

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**Diseño del fuselaje de la aeronave eVTOL con materiales compuestos
T700S/JC-02A para servicios médicos de emergencia**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

Renzo Hernan Guerrero Rodriguez

ASESOR

Elmer Rolando Polo Briceño

<https://orcid.org/0000-0002-5831-8818>

Chiclayo, 2025

**Diseño del fuselaje de la aeronave eVTOL con materiales
compuestos T700S/JC-02A para servicios médicos de emergencia**

PRESENTADA POR

Renzo Hernan Guerrero Rodriguez

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Dante Omar Panta Carranza
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza
SECRETARIO

Elmer Rolando Polo Briceño
VOCAL

Dedicatoria

A mi familia, raíces profundas de mi ser, quienes con su amor incondicional han sido el sustento inquebrantable en cada paso de este camino. A ustedes, que me enseñaron que la grandeza no se mide en logros individuales, sino en el impacto que dejamos en el mundo y en las vidas que tocamos. Su confianza en mí ha sido el faro que iluminó cada desafío.

A mis profesores de la universidad, quienes con sabiduría y paciencia abrieron las puertas de la razón y del conocimiento. Ustedes me enseñaron a ver más allá de lo inmediato, a cuestionar lo aparente ya creer en un futuro donde la ciencia y la tecnología se convertirán en puentes para un mundo más justo y conectado.

A mis antepasados, de quienes heredo el coraje y la determinación, ya las generaciones que me sucederán, por quienes me esfuerzo. Que mi trabajo sea el vínculo que una lo que fue, lo que es y lo que será.

Este esfuerzo está dedicado a aquellos que aún no conozco, a quienes habitan en los lugares más distantes, en los rincones olvidados, porque el futuro que soñamos no tiene fronteras. Mi propósito es abrir caminos, conectar realidades, y demostrar que la distancia no es un límite cuando el ingenio humano está guiado por el deseo de mejorar la vida de otros.

Hacia dónde voy, me lleva la convicción de que el conocimiento y la tecnología deben servir al bienestar colectivo. Así como hoy me apoyo en los hombros de gigantes, que mi obra se convertirá en una plataforma para que otros sigan construyendo un futuro donde la distancia sea irrelevante y la ayuda, inmediata.

Agradecimientos

Quiero comenzar agradeciendo a mi familia, en especial a mi madre y mi padre, por su amor, su sacrificio y su guía incondicional en cada paso de mi vida. A mis hermanos, a quienes quiero con todo mi ser, gracias por estar siempre a mi lado y por ser un pilar en cada desafío. Este logro es tanto mío como suyo.

A todos los ingenieros que me apoyaron y guiaron a lo largo de este camino: Polo, Querevalu, Mundaca, Gonzales, García. A ustedes, mi profundo respeto y gratitud por compartir su conocimiento y por ser una inspiración constante. Y si me olvido de alguien, sepan que mi agradecimiento también va para ustedes.

A mis compañeros incondicionales: Rivas, Ueda, Mancilla, Daniel, Armando, Kenji, gracias por los momentos compartidos, por la camaradería, y por no dejarme caminar solo en este viaje. Si me olvido de alguno, también les doy las gracias desde el fondo de mi corazón.

Finalmente, me agradezco a mí mismo, por tener una mente soñadora, por no dejar de creer en la capacidad de la ingeniería para solucionar los problemas de nuestro amado Perú. Tal vez este trabajo sea solo el inicio de algo nuevo, una chispa que encienda un futuro de progreso y soluciones para todos. Gracias.

Diseño del fuselaje de la aeronave eVTOL con materiales compuestos T700S/JC-02A para servicios médicos de emergencia

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%	18%	8%	7%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	m.riunet.upv.es Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
3	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	bibing.us.es Fuente de Internet	1%
5	idus.us.es Fuente de Internet	1%
6	riunet.upv.es Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad de Almeria Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	<1%
9	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
10	Miguel Fernando Aldas Carrasco. "Uso de derivados de colofonia como aditivos sostenibles en biopolímeros de almidón termoplástico (TPS)", Universitat Politecnica de Valencia, 2021 Publicación	<1%

Índice

Resumen	14
Abstract	15
Introducción.....	16
Realidad problemática.....	17
Objetivos	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos	18
Revisión de literatura.....	19
Antecedentes	19
Bases teóricas	20
Ambulancias en el Perú.....	20
Tecnología eVTOL	22
Sistema de control y navegación de eVTOL.....	32
Modelos Micromecánicos.....	33
Ley de mezclas:	34
Ecuaciones de resistencia	37
Relación entre las tensiones en las direcciones específicas y las tensiones en las direcciones general. 38	
Espesor de la lámina	40
Criterio de falla	41
Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).....	45
Materiales y métodos	48
Diagrama de flujo.....	48
Formulación de hipótesis.....	49
Operacionalización de variables	50
Matriz de consistencia.....	51

Resultados y discusión	52
Diagnostico la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque.....	52
Proceso de la obtención de información y análisis.....	52
Obtención de información	52
Análisis de la información	58
Diseño el fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT	60
Metodología LFMT	60
Modelos de Ambulancias en el mercado.....	61
Modelos de eVTOL en el mercado.....	62
Sistema de control y navegación	66
Diseño conceptual de la aeronave eVTOL con características de ambulancia	68
Análisis flujo estructura del fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT.....	70
Metodología de la para el CFD.....	70
Parámetros de la simulación:.....	72
Análisis de independencia de dominio computacional	73
Análisis de independencia de malla.....	74
Diseño material compuesto (T700S-/JC-02A) utilizando los modelos micromecánicos	80
Matiz de selección de la fibra	82
Matriz de selección de la resina.....	85
Propiedades micromecánicas del material T700S/ JC-02A.....	85
Análisis y simulación estático-estructural al fuselaje eVTOL	100
Parámetros de la simulación.....	100
Análisis de convergencia de malla	101
Resultados de la simulación.....	105
Conclusiones	107
Recomendaciones	108

Referencias	108
Anexos	115
Modelo Chamis	115
Modelo Puck	116
Modelo de Hopkins and Chamis	117

LISTADO DE TABLAS

Tabla N° 1 Categorías de los establecimientos de salud.....	16
Tabla N° 2 Clasificación por equipamiento y tipo de atención que presenta	21
Tabla N° 3 Dimensiones internas para ambulancias urbanas	22
Tabla N° 4 Dimensiones internas para ambulancias rural	22
Tabla N° 5 Ventajas y desventajas de los diseños	27
Tabla N° 6 Lista de la terminología de los parámetros.[13]	27
Tabla N° 7 Datos de los eVTOL	29
Tabla N° 8 Volumen de fibra en diferentes procesos.....	41
Tabla N° 9 Formulación de hipótesis	49
Tabla N° 10 Operacionalización de variables	50
Tabla N° 11 Matriz de consistencia	51
Tabla N° 12 Población asignada a la red Lambayeque – año 2022	52
Tabla N° 13 Población de la red Lambayeque por distrito – año 2022	53
Tabla N° 14 Estado situacional de las unidades de transporte asistido de la red de salud Lambayeque	53
Tabla N° 15 Información de las IPRESS según accesibilidad	54
Tabla N° 16 Reporte de traslados en urgencias y emergencias año 2021	57
Tabla N° 17 Modelos de ambulancia según su tipo	61
Tabla N° 18 Especificaciones de ambulancia	62
Tabla N° 19 Modelos según Airbus	63
Tabla N° 20 Especificaciones de los eVTOL.....	63
Tabla N° 21 Especificaciones de SKAI	64
Tabla N° 22 Especificaciones de la batería del EcoPulse™	65
Tabla N° 23 Especificaciones del sistema de control veronte Autopilot 4x	66
Tabla N° 24 Medidas específicas del sistema de control veronte Autopilot 4x.....	67
Tabla N° 25 Bocetos de diseño eVTOL.....	68

Tabla N° 26 Dimensionamiento de los volúmenes internos	69
Tabla N° 27 Diseños 3D según el concepto 3	69
Tabla N° 28 Dimensiones de los dominios	71
Tabla N° 29 Número de nodos y elementos en la malla	71
Tabla N° 30 Parámetros CFD establecidos	72
Tabla N° 31 Número de elemento y nodos con respecto al dominio 4.....	75
Tabla N° 32 Propiedades de las fibras	80
Tabla N° 33 Matriz de selección de la fibra.....	82
Tabla N° 34 Propiedades de las resinas	83
Tabla N° 35 Matriz de selección de la resina.....	85
Tabla N° 36 Propiedades micromecánicas T700S	86
Tabla N° 37 Propiedades micromecánicas JC-02A	87
Tabla N° 38 Propiedades micromecánicas (T700S/ JC-02A).....	87
Tabla N° 39 Propiedades micromecánica (T700S/ JC-02A)	88
Tabla N° 40 Propiedades micromecánica (T700S/ JC-02A)	89
Tabla N° 41 Espesor del laminado compuesto.....	94
Tabla N° 42 Datos de entrada para el espesor mínimo de diseño	95
Tabla N° 43 Resultados de la simulación de eLamX.....	96
Tabla N° 44 Pliegues para la simulación en SolidWorks.....	101
Tabla N° 45 Iteraciones para el análisis	102
Tabla N° 46 Error porcentual de las iteraciones	104
Tabla N° 47 Resultados de la simulación.....	107

LISTADO DE FIGURAS

Fig. 1. Directorio mundial de aviones eVTOL. [10].....	23
Fig. 2. Configuraciones VTOL/eVTOL. [12]	24
Fig. 3. Arquitectura y características de eVTOL. [12].....	24
Fig. 4. Funcionamiento de eVTOL. [13].....	26
Fig. 5. El modelo de aeronave se representa mediante la carga útil (kg) y la autonomía (km).[13]	32
Fig. 6. esquemática de las tensiones y deformaciones en el plano (Y-X). [17]	33
Fig. 7 Ilustración de la matriz, fibra y huecos. [19]	34
Fig. 8 Elementos representativos del V_f . [19]	35
Fig. 9 Representación esquemática de las tensiones y deformaciones en el plano (x-y) y la variación de ángulos (θ). [25].....	38
Fig. 10 uso de los criterios de fallo de los laminados en la industria aeroespacial. [28]	42
Fig. 11 Criterio de esfuerzo máximo [31]	43
Fig. 12 Fallo para una lámina unidireccional sometida a carga biaxial en condiciones de carga normal.[33].....	44
Fig. 13 Carga uniaxial de una lámina unidireccional que se encuentra desplazada respecto al eje principal. [33]	44
Fig. 14. CFD de un chorro turbulento mediante distintos enfoques. [35].....	46
Fig. 15 Diagrama de flujo	48
Fig. 16 Diagrama de proceso de obtención de información.....	52
Fig. 17 Distritos por número de población.....	58
Fig. 18 Numero de población por establecimientos de salud.....	59
Fig. 19 Distancia horas al hospital por establecimiento de salud.....	59
Fig. 20 Numero de establecimiento de salud con horas al hospital	60
Fig. 21 Hoja de ruta del diseño conceptual de LFMT. [40].....	61
Fig. 22 Comparación de eficiencia de energía eco amigable. [46]	64
Fig. 23 El equilibrio que existe entre la autonomía de vuelo [km] y la capacidad máxima de carga útil [kg] y la presencia de un frente de Pareto. [49].	66

