílico se adhirieron mediante *super glue* para formar el molde con las medidas adecuadas según el tipo de ensayo.



Ilustración 3-19: Materiales usados para la construcción de probetas.

Realizado por: Calderón. E. 2023

Las probetas se realizaron mediante laminación manual sobre los moldes, la disposición de las fibras se realizó de manera intercala en la longitud de la probeta así se garantiza una distribución uniforme del refuerzo en la conformación final del material.



Ilustración 3-20: Proceso de laminación de las probetas.

Realizado por: Ango. S. 2023

Los moldes fueron diseñados con la finalidad de poder agregar una presión externa a las capas de laminado, esto permitió controlar de manera adecuada el espesor final de las probetas.

3.7.7.3 *Proceso de curado de las probetas*

Según las recomendaciones de uso el tiempo de curado de la resina es de 24 horas a una temperatura ambiente, el tiempo que se empleó para el curado de las probetas en el proyecto fue de alrededor de 36 horas, de esta manera se aseguró la integridad del material posterior al desmolde.

3.7.7.4 *Probetas para el ensayo de tracción*

Fueron construidas un total de 6 probetas para los ensayos de tracción, las medidas resultantes de las probetas se establecieron conforme a la norma ASTM D3039, se incluyeron 7 capas de fibra de carbono *2x2 twill*, biaxial y resina *epoxi* para laminación (componente A) con endurecedor (Componente B) en relación de masas de 100:20 respectivamente, fueron seleccionadas las 5 mejores muestras con mayor uniformidad y mejor acabado.

Es necesario adherir un material abrasivo (lija) a los extremos de las probetas con el fin de mejorar el agarre de la máquina para los ensayos

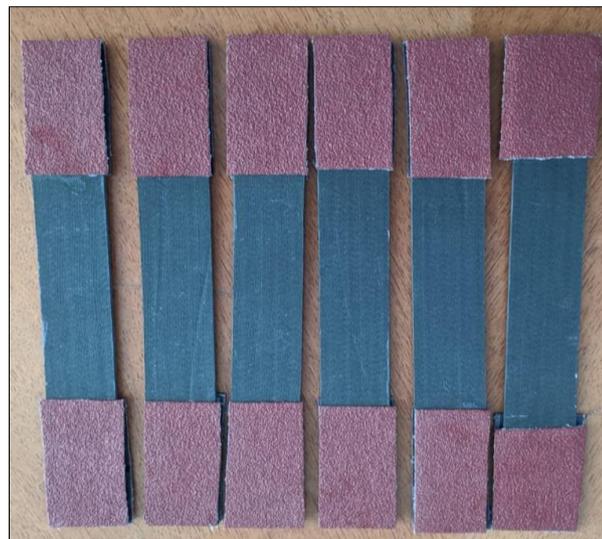


Ilustración 3-21: Probetas para el ensayo de tracción.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.7.5 *Probetas para en ensayo de flexión*

Fueron construidas un total de 6 probetas para los ensayos de flexión, las medidas de las probetas se establecieron conforme a la norma ISO 178, se incluyeron 7 capas de fibra de carbono bidireccional y resina *epoxi* para laminación (componente A) con endurecedor (Componente B) en relación de masas de 100:20 respectivamente, fueron seleccionadas las 5 mejores muestras con mayor uniformidad y mejor acabado.



Ilustración 3-22: Probetas para el ensayo de flexión.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.8 Construcción de pontones

Luego de la selección de los diseños del conjunto de carenados que mejor desempeño muestra según las simulaciones, es necesario realizar los moldes del panel portanúmero, carenado frontal y pontones laterales. Los procesos de fabricación de los moldes y de los pontones se detallan a continuación:

3.7.8.1 Impresión a escala real de las vistas de cada pieza

El material seleccionado para la fabricación de los moldes de cada pieza es la espuma de poliestireno, este material se puede modelar mediante cortes y resulta fácil de detallar puliendo su superficie.

Para poder darle la forma correcta a las secciones de espuma de poliestireno se hace uso de las vistas frontal, lateral y superior de cada una de las piezas, el software Solidwork brinda la

posibilidad de realizar planos a escala real de cada una de las vistas de todas las piezas, el tamaño del papel de los planos debe ser DIN A0.

3.7.8.2 Construcción de moldes

Una vez impresos los planos se procede a cortar las vistas y a ubicarlos en las secciones de espuma de poliestireno (espuma flex).

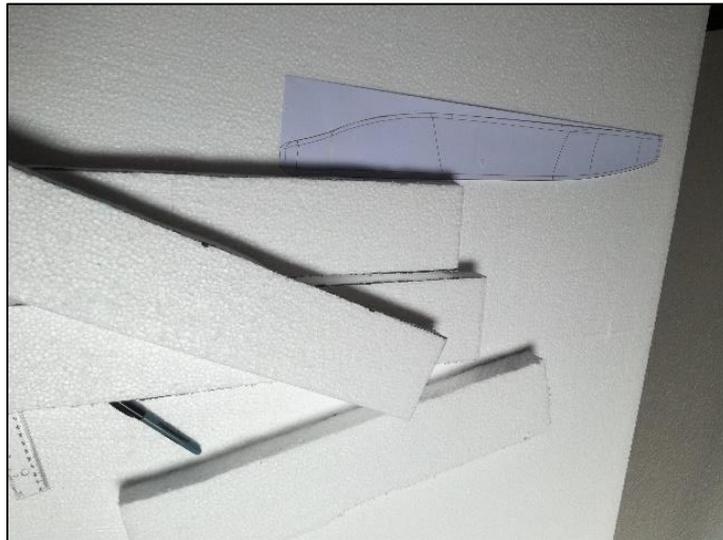


Ilustración 3-23: Corte de las secciones de espuma de poliestireno para la fabricación de los moldes.

Realizado por: Calderón. E. 2023

Con la ayuda de planos en escala real del diseño se cortó la espuma de poliestireno, mediante cortes cuidadosos se moldea la espuma, los detalles finales de los moldes se realizan de forma manual, puliéndolos mediante el uso de distintos tipos de lijas.



Ilustración 3-24: Molde resultado del proceso de corte y pulido de la espuma de poliestireno.

Realizado por: Ango S. 2023

Una vez construido los moldes se procedió a aplicar empaste para tapan los poros, darle un acabado mucho más liso al molde y aumentar la dureza de este y pueda soportar el proceso de vacío sin comprometer la forma del diseño.



Ilustración 3-25: Empastado y pintado del molde

Realizado por: Calderón. E. 2023

El molde que resulta de este proceso presenta algunas porosidades en su superficie, para reducir la influencia de estas en el laminado final, se le aplica una capa de empaste el cual produce una superficie lisa y más rígida.

Previo a la laminación de la pieza en fibra de carbono se procede a aplicar capas de desmoldante polivinílico sobre el molde, esto permitirá cierta facilidad en la separación entre el molde y la pieza final de material compuesto.



Ilustración 3-26: Aplicación de desmoldante polivinílico sobre el molde.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.9 Construcción de los pontones

Una vez que el molde está listo y posee los mismos detalles que los diseños del software, es momento de realizar la laminación de las piezas con fibra de carbono y resina epoxi. El proceso se debe realizar con sumo cuidado con la intención de mantener todos los detalles presentes en los moldes y plasmarlos en el laminado final.



Ilustración 3-27: Preparación de los materiales previos a la laminación.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.9.1 Preparación de los materiales fungibles

Previo a cualquier proceso de construcción de las piezas, es necesario tener los materiales fungibles, es decir: tejidos pelables (*peel-plies*), manta de absorción, bolsa para vacío (*film* de nylon), masillas para cierre (*tacky-tape*), correctamente preparados para la aplicación de vacío. Esta preparación se realiza con el fin de disminuir las pérdidas de tiempo y así evitar que la resina entre a su fase de gel antes de la aplicación del vacío.



Ilustración 3-28: Demarcado del *film* de nylon para la bolsa de vacío previo a su corte.

Realizado por: Calderón E., 2023

3.7.9.2 Corte de las secciones de fibra

Debido a la complejidad de las formas curvas de los diseños, se optó por realizar el proceso de laminación mediante secciones de la fibra de refuerzo, estas secciones fueron cortadas según las formas que van a adoptar en el proceso de laminado, asegurando así que no se pierda ningún tipo de detalle en el producto final.



Ilustración 3-29: Secciones de corte de la fibra de carbono.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.9.3 Preparación de la resina epoxi para laminación

Siguiendo la ficha técnica de la resina epoxi para laminación se procede a realizar la mezcla de las partes A y B según la proporción de masas adecuadas que es 10:2 respectivamente. La cantidad de los componentes se calcula según el contenido de matriz esperado en la pieza final, para el caso de los pontones se tomó una referencia de 50% de matriz de resina y 50% de fibras de carbono para el refuerzo.

3.7.9.4 Proceso de laminado de fibra de carbono con resina epoxi

Con el molde preparado podemos comenzar con el proceso de construcción, acorde al método de laminación manual se procede a aplicar capas de resina y fibra de refuerzo de manera intercalada hasta completar las 6 capas de fibra de carbono, el espesor aproximado de la pieza debido al apilamiento de las capas de fibras de carbono es de 1.5 mm.



Ilustración 3-30: Aplicación de una capa de resina epoxi para laminación sobre el molde.

Realizado por: Calderón E., 2023



Ilustración 3-31: Aplicación de una capa de fibra de carbono sobre el molde.

Realizado por: Calderón E., 2023

Se debe procurar que el proceso de laminado manual se realice de manera rápida para evitar que la resina llegue a su punto de gel antes de haber aplicado la presión del vacío.

3.7.9.5 *Aplicación del vacío*

Una vez terminado el proceso de laminación manual se debe preparar el molde con el laminado para aplicar el vacío. Los materiales fungibles se encuentran ya preparados por lo que el siguiente paso es colocarlos en el orden correcto sobre el laminado e introducir el conjunto en la bolsa de vacío.



Ilustración 3-32: Aplicación del tejido pelable (*peel plie*) sobre el molde.

Realizado por: Ango S. 2023



Ilustración 3-33: Aplicación de la manta absorbente sobre el molde.

Realizado por: Ango S. 2023



Ilustración 3-34: Introducción del conjunto de laminado, *film* separador y *film* absorbente en la bolsa de vacío.

Realizado por: Ango S. 2023

El siguiente paso es sellar la bolsa de manera que no existan fugas de presión en las juntas de esta, también se le realiza una pequeña abertura que es por donde ingresa la manguera y se la sella cuidadosamente con masillas para cierre (*tacky-tape*).



Ilustración 3-35: Bolsa de vacío sellada y conectada a la bomba de vacío.

Realizado por: Ango S. 2023

La manguera conectada a la bolsa se encuentra también conectada a un manómetro que nos permitirá controlar el vacío que se genera dentro. La bomba de vacío se conecta al manómetro de esta forma se permite la absorción del aire al interior de la bolsa formando el vacío.

La diferencia de presión generada por la absorción del aire dentro la bolsa de vacío es la que provoca que se produzca una fuerza sobre el laminado, dando como resultado la eliminación de las burbujas de aire residuales y de los excesos de resina.



Ilustración 3-36: Presión inicial al interior de la bolsa antes de encender la bomba de vacío.

Realizado por: Ango S. 2023

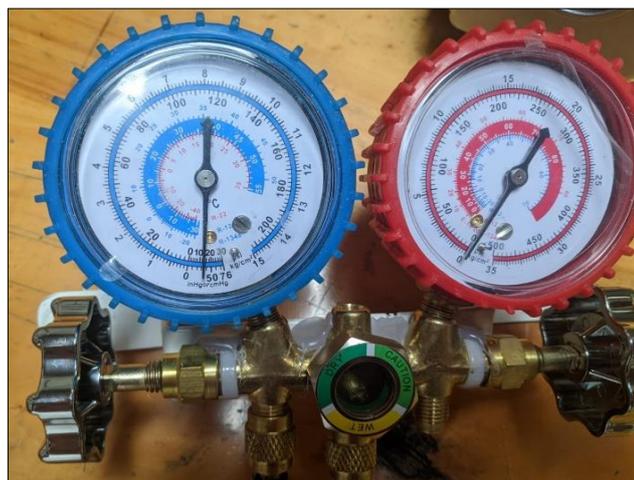


Ilustración 3-37: Presión final al interior de la bolsa después de haber encendido la bomba de vacío.

Realizado por: Ango S. 2023

Podemos observar que existe una diferencia de presión de alrededor de 14 psi, esta diferencia de presión nos indica que el vacío se generó en su totalidad dentro de la bolsa, como referencia tenemos que la presión de 1 atmósfera equivale a 14.6959 psi.



Ilustración 3-38: Vacío generado dentro de la bolsa.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.9.6 *Proceso de curado*

Según las recomendaciones del fabricante de la resina, el tiempo de curado es de 24 horas, para poder mantener el vacío dentro de la bolsa durante este tiempo se usó de una prensa sobre la manguera, de esta forma es seguro apagar la bomba de vacío manteniendo la presión alrededor de la bolsa.



Ilustración 3-39: Curado de la pieza manteniendo la presión generada por el vacío.

Realizado por: Ango S. 2023

3.7.9.7 *Proceso de desmolde*

Una vez transcurrido el tiempo de curado recomendado, el proceso de desmolde se lleva a cabo separando la pieza final de las capas formadas por los tejidos pelable y absorbente, la pieza también se separa del molde con cierta facilidad gracias a la aplicación previa del desmoldante polivinílico.

3.7.9.8 *Acabado final*

Para que los pontones tengan un acabado brillante lijamos la pieza final para que se abran mejor los poros y luego aplicamos dos capas de resina Coating Epoxy, esto nos ayuda a cubrir aún más las ondulaciones de la fibra de carbono.



Ilustración 3-40: Aplicación de Coating Epoxy a la pieza final

Realizado por: Calderón E., 2023

Después de que la resina se haya endurecido por completo, procedemos a realizar un nuevo lijado utilizando un papel de lija de grano más fino. A continuación, aplicamos una capa de laca de poliuretano y permitimos que se seque durante un período de 8 horas. Esto se hace con el propósito de brindar protección a la pieza contra la radiación ultravioleta y asegurar una durabilidad prolongada sin comprometer su brillo característico.

3.7.9.9 *Recorte de excesos en los contornos y pulido de la pieza*

La pieza final presenta excesos en sus contornos, estos excesos se dejaron con el propósito de poder dar un mejor acabado al contorno de la pieza final, haciendo uso de la herramienta *dremel* rotativa con disco de corte podemos realizar el corte de estos excesos y a su vez podemos definir de mejor manera el contorno de la pieza.



Ilustración 3-41: Corte de excesos en la pieza final

Realizado por: Calderón E., 2023

Es importante utilizar el equipo adecuado para realizar esta tarea debido a que los desechos de esta actividad pueden provocar una reacción alérgica que ocasiona la aparición de ronchas, picazón e irritación.