Fig. 24 procesos del análisis del utilizado.....	70
Fig. 25 Dimensiones del dominio computacional y condiciones de contorno.....	70
Fig. 26 velocidad a lo largo de Y	73
Fig. 27 Velocidad a lo largo de Y	73
Fig. 28 Velocidad a lo largo de X	74
Fig. 29 Refinamiento del Domino 4 - concepto final.....	74
Fig. 30 Refinamiento del Domino 4 – concepto final	75
Fig. 31 Refinamiento del Domino 4 - elementos volumétricos	75
Fig. 32 Mallas casos de mallas seleccionado	76
Fig. 33 Velocidad del fuselaje.....	76
Fig. 34 Velocidad del fuselaje.....	77
Fig. 35 Presión estática del fuselaje	77
Fig. 36 Presión estática del fuselaje	78
Fig. 37 Velocidad en la dirección X.....	78
Fig. 38 Contornos de presión	79
Fig. 39 Contornos de presión	79
Fig. 40 Comparación de módulos y deformación a la rotura de las fibras.....	81
Fig. 41 Comparación de resistencia a la tracción y deformación a la rotura de las fibras	81
Fig. 42 Comparación de módulos y deformación a la rotura de las resinas.....	83
Fig. 43 Comparación de resistencia a la tracción y deformación a la rotura de las resinas	84
Fig. 44 Comparación resistencia a la flexión y deformación a la rotura de las resinas	84
Fig. 45 Diagrama de fuljo para determinar las propiedades del material	85
Fig. 46 Módulo de Young en x respecto al porcentaje de volumen de fibra	90
Fig. 47 Módulo de Young en y respecto al porcentaje de volumen de fibra	90
Fig. 48 Coeficiente de poisson en xy con respecto al volumen de fibra	91
Fig. 49 Modulo de Cortadura en xy con respecto al volumen de fibra	91
Fig. 50 variación de ángulos con respecto a las variables elásticas del material T700S/JC-02A al 70% de Vf.....	92

Fig. 51 Criterios de falla interactivo y no interactivo	93
Fig. 52 Grafica del criterio de falla Máximum stress para el material T700S/JC-02A.....	93
Fig. 53 espesor con respecto al porcentaje de masa en fibra.....	94
Fig. 54 Proceso de selección de espesor con sus ángulos	95
Fig. 55 Iteraciones del Algoritmo de eLamX.....	96
Fig. 56 Distribución de las fibras en $[90/0_2/-45/45_2/-45/90]_s$	97
Fig. 57 Grafico polar con respecto a los ángulos	97
Fig. 58 Matriz ABD de la teoría clásica de lamino compuesto.....	98
Fig. 59 Grafico Carpet plot para la estimación de modulo E_x	99
Fig. 60 Grafico Carpet plot para la estimación de coeficiente ν_{xy}	99
Fig. 61 Grafico Carpet plot para la estimación de modulo G_{xy}	100
Fig. 62 presión, gravedad y sugestión del análisis	100
Fig. 63 esfuerzo número por número de nodos	102
Fig. 64 Desplazamientos por número de nodos	103
Fig. 65 Factor de seguridad Por número de nodos	103
Fig. 66 mallado de la iteración 8	104
Fig. 67 Refinamiento de malla local	105
Fig. 68 La tensión máxima a lo largo de los pliegues	105
Fig. 69 Desplazamiento.....	106
Fig. 70 Deformaciones Unitarias	106
Fig. 71 Peor factor de seguridad a lo largo de todos los pliegues	107

Resumen

Debido al desarrollo y crecimiento de la provincia de Lambayeque, los accidentes producidos en los distritos alejados; según los datos del gobierno regional de salud de la provincia de Lambayeque la mayoría de repostes registrados para el traslado de urgencias y emergencias en el año 2021-2022 fueron los distritos de Motupe con 551, seguido de Olmos con 441, Lambayeque con 344, Illimo con 329, la necesidad del traslado de pacientes de manera rápida, eficiente y segura, ante la congestión de la única vía que conecta los distritos y la gran contaminación de los parques automotores en las ciudades.

La Movilidad Aérea Urbana (UAM, Urban Air Mobility) es un concepto innovador de transporte que permite emplear aeronaves eléctricas. Las aeronaves de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) en particular combinan cualidades como flexibilidad, sostenibilidad y autonomía, eso que les permite operar de forma autónoma in áreas urbanas. Además de no emitir gases de efecto invernadero

El objetivo de este estudio es desarrollar un diseño de un fuselaje para aeronaves eVTOL utilizando materiales compuestos de fibra de carbono y resina epoxi, para la aplicación del servicios médicos de emergencia en zonas de alto tráfico y zonas geográficas de difícil acceso; se diagnosticó la situación actual del sistema de ambulancias de la provincia de Lambayeque mediante la metodología de obtención de datos de las fuentes primarias como GRESA-L y GRTC-L, el diseño conceptual se realizó mediante la metodología LFMT, se determinó las propiedades el material compuesto con los modelos micromecánicos, se obtuvo el espesor mínimo de diseño mediante el software eLamX2, la simulación CFD se realizó en el software ANSYS STUDENT utilizando el método Komega SST, el diseño y simulación estático estructural se realizó mediante software SolidWorks, logrando como resultado un nuevo concepto de ambulancia eléctrica de despegue y aterrizaje vertical.

Palabras clave: Artículo científico, Artículo de revisión, Investigación, Estilos de citación.

Abstract

Accidents happened in far-flung areas as a result of the province of Lambayeque's expansion and development.; According to data from the regional government of health of the province of Lambayeque, the most registered refueling for the transfer of emergencies and emergencies in the year 2021-2022 were the districts of Motupe with 551, followed by Olmos with 441, Lambayeque with 344, Illimo with 329, the need to transfer patients quickly, efficiently and safely, given the congestion of the only road connecting the districts and the high pollution of the vehicle fleets in the cities.

Urban Air Mobility (UAM, Urban Air Mobility) is an innovative transport concept that allows the use of electric aircraft. Specifically, eVTOL aircraft, especially those equipped with vertical take-off and landing capabilities, embody the qualities of flexibility, sustainability and autonomous operation, allowing them to navigate in urban environments effectively. In addition to not emitting greenhouse gases.

Cabin prototypes are currently restricted during the test phase, specifically with regard to the single and vertical tilt angle of the seat.

The aim of this study is to develop a cabin design for eVTOL aircraft using compound materials of carbon fiber and epoxy resin, for the application of patient transfer in high traffic areas and geographical areas of difficult access; the design and structural static simulation will be performed using SolidWorks software, the design and simulation of the composite material will be performed using ElanX2 software and the CFD simulation will be performed in ANSYS STUDENT software using the KÉpsilon method, a new concept of vertical takeoff and landing electric ambulations will be developed.

Keywords: Prototype Design, eVTOL, Composite Material, Aircraft, Aerodrone.

Introducción

La red de salud de Lambayeque contiene extensión de 9 346,63 km² los cuales brindan servicios de salud a una población de más de 314 424 habitantes, teniendo en cuenta la confluencia de sus redes viales y corredores sociales, así como la combinación de sus recursos y su capacidad resolutive, el sistema sanitario está estructurado en 10 microredes, cubriendo un total de 88 instalaciones sanitarias. De estos, 37 son puestos sanitarios I-1, 39 son posiciones sanitarias I-2, 11 son centros de salud I-3 y 1 es un centro sanitario I-4. Vale la pena señalar que el Hospital Provincial Docente Belén, nivel II-1, es el establecimiento con mayor capacidad de resolución en la provincia de Lambayeque.[\[1\]](#)

Tabla N° 1 Categorías de los establecimientos de salud

Niveles atención	Categorías de establecimiento de salud	Ministerio de salud
Primer nivel de atención	I-1	Puesto de salud
	I-2	Puesto de salud con médico
	I-3	Puesto de salud sin internamiento
	I-4	Puesto de salud con internamiento
Segundo nivel de atención	II-1	Hospital I
	II-2	Hospital II
Tercer nivel de atención	III-1	Hospital III
	III-2	Instituto especializado

Nota: La Tabla N° 1 muestra los tres niveles de atención con su respectiva categoría y determinado ministerio de salud.[\[2\]](#)

Desde los primeros años del siglo XX, se realizaron experimentos con aeronaves con despegue y aterrizaje verticales, conocidos como VTOLs. (Vertical Take-Off and Landing). Sin embargo, la mayoría de estos intentos resultaron en fracasos. Los VTOL tienen la particularidad de despegar y aterrizar sin la necesidad de alcanzar una velocidad para crear la fuerza de sustentación, para crear dicha fuerza requiere una larga pista de despegue, por ello los VTOL han recuperado el desarrollo de esta tecnología, pero como eVTOL aeronaves eléctricas con despegue y aterrizaje vertical de la parte de lo que les permite operar lejos de los aeropuertos.[\[3\]](#)

Además de la seguridad, es crucial que esta nueva generación de aeronaves tenga en cuenta otros criterios de gran importancia, como el control de las emisiones nocivas y la reducción de la contaminación acústica en las zonas urbanas. Como resultado, la mayoría de los VTOLs actualmente diseñados serán eléctricos, lo que resultará en aviones eVTOL. (Electric Vertical Take-off and Landing). Estos no solo contribuirán a reducir la contaminación, sino que también mejorarán las condiciones de aceptación y brindarán beneficios sociales. Conceptos como los ya mencionados MEA (despegue y aterrizaje vertical eléctrico), AEA (aeronave totalmente

eléctrica) o los sistemas de control fly-by-wire, cuyos manuales han sido sustituidos por interfaces electrónicas, cobran cada vez más importancia. [4]

Los composites en forma de fibras son los más tecnológicamente porque ofrecen la mayor resistencia específica y rigidez.[5]

La fibra de carbono son del tipo T700S y la densidad es de $1,76 \text{ g / cm}^3$. Después del trenzado se impregna la resina epoxi. [8]. La resina epoxi y el agente de curado cuya densidad de la resina epoxi (JL-235) es de $1,14 \text{ g / cm}^3$ y la del agente de curado (JH-238) es de $0,92 \text{ g / cm}^3$. Las características de baja viscosidad, larga vida útil y buena procesabilidad [6].