CAPÍTULO IV

4. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Simulación en software

Los coeficientes y las fuerzas de sustentación, así como las fuerzas de arrastre se obtuvieron mediante el software Ansys Fluid Flow. Se realizaron 100 iteraciones para que el software logre un resultado más preciso. La Ilustración 4-1 compara los tres coeficientes de cada diseño, como se observa el diseño 3 es aquel que tiene el menor coeficiente de sustentación lo que es un factor ideal para obtener el efecto suelo deseado y una mejor estabilidad en las curvas

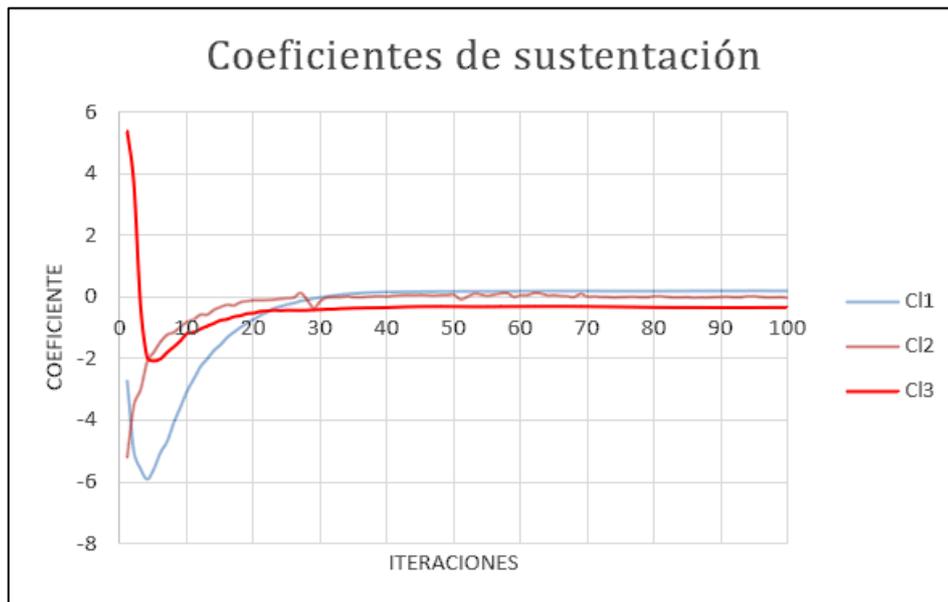


Ilustración 4-1: Coeficientes de sustentación vs Iteraciones

Realizado por: Calderón E., 2023

En la Ilustración 4-2 muestra una comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones, de la cual podemos inferir que los diseño 3 y 1 tienen un coeficiente de arrastre más bajo comparado con el diseño 2. En consecuencia, tanto el conjunto 3 como el conjunto 1 reducen considerablemente la resistencia aerodinámica del kart a 80 km/h

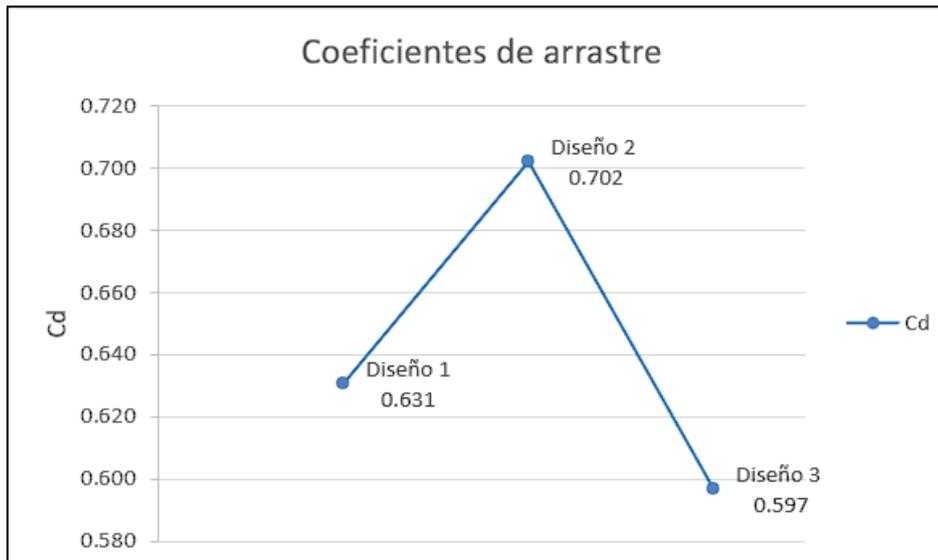


Ilustración 4-2: Comparación de los coeficientes de arrastre de los tres diseños

Realizado por: Calderón E., 2023

El diseño 3 presenta una reducción del coeficiente de arrastre de 15% en comparación con el diseño 2 y del 5.4% en comparación con el diseño 1

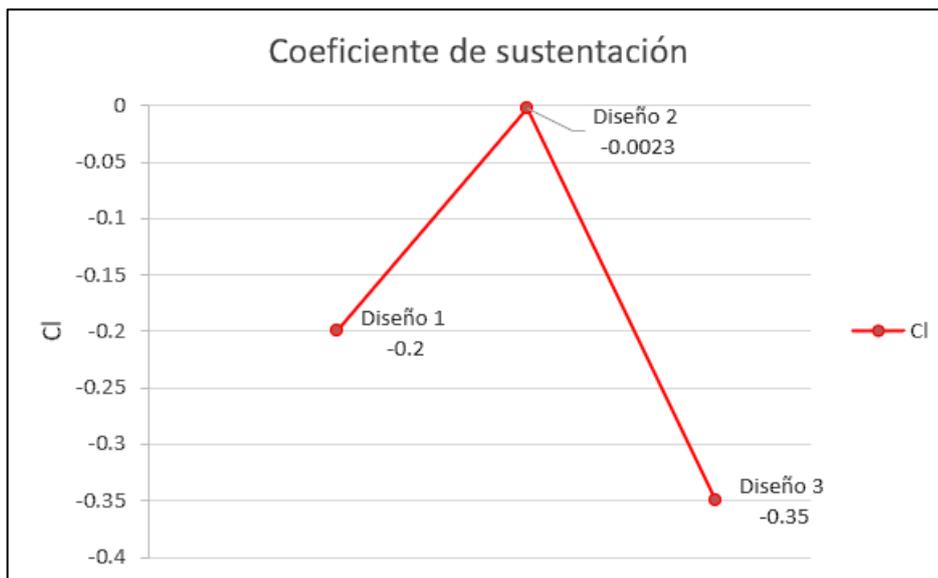


Ilustración 4-3: Comparación de los coeficientes de sustentación de los tres diseños

Realizado por: Calderón E., 2023

La Ilustración 4-3 muestra una comparación de los resultados obtenidos en las simulaciones, de la cual podemos inferir que el diseño 3 y 1 tienen un coeficiente de sustentación más bajo en comparación con el diseño 2 el cual su coeficiente es más cercano a cero.

El diseño 3 presenta una reducción del coeficiente de sustentación del 99% en comparación con el diseño 2 y del 43% comparado con el diseño 1. En consecuencia, el diseño 3 presenta una fuerza descendente mayor comparada con los demás diseños, esto se traduce en un mejor rendimiento al tomar curvas a alta velocidad, al aumentar la fuerza de adherencia al suelo, se mejora la estabilidad y maniobrabilidad del kart.

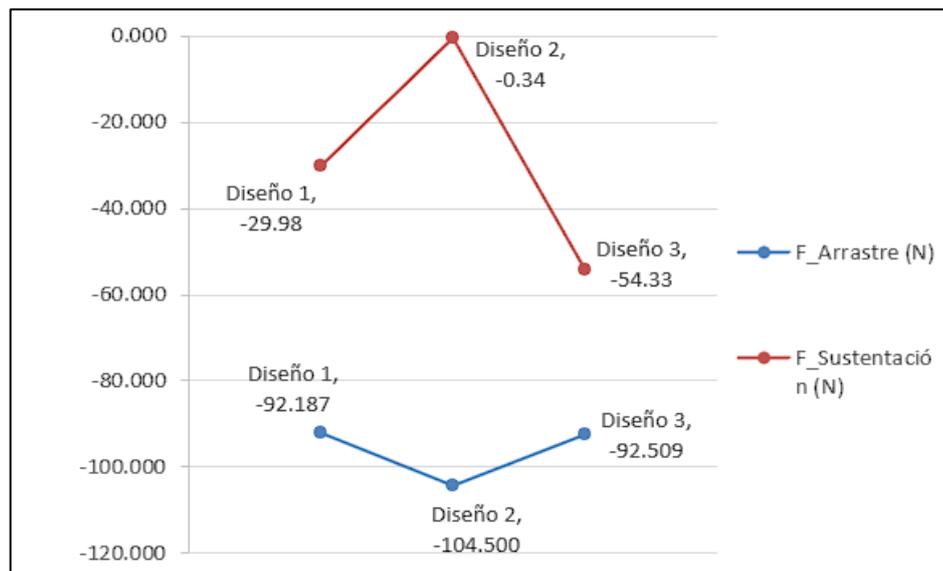


Ilustración 4-4: Fuerza de arrastre y fuerza de sustentación de cada diseño a 80 km/h

Realizado por: Calderón E., 2023

En la Ilustración 4-4 se puede observar que el diseño 3 es el que genera una mayor fuerza de sustentación y una menor fuerza de arrastre, esto se traduce en una mejor estabilidad a velocidades más altas debido a la mayor generación de carga aerodinámica y menor consumo de combustible debido a su fuerza de arrastre.

4.2 Resultados de los ensayos destructivos del material compuesto.

Los ensayos destructivos del material compuesto fueron realizados con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas que lo caracterizan. Al conocer las propiedades del material podemos verificar las especificaciones del diseño de los pontones y como estos desempeñaran.

4.2.1 Ensayo de tracción del material compuesto

Las probetas fueron fabricadas según las especificaciones descritas en la norma NTE INEN 2043 en base a la norma ASTM D3039, fueron entregadas 5 probetas al laboratorio para su evaluación. El grupo de probetas se identifica según la denominación del informe como se muestra en la tabla 4-1:

Tabla 4-1: Identificación del grupo de probetas

Objetos de ensayo: Probetas cuantificadas				
N.º	Identificación de probetas	Matriz	Refuerzo	Probetas a ensayar
1	172720843920230831-ETC 01	Resina Epóxica	Fibra de carbono	5
Total				5

Fuente: Informe N.º 172720843920230831-ETC.

Una vez evaluadas las dimensiones de las probetas se realiza una descripción del cumplimiento de los criterios dimensionales como se muestra en la tabla 4-2:

Tabla 4-2: Descripción del cumplimiento de los criterios dimensionales.

Dimensiones de las probetas				
N.º	Identificación de la probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Descripción
1	172720843920230831-ETC 01-1	25,36	3,91	Cumple criterios dimensionales
2	172720843920230831-ETC 01-2	25,68	3,89	Cumple criterios dimensionales
3	172720843920230831-ETC 01-3	25,67	3,81	Cumple criterios dimensionales
4	172720843920230831-ETC 01-4	25,66	3,92	Cumple criterios dimensionales
5	172720843920230831-ETC 01-5	25,32	3,76	Cumple criterios dimensionales

Fuente: Informe N.º 172720843920230831-ETC

Con la aceptación de las dimensiones de las probetas se procede a realizar el ensayo de tracción, las características y resultados del ensayo se detallan en la tabla 4-3:

Tabla 4-3: Resultados del ensayo de tracción.

		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO					
Material compuesto: matriz de resina epóxica con refuerzos de fibra de carbono.							
Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Fomento Productivo Metalmeccánico Carrocero de la provincia de Tungurahua							
Equipo utilizado:				Máquina de ensayos universal Metrotec 1500K N			
Modelo:		STH-1500 S/C		Serie:		8802M001	
Método de ensayo:				ASTM D3039/D3039M-17			
Tipo de ensayo:		Cuantitativo		Velocidad de ensayo:		10 mm/min	
Tipo de probeta:		Plana		Precarga:		100 N	
Informe N.º:		172720843920230831-ETC		Elaborado por:		Ing. Fernando Tibán R.	
Resultados:							
N.º	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Fuerza máxima (N)	Esfuerzo máximo de tracción (Mpa)	Módulo de elasticidad (Calculado) (Mpa)	% de elongación (Calculado)	Tipo de falla evaluado
1	20,4	57,1	10050	101,35	377,97	26,815	XGM
2			10850	108,61	416,84	26,057	XGM
3			8950	91,51	455,2	20,103	XGM
4			8900	88,48	398,82	22,186	XGM
5			7550	79,3	360,04	22,027	XGM
Promedio			9260	93,85	401,774	23,4376	
Mediana			8950	91,51	398,82	22,186	
Desviación estándar			1255,189	11,403	36,737	2,870	
Coefficiente de variación			0,136	0,122	0,091	0,122	
Máximo			10850	108,61	455,2	26,815	
Mínimo			7550	79,3	360,04	20,103	
Rango			3300	29,31	95,16	6,712	

Fuente: Informe N.º 172720843920230831-ETC

Para comprender las fallas que presentaron las probetas encontramos la tabla 4-4 con la nomenclatura correspondiente:

Tabla 4-4: Nomenclatura de los tipos de falla del ensayo de tracción.

Primer carácter	Tipo de falla	Segundo carácter	Área de la falla	Tercer carácter	Localización de la falla
L	Lateral	A	En el agarre	T	Parte superior
X	Explosivo	I	Dentro del agarre	B	Parte inferior
A	Angular	G	Zona calibrada	M	Medio

Fuente: Informe N.º 172720843920230831-ETC

Los criterios presentados en la tabla 4-4 se corresponden a la norma ASTM D3039. Método de prueba estándar para propiedades de tracción de materiales compuestos de matriz polimérica.

Además del tipo de fallo, en la tabla de resultados podemos encontrar la fuerza máxima, el esfuerzo máximo de tracción, los cálculos del módulo de elasticidad y el porcentaje de elongación de cada una de las probetas evaluadas, con estos datos podemos caracterizar y representar las propiedades del conjunto de probetas y por ende del material utilizado.

4.2.2 *Ensayo de flexión del material compuesto.*

Las probetas fueron fabricadas según las especificaciones descritas en la norma NTE INEN 2047 en base a la norma ISO 178, fueron entregadas 5 probetas al laboratorio para su evaluación. Las dimensiones de las probetas y el cumplimiento de los criterios dimensionales se muestran en la tabla 4-5:

Tabla 4-5: Descripción del cumplimiento de los criterios dimensionales.

Dimensiones de las probetas				
N.º	Identificación de la probeta	Ancho (mm)	Espesor (mm)	Descripción
1	FC-01	10,5	3,5	Cumple criterios dimensionales
2	FC-02	10,5	3,5	Cumple criterios dimensionales
3	FC-03	10,5	3,5	Cumple criterios dimensionales
4	FC-04	10,5	3,5	Cumple criterios dimensionales
5	FC-05	10,5	3,5	Cumple criterios dimensionales

Fuente: Informe N.º 2023-239

Con la aceptación de las dimensiones de las probetas se procede a realizar el ensayo de tracción, las características y resultados del ensayo se detallan en la tabla 4-6:

Los parámetros de distancia entre soportes y velocidad de ensayo son calculados según especifica la norma NTE INEN 2047: Plásticos. Determinación de la resistencia a la flexión de los materiales

plásticos rígidos. Para el caso de nuestro ensayo los valores fueron de 60 mm para la distancia entre los soportes y 2.5 mm/min de velocidad de desplazamiento del útil de carga.

Tabla 4-6: Resultados del ensayo de flexión.

		ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO					
Material compuesto: matriz de resina epóxica con refuerzos de fibra de carbono.							
Laboratorio de Resistencia de Materiales del Centro de Transferencia de Tecnologías de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica (CTT - FICM) - Universidad Técnica de Ambato.							
Método de ensayo:				NTE INEN 2047			
Tipo de ensayo:		Cuantitativo		Velocidad de ensayo:		2,5 mm/min	
Tipo de probeta:		Plana		Fecha de inicio:		06-sep-23	
Informe N.º:		2023-239		Elaborado por:		Ing. Christian Pérez	
Resultados:							
N.º	Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)	Fuerza máxima (N)	Desplazamiento (mm)	Esfuerzo de flexión máximo (MPa)	Módulo elástico de flexión (Calculado) (GPa)	% de deformación máxima
1	21,3	57,1	212,336	9,9054	141,82	8,42226	5,77
2			191,72	10,4541	128,051	8,0377	6,09825
3			191,49	8,03997	127,897	7,18324	4,68998
4			209,991	9,52748	140,254	8,4312	5,5577
5			199,374	8,72539	133,162	8,20073	5,08981
Promedio			200,9822	9,330468	134,2368	8,055026	5,441148
Mediana			199,374	9,52748	133,162	8,20073	5,5577
Desviación estándar			9,856	0,957	6,583	0,514	0,557
Coefficiente de variación			0,049	0,103	0,049	0,064	0,102
Máximo			212,336	10,4541	141,82	8,4312	6,09825
Mínimo			191,49	8,03997	127,897	7,18324	4,68998
Rango			20,846	2,41413	13,923	1,24796	1,40827

Fuente: Informe N.º 2023-239

Los resultados obtenidos en el ensayo incluyen desplazamiento, esfuerzo máximo de flexión, módulo elástico de flexión y porcentaje de deformación; estos parámetros son útiles para poder caracterizar las propiedades mecánicas de las probetas y como resultado del material utilizado en la construcción de los pontones.

El comportamiento de las probetas en relación con la fuerza aplicada vs el desplazamiento se representa en la siguiente ilustración:

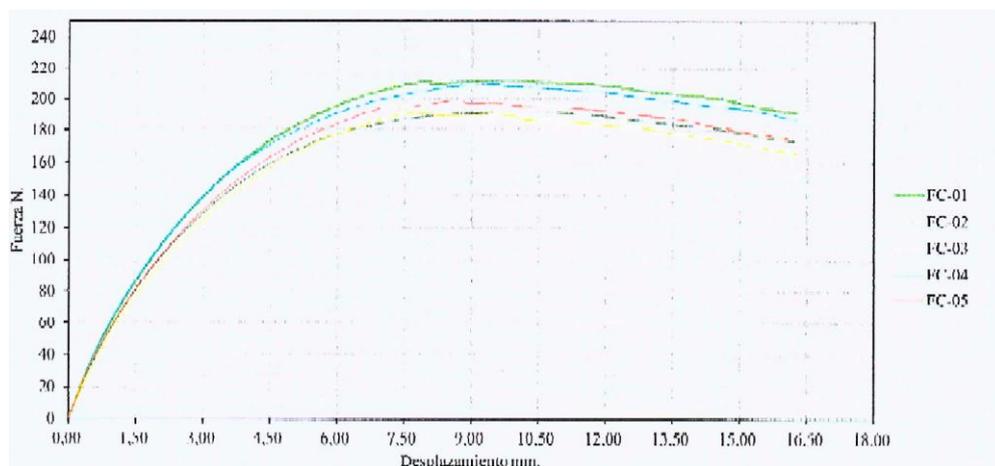


Ilustración 4-5: Diagrama Fuerza aplicada (N) vs desplazamiento (mm).

Podemos comprobar que el comportamiento de cada una de las probetas evaluadas es semejante, podemos deducir que existe uniformidad en el proceso de fabricación de las probetas y por lo tanto el método de fabricación fue el adecuado. Los resultados obtenidos en estos ensayos son consistentes con el material utilizado en la fabricación de los pontones.

4.2.3 Caracterización de las propiedades del material compuesto mediante estadística descriptiva.

Mediante un análisis estadístico descriptivo podemos inferir las propiedades del conjunto de probetas y por lo tanto del material de fabricación de las piezas. Los valores estudiados fueron medidas de tendencia central como: media y mediana; y medidas de variabilidad como: rango, desviación estándar, coeficiente de variación y varianza.

4.2.3.1 Esfuerzo máximo de tracción.

El esfuerzo máximo de tracción representa la tensión máxima que puede soportar un objeto en sentido longitudinal antes de presentar deformación unitaria irreversible (estricción) o fractura.

Tabla 4-7: Valores estadísticos descriptivos del esfuerzo máximo de tracción.

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mediana	Rango
Esfuerzo máximo de tracción (MPa)	93,85	11,40	130,03	12,15	91,51	29,31

Realizado por: Ango S. 2023.

La media nos proporciona una idea general sobre el esfuerzo máximo de tracción típico del conjunto de probetas, se puede deducir que el material compuesto posee un esfuerzo máximo de tracción de 93.85 Mpa.

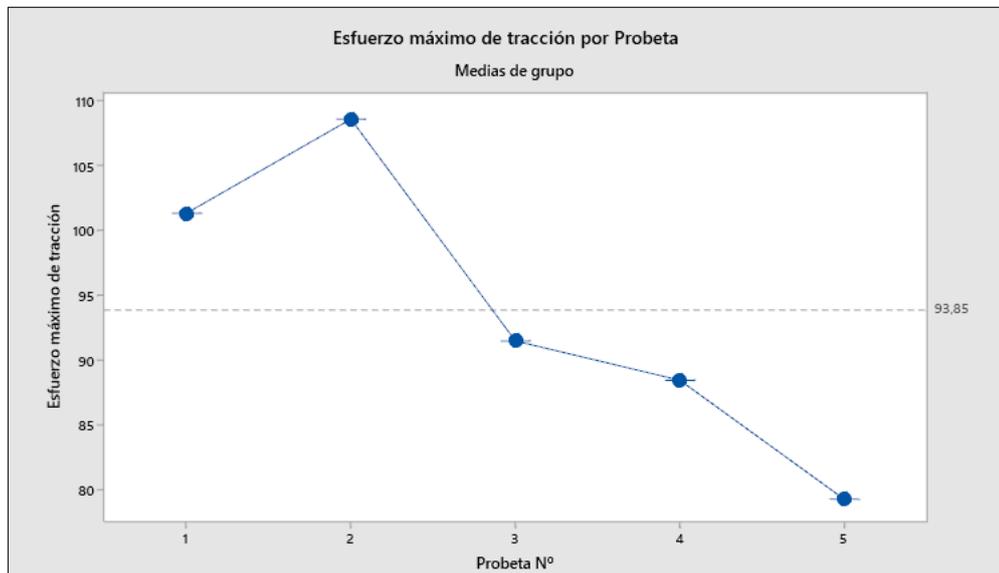


Ilustración 4-6: Esfuerzo máximo de tracción por probeta y valor medio.

Realizado por: Ango S. 2023

El coeficiente de variabilidad es un indicador que representa la desviación estándar del conjunto de datos en relación de porcentaje con la media. Con una media de 93.85 Mpa y una desviación estándar de 11.40 Mpa, el coeficiente de variación es de 12.15%, este valor indica que la variabilidad de los datos no es en exceso alta en relación con la media.

4.2.3.2 Porcentaje de elongación a la tracción.

Es la relación entre la elongación provocada por el esfuerzo máximo de tracción y la longitud inicial de la probeta, medida en porcentaje. Este valor es significativo debido a que mientras menor sea la deformación mayor será el módulo de elasticidad del material.

Tabla 4-8: Valores estadísticos descriptivos del porcentaje de elongación (a tracción).

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mediana	Rango
% de Elongación	23,44	2,87	8,24	12,24	22,19	6,71

Realizado por: Ango S. 2023.

El promedio de porcentaje de elongación de las probetas es de 23.44%, esto quiere decir que el material tiene la capacidad de estirarse aproximadamente un cuarto de su longitud inicial antes de presentar una deformación permanente o fractura.

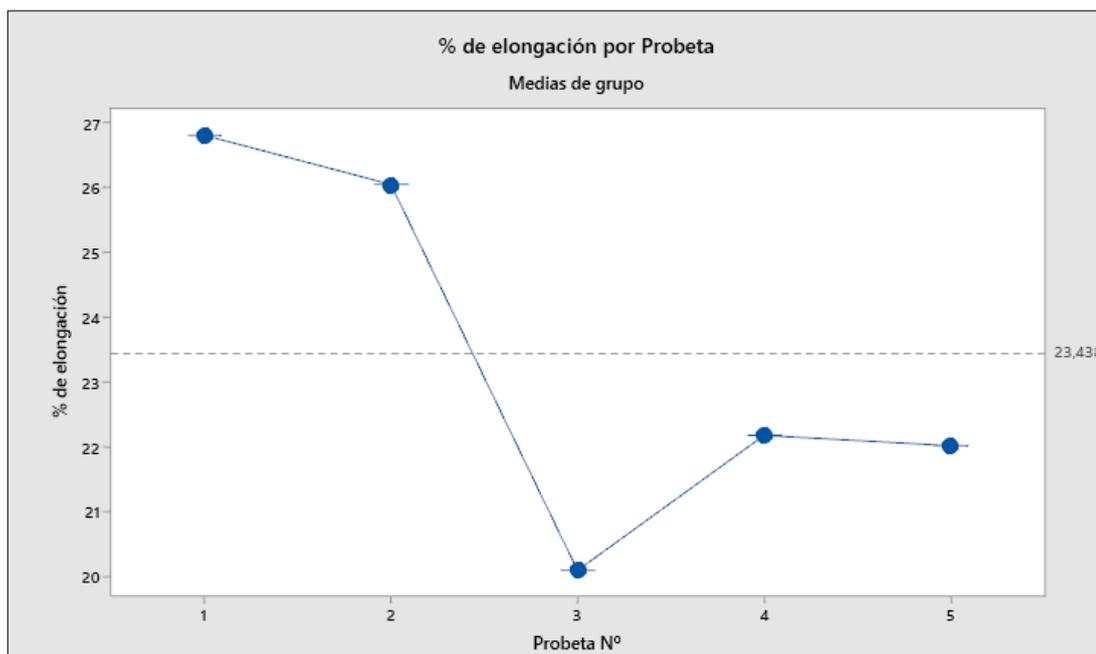


Ilustración 4-7: Porcentaje de elongación por probeta (tracción) y valor medio.

Realizado por: Ango S. 2023

El coeficiente de variación de 12.24% nos indica que los valores de porcentaje de deformación no tienen una excesiva variabilidad entre sí y el valor medio de elongación.

4.2.3.3 Módulo de elasticidad a tracción.

Es un indicador de la capacidad que presenta un material para soportar cambios en su longitud cuando se encuentra sometido a esfuerzos de tracción o compresión de manera longitudinal. Mediante este valor se puede evaluar la elasticidad de ciertos materiales sólidos rígidos; es igual a la relación entre la carga longitudinal y la deformación unitaria del mismo.

Tabla 4-9: Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad a tracción.

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mediana	Rango
Módulo de elasticidad (MPa)	401,8	36,7	1349,6	9,14	398,8	95,2

Realizado por: Ango S. 2023.

El promedio de módulo de elasticidad a tracción es de 401.8 MPa, con un coeficiente de variabilidad de 9.14% podemos deducir que los módulos de elasticidad de las diferentes probetas poseen una baja variabilidad en comparación con el valor de la media.

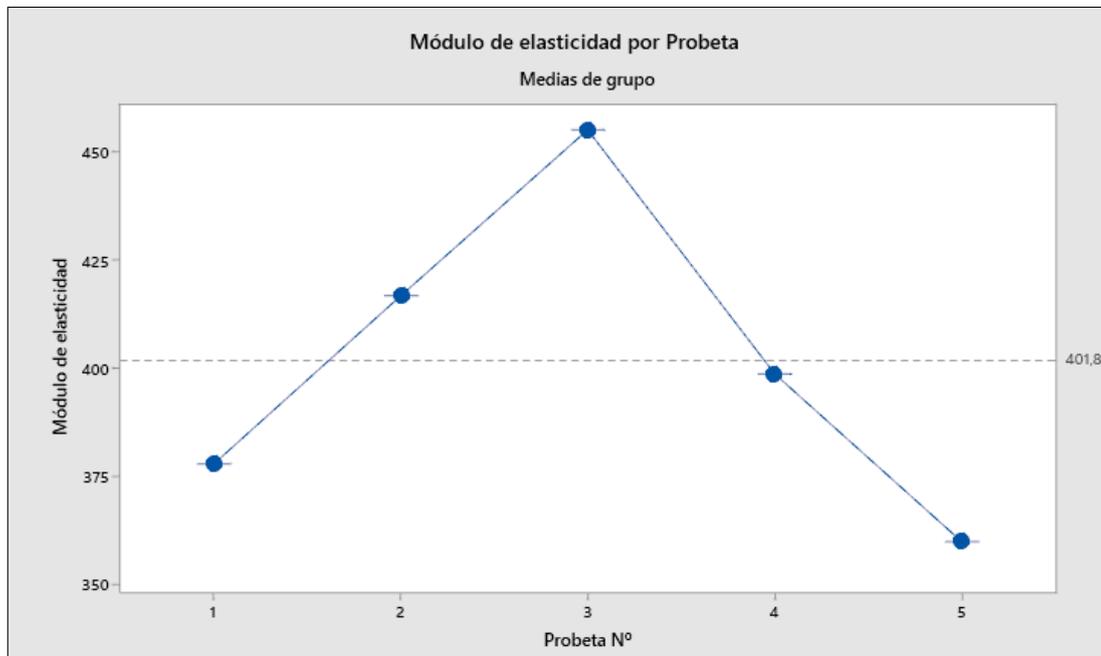


Ilustración 4-8: Módulo de elasticidad a tracción por probeta y valor medio

Realizado por: Ango S. 2023

4.2.3.4 Esfuerzo máximo de flexión.

El esfuerzo máximo de flexión representa la tensión máxima que puede soportar un objeto y el comportamiento de su material de fabricación; mediante una fuerza aplicada en la superficie de la probeta, en sentido perpendicular a la dirección longitudinal de la misma podemos determinar la resistencia a la flexión que presenta el material.

Tabla 4-10: Valores estadísticos descriptivos del esfuerzo máximo de flexión.

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mediana	Rango
Esfuerzo máximo de flexión. (MPa)	134,24	6,58	43,33	4,90	133,16	13,92

Realizado por: Ango S. 2023.

El material compuesto de las probetas presenta un esfuerzo máximo de flexión en promedio de 134.24 MPa.

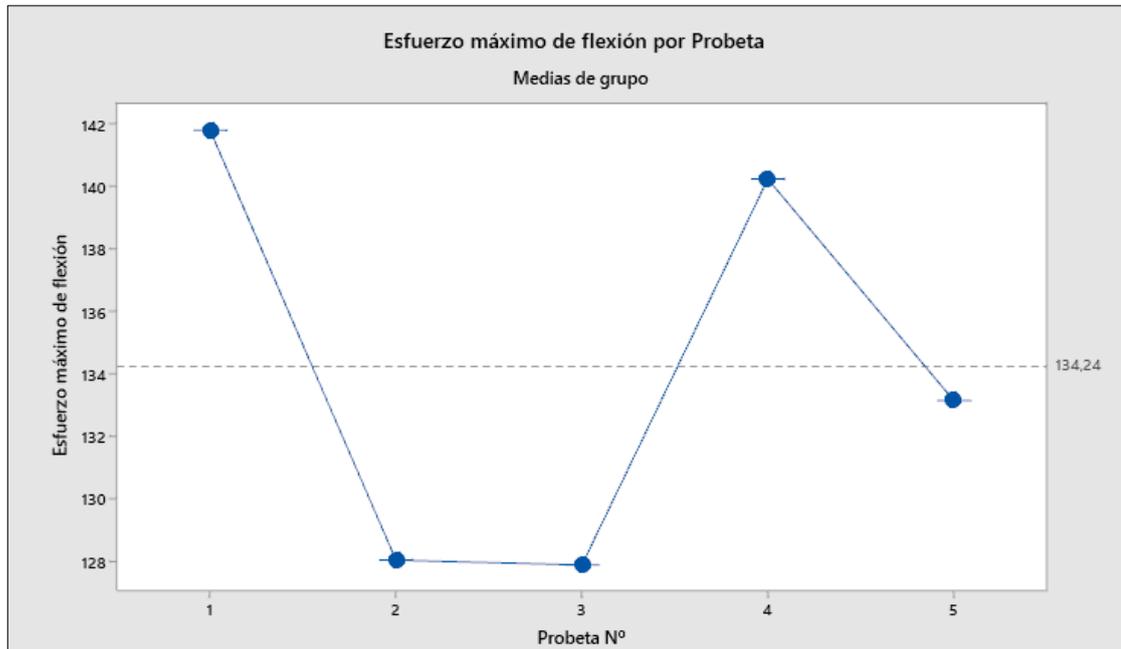


Ilustración 4-9: Esfuerzo máximo de flexión por probeta y valor medio.

Realizado por: Ango S. 2023

Con un coeficiente de variación de 4.9% podemos deducir que los valores de esfuerzo máximo de flexión de las cada una de las probetas se poseen una variabilidad muy baja con respecto a su valor medio.

4.2.3.5 Porcentaje de elongación a la flexión.

Es la relación entre la deformación provocada por el esfuerzo máximo de tracción y la posición inicial de la probeta, medida en porcentaje. Este valor es significativo debido a que mientras menor sea la deformación mayor será el módulo de elasticidad del material.

Tabla 4-11: Valores estadísticos descriptivos del porcentaje de elongación (a flexión).

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mediana	Rango
Porcentaje de Elongación	5,441	0,557	0,310	10,24	5,557	1,408

Realizado por: Ango S. 2023.

El promedio de porcentaje de elongación de las probetas es de 5.441%, esto quiere decir que el material puede deformarse alrededor de un 5% cuando una carga de flexión se encuentra aplicada sin presentar una deformación permanente o fractura.