La presente investigación tiene como objetivo diseñar un fuselaje de aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia. Los resultados esperados es un diseño con una resistencia aerodinámica aceptable y un factor de seguridad permisible.

Realidad problemática

En la provincia de Lambayeque, en Perú, el tiempo de traslado de pacientes en ambulancia terrestre se enfrenta a importantes desafíos debido al amplio territorio y la falta de accesibilidad en algunos deciles de la región. Esta situación plantea diversos problemas que afectan la eficiencia y la calidad del servicio de atención médica de emergencia.

Largos trayectos: Debido a la extensión geográfica de la provincia de Lambayeque, las distancias entre algunas localidades y centros de atención médica pueden ser considerablemente largas. Esto implica que las ambulancias deben recorrer grandes distancias para llegar a los pacientes, lo que aumenta significativamente el tiempo de respuesta y el tiempo total de traslado.

Infraestructura vial deficiente: En algunos deciles de la provincia, la infraestructura vial puede ser precaria, con caminos en mal estado, falta de señalización adecuada y limitaciones de acceso. Estas condiciones dificultan la movilidad de las ambulancias, ralentizan el traslado de los pacientes y ponen en riesgo su seguridad.

Demoras en puntos de control: Al atravesar diferentes áreas geográficas y jurisdicciones dentro de la provincia de Lambayeque, las ambulancias pueden encontrarse con puntos de control y barreras administrativas. Estos puntos de control pueden requerir trámites

burocráticos o inspecciones que ralentizan aún más el tiempo de traslado de los pacientes, lo que resulta en una atención más lenta y menos efectiva.

Recursos limitados: La amplia extensión geográfica y la falta de accesibilidad en algunos deciles de Lambayeque también pueden dificultar la distribución adecuada de las ambulancias y los recursos médicos. La falta de unidades de ambulancia suficientes y personal médico capacitado en áreas alejadas puede llevar a una cobertura insuficiente y tiempos de espera prolongados para aquellos que necesitan asistencia de emergencia.

Estos desafíos en el tiempo de traslado de pacientes en ambulancia terrestre en la provincia de Lambayeque reflejan una realidad problemática que requiere atención y soluciones para mejorar la eficiencia de los servicios de atención médica de emergencia en la región. Es fundamental invertir en mejoras de infraestructura, capacitación de personal y optimización de la logística para garantizar una atención más rápida y efectiva, especialmente en áreas de difícil acceso.

¿Será posible el diseño de un fuselaje de aeronave eVTOL con materiales compuestos T700S/JC-02A para servicios médicos de emergencia en zonas de alto tráfico y zonas geográficas de difícil acceso?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un fuselaje de aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque
2. Realizar un diseño conceptual del fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT
3. Realizar un análisis flujo estructura al fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT
4. Determinar el Material compuesto (T700S-/JC-02A) utilizando los modelos micromecánicos

5. Realizar un análisis y simulación estático-estructural al fuselaje eVTOL

Revisión de literatura

Antecedentes

El trabajo [7] nos brinda un dron prototipo de ambulancia de propulsión eléctrica para garantizar la asistencia sanitaria más rápida y fiable en el futuro, su diseño comenzó con la ideación en la que se utilizó la realidad virtual para generar diseños de interiores. El interior es la parte más fundamental del diseño, ya que es responsable el 90% de las interacciones que los usuarios tienen con el dron ambulancia. En los Países Bajos, su concepto se extiende hasta el año 2035 y el diseño planteado fue desarrollado para la empresa AirMedic, en el trabajo de investigación nos deja la mejora aerodinámica de del dron ambulancia.

El trabajo [4]Se divide en dos fases, la primera de las cuales es teórica. En esta fase, se abordan los desafíos que surgen en relación con este nuevo enfoque de la movilidad y las infraestructuras terrestres necesarias, conocidas como cumbres. Examina las características de estas aeronaves, las tendencias de los fabricantes y las limitaciones para el desarrollo de la movilidad aérea urbana a corto plazo. Se llevará a cabo un análisis detallado de la ubicación de las cumbres en el mapa de la ciudad, teniendo en cuenta los elementos necesarios y realizando un análisis normativo de este nuevo reglamento, adaptándolo a este tipo de aeronaves. La segunda fase del estudio se centrará en presentar las aplicaciones más prominentes de este medio de transporte, con un análisis exhaustivo de las que son más adecuadas para entornos urbanos. Se llevará a cabo un estudio detallado de las necesidades de infraestructura terrestre y se examinará el proceso de desarrollo de cada plan de implementación. Los conocimientos adquiridos a través de la investigación se aplicarán en un contexto académico, a través del diseño preliminar de una estación de taxi aéreo en la ciudad de Madrid, dentro del Área Urbana. Durante las primeras etapas del desarrollo del transporte, es crucial establecer un enfoque inicial al servicio en la ciudad, comprender los beneficios que ofrece a la población y abordar los principales desafíos desde una perspectiva constructiva.

El trabajo [8] se propuso a dar solución a las ciudades pobladas ya que ellas sufren con el aumento progresivo del tráfico, con el diseño de un 'taxi aéreo' eléctrico, un vehículo aéreo que aprovecha las capacidades actuales de la batería de iones de litio para transportar pasajeros desde los tejados de los edificios. Las empresas aeroespaciales de todo el mundo están invirtiendo en este concepto y se han propuesto diseños complejos con alas giratorias y

múltiples hélices. Aunque el despegue y aterrizaje vertical parece ser la mejor solución para esta aplicación, también presenta muchos desafíos de diseño difíciles. Este documento explora la posibilidad de un vehículo sin piloto, de ala fija y de un solo pasajero, como una opción más simple, capaz de ofrecer un rendimiento comparable a los diseños de despegue vertical de ala giratoria

Bases teóricas

Ambulancias en el Perú

Tipo de Ambulancias

Según NTS N°051-MINSA/OGDN-V0.1 una ambulancia es un medio de transporte especialmente diseñado y equipado para el traslado de pacientes en condiciones críticas. o no crítico desde el lugar de origen hasta una unidad de salud o centro de atención médica, y que cuenta con equipos médicos y personal capacitado para la atención prehospitalaria. [9]

Tabla N° 2 Clasificación por equipamiento y tipo de atención que presenta

Clasificación	Tipo de atención	Equipamientos	Personal de atención
Ambulancia Tipo I	Utilizadas para el transporte asistido de pacientes estables, excepto en lugares donde no haya otro medio de transporte de mayor complejidad disponible.	<ul style="list-style-type: none"> Equipo básico. 	<ul style="list-style-type: none"> Médico o licenciado en enfermería o técnico de enfermería de preferencia entrenado en reanimación básica. Piloto entrenado en reanimación básica.
Ambulancia Tipo II	Para el transporte asistido de pacientes, en estado crítico, cuenta con capacidad de asistencia médica.	<ul style="list-style-type: none"> Equipo básico. Monitor desfibrilador portátil. Oxímetro de pulso portátil. 	<ul style="list-style-type: none"> Médico, de preferencia entrenado en manejo y traslado de pacientes críticos. Licenciado en enfermería o técnico de enfermería, de preferencia entrenado en atención de pacientes críticos. Piloto entrenado en reanimación básica.
Ambulancia Tipo III	Para el transporte asistido de pacientes en estado crítico inestables que requieren asistencia médica especializada durante el traslado	<ul style="list-style-type: none"> Idéntico a la ambulancia tipo II, adicionalmente. Ventilador mecánico portátil. Boba de infusión. Equipamiento específico de acuerdo con la atención especializada que brindan (incubadora, ventilador neonatal, otros de tipo portátil). 	<ul style="list-style-type: none"> Médico especialista en Medicina de Emergencias u otro médico especialista capacitado y/o entrenado en emergencias. Licenciado en enfermería entrenado y/o capacitado en atención de pacientes críticos. Piloto entrenado en reanimación básica.

Nota: La Tabla N° 2 detalla la clasificación por equipamiento y tipo de atención que presenta en conjunto con el personal de atención. [9]

Requerimientos mínimos para las dimensiones internas de ambulancias

De acuerdo con el Decreto Supremo no 058-2003-MTC, las ambulancias deben cumplir ciertos requisitos dependiendo del tipo de vehículo, asegurándose de que tengan suficiente espacio para acomodar al menos a un paciente en una camilla y al personal de atención sentado, permitiendo las maniobras necesarias para prestar atención al paciente. [9]

Además, dependiendo del tipo de vehículo y del lugar donde se presta el servicio, las ambulancias deben cumplir con los requisitos mínimos y condiciones adicionales en el área de atención, ya sea en entornos urbanos o rurales.

Tabla N° 3 Dimensiones internas para ambulancias urbanas

Dimisiones	Tipo I - II	Tipo III
Altura	No menor de 1,30 metros	No menor de 1,60 metros
Profundidad	No menor de 2,30 metros	No menor de 2,30 metros
Ancho	No menor de 1,50 metros	No menor de 1,70 metros

Nota: La Tabla N° 3 detalla las dimensiones para ambulancias urbanas dependiendo del tipo de vehículo y del lugar donde se presta el servicio. [9]

Tabla N° 4 Dimensiones internas para ambulancias rural

Dimisiones	Tipo I - II
Altura	No menor de 1,30 metros
Profundidad	No menor de 2,30 metros
Ancho	No menor de 1,50 metros

Nota: La Tabla N° 4 detalla las dimensiones para ambulancias de zona rural dependiendo del tipo de vehículo y del lugar donde se presta el servicio. [9]

Tecnología eVTOL

Cronología de los diseños de eVTOL

La Vertical Flight Society (VFS), una entidad global sin ánimo de lucro cuya misión es promover y desarrollar el vuelo vertical, ha anunciado que su Directorio Mundial de Aeronaves eVTOL hasta la fecha, se han registrado un total de 600 diseños de aeronaves eléctricas con capacidad de despegue y aterrizaje vertical. (eVTOL). Estos diseños provienen de aproximadamente 350 compañías de todo el mundo. Como se puede apreciar en la Fig. 1. [10]



Fig. 1. Directorio mundial de aviones eVTOL. [10]

Tras brindar apoyo a la comunidad eVTOL desde 2013, la Vertical Flight Society (VFS) lanzó su sitio web en abril de 2017, en respuesta al creciente número de programas eVTOL conocidos en desarrollo, que alcanzaba aproximadamente una docena en ese momento. La necesidad de proporcionar una forma para que el público pueda hacer un seguimiento de los nuevos y prometedores conceptos innovadores que se estaban explorando se hizo evidente para VFS. [10]