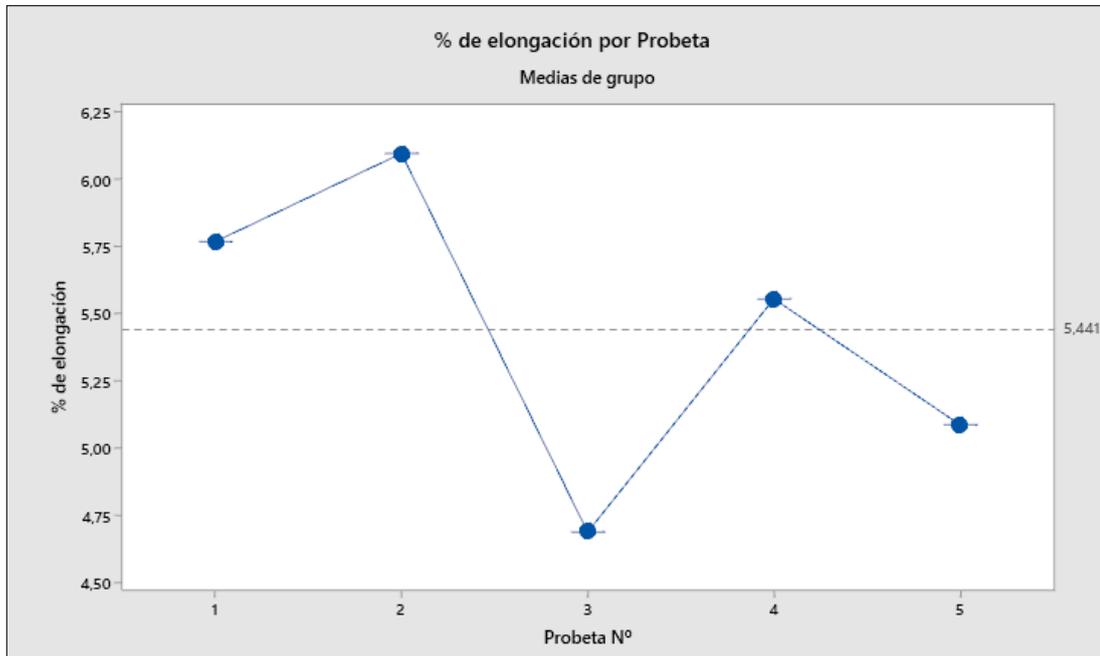


Ilustración 4-10: Porcentaje de elongación por probeta (flexión) y valor medio.

Realizado por: Ango S. 2023

El coeficiente de variación de 10.24% nos indica que los valores de porcentaje de deformación no tienen una excesiva variabilidad entre sí y el valor medio de elongación.

4.2.3.6 Módulo de elasticidad a flexión.

Es un indicador de la capacidad que presenta un material para soportar cambios en su longitud cuando se encuentra sometido a esfuerzos de flexión de manera perpendicular a su eje longitudinal.

Tabla 4-12: Valores estadísticos descriptivos del módulo de elasticidad a flexión.

Variable	Media	Desv.Est.	Varianza	CoefVar	Mediana	Rango
Módulo de elasticidad a flexión. (MPa)	8055	514	264477	6,38	8201	1248

Realizado por: Ango S. 2023.

El promedio de módulo de elasticidad a tracción es de 8055 MPa, con un coeficiente de variabilidad de 6.38% podemos deducir que los módulos de elasticidad a la flexión de las diferentes probetas poseen una baja variabilidad en comparación con el valor de la media.

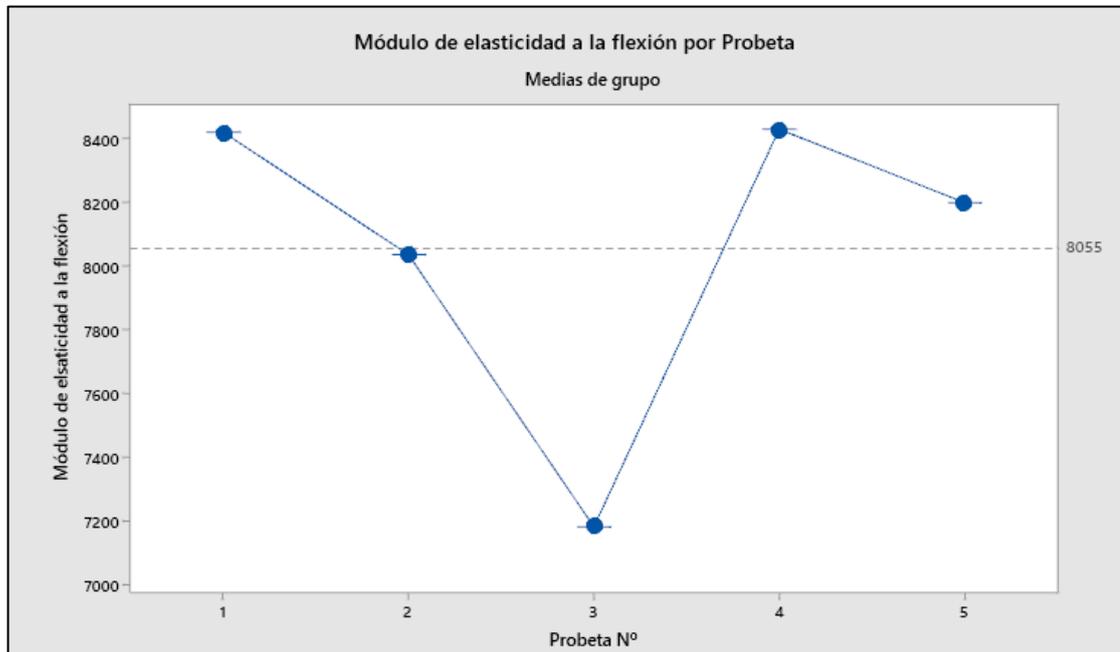


Ilustración 4-11: Módulo de elasticidad a flexión por probeta y valor medio.

Realizado por: Ango S. 2023

Si comparamos ambos módulos de elasticidad podemos comprobar que existe una diferencia marcada en favor del módulo evaluado a flexión, esto se debe a que el material compuesto formado de matriz de resina epóxica reforzado con fibras de carbono es un material anisotrópico, esto quiere decir que las cualidades del material no se mantienen constantes en todas las direcciones y en todos sus ejes. Como resultado, el material no se comportará de la misma manera frente a cargas aplicadas en las direcciones paralela o perpendicular a su eje longitudinal.

Dependiendo del sentido de las cargas a las que se encuentre sometido el material, podríamos esperar que las piezas se comporten de maneras distintas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se recopilaron datos sobre el reglamento de la norma CIK-FIA, que, en conjunto con las normas NTE INEN 2043 y NTE INEN 2047, destinadas a los ensayos destructivos del material compuesto usado, esta información ayudó a desarrollar un diseño ideal y eficiente de pontones para un vehículo prototipo de karting, de esta manera se cumplen los requisitos aerodinámicos y las condiciones de reglamento.

De acuerdo con las normas NTE INEN, se construyeron probetas y se realizaron ensayos de tracción y flexión para demostrar que la fibra de carbono proporciona una resistencia específica elevada, siendo mucho más liviana y resistente que muchos otros materiales convencionales. La resistencia a la tracción, la flexión y la dureza elevados son atribuibles a su estructura compuesta.

Tres diseños se crearon en el programa SolidWorks y luego se simularon en el software ANSYS CFX con los mismos parámetros y condiciones. Estas simulaciones produjeron varios valores que caracterizan las propiedades aerodinámicas de los diseños. Después de comparar cuidadosamente estos valores, se decidió que el tercer diseño era la mejor opción. Los resultados de las simulaciones mostraron un buen rendimiento del diseño en cuestión, con un coeficiente de sustentación de -0.35 y un coeficiente de arrastre de 0.597.

Los pontones frontales y laterales de fibra de carbono con resina epoxi se construyeron para formar parte del conjunto aerodinámico del vehículo karting. Los materiales utilizados para fabricar este tipo de vehículos mejoran la relación volumen-peso, reducen el coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación y mejoran atributos como la resistencia al impacto y exhiben mayores valores de esfuerzo en flexión y tracción en comparación con otros materiales de fabricación.

Como producto del análisis estadístico descriptivo se logró caracterización de las propiedades del material de construcción, los valores obtenidos de las propiedades físicas y mecánicas del mismo nos muestra que es material suficientemente resistente y que su desempeño estructural lo ubica

como un buen reemplazante para otros materiales comunes como plásticos o inclusive la fibra de vidrio.

5.2 Recomendaciones

Es fundamental construir una base de conocimientos sólida a través de la documentación completa de los requisitos de la normativa CFK-FIA. Esto asegura que la fabricación del carenado cumple con la normativa y evita cualquier posibilidad de descalificación.

Debido al elevado coste tanto de los materiales como del proceso de fabricación es recomendable obtener el auspicio externo de alguna entidad relacionada a la fabricación de piezas de prototipos karting.

Es altamente recomendable adquirir conocimientos y habilidades especiales en el manejo de fibra de carbono y resina epoxi. Esto asegurará un proceso de fabricación preciso y minimizará los errores, especialmente al mezclar la resina. Este enfoque ayudará a evitar el endurecimiento prematuro o la falta de compactación de la resina.

Se recomienda el uso de equipo de protección personal adecuado, incluidos guantes, máscaras y delantales, debido a la alta toxicidad asociada con el proceso de manufactura.

BIBLIOGRAFÍA

ANSYS, Inc. 2010. *ANSYS Meshing User's Guide*. Washington : SAS IP, 2010.

ARCOS ANDRADE, Erick Miguel, 2016. " *Rediseño de la Carrocería y Chasis de un Go-Kart Híbrido.*" Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.

ARTÉS, David G., 2020. DIARIOMOTOR. *Aerodinámica del automóvil: principios básicos (vídeo)*. 11 abril 2020.

BERNARDI, Max, 2019. TKART Magazine. *LA EVOLUCIÓN DE LOS JUEGOS DE CARENADOS PARA KART.*

BESEDNJAK DIETRICH, Alejandro, 2009. *Materiales compuestos Procesos de fabricación de embarcaciones*. 1. Barcelona-España

BOSCH GMBH, Robert, 2002. *Bosch Automotive Handbook*. Wiley, 2014, ISBN 1119032946, 1544

CARRERA GALÁRRAGA, Jenny Fernanda, 2019. *MODELACIÓN NUMÉRICA DE LA UNIÓN DE DOS CONDUCCIONES A PRESIÓN DE DIFERENTE GEOMETRÍA, APLICANDO EL PROGRAMA ANSYS CFX*. Quito.

CASTILLO SALDARRIAGA, Carlos Rafael, 2014. *Obtención de un hidrolizado detoxificado a partir de biomasa lignocelulósica de Panicum maximum para su uso como sustrato en la fermentación alcohólica.*

ÇENGEL, YUNUS A. y CIMBALA, JOHN M., 2006. *MECÁNICA DE FLUIDOS*. 1. México D.F: The McGraw-Hill.

CIK-FIA. 2013. FIA. [En línea] 2013. <https://www.fia.com/news/cik-fia-categories>.

COVINI, Gianluca, 2023. Aerodinámica del kart. *TKART Magazine*. 6 de marzo 2023.

F., ISKANDAR, 2006. Estudio de la aerodinámica en los vehículos. *PROSPECTIVA* [en línea]. Vol. 4, pp. 66–70. Recuperado a partir de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251108011>

FALUGA. 2022. FalugaRacing. [En línea] 2022. <https://es.falugaracing.com/blog/categorias-del-karting-cik/>.

FIA. 2020. FIA Karting. [En línea] 2020. [Citado el: 29 de Abril de 2023.] <https://www.fiakarting.com/history>.

FIAKarting. 2023. FIAKarting. [En línea] marzo de 2023. https://www.fiakarting.com/sites/default/files/2023-03/6.0_RT2023.pdf.

FROMMING, LARS. 2019. *Basic Course in Race Car Technology*. Wolfsburg : Springer Vieweg, 2019.

GARCÍA MARTÍN; et al. 2010. *ESTUDIO DE LA CAPACIDAD AERODINÁMICA DE CARROCERÍAS DE VEHÍCULOS CATEGORÍA CM*. Pamplona: ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN.

GÓMEZ GONZÁLES, SAMUEL, 2017. *MALLADO Y SIMULACIÓN CFD DE AUTOMÓVIL*. Barcelona: Escola Técnica Superior de Ingeniería Industrial de Barcelona.

JIMÉNEZ ARRIBAS, BORJA, 2015. *ESTUDIO MECÁNICO Y AERODINÁMICO DEL COMPORTAMIENTO DEL ALERÓN TRASERO DE UN AUTOMÓVIL*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

KATZ, JOSEPH. 2016. *Automotive Aerodynamics*. San Diego : John Wiley & Sons, Ltd, 2016.

LIZARRAGA GANUZA; et al 2019. *Diseño de un kart y sus componentes*. Trabajo de fin de grado. Pamplona: Universidad Pública de Navarra.

NAVAL COMPOSITES, 2016. Conceptos de los Materiales Compuestos. *MATERIALES COMPUESTOS*. 2016.

ORDOÑEZ-VIÑÁN, MARCO A. et al., 2018. Modelización CFD para determinar el comportamiento del fluido en tuberías de PVC. *Dominio de las ciencias*. Vol. 4, número 1, p. 438.

RODRÍGUEZ, ALBERTO, 2014. AlbrodpulF1. *ANÁLISIS TÉCNICO – PRINCIPIO DE BERNOULLI – EFECTO VENTURI*. 27 octubre 2014.

STERN, CATALINA, 2016. *La Física en México*. México

VROOMKART. 2022. VroomkartSpain. [En línea] 2022.
<https://www.vroomkart.es/news/41445/la-cik-fia-concreta-el-concepto-del-okn-junior>.

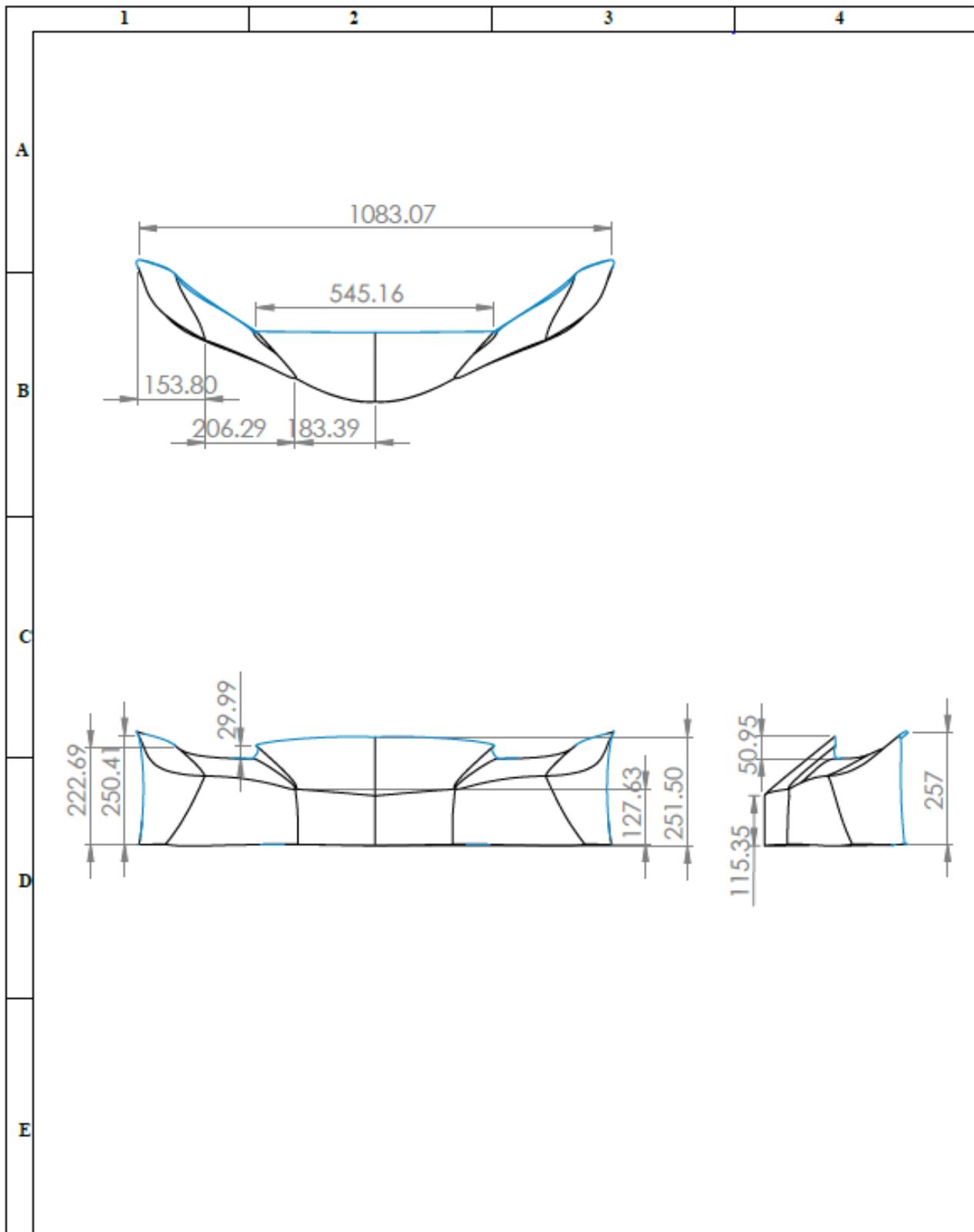
X-ENGINEER, 2016. How To Calculate Aerodynamic Drag Force. *How to calculate aerodynamic drag force*. 2016.

ZOLOTKOV, ANATOLY., 2017. translatorscafe.com. *La densidad, presión y temperatura del aire frente a la Altitud en la calculadora estándar de la atmósfera*. 1 febrero 2017.

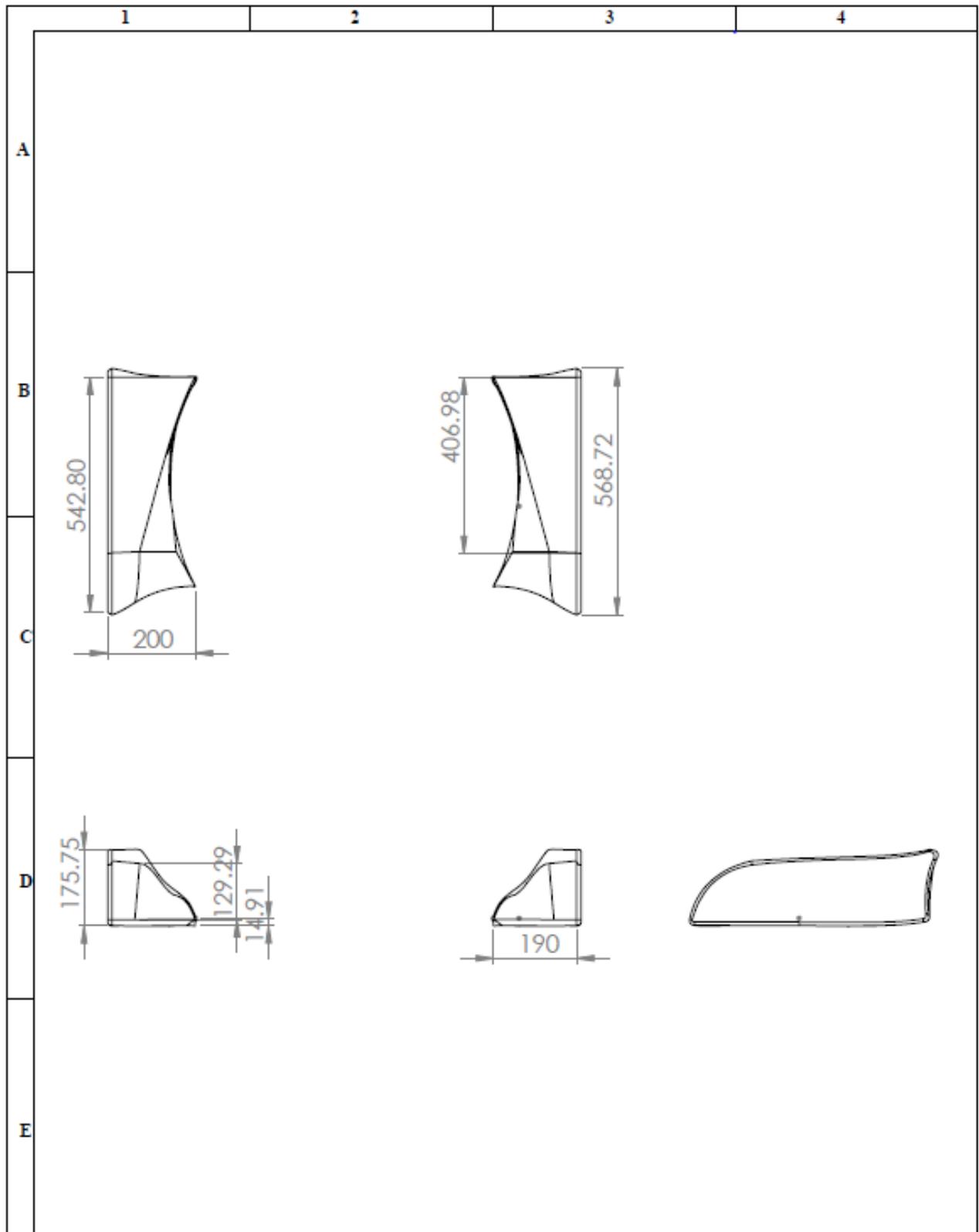


ANEXOS

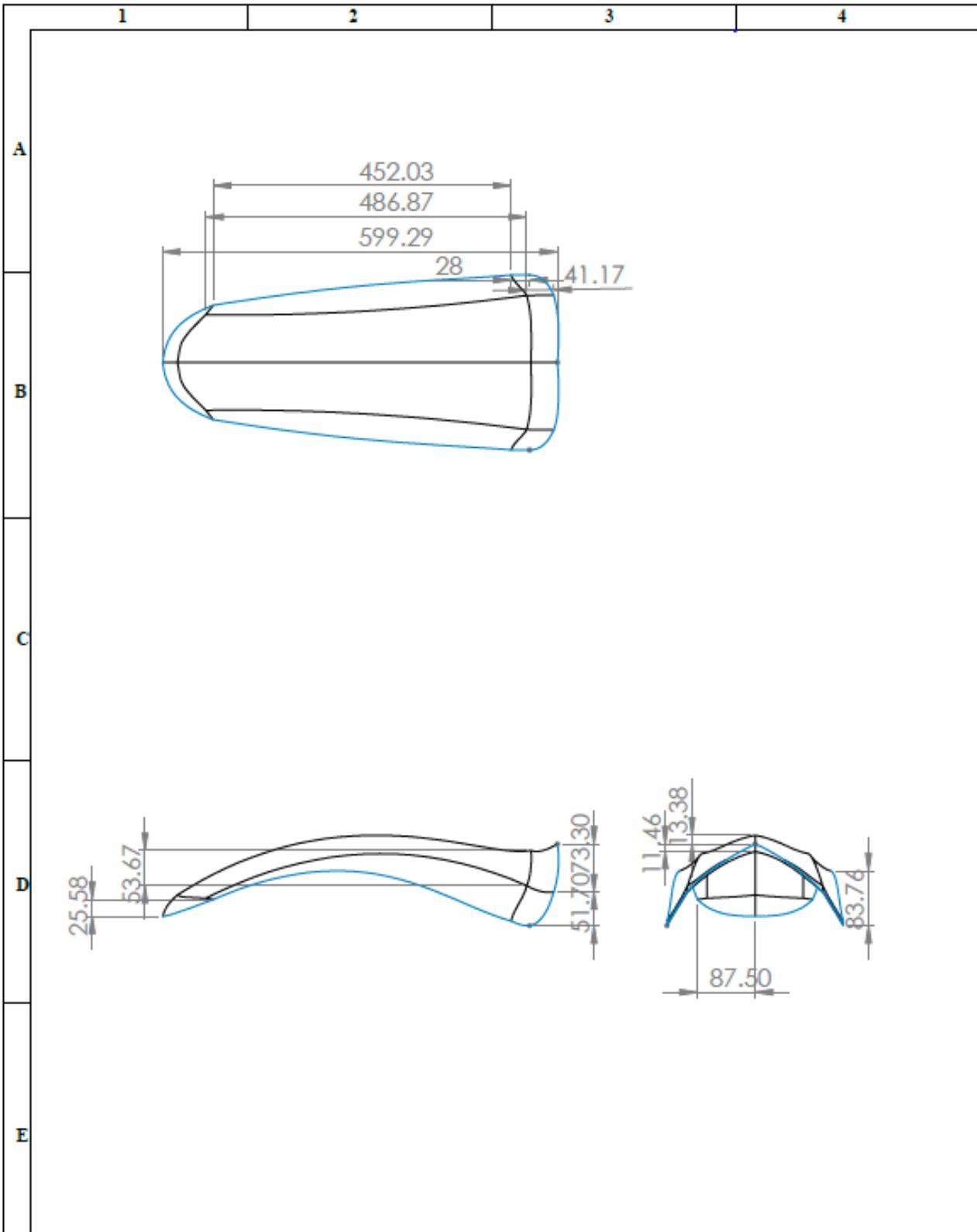
ANEXO A: PLANOS DISEÑO 1



N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: elias.calderon@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979859762			Denominación: Frontal Diseño 1	Peso	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma		Fecha		1:12	
Proyectó	Elías			04/05/23			
	Calderón		04/05/23	Materiales: Resina epóxica con refuerzo de fibra de carbono			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY
Revisó	Ing. Padilla						
Aprobó							

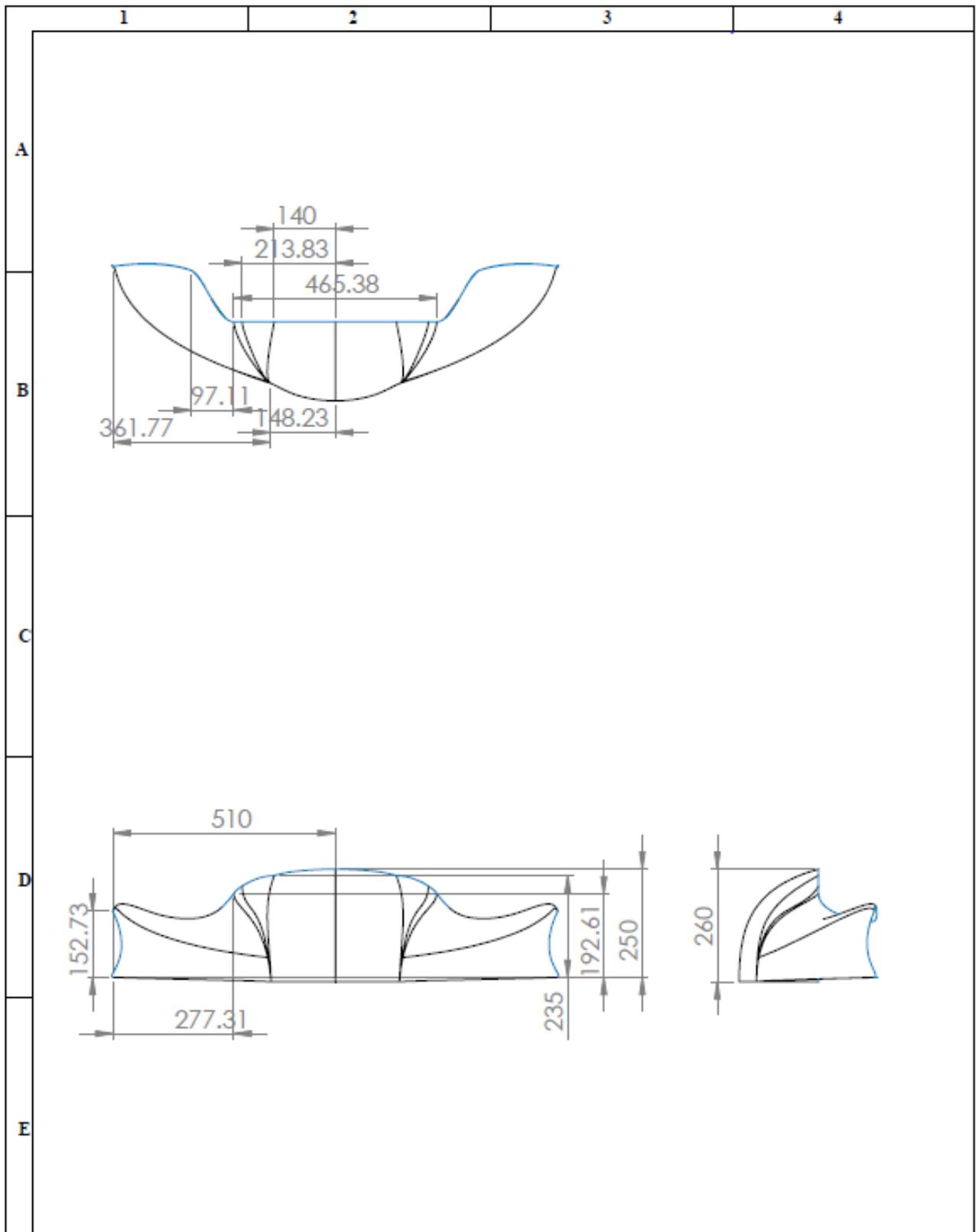


N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: elias.calderon@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979859762			Denominación: Laterales Diseño 1	Peso	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma		Fecha		1.12	
Proyectó	Elias			03/05/23			
	Calderón		03/05/23	Materiales: Resina epóxica con refuerzo de fibra de carbono			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY
Revisó	Ing. Padilla			Nombre del archivo: Laterales1			
Aprobó							

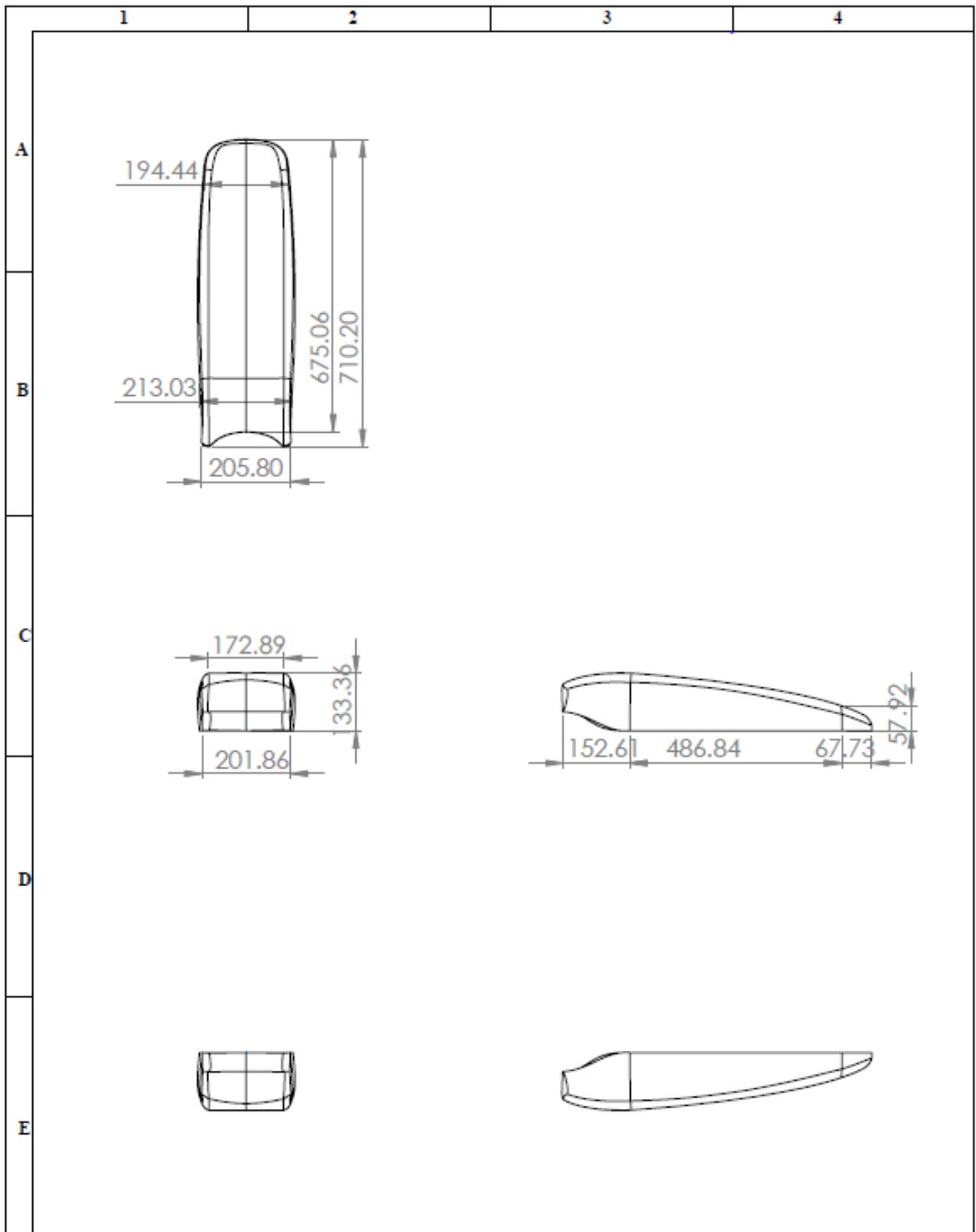


N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: elias.calderon@epoch.edu.ec Teléfono: 0979859762			Denominación: Panel frontal 1				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY</small>			
Proyectó	Elías		05/05/23				
	Calderón		04/05/23				
Revisó	Ing. Padilla			Materiales: Resina epóxica con refuerzo de fibra de carbono			
Aprobó				Nombre del archivo: Panell			