Mike Hirschberg, director ejecutivo de VFS, explicó que algunos diseños aparentemente poco realistas en aquel momento evolucionaron posteriormente en enfoques plausibles. Por esta razón, VFS tomó la decisión de catalogar todos los diseños conocidos, sin importar su nivel de viabilidad, desde aquellos que podrían considerarse poco convencionales hasta los más serios. [10]

Desde el lanzamiento del sitio web, la cantidad de diseños ha aumentado significativamente y a un ritmo cada vez mayor. Solo en el año 2021, se agregaron casi 2,021 nuevos diseños. Además, el sitio web gratuito alberga una amplia variedad de noticias sobre eVTOL, incluyendo aproximadamente 270 artículos en profundidad de la revista Vertiflite de VFS, que es un referente en el ámbito de los desarrollos de eVTOL y helicópteros. [10]

Tipos de configuraciones de diseño

Las configuraciones de aeronaves VTOL enfrentan desafíos comunes, los cuales se vuelven más complejos cuando el diseño requiere la incorporación de varios motores. Para brindar una visión general de estos desafíos, que resume los problemas más recurrentes encontrados en los diseños de VTOL. Esta Fig. 2 ofrece una representación visual que le permite comprender los desafíos que enfrenta la industria en relación con la complejidad y limitaciones inherentes a estos entornos. [11]

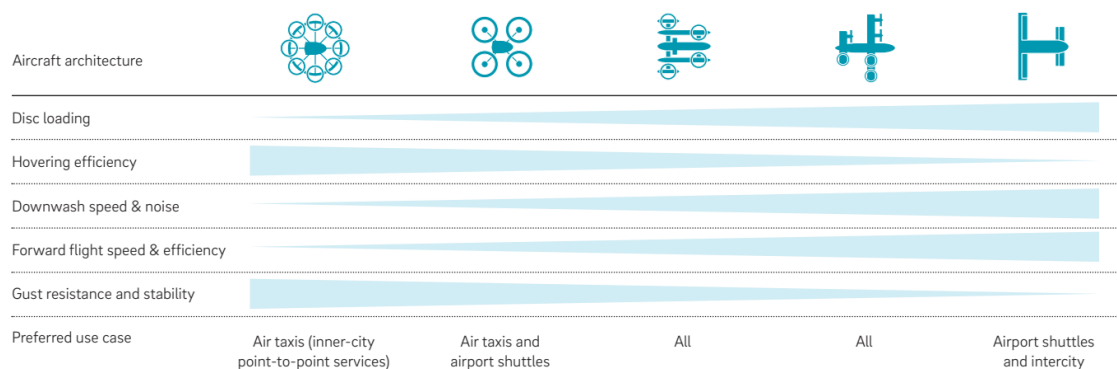


Fig. 2. Configuraciones VTOL/eVTOL. [12]

La Fig. 3 presenta un panorama exhaustivo de las arquitecturas de eVTOL y sus características principales, cualidades del concepto y la velocidad crucero.

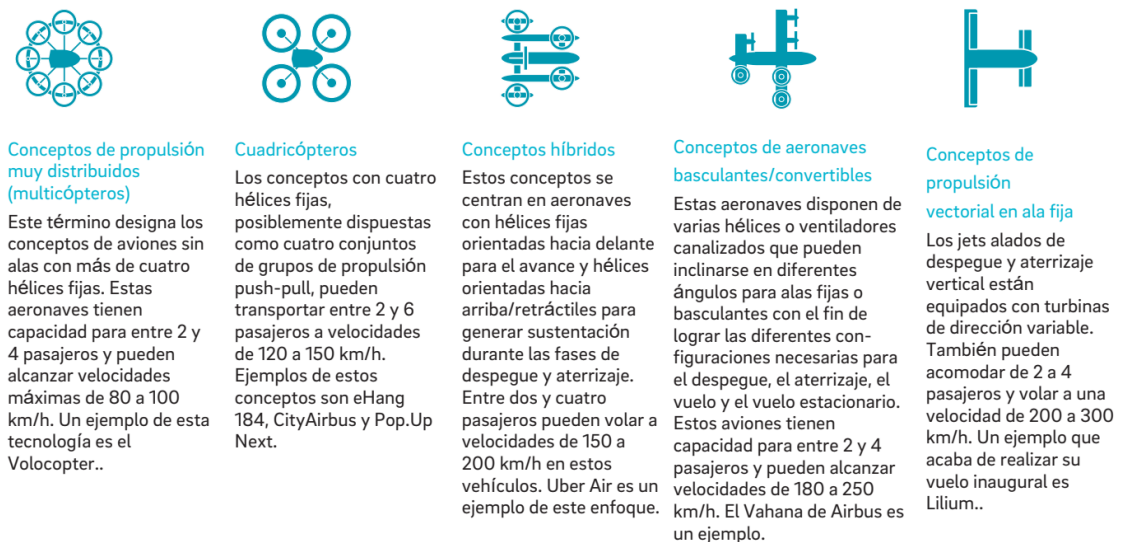


Fig. 3. Arquitectura y características de eVTOL. [12]

Diseños en el Mercado

Según el [13] del estudio, actualmente hay cientos de fabricantes trabajando en el desarrollo de drones para atender los mercados emergentes de AAM (Advanced Air Mobility). Para llevar a cabo su investigación, el [13] recopiló datos de rendimiento publicados en sitios web o registros públicos como patentes o presentaciones a inversores, todos anteriores a finales de 2021. En la Tabla 1 presenta un resumen de los principales tipos de arquitecturas de aeronaves, con sus ventajas e inconvenientes, mientras que en la Tabla 2 proporciona una descripción de las variables que componen el conjunto de datos construido.

A finales de 2021, ninguno de los diseños estaba en servicio comercial, por lo que los valores que se presentan son mediciones de prototipos a escala real, proyecciones de prototipos a subescala o propuestas basadas en diseños conceptuales o simulaciones. En caso de que el fabricante no haya revelado las dimensiones del fuselaje, el [13] ha estimado la altitud de crucero a partir de vistas de arriba abajo disponibles en el sitio web del fabricante, vídeos promocionales o patentes. No obstante, la altitud de crucero no está disponible para todas las entradas del conjunto de datos. Por lo tanto, todos los valores de PEX (Propulsive Efficiency Index) utilizan una altura de 10 000 pies (1,89 millas o 3 048 metros), que es la altitud típica a la que vuelan los helicópteros para un control óptimo y para minimizar la aparición de hipoxia.

El autor menciona que en ciertos casos la capacidad de carga útil se establece de una manera específica únicamente en términos del número de pasajeros y pilotos. En estos casos, el autor estima la carga útil típica de las aerolíneas comerciales en 200 libras por persona, además de 50 libras para el equipaje de cada pasajero, pero no se incluye la carga útil del piloto. [13]

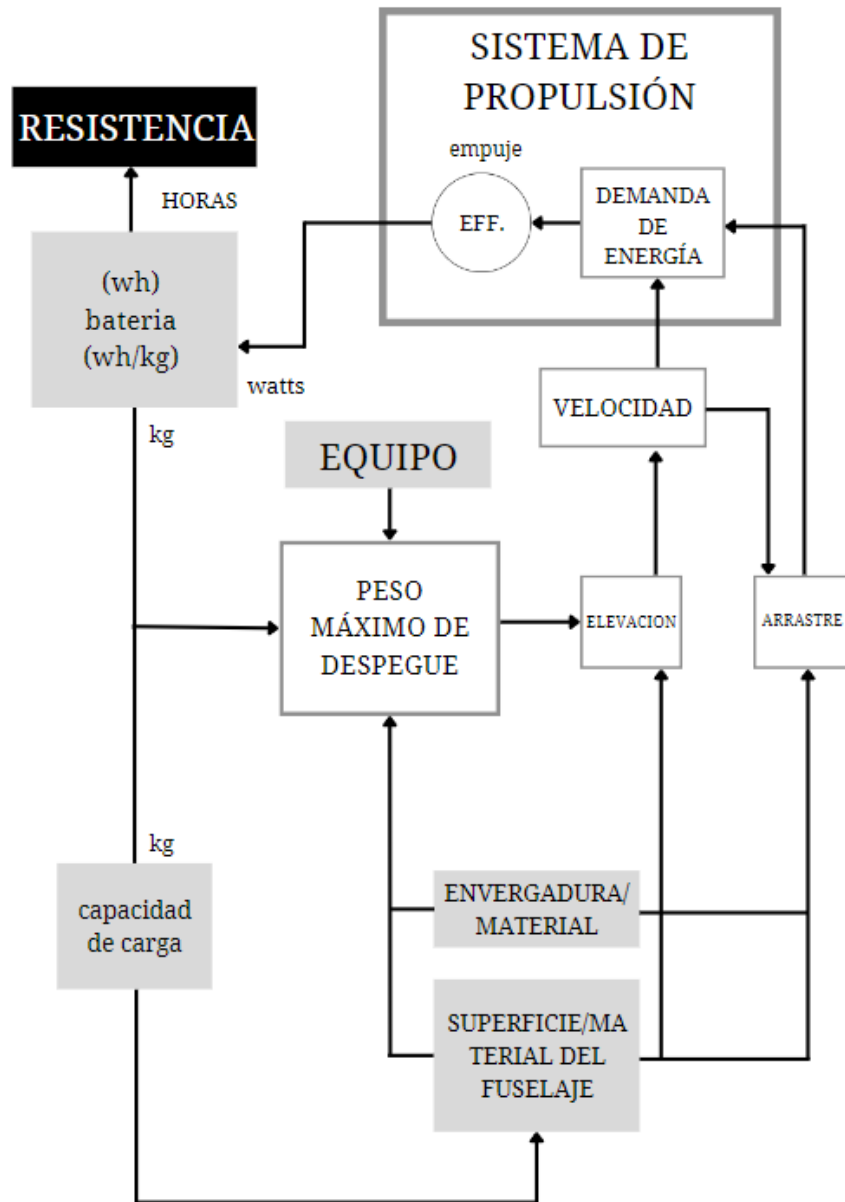


Fig. 4. Funcionamiento de eVTOL. [13]