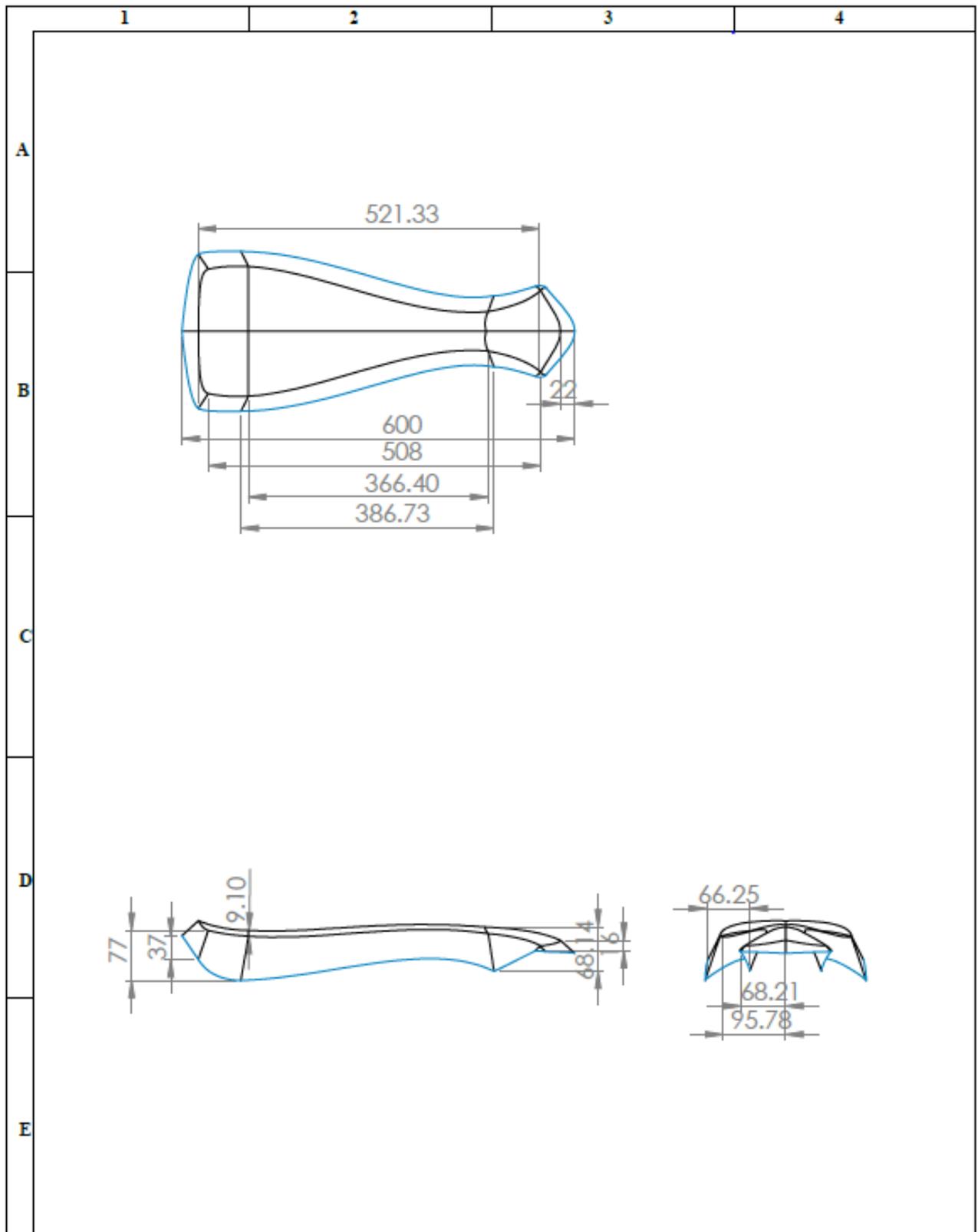
ANEXO B: PLANOS DISEÑO 2



N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: elias.calderon@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979859762			Denominación: Frontal Diseño2				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY</small>			
Proyectó	Eliás		04/05/23				
	Calderón		04/05/23				
Revisó	Ing. Padilla			Materiales: Resina epóxica con refuerzo de fibra de carbono			
Aprobó				Nombre del archivo: Frontal2			

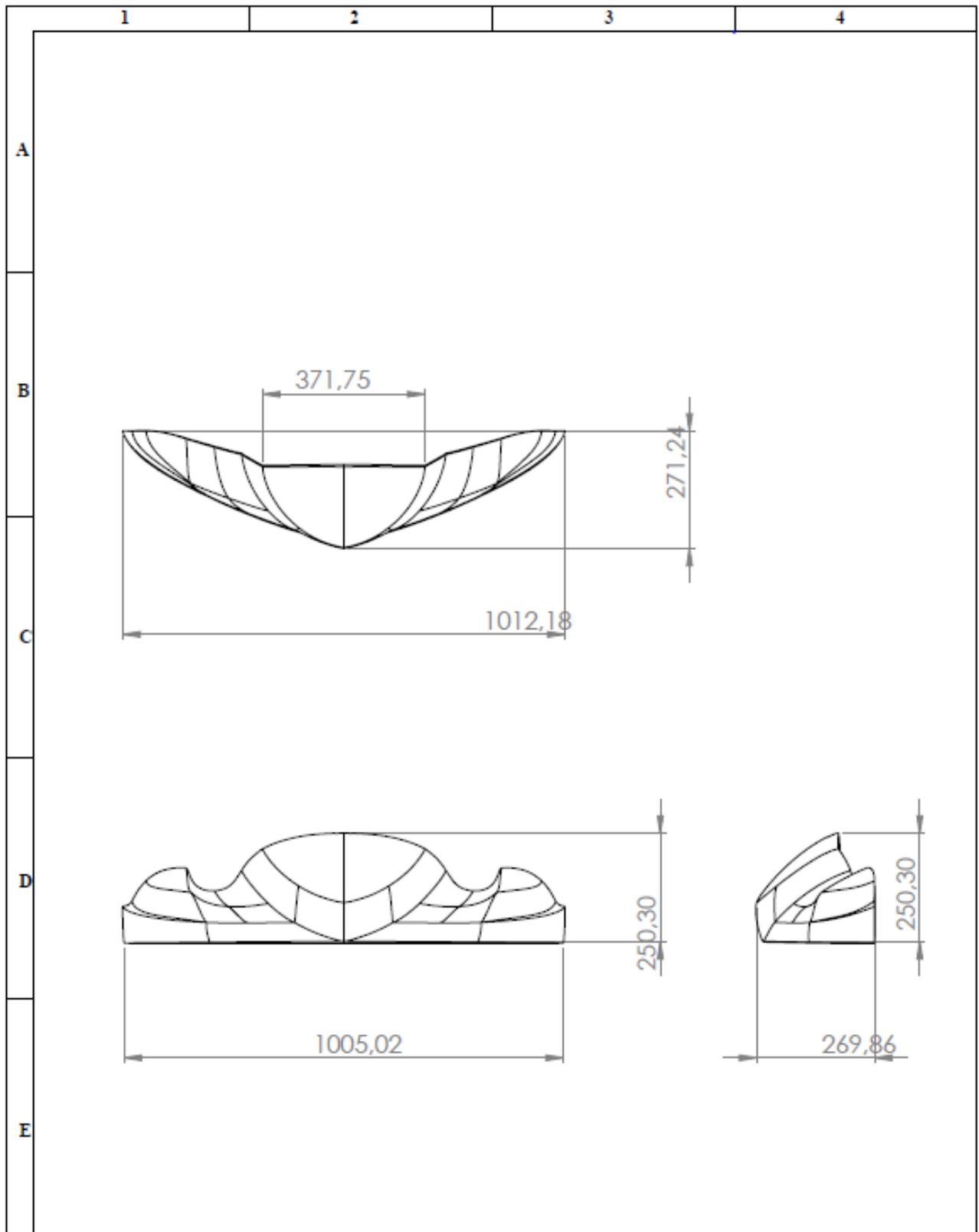


N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: elias.calderon@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979859762			Denominación: Laterales Diseño 2	Peso	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma		Fecha			1:12
Proyectó	Elias		03/05/23	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY			
	Calderón		03/05/23				
Revisó	Ing. Padilla						
Aprobó				Nombre del archivo: Laterales2			

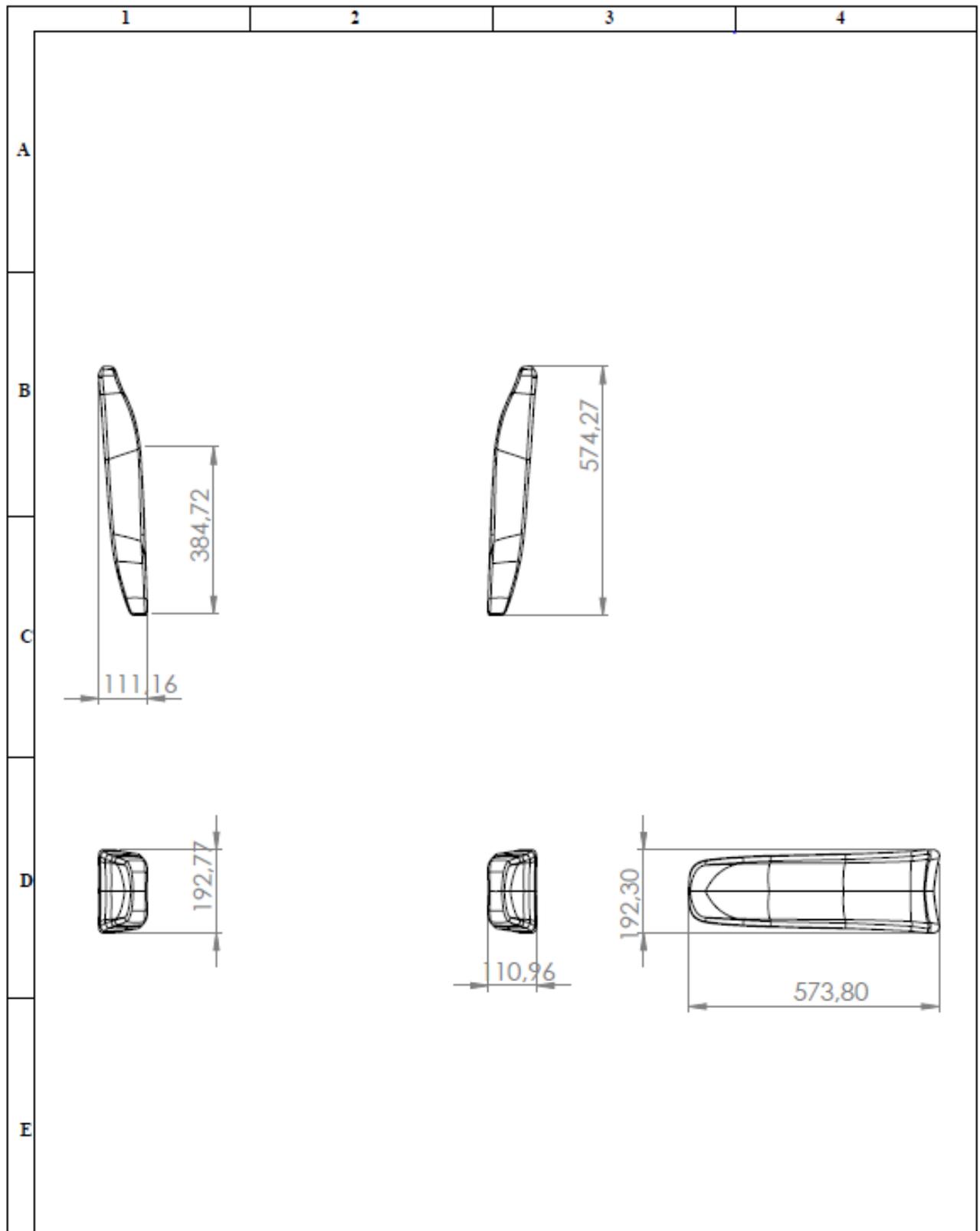


N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: elias.calderon@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0979859762			Denominación: Panel frontal 2	Peso	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma				1:8	
Proyectó	Elías			05/05/23			
	Calderón		04/05/23				
Revisó	Ing. Padilla			Materiales: Resina epóxica con refuerzo de fibra de carbono			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY
Aprobó				Nombre del archivo: Panel2			

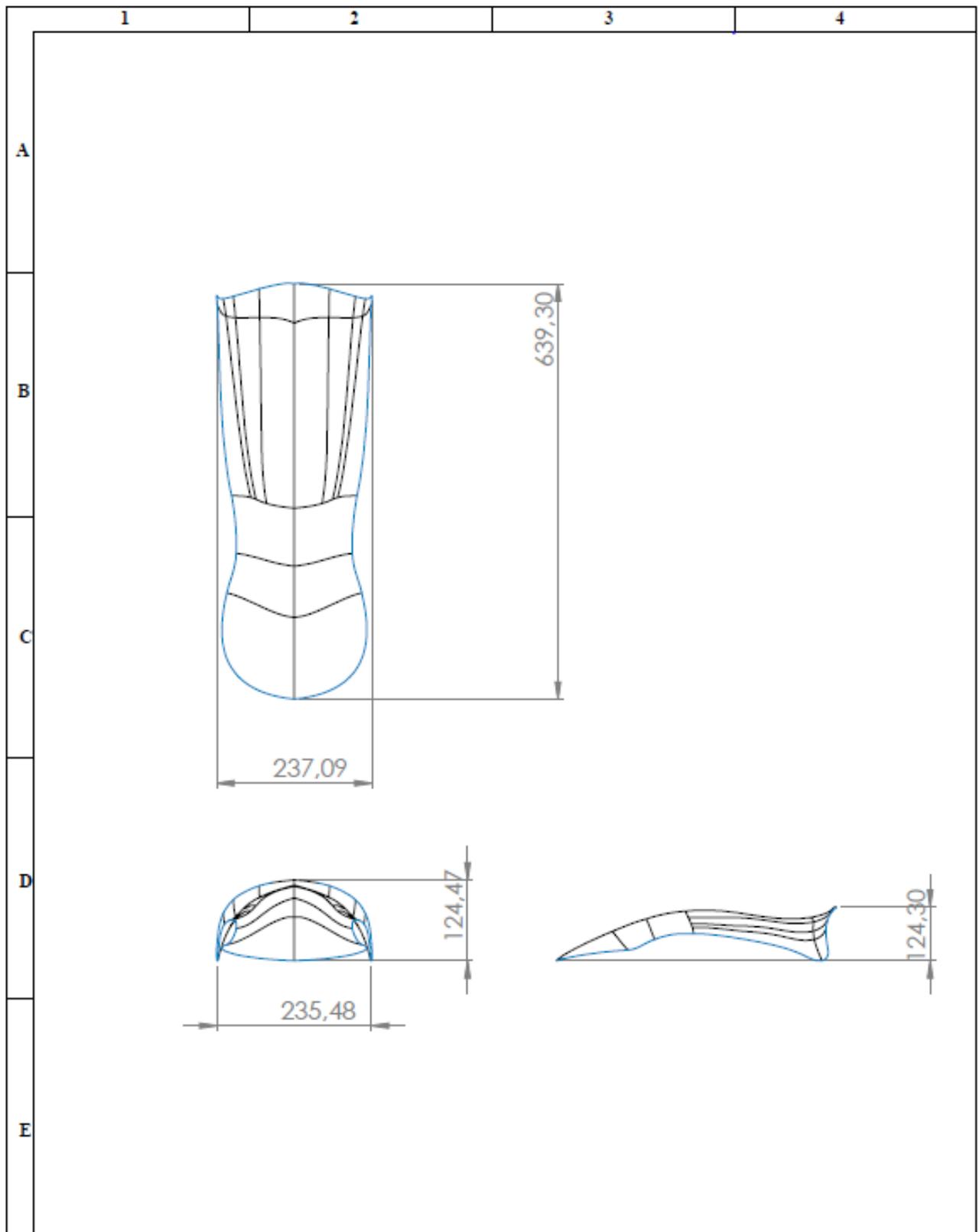
ANEXO C: PLANOS DISEÑO 3



N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: steven.ango@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0992993745			Denominación:				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Bumper frontal diseño 3			
Proyectó	Steven		03/05/23				
	Ango		03/05/23	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY			
Revisó	Ing. Padilla						
Aprobó				Nombre del archivo: Bumper 3			