Tabla N° 5 Ventajas y desventajas de los diseños

Tipo	Ventajas	Desventajas
Rotor basculante (TB). Al menos un conjunto de rotores se inclina para funcionar modos de elevación y de crucero.	Los rotores no están al ralenti en ningún modo-rotors de ralenti son peso inútil y pueden añadir resistencia a menos que estén cerrados. Todos los rotores de rotores están disponibles para maximizar control y redundancia.	Peso, complejidad y posibles fallos de los mecanismos de inclinación. Cualquiera de la hélice en las alas disminuye la eficiencia. La transición de sustentación a crucero sin hélices de crucero separadas.
Ala basculante (AB). Al menos una parte del ala, con rotores fijos, se inclina para tanto el modo de elevación como el de crucero.	Los rotores no están en reposo durante el crucero. Evita la inclinación de rotores individuales para menos mecanismos. Todos los rotores están disponibles para maximizar el control y la redundancia. Evita la corriente descendente.	Peso, complejidad y posibles fallos de los mecanismos basculantes. La transición de sustentación a crucero es más larga sin hélices de crucero separadas. Más susceptible a las ráfagas de viento en vuelo estacionario. La colocación de baterías en el ala requiere un Mecanismo de inclinación más robusto.
Empuje en transición (ET). Fijo los rotores de elevación fijos se de transición a rotores separados para de crucero.	Elimina el peso, la complejidad y el posible fallo de los mecanismos basculantes. Elimina la complejidad del control de vuelo para rotor y el mantenimiento de la estabilidad durante la inclinación.	Los rotores expuestos pueden aumentar la resistencia. Los mecanismos de retracción o plegado pueden reducir la resistencia, pero añaden peso y complejidad del control de vuelo.
Ala plegable (FW). Al menos una parte del ala, con rotores fijos, se pliega para funcionar tanto en modo de elevación como de crucero	Necesita menos huella en el suelo. No rotores inactivos en ningún modo. Acomodar más rotores en los miembros plegables aumenta controlabilidad	Peso, complejidad y posibles fallos de los mecanismos de plegado.
Rotor fijo (FR). Posición fija posición fija ajustan su velocidad relativa proporcionar operaciones de crucero.	Los rotores no están inactivos en ningún modo. No hay mecanismos basculantes o plegables que aumenten el peso o el riesgo de fallo	El fuselaje se inclina hacia arriba durante la elevación vertical, lo que puede causar molestias si la cabina no tiene estabilizador.

Nota:

La Tabla N° 5 muestra algunas de las ventajas y desventajas que se presentan en distintos tipos de configuración de rotores alabes.

Tabla N° 6 Lista de la terminología de los parámetros.[13]

Parámetros	Descripción	Unidades o categoría
Compañía	Fabricante de aviones	sin unidades
Modelo	Modelo de avión	sin unidades
TY	Tipo de arquitectura eVTOL	TR (rotor basculante), TT (empuje de transición), TW (ala basculante), ala plegable (FW), rotor fijo (FR)
W	Anchura del avión	Metros
L	Eslora del avión	Metros
AR	Relación entre la longitud y	Nada

	la anchura	
MTW	Peso máximo al despegue	Kilogramos
P	Carga útil (personas o carga)	Kilogramos
R	Distancia recorrida a velocidad de crucero	Kilogramos
C	Velocidad de crucero	kilómetros por hora (KPH)
T	Tiempo en modo crucero	minutos
PEX	Índice de eficacia propulsora	sin unidades

Nota: La Tabla N° 6 describe cada parámetro de los eVTOL detallando sus unidades respectivas.

Tabla N° 7 Datos de los eVTOL

Empresa	Modelo	TY	W	L	AR	MTW	P	R	C	T	PEX	Fuente
ACS Aviation	Z-300	TW	8	7,1	0,89	1000	180	300	222,2	90	15,7	(ACS Aviation, 2021)
AIR EV	AIR ONE	FR	-	-	0,68	1170	200	177	160,9	60	6,8	(AIR EV, 2021)
Airbus	CityAirbus NG	TT	11,4	8,2	0,72	2200	453,5	80	120	40	3,9	(Airbus, 2021)
Archer	Maker	TR	12,2	9,3	0,76	2052,2	544,2	96,5	241,4	24	6,4	(Archer Aviation Inc., 2021)
Aurora Flight Sciences	Pegasus PAV	TT	8,5	9,1	1,07	798,2	224,9	80,5	180,2	26,8	8	(Aurora Flight Sciences, 2021)
Autoflight	V1500M	TT	12,8	10,3	0,8	1500	453,5	250	200	75	20	(Autoflight, 2021)
Autonomous Flight	Y6S	TR	6,1	6,7	1,1	907	226,8	128,7	201,1	38,4	11,6	(Autonomous Flight, 2021)
Autonomous Flight	Y6S plus	TR	-	-	0,94	2630,4	657,6	128,7	201,1	38,4	9,9	(Autonomous Flight, 2021)
Bartini Inc,	Bartini eVTOL	TR	5,5	5,5	1	1502,7	400	150	300	30	13,1	(Bartini, 2021)
Bell	APT 70	FR	2,7	1,8	0,67	165	45	56,3	160,9	21	3,4	(Bell, 2021)
Bell	Nexus 4EX	TR	12,9	10,1	0,78	3718,8	544,2	96,5	241,4	24	3,6	(Bell, 2021)
Beta Technologies	Alia-250	TT	15,2	10,9	0,71	3174,1	680,3	463	194,5	142,9	23,2	(BETA Technologies, 2021)
Braunwagner	SkyCab	TT	12	10,1	0,84	2999,1	362,8	100	240	25	3,3	(SkyCab, 2021)
Digi Robotics	Droxi UAD-M20	TR	2,2	1,6	0,74	19,5	5	150	100	90	9,4	(Sigler, 2018)
Dufour Aerospace	Aero3	TW	14,8	14,6	0,98	2799,5	749,7	120,7	350	20,7	10,4	(Dufour Aerospace, 2021)

EHang	VT-30	TT	12,5	6,8	0,54	881,2	181,4	300	180	100	11	(EHang Holdings Ltd., 2021)
eMagicAircraft	eMagic One	TT	7,7	7,2	0,94	400	145,1	144	144	60	16,1	(eMagic Aircraft, 2021)
Eve UAM	Eve	TT	11	13	1,18	1542	544,2	96,5	241,4	24	13,2	(Eve UAM, LLC, 2021)
Flyter	PAC 720-200	TT	7	6,3	0,89	720	200	160	250	38,4	13	(Flyter, 2021)
Grug Group	SBX	TR	10,3	7,6	0,74	2150	544,2	310	310	60	19,1	(Grug Group LLC, 2017)
Horyzn Aerospace	Silencio Gamma	TT	3,6	2	0,54	12	2	51	70	40	1,5	(HORYZN, 2021)
Hyundai UAM	S-A1	TR	15	0	0,64	3668,5	544,2	99,8	289,6	20,7	3,1	(Hyundai Motor Group, 2021)
Jaunt Air Mobility	Journey	TT	15,2	15,2	1	2721,1	544,2	144,8	281,6	30,9	9,5	(Jaunt Air Mobility LLC., 2021)
Joby Aviation	S4	TR	11,6	6,4	0,55	2176,9	544,2	241,4	265,5	54,5	10,9	(Joby Aviation, 2021)
KARI	OPPAV	TR	7	6,2	0,88	650	100	50	200	15	2,2	(KARI, 2021)
Kitty Hawk	Heaviside	TR	6,1	4,7	0,77	374,6	113,4	160,9	289,6	25	12,3	(Kittyhawk, 2021)
Leap Aeronautics	Leap XE6	TT	12	8	0,67	2180	500	200	250	48	10	(Leap Aeronautics, 2021)
Lilium	Jet (7 seat)	TR	13,9	8,5	0,61	3174,6	771	249,4	281,6	53,1	12,2	(Lilium GMBH, 2021)
Micor Technologies	VAGEV	FW	6,1	5,1	0,83	600	200	80	130	36,9	7,2	(Micor Technologies, 2021)
Napoleon Aero	Napoleon Aero	TT	-	-	0,79	1500	400	100	241,4	24,9	6,9	(Izvestia News, 2017)
Opener	BlackFly V3	FR	4,1	4,1	0,99	246,3	90,7	40,2	99,8	24,2	4,8	(Opener, 2021)

Orca Aerospace	Orca	TR	-	-	0,68	1814,1	300	140	204	41,2	5,2	(Orca Aerospace, 2021)
Overair (Karem)	Butterfly	TR	13,7	10	0,73	3628,1	498,9	160,9	201,1	48	5,3	(Overair, Inc., 2021)
PteroDynamics	Transwing	FW	3,8	2	0,54	26,2	6,8	247,8	101,4	147	11,3	(PteroDynamics, Inc., 2021)
Samad Aerospace	S5M Cargo	TR	8	6,7	0,84	600	60	217,2	152,9	85,3	6	(Samad Aerospace, 2021)
Skynet Project SRL	Genesys X-1	TR	6	3,5	0,58	139,7	49,9	99,8	180,2	33,2	6,8	(Giurca, 2021)
Terrafugia	TF-2A	TT	7,5	7,2	0,96	1200	200	100	180	33,3	5,2	(Terrafugia, 2021)
teTra Aviation	Mk-5	TT	8,6	6,2	0,71	567	78,9	75,6	108	42	2,5	(teTra Aviation Corp., 2021)
Vertical Aerospace	VA-X4	TR	14,9	13,1	0,88	2267,6	449,9	160,9	321,8	30	9,2	(Vertical Aerospace, 2021)
Volocopter	Voloconnect	TT	-	-	1	1596,4	399,1	100	180	33,3	8,2	(Nicola, 2021)
Voyzon Aerospace	e-VOTO	TR	8	4,3	0,53	726,8	226,8	125	250	30	6,8	(Voyzon Aerospace, 2021)
VTOL Aviation India	Abhiyaan_ ENUS800	TT	10,8	7,5	0,69	800	200	250	180	60	14,2	(VTOL Aviation India, 2021)
Wing (Alphabet)	Wing	TT	1	1,3	1,3	6,3	1,2	19,3	104,4	11,1	1,5	(Wing Aviation LLC., 2021)
Wingcopter	Wingcopter 198	TT	2	1,5	0,77	25	5	75	100	45	3,8	(Wingcopter, 2021)
Wisk	Cora	TT	11	6,4	0,58	1451,2	181,4	40,2	160,9	15	1	(Wisk Aero LLC., 2021)

Nota: La Tabla N° 7 plasma los diferentes diseños de las empresas pioneras en diseño y fabricación de eVTOL y la fuente respectiva de cada empresa.

[13] propone una comparación entre la capacidad de carga útil, medida en kilogramos, y la autonomía de crucero, medida en kilómetros, del conjunto de datos descrito en la Tabla N° .

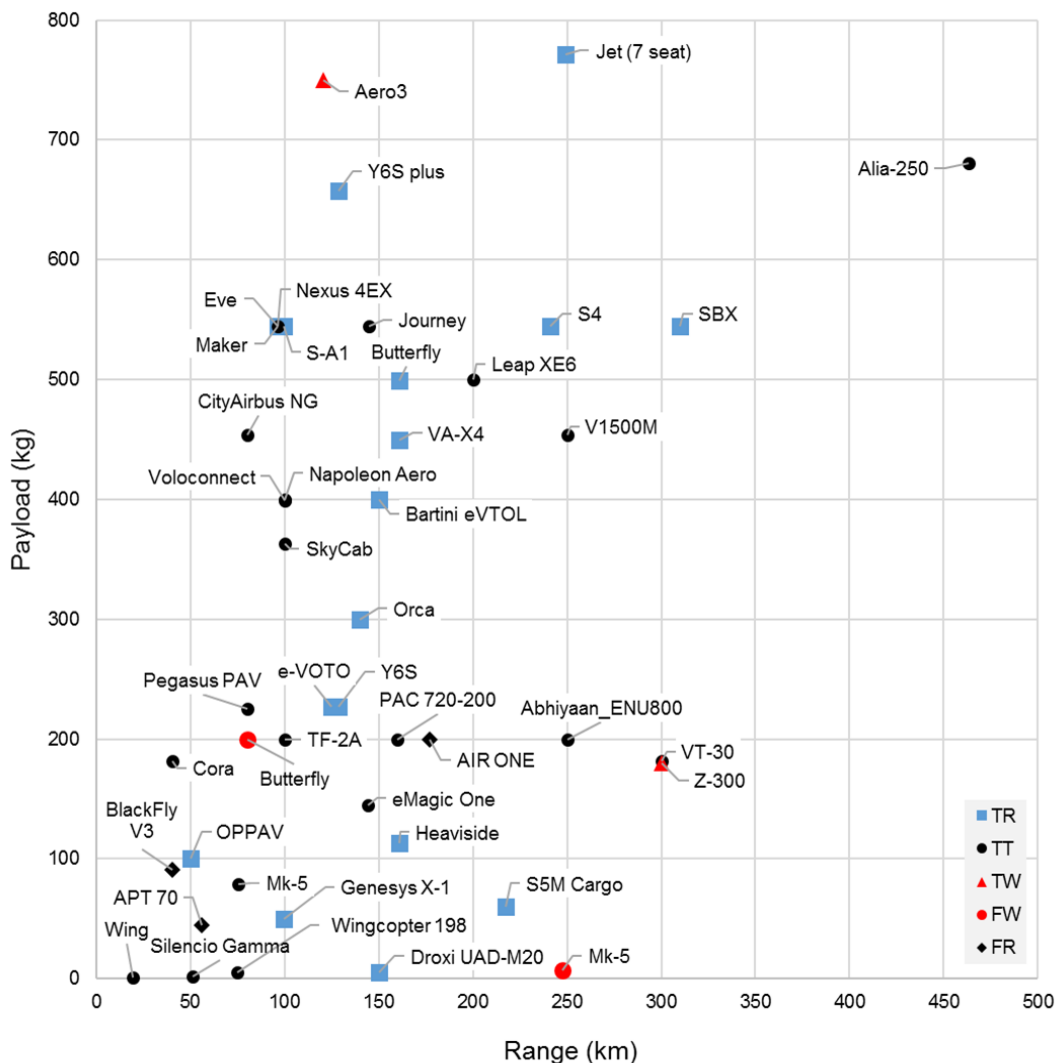


Fig. 5. El modelo de aeronave se representa mediante la carga útil (kg) y la autonomía (km).[13]

Sistema de control y navegación de eVTOL

Autopilot 4x es un sistema compacto y liviano que integra varios componentes como sensores, actuadores, procesadores y comunicaciones en una sola unidad. Tiene un potente procesador que permite el procesamiento rápido de datos y la ejecución de algoritmos en tiempo real. El sistema de control se caracteriza por su adaptabilidad a diferentes tipos y configuraciones de vehículos. Se puede usar en una variedad de plataformas, desde pequeños drones hasta aviones grandes. [15]

Además, es compatible con una gran cantidad de sensores y actuadores, lo que facilita su integración en los sistemas existentes. Autopilot 4x ofrece una variedad de modos de vuelo que

incluyen vuelo manual, semiautomático y completamente automático. En modo de vuelo automático, el sistema puede realizar de forma autónoma misiones preprogramadas, seguir rutas específicas, recopilar datos o alcanzar objetivos definidos. [15]

La interfaz de usuario de Autopilot 4x es intuitiva y fácil de usar, lo que facilita la configuración y el control de su sistema. Brinda acceso a información en tiempo real, como datos de sensores, estado de la misión y telemetría del vehículo. Además, ofrece recursos para examinar y representar datos, lo que simplifica el proceso de tomar decisiones. En resumen, el sistema de control Autopilot 4x es una solución integral y versátil para el control y automatización de vehículos no tripulados y aeronaves. Su adaptabilidad, rendimiento y facilidad de uso lo convierten en una opción atractiva para una amplia gama de aplicaciones aeroespaciales y robóticas. [15]

Modelos Micromecánicos

La micromecánica [16] Se emplea para predecir las características mecánicas e higrotérmicas de materiales compuestos, basándose en los datos ya establecidos de las propiedades de la fibra y la matriz.

Las propiedades mecánicas del material se evalúan en la dirección x-y (dirección local), mientras que la dirección longitudinal de la fibra y su dirección perpendicular se señalan como puntos de referencia. Debido a la marcada anisotropía en la lámina compuesta, estas direcciones son significativas, se puede considerar que las propiedades elastomecánicas de los parámetros que definirán estas direcciones son los siguientes: E_x (módulo elástico longitudinal), E_y (módulo elástico transversal), G_{xy} (módulo de corte en el plano xy) y G_{yx} (módulo de corte en el plano yx), ν_{xy} (Módulo de Poisson), ν_{yx} (Módulo de Poisson).

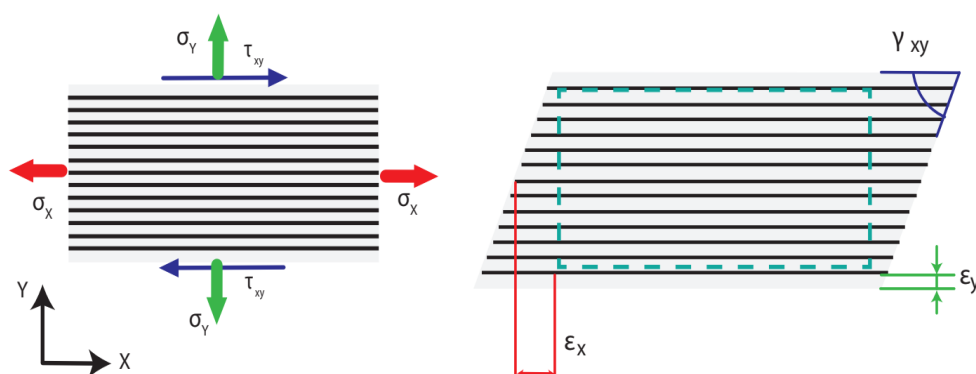


Fig. 6. esquemática de las tensiones y deformaciones en el plano (Y-X). [17]

En la Fig. 6 Se muestra un diagrama que representa la conexión entre las fuerzas aplicadas en el plano y las alteraciones en el plano de una lámina de material compuesto con una fibra larga unidireccional. [17]

La lámina de material compuesto está compuesta por una matriz polimérica con características mecánicas elásticas que se definen mediante su módulo de elasticidad (E_m), módulo de corte (G_m) y coeficiente de Poisson (ν_m). Las siguientes ecuaciones ilustran cómo calcular las propiedades mecánicas a nivel macroscópico utilizando la microestructura como base. [18]

Ley de mezclas:

Según [19] Teniendo en cuenta el volumen V del componente representado en la Fig. 7. se puede determinar el volumen de dicho elemento mediante el siguiente cálculo:

$$V = V_f + V_m + V_v \quad (1)$$

Utilizando los subíndices f , m y v para referirse a la fibra, matriz y huecos, respectivamente, podemos expresar las fracciones de volumen de la siguiente manera:

$$u_f = \frac{V_f}{V}, \quad u_m = \frac{V_m}{V}, \quad u_v = \frac{V_v}{V} \quad (2)$$

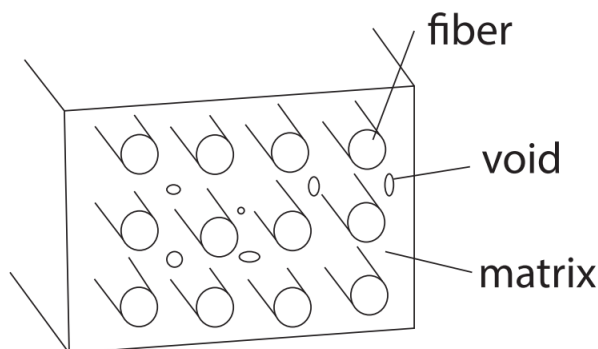


Fig. 7 Ilustración de la matriz, fibra y huecos. [19]

Las ecuaciones (1) y (2) dan:

$$u_f + u_m + u_v = 1 \quad (3)$$

Cuando la fracción de huecos (u_v) es insignificante, obtenemos lo siguiente:

$$v_f = 1 - v_m \quad (4)$$

La masa del elemento de la Fig. 7 es:

$$M = M_f + M_m + M_v \quad (5)$$

Debido a que los huecos no tienen masa, podemos expresar esta ecuación de la siguiente manera:

$$M = \rho_f V_f + \rho_m V_m \quad (6)$$

donde ρ_f y ρ_m son las densidades de la fibra y la matriz respectivamente. La densidad del compuesto es:

$$\rho_{comp} = v_f \rho_f + v_m \rho_m \quad (7)$$

A continuación, se describen las características de los compuestos reforzados con fibras paralelas mediante dos tipos de elementos, representados en la Fig. 8. El elemento "a" está formado por un único haz de fibras de sección transversal circular. En cambio, el elemento "b" consiste en una capa de fibras ubicada entre dos capas del material de la matriz. En el caso "b", los volúmenes de fibras y matriz son iguales a los del caso "a". [19]