Nº. Lamina 01	Nº. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: steven.ango@esPOCH.edu.ec Teléfono: 0992993745			Denominación: Laterales Diseño 3				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY</small>			
Proyectó	Steven		03/05/23				
	Ango		03/05/23				
Revisó	Ing. Padilla			Materiales: Resina epóxica con refuerzo de fibra de carbono			
Aprobó				Nombre del archivo: Laterales3			



N°. Lamina 01	N°. Hojas 01	Sustitución	Codificación FM-EIA-05-2023	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERIA AUTOMOTRIZ			
Email: steven.ango@esPOCH.edu.ec Teléfono: 09992993745			Denominación:				
Datos	Nombre	Firma	Fecha	Panel portanúmero diseño 3			
Proyectó	Steven		03/05/23				
	Ango		03/05/23	ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELECTUAL EXCLUSIVA DE ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADO POR LA LEY			
Revisó	Ing. Padilla						
Aprobó				Nombre del archivo: Panel 3			

ANEXO D: FICHA TÉCNICA RESINA EPÓXICA PARA LAMINACIÓN



RESINA EPÓXICA PARA LAMINACIÓN

REF 10125

DESCRIPCION Resina Epoxica de altas prestaciones para laminacion de materiales compuestos polimericos reforzados con fibras, ideal para trabajar con Fibras de Carbono, Aramida (Kevlar) o Vidrio, de viscosidad media y libre de solventes.

CARACTERISTICAS

- Ideal para laminacion de materiales compuestos de altas prestaciones, especialmente con Fibras de Carbono, Aramida (Kevlar) o Vidrio.
- Excelente impregnacion (humectacion) en fibras.
- Facil de aplicar con brocha, espátula o por colada.
- Cubre muy bien los bordes agudos.
- Viscosidad media que la hace muy manejable.
- Se puede trabajar con cargas como sistema de colada o relleno.
- Cura a temperatura ambiente.
- Minima contraccion termica en el curado.
- Muy buena estabilidad dimensional.
- Excelentes propiedades mecanicas.

CONDICIONES

DE MEZCLA

CONDICION

VALOR

Apariencia: Líquido transparente leve ámbar

Relación de mezcla por peso: 100 de A : 20 de B

Densidad a 20°C: 1,07 +/-0,002 gr/cm³

Viscosidad (25°C): 1.300-1.500mPas

Tiempo de uso (para 100 gr/mezcla): 35 - 40 minutos a 25°C

Tiempo de desmolde: 20-24 horas

Tiempo mínimo de curado: 24-36 horas

Para mayor información, comuníquese con nosotros al teléfono: +57 302 378 53 80

Escribanos a los correos: carbonfiberstocks@gmail.com

Visite nuestra página: www.carbonfiberstocks.co

**PROPIEDADES
MECANICAS**

Propiedades después del endurecimiento

Curado: 7 días/temperatura ambiente o 12 horas/40°C

La Mezcla A comprende un laminado constituido por 7 capas de cinta de vidrio QT 57, de 3 mm de espesor.

Densidad		g/cm ³	1,1	1,5-1,6	1,1
Dureza Shore D	ISO 858		—	—	65-70
Resistencia a la compresión	ISO 604	N/mm ²	—	55	
Resistencia a la flexión	ISO 178	N/mm ²	270-300	40	25-30
Módulo de elasticidad a la flexión	ISO 178	N/mm ²	17000-18000	6500-7500	400-500
Resistencia al impacto	ISO 179	kJ/m ²	90-100	2,5	50-65
Contracción lineal (Probetas: 900 x 75 x 4 mm)		%	0,1-0,3	—	0,3-0,5
Contenido de vidrio	ISO DR 1633	%	58-60	—	—
Absorción de agua 10 días/23°C		%	0,49	0,45	—
1 hora/100°C		%	0,42	0,63	—
Temperatura de deflexión	ISO 75	°C	45-55*)	45-55	—

*) Determinada mediante ensayos de material sin refuerzo

**EMPAQUE Y
PRESENTACION**

El sistema epoxico para laminacion de altas prestaciones es un producto conformado por componentes A y B en proporcion 100:20 y se encuentra disponible de la siguiente manera:

PRESENTACION	COMPONENTE A	COMPONENTE B
1,2 kg mezcla	1 kg	200 gr
2,4 kg mezcla	2 kg	400 gr
6,0 kg mezcla	5 kg	1 kg
24 kg mezcla	20 kg	4 kg

Para mayor información, comuníquese con nosotros al teléfono: +57 302 378 53 80

Escribanos a los correos: carbonfiberstocks@gmail.com

Visite nuestra página: www.carbonfiberstocks.co

SEGURIDAD

El endurecedor es un producto corrosivo y pueden causar irritaciones severas en la piel y en los ojos. No permita su contacto con los ojos, piel o la ropa. No inhale sus vapores.



Mantenga los recipientes de los productos bien cerrados cuando no lo estén usando o durante el transporte.

Si se presenta contacto con:



- **Ojos:** Lávese inmediatamente con agua por un tiempo no menor a 15 minutos.
- **Piel:** Lávese inmediatamente y en forma abundante con agua y jabón.
- **Inhalación:** Salga inmediatamente a un sitio donde haya aire fresco. Suministre oxígeno si hay dificultad para respirar.



- **Ingestión:** Si la persona está consciente, suministre abundante agua. **ACUDA INMEDIATAMENTE AL MÉDICO.**

RESPONSABILIDAD

Los datos contemplados en esta ficha técnica han sido realizados bajo condiciones estándar a nivel de laboratorio. Se pueden presentar algunos cambios debido a variaciones de humedad o temperatura al momento de la aplicación; por lo tanto, siempre se recomienda hacer ensayos previos y representativos para asegurar resultados exitosos en campo.

Es una política de Carbon Fiber Stocks, asegurar la calidad constante de sus productos, pero no se asume ninguna responsabilidad por los resultados no exitosos, debido al empleo inadecuado de los productos o a una inadecuada aplicación de los mismos.

Para mayor información, comuníquese con nosotros al teléfono: +57 302 378 53 80

Escribanos a los correos: carbonfiberstocks@gmail.com

Visite nuestra página: www.carbonfiberstocks.co

ANEXO E: FICHA TÉCNICA DE FIBRA DE CARBONO 2X2 TWILL, BIAxIAL, +45°/-45°, 3K, 193 GSM



HexTow[®] AS4C

Carbon Fiber



Product Data Sheet

HexTow[®] AS4C carbon fiber is a continuous, high strength, high strain, PAN based fiber available in 1,000 (1K), 3,000 (3K), 6,000 (6K) and 12,000 (12K) filament count tows. This fiber has been surface treated and can be sized to improve its interlaminar shear properties, handling characteristics, and structural properties, and is suggested for use in weaving, prepregging, filament winding, braiding, and pultrusion.

Typical Fiber Properties	U.S. Units	SI Units
Tensile Strength		
1K	660 ksi	4550 MPa
3K	685 ksi	4723 MPa
6K	660 ksi	4550 MPa
12K	675 ksi	4654 MPa
Tensile Modulus (Chord 6000-1000)	33.5 Msi	231 GPa
Ultimate Elongation at Failure		
1K	1.8%	1.8%
3K	1.8%	1.8%
6K	1.8%	1.8%
12K	1.8%	1.8%
Density	0.0643 lb/in ³	1.78 g/cm ³
Weight/Length		
1K	5.6 x 10 ⁻⁶ lb/in	0.067 g/m
3K	11.2 x 10 ⁻⁶ lb/in	0.200 g/m
6K	22.4 x 10 ⁻⁶ lb/in	0.400 g/m
12K	44.8 x 10 ⁻⁶ lb/in	0.800 g/m
Approximate Yield		
1K	22,209 ft/lb	10.00 m/g
3K	7,441 ft/lb	5.00 m/g
6K	3,721 ft/lb	2.50 m/g
12K	1,861 ft/lb	1.25 m/g
Tow Cross-Sectional Area		
1K	.87 x 10 ⁻⁴ in ²	0.06 mm ²
3K	1.74 x 10 ⁻⁴ in ²	0.11 mm ²
6K	3.48 x 10 ⁻⁴ in ²	0.22 mm ²
12K	6.97 x 10 ⁻⁴ in ²	0.45 mm ²
Filament Diameter	0.272 mil	6.9 microns
Carbon Content	94.0%	94.0%
Twist	Never Twisted	Never Twisted

Typical HexPly 8552 Composite Properties (at Room Temperature)	U.S. Units	SI Units	Test Method
0° Tensile Strength	340 ksi	2344 MPa	ASTM D3039
0° Tensile Modulus	19.5 Msi	134 GPa	
0° Tensile Strain	1.6%	1.6%	
0° Short Beam Shear Strength	18.1 ksi	125 MPa	ASTM D2344
0° Compressive Strength	256 ksi	1765 MPa	ASTM Mod. D695
Open Hole Tensile Strength	50.6 ksi	349 MPa	ASTM D5766
Open Hole Compressive Strength	48 ksi	330 MPa	ASTM D6484
Fiber Volume	60%	60%	



Carbon Fiber Certification

This carbon fiber is manufactured to Hexcel aerospace grade specification HS-CP-4000. A copy of this specification is available upon request. A Certification of Analysis will be provided with each shipment of HS-CP-4000 fiber.

Available Sizing

Sizing compatible with various resin systems, based on application are available to improve handling characteristics and structural properties. Please see additional information on available sizes on our website or contact our technical team for additional information.

Packaging

Standard packaging of HexTow[®] AS4C is as follows:

Filament Count	Sizing	Nominal Weight		Nominal Length	
		(lb)	(kg)	(ft)	(m)
1K	GP	1.3	0.6	29,760	9,070
3K	GP	4.0	1.8	29,760	9,070
6K	GP	4.0	1.8	14,880	4,540
12K	Unsize, GP	8.0	3.6	14,880	4,540

Other package sizes may be available on request. The fiber is wound on a 3-inch ID by 11-inch long cardboard tube and overwrapped with plastic film.

Safety Information

Obtain, read, and understand the Safety Data Sheet (SDS) before use of this product.

For more information

Hexcel is a leading worldwide supplier of composite materials to aerospace and industrial markets.

Our comprehensive range includes:

- HexTow[®] carbon fibers
- HexMC[®] molding compounds
- Acousti-Cap[®] sound attenuating honeycomb
- HexForce[®] reinforcements
- HiFlow[®] RTM resins
- Engineered core
- HiMax[®] multiaxial reinforcements
- HexBond[®] adhesives
- Engineered products
- HexPly[®] prepregs
- HexTool[®] tooling materials
- Polyspeed[®] laminates
- HexAM[®] additive manufacturing
- HexWeb[®] honeycomb
- & pultruded profiles

For U.S. quotes, orders and product information call toll-free 1-800-688-7734. For other worldwide sales office telephone numbers and a full address list, please go to:

<http://www.hexcel.com/contact>

©2022 Hexcel Corporation – All rights reserved. Hexcel Corporation and its subsidiaries ("Hexcel") believe that the technical data and other information provided herein was materially accurate as of the date this document was issued. Hexcel reserves the right to update, revise or modify such technical data and information at any time. Any performance values provided are considered representative but do not and should not constitute a substitute for your own testing of the suitability of our products for your particular purpose. Hexcel makes no warranty or representation, express or implied, including but not limited to the implied warranties of merchantability and fitness for a particular purpose, and disclaims any liability arising out of or related to, the use of or reliance upon any of the technical data or information contained in this document.

**ANEXO F: DIBUJO TÉCNICO, CARROCERÍA PARA CIRCUITOS CORTOS, GRUPOS
1 & 2, FIA 2023**

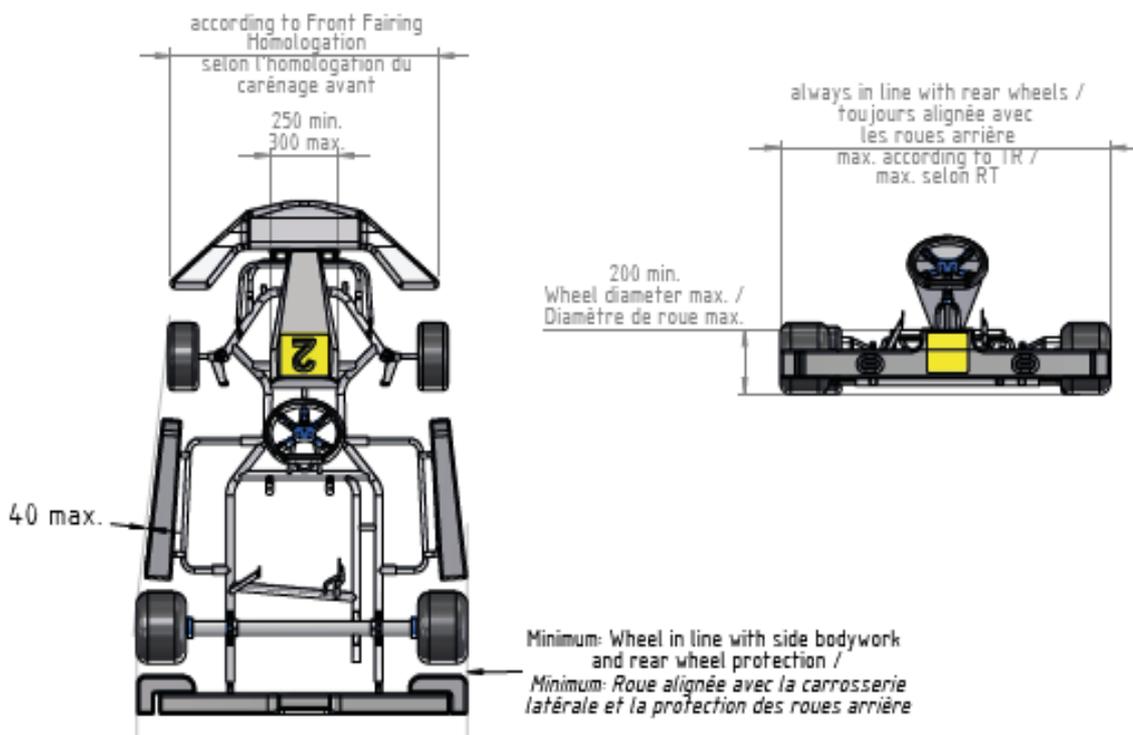
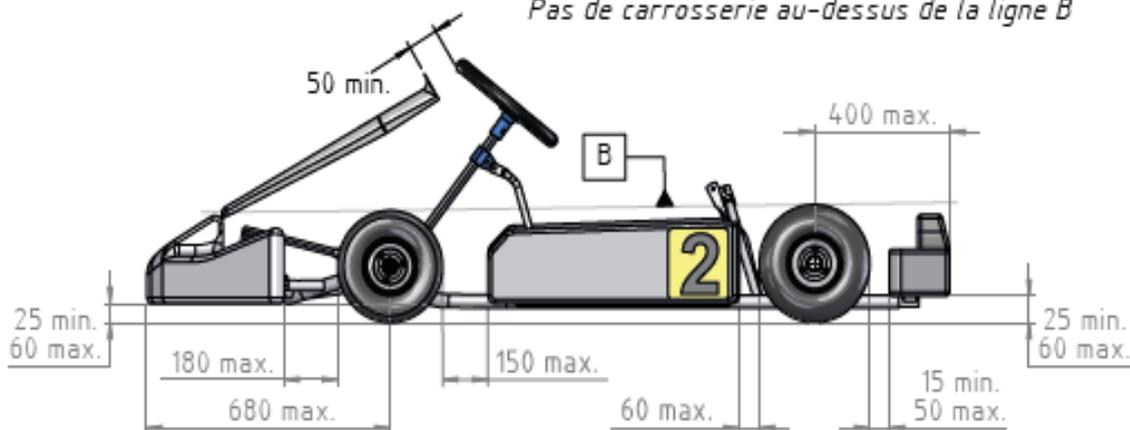
DESSIN TECHNIQUE N°2.1

TECHNICAL DRAWING No. 2.1

Carrosserie pour circuits courts - Groupes 1 & 2

Bodywork for short circuits - Groups 1 & 2

No bodywork above line B /
Pas de carrosserie au-dessus de la ligne B



Dry race /
Course par temps sec

Wet race /
Course par temps de pluie

Cotes en/Dimensions in mm

ANEXOS G: REGULACIONES TÉCNICAS Y HOMOLOGACIÓN, FIA 2023.