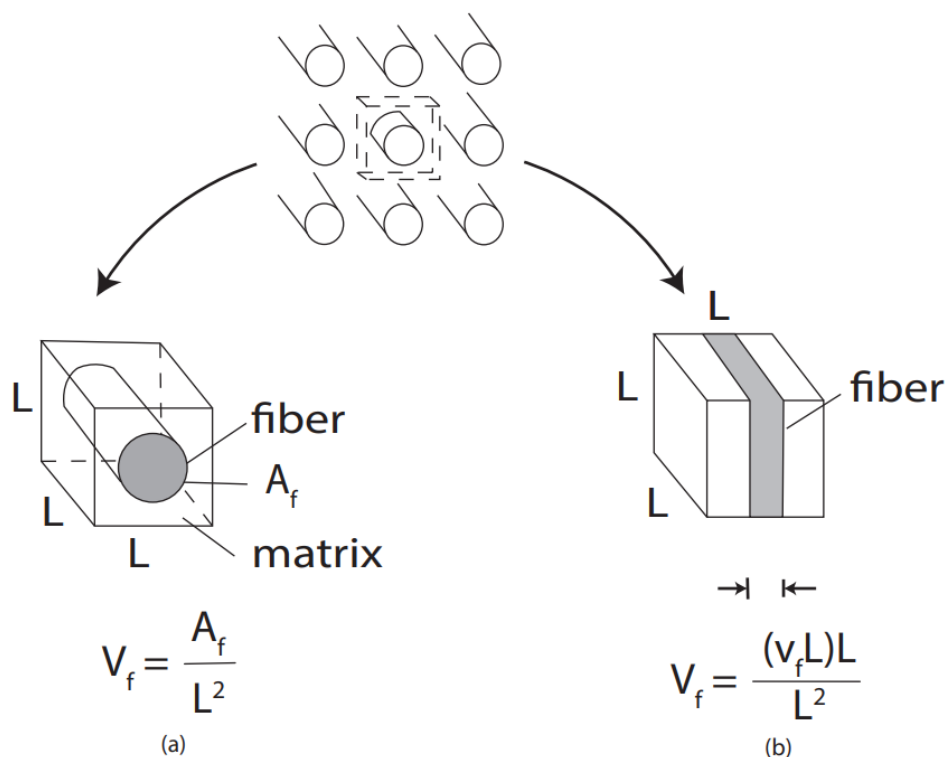


Fig. 8 Elementos representativos del V_f . [19]

Modelo Micromecanico de Chamis

Modelo de Chamis [20]. Ecuaciones que comprenden el modelo

$$E_x = E_{Lf} \cdot V_f + E_m \cdot (1 - V_f) \quad (8)$$

$$E_y = \frac{E_m}{1 - \sqrt{v_f} \left(1 - \frac{E_m}{E_{Tf}}\right)} \quad (9)$$

$$E_z = E_y \quad (10)$$

$$G_{xy} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{v_f} \left(1 - \frac{G_m}{G_{LTf}}\right)} \quad (11)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (12)$$

$$G_{yz} = \frac{G_m}{1 - \sqrt{v_f} \left(1 - \frac{G_m}{G_{TTf}}\right)} \quad (13)$$

$$v_{xy} = v_{LTf} \cdot V_f + v_m \cdot (1 - V_f) \quad (14)$$

$$v_{xz} = v_{xy} \quad (15)$$

En material transversalmente isotrópico se cumple. [21]:

$$v_{yz} \rightarrow G_{yz} = \frac{E_y}{2 \cdot (1 + v_{yz})} \quad (16)$$

Modelo Micromecánico de Hopkins-Chamis

Modelo Hopkins and Chamis [22], Ecuaciones que comprenden el modelo

$$E_x = v_f E_{fx} + v_m E_m \quad (17)$$

$$E_y = \left(\frac{\sqrt{v_f}}{\sqrt{v_f} E_{fy} + (1 - \sqrt{v_f}) * E_m} + \frac{1 - \sqrt{v_f}}{E_m} \right)^{-1} \quad (18)$$

$$G_{xy} = \left(\frac{\sqrt{v_f}}{\sqrt{v_f} G_{fxy} + (1 - \sqrt{v_f}) * G_m} + \frac{1 - \sqrt{v_f}}{G_m} \right)^{-1} \quad (19)$$

$$G_{yz} = \left(\frac{\sqrt{v_f}}{\sqrt{v_f} G_{fyz} + (1 - \sqrt{v_f}) G_m} + \frac{1 - \sqrt{v_f}}{G_m} \right)^{-1} \quad (20)$$

$$v_{xy} = v_f v_{fxy} + v_m v_m \quad (21)$$

$$v_{xy} = \frac{E_y}{2G_{xy}} - 1$$

Modelo Micromecánico de PUCK

Modelo PUCK [23], Ecuaciones que comprenden el modelo

$$E_x = E_{xxf} * v_f + E_M * (1 - v_f) \quad (22)$$

$$E_y = \left(\frac{E_M}{1 - v_M^2} \right) * \left(\frac{1 + (0.85 * v_f^2)}{(1 - v_f)^{1.25} + v_f * \left(\frac{E_M}{E_{yyf} * (1 - v_M^2)} \right)} \right) \quad (23)$$

$$E_z = E_y \quad (24)$$

$$G_{xy} = G_M * \left(\frac{1 + 0.4 * a}{b + v_f * \left(\frac{G_M}{G_{xyf}} \right)} \right) \quad (25)$$

$$G_{xz} = G_{xy} \quad (26)$$

$$v_{xy} = v_{xyf} * v_f + v_m * (1 - v_f) \quad (27)$$

$$v_{xz} = v_{xy} \quad (28)$$

Ecuaciones de resistencia

Las variables resistentes X_T , X_C , Y_T , Y_C , S , se muestran a continuación desde (27 – 30). En [24] dan las ecuaciones para hallar las variables resistentes

$$E_x = v_f E_{fx} + v_m E_m \quad (29)$$

$$E_y = \left(\frac{\sqrt{v_f}}{\sqrt{v_f} E_{fy} + (1 - \sqrt{v_f}) * E_m} + \frac{1 - \sqrt{v_f}}{E_m} \right)^{-1} \quad (30)$$

$$G_{xy} = \left(\frac{\sqrt{v_f}}{\sqrt{v_f} G_{fxy} + (1 - \sqrt{v_f}) * G_m} + \frac{1 - \sqrt{v_f}}{G_m} \right)^{-1} \quad (31)$$

$$G_{yz} = \left(\frac{\sqrt{v_f}}{\sqrt{v_f} G_{fyz} + (1 - \sqrt{v_f}) * G_m} + \frac{1 - \sqrt{v_f}}{G_m} \right)^{-1} \quad (32)$$

Relación entre las tensiones en las direcciones específicas y las tensiones en las direcciones general.

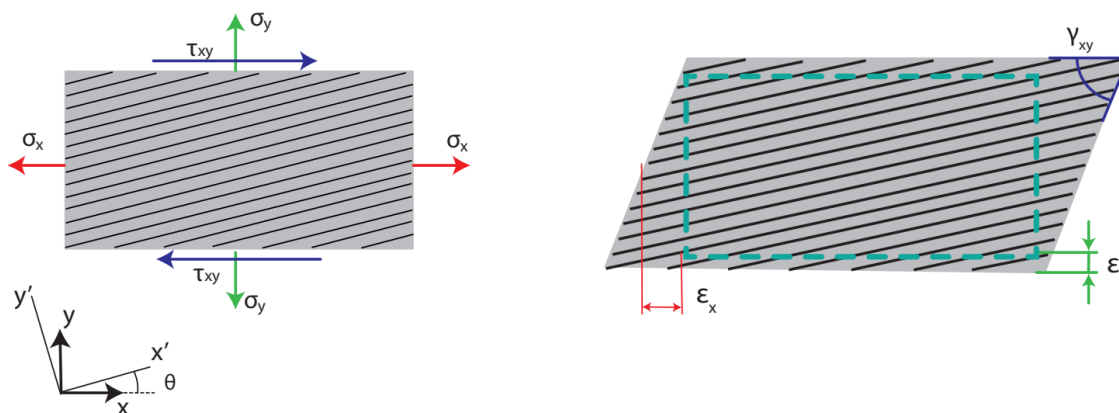


Fig. 9 Representación esquemática de las tensiones y deformaciones en el plano (x-y) y la variación de ángulos (θ). [25]

En estas expresiones, el vector $[\varepsilon]_{x'y'}$ se refiere a un vector que describe las deformaciones en el plano (ε_x , ε_y , ε_{xy}). De manera similar, la matriz $[\sigma]_{x'y'}$ incluye los valores de las tensiones en el plano en las direcciones locales (σ_x , σ_y , σ_{xy}). La matriz [S] es conocida como la matriz de conformidad o flexibilidad local, y sus elementos se calculan a partir de las constantes de ingeniería de la lámina. Por otro lado, la matriz [Q] es la matriz de rigidez local de la lámina, y se obtiene como la inversa de la matriz de flexibilidad [S].

Las siguientes expresiones se extrajeron de [26] y [27]

$$[\varepsilon]_{12} = [S] [\sigma]_{x'y'} \quad (33)$$

$$[\sigma]_{12} = [Q] [\varepsilon]_{x'y'} \quad (34)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_{x'}} & -\frac{\nu_{y'x'}}{E_{y'}} & 0 \\ -\frac{\nu_{x'y'}}{E_{x'}} & \frac{1}{E_{y'}} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{x'y'}} \end{bmatrix}; [Q] = [S]^{-1} \quad (35)$$

Debido a que las fibras se encuentran orientadas en un ángulo θ con respecto a la dirección x, es crucial establecer una relación entre las tensiones y las deformaciones en las direcciones locales (x' - y') y las direcciones globales (x - y). Con el fin de lograr esto, se utiliza una transformación trigonométrica que está relacionada con el ángulo θ . Esta transformación facilita

el establecimiento de una conexión directa entre las tensiones en las direcciones locales $[\sigma]_{x'y'}$ y las tensiones en las direcciones globales $[\sigma]_{xy}$ (Expresión 7) a través de una matriz de proporcionalidad. Dicha matriz, denominada matriz de transformación de tensiones $[T\sigma]$, La expresión muestra la transformación trigonométrica del vector columna de tensiones en el plano. La matriz de transformación de tensiones es función del ángulo (θ) . (θ) (Expresión 8).

$$[\sigma]_{12} = [T\sigma][\sigma]_{xy} \quad (36)$$

$$[T\sigma] = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sen^2\theta & 2 \cdot \sen\theta \cdot \cos\theta \\ \sen^2\theta & \cos^2\theta & -2 \cdot \sen\theta \cdot \cos\theta \\ -\sen\theta \cdot \cos\theta & \sen\theta \cdot \cos\theta & (\cos^2\theta - \sen^2\theta) \end{bmatrix} \quad (37)$$

Es factible realizar un proceso de deducción similar para las deformaciones o elongaciones en el plano, como se muestra en la **Expresión 9** y la **Expresión 10**. Estas ecuaciones establecen la conexión entre las **deformaciones en el plano** en direcciones locales y globales, junto con los valores correspondientes de la **matriz de transformación de deformaciones**. $[T\varepsilon]$.