11.7 Carrosserie de Superkart

Aucun élément de la carrosserie, y compris les ailes et les plaques d'extrémité, ne doit:

- être à une hauteur supérieure à 60 cm du sol (à l'exception des structures conçues uniquement comme des appuie-têtes sans effet aérodynamique possible);
- dépasser le pare-chocs arrière;
- être plus proche du sol que le plancher;
- s'étendre latéralement au-delà de l'extérieur des roues arrière et avant (roues avant en position droite), sauf en cas de course par temps de pluie;
- avoir une largeur supérieure à 140 cm;
- avoir un espace de moins de 25 mm entre tout élément de la carrosserie et les pneus; ou
- être réglable depuis le siège du pilote en condition de course lorsque le kart est en mouvement.

La carrosserie, la bulle et l'aile doivent être fabriquées dans un matériau non métallique. En cas d'utilisation d'une carrosserie complète avec bulle, celle-ci doit être reliée à la carrosserie par un maximum de quatre attaches rapides et ne doit comporter aucun autre dispositif de fixation. Si la bulle est une structure séparée, sa largeur maximum doit être de 50 cm et la largeur maximum de son cadre de fixation de 25 cm. La bulle ne doit pas être située au-dessus du plan horizontal défini par le haut du volant ni à moins de 5 cm de tout élément de celui-ci.

Au bas, la bulle doit se terminer symétriquement à au moins 15 cm des pédales en position normale de repos et ne doit pas couvrir les pieds ou les chevilles.

Lorsque la bulle est retirée, aucun élément de la carrosserie ne doit recouvrir une partie quelconque du pilote assis dans la position normale vue de dessus.

L'avant du nez de la carrosserie ne doit pas présenter d'arêtes vives et posséder un rayon minimum de 20 mm.

Le carénage avant doit être tel que le pare-chocs avant puisse satisfaire aux exigences du présent article et ne pas être plus large que les roues avant en position face à la route.

Le plancher doit être de construction plate et avoir un bord de bourrelet incurvé. À partir de 23 cm en avant de l'arbre arrière, le plancher peut présenter un angle l'orientant vers le haut (extracteur).

Si ce dernier possède des ailettes latérales, celles-ci ne doivent pas dépasser le plan formé par la partie plate du plateau de sol. Ni le plancher, ni aucun autre élément de la carrosserie ne doit ressembler en aucune façon à une jupe.

Le plancher ne doit pas dépasser les pare-chocs avant ou arrière.

Sa largeur ne doit pas dépasser les dimensions de la carrosserie, y compris les ailes et les plaques d'extrémité. Les trous d'allègement ne sont pas autorisés dans le plancher.

11.7 Superkart bodywork

No part of the bodywork, including wings and end plates, must:

- be higher than 60 cm from the ground (except for structures solely designed as headrests with no possible aerodynamic effect);
- extend beyond the rear bumper;
- be nearer to the ground than to the floor tray;
- extend laterally beyond the outside of the rear and front wheels (front wheels in the straight ahead position), except in the event of a wet weather race;
- be wider than 140 cm;
- have a gap of less than 25 mm between any part of the bodywork and the tyres; or
- be adjustable from the driving seat in racing condition when the kart is in motion.

The bodywork, bubble-shield and wing must be made of a non-metallic material. In the event that a complete bodywork with bubble-shield is used, the bubble-shield must be connected to the bodywork by no more than four quick release clips and must have no other fixing device. Should the bubble-shield be a separate structure, its maximum width must be 50 cm and the maximum width of its fixing frame 25 cm. The bubble-shield must not be located above the horizontal plane defined by the top of the steering wheel or be less than 5 cm from any part of the steering wheel.

At the bottom, the bubble-shield must end symmetrically at least 15 cm from the pedals in the normal resting position and must not cover the feet or ankles.

When the bubble-shield is removed, no part of the bodywork must cover any part of the driver seated in the normal position seen from the above.

The front of the bodywork nose must have no sharp edges and possess a minimum radius of 20 mm.

The front fairing must be such that it is possible for the front bumper to comply with the requirements of this article and not be wider than the front wheels when in a forward-facing position.

The floor tray must be a flat construction and have a curved beading edge. From 23 cm ahead of the rear shaft, the floor tray may have an angle orienting it upwards (extractor). If the latter has side fins, they must not protrude beyond the plane formed by the flat part of the floor tray. Neither the floor tray nor any other element of the bodywork must in any way resemble a skirt.

The floor tray must not extend beyond the front or rear bumpers. Its width must not exceed the dimensions of the bodywork, including wings and end plates. Lightening holes are not allowed in the floor tray.

Article 22 : CARROSSERIES ET PARE-CHOC

Toute la carrosserie doit être en plastique et constituée d'un ou plusieurs supports. Les structures des carrosseries latérales (gauche et droite) et du carénage avant doivent être réalisées par injection-soufflage.

Carénage avant

(Groupes 1 et 2)

Le carénage avant doit comporter sur sa face avant une surface verticale (avec une tolérance de +/-10° mesurés au centre du carénage avant par rapport au plan vertical théorique) de 200 mm de long au minimum et de 70 mm de haut au minimum située immédiatement au-dessus de la garde au sol. Un angle est autorisé à l'intérieur de cette surface verticale (200 mm – 70 mm) dans les deux sens, mais aucun de ses points ne devrait avoir un rayon

(Groupe 3)

Le carénage avant doit comporter sur sa face avant une surface verticale (avec une tolérance de +/-10° mesurés au centre du carénage avant par rapport au plan vertical théorique) de 180 mm de long au minimum et de 50 mm de haut au minimum située immédiatement au-dessus de la garde au sol. Un angle est autorisé à l'intérieur de cette surface verticale (180 mm – 50 mm) dans les deux sens, mais aucun de ses points ne devrait avoir un rayon inférieur à 200 mm.

Carrosseries latérales

(Groupes 1 et 2)

Les carrosseries latérales doivent comporter sur leur face extérieure une surface verticale (avec une tolérance de +/- 5° par rapport à un plan vertical théorique) de 100 mm de haut au minimum et de 400 mm de long au minimum, située immédiatement au-dessus de la garde au sol.

(Groupe 3)

Les carrosseries latérales doivent comporter sur leur face extérieure une surface verticale (avec une tolérance de +/- 5° par rapport à un plan vertical théorique) de 100 mm de haut au minimum et de 300 mm de long au minimum, située immédiatement au-dessus de la garde au sol.

Toutes les carrosseries feront l'objet d'une homologation. Elles devront avoir été testées avec les pare-chocs (supports de carrosserie) décrits dans le règlement concerné.

Article 22: BODYWORK AND BUMPERS

All bodywork will be made of plastic and of one or more support elements. The structure of the side bodywork (left and right) and the front fairing must be produced by "plastic air-blow moulded".

Front Fairing

(Groups 1 and 2)

The front fairing must comprise on its front side a vertical surface (with a tolerance of +/- 10° measured in the centre of the front fairing in relation to the theoretical vertical plane) with a minimum length of 200 mm and minimum height of 70 mm located immediately above the ground clearance. Inside this vertical surface (200 mm – 70 mm) in both directions a corner is accepted but no point of the corner should have a radius smaller than 250 mm.

(Group 3)

The front fairing must comprise on its front side a vertical surface (with a tolerance of +/- 10° measured in the centre of the front fairing in relation to the theoretical vertical plane) with a minimum length of 180 mm and minimum height of 50 mm located immediately above the ground clearance. Inside this vertical surface (180 mm – 50 mm) in both directions a corner is accepted but no point of the corner should have a radius smaller than 200 mm.

Side Bodywork

(Groups 1 and 2)

The side bodywork must comprise on its outer side a vertical surface (with a tolerance of +/- 5° in relation to the theoretical vertical plane) with a minimum height of 100 mm and a minimum length of 400 mm located immediately above the ground clearance.

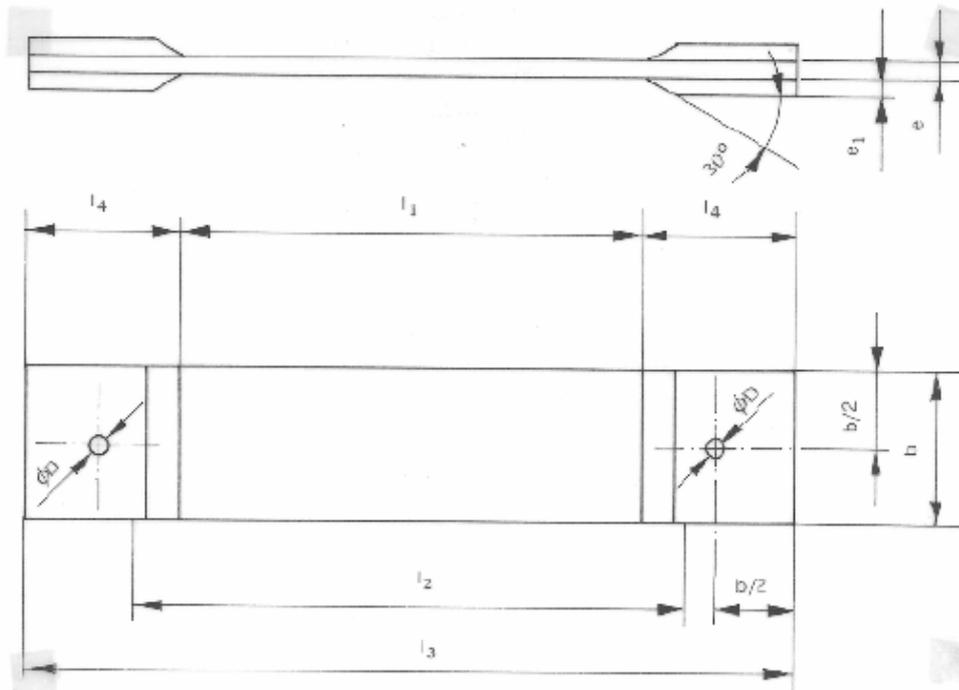
(Group 3)

The side bodywork must comprise on its outer side a vertical surface (with a tolerance of +/- 5° in relation to the theoretical vertical plane) with a minimum height of 100 mm and a minimum length of 300 mm located immediately above the ground clearance.

All bodywork shall be the subject of a homologation shall have been tested together with the bumpers (bodywork supports) described in the regulations concerned.

ANEXO H: NORMAS INEN PARA LA FABRICACIÓN DE PROBETAS Y ENSAYOS DE TRACCIÓN Y FLEXIÓN

FIGURA 4. Probeta Tipo D
(Dimensiones en mm)



l_3 = Longitud total mínima 250

l_1 = Distancia entre talones 150 ± 5

Anchura * $25 \pm 0,5$

ó $50 \pm 0,5$

e = Espesor: mínimo: = 2

máximo: = 10

l = Longitud mínima de los talones 50

l_2 = Distancia entre mordazas 170 ± 5

e_1 = Espesor de talón: mínimo = 3

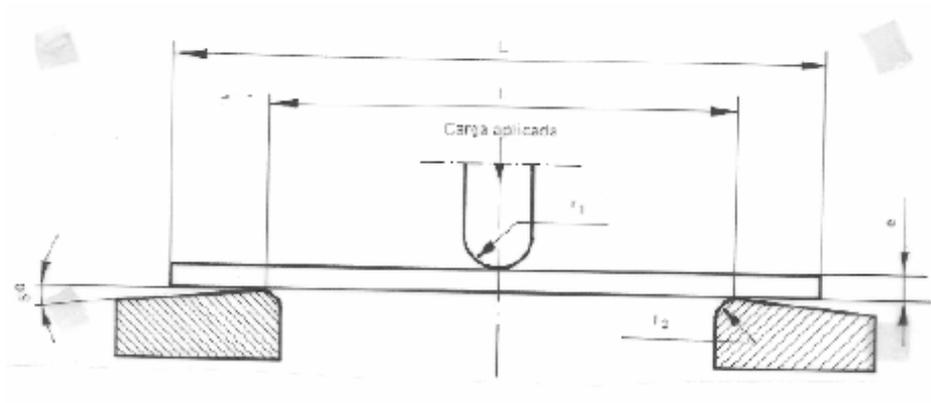
máximo = 10

D = Diámetro agujeros de centrado (opcional) $3 + 0,25$

$- 0,005$

* Se puede utilizar una anchura superior a 50 mm en el caso de materiales de refuerzo bastos, como por ejemplo mechas de baja calidad, mecha bastante tejida, etc.

FIGURA 1. Posición de la probeta durante el ensayo



4.3.2.1 Probetas normales. Las medidas normales serán:

- Longitud mínima: $l = 80 \text{ mm}$
 Anchura: $b = 10 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$
 Espesor: $e = 4 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm}$

4.3.2.2 Otras probetas. Cuando no es posible o no se desea usar las probetas normales, éstas deben elegirse de forma que se adapten a las reglas siguientes:

- La longitud y el espesor de la probeta deben estar en la misma relación que en la probeta normal, o sea:
 $l_{\text{mín}} = 20 e$, en donde e = espesor de la probeta en milímetros.
- La anchura de la probeta podrá ser, $b = 2,5.e \pm 0,5$ o para simplificar, conforme con la tabla 1, dada la poca influencia que la anchura de la probeta tiene sobre las características de flexión.
- Para materiales que tengan fibras gruesas la anchura debe estar comprendida entre 20 mm y 50 mm.

TABLA 1 Anchura de la probeta

Espesor e mm	Anchura b mm	
$1 < e \leq 3$	25	} $\pm 0,5$
$3 < e \leq 5$	10	
$5 < e \leq 10$	15	
$10 < e \leq 20$	20	
$20 < e \leq 35$	35	
$35 < e \leq 50$	50	



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 26/ 01 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: ELÍAS ANDRÉS CALDERÓN LOGROÑO STEVEN PATRICIO ANGO CARGUA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA AUTOMOTRIZ
Título a optar: INGENIERO AUTOMOTRIZ
 Ing. Celin Abad Padilla Padilla Director del Trabajo de Titulación  Ing. Edison Patricio Abarca Pérez Asesor del Trabajo de Titulación