$$[\varepsilon]_{x'y'} = [T\varepsilon] [\varepsilon]_{xy} \quad (38)$$

$$[T\varepsilon] = \begin{bmatrix} \cos^2\theta & \sen^2\theta & \sen\theta \cdot \cos\theta \\ \sen^2\theta & \cos^2\theta & -\sen\theta \cdot \cos\theta \\ -2 \cdot \sen\theta \cdot \cos\theta & 2 \cdot \sen\theta \cdot \cos\theta & (\cos^2\theta - \sen^2\theta) \end{bmatrix} \quad (39)$$

Considerando la **Expresión 9**, es posible reescribirla de manera inversa, como se indica en la **Expresión 11**:

$$[\varepsilon]_{xy} = [T\varepsilon]^{-1} \cdot [\varepsilon]_{x'y'} \quad (40)$$

Finalmente, si reemplazamos la **Expresión 7**, que establece la relación entre las tensiones en las direcciones locales y globales, en la **Expresión 12**, obtenemos:

$$[\varepsilon]_{xy} = [T\varepsilon]^{-1} \cdot [S] \cdot [T\sigma] \cdot [\sigma]_{xy} \quad (41)$$

La matriz de flexibilidad global, denotada por $[S]$, se define de acuerdo con la sugerencia de la **Expresión 13** de la siguiente manera:

$$[S] = [T\varepsilon]^{-1} \cdot [S] \cdot [T\sigma] \quad (42)$$

La relación entre las matrices de rigidez global $[Q]$ y de flexibilidad global $[S]$ es de naturaleza inversa, como se indica en la Expresión 17.

$$[\bar{Q}] = [\bar{S}]^{-1} = [T\varepsilon] \cdot [Q] \cdot [T\sigma]^{-1} \quad (43)$$

Las propiedades mecánicas o constantes ingenieriles de la lámina en las direcciones globales (x-y) pueden ser obtenidas a partir de la matriz de flexibilidad global [S], siguiendo una analogía con la matriz de flexibilidad local [S]. Al revisar la definición de la matriz de flexibilidad local, como se muestra en la Expresión 1, podemos aplicar un proceso similar para derivar las constantes ingenieriles globales, se observa que el primer término (S_{11}) representa la inversa del módulo en la dirección longitudinal ($1/E_x$). Por lo tanto, por analogía, en la matriz de flexibilidad global [S], el término (S_{11}) se establecerá una conexión directa con la recíproca del módulo elástico en la dirección x, que es representada por ($1/E_x$) según se menciona en la Expresión 18.

$$[S] = \begin{bmatrix} \bar{S}_{11} & \bar{S}_{12} & \bar{S}_{13} \\ \bar{S}_{21} & \bar{S}_{22} & \bar{S}_{23} \\ \bar{S}_{31} & \bar{S}_{32} & \bar{S}_{33} \end{bmatrix} \quad (44)$$

Considerando el procedimiento descrito para obtener el módulo en la dirección x, ahora te animo a examinar los diferentes elementos de la matriz de flexibilidad global de la lámina [S] con el fin de determinar los valores de otras constantes ingenieriles y luego compararlos con las **Ecuaciones 18-22**.

$$E_x = \frac{1}{\bar{S}_{11}} \quad (45)$$

$$E_y = \frac{1}{\bar{S}_{22}} \quad (46)$$

$$G_{xy} = \frac{1}{\bar{S}_{33}} \quad (47)$$

$$V_{xy} = E_x \cdot \bar{S}_{21} \quad (48)$$

$$V_{xy} = E_y \cdot \bar{S}_{12} \quad (49)$$

Espesor de la lámina

Espesor del laminado compuesto

Según [28] y [29] el espesor de la capa se determina mediante el peso por unidad de superficie de la fibra, expresado como gramaje o *mof*. El espesor de la capa, representado por h, se calcula de tal manera que

$$b = \frac{m_{of}}{V_f \rho_f} \quad (50)$$

Además, es posible expresar el espesor con relación a la fracción de masa de las fibras en lugar de la fracción de volumen:

$$b = m_{of} \left[\frac{1}{\rho_f} + \frac{1}{\rho_m} \left(\frac{1 - M_f}{M_f} \right) \right] \quad (51)$$

Según [28] en la Tabla N° 8 los procesos de manufacturado de acuerdo con la fracción de volumen de fibra.

Tabla N° 8 Volumen de fibra en diferentes procesos

Proceso de moldeo	Fracción de volumen de fibra (%)
Moldeo por contacto	30
Moldeo por compresión	40
Bobinado de filamentos	60–85
Moldeo por vacío	50–80

Criterio de falla

Se han formulado muchos criterios de falla diferentes para predecir las cargas de fallo para los estados de estrés general. [33] propone la siguiente clasificación:

Teorías de límite o no interactivas, se utilizan para predecir modos de fallo específicos al comparar las tensiones o deformaciones individuales de una lámina con las resistencias o deformaciones últimas correspondientes. Ejemplos de estas teorías son la teoría de tensión máxima y la teoría de deformación máxima. En este enfoque, no se considera la interacción entre los diferentes componentes de tensión en el fallo.

Teorías interactivas, como las teorías de Tsai-Hill y Tsai-Wu, incorporan todos los componentes de tensión en una expresión o criterio de fallo. Estas teorías permiten predecir el fallo global sin hacer referencia a modos de fallo específicos.

Teorías parcialmente interactivas o basadas en los modos de fallo, como las teorías de Hashin-Rotem y Puck, proporcionan criterios separados para el fallo de las fibras individuales y del material interfibras (matriz o interfaz). Estas teorías tienen en cuenta los distintos modos de fallo que pueden ocurrir en cada componente del material compuesto.

Las siguientes teorías de fallo más usadas se describen brevemente a continuación:



Fig. 10 uso de los criterios de fallo de los laminados en la industria aeroespacial. [28]

Criterio del máximo stress

Relacionado con la teoría de estrés máximo normal de Rankine y la teoría de estrés máximo de Tresca, esta teoría es similar a las aplicadas a los materiales isotrópicos. Las tensiones que actúan sobre una lámina se resuelven en las tensiones normales y cortantes en los ejes locales. [30]. El fallo se predice en una lámina, si cualquiera de las tensiones normales o cortantes en los ejes locales de una lámina es igual o excede las fuerzas finales correspondientes de la lámina unidireccional.

Este enfoque considera los componentes de tensión por separado y asume que la falla ocurriría cuando cualquiera de los componentes de tensión alcanza la fuerza permitida en una dirección correspondiente. Este criterio propone seguir las desigualdades para examinar el fallo. [31]

$$\begin{aligned} \sigma_{11} \geq X_1^T, \quad \sigma_{11} \leq -X_1^C, \quad \sigma_{22} \geq X_2^T \\ \sigma_{22} \leq -X_2^C, \quad \sigma_{12} \geq S, \quad \sigma_{12} \leq -S \end{aligned} \quad (52)$$

Donde X es la tensión admisible y subíndices 1, 2 corresponde a la fibra y las direcciones transversales, mientras que los superíndices T, C representa la tensión y la compresión, respectivamente; y S es la cizalla permisible. De acuerdo con los criterios, si cualquiera de estas desigualdades se cumple, el fallo se produciría. Este fallo envolvente se representa gráficamente a continuación. [31]

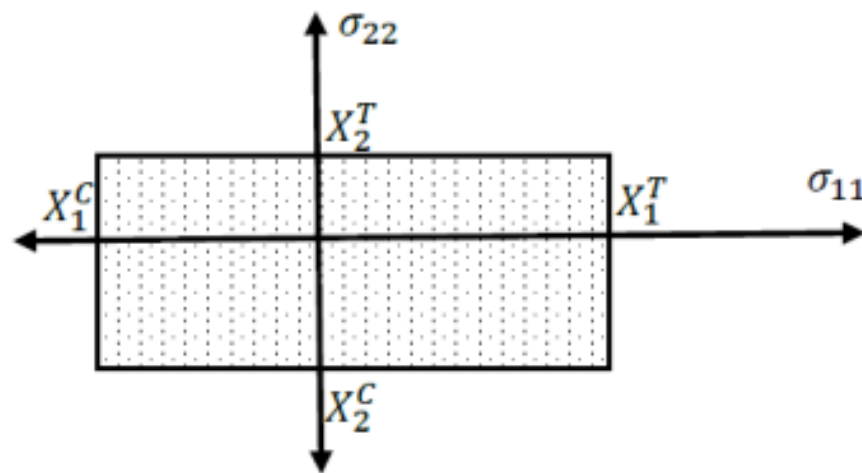


Fig. 11 Criterio de esfuerzo máximo [31]

Según [30] adaptación la teoría de la máxima tensión a los materiales compuestos cuando se encuentran en condiciones de tensión plana. Utilizó esta teoría para predecir la resistencia de una lámina unidireccional fuera de su eje, teniendo en cuenta la orientación de las fibras. Para lograr esto, se emplearon tres curvas distintas que representaban tres modos de fallo diferentes.

Con relación a las tensiones presentes en un material compuesto unidireccional, estas se resuelven a lo largo de los ejes y planos principales del material. La condición de fallo se expresa mediante los siguientes subcriterios [33]:

$$\sigma_1 = \begin{cases} X_T & \sigma_1 > 0 \\ -X_C & \sigma_1 < 0 \end{cases} \quad (53)$$

$$\sigma_2 = \begin{cases} Y_T & \sigma_2 > 0 \\ -Y_C & \sigma_2 < 0 \end{cases} \quad (54)$$

$$\tau_{12} = S_C \quad (55)$$

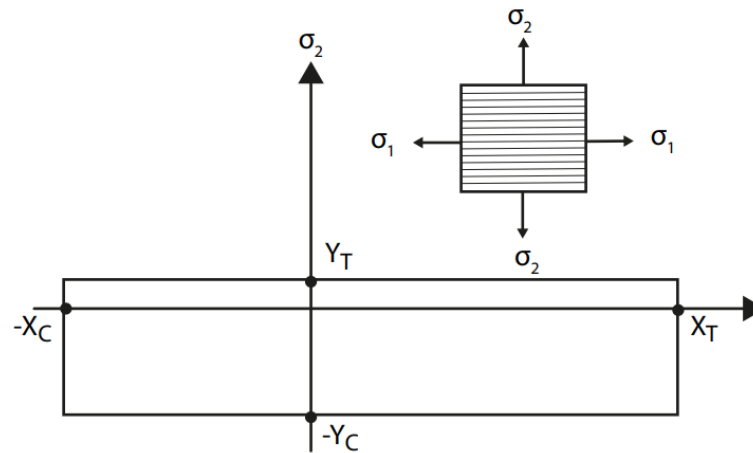


Fig. 12 Fallo para una lámina unidireccional sometida a carga biaxial en condiciones de carga normal.[33]

Para un estado de tensión bidimensional con $\tau_{12} = 0$, la envoltura de falla toma la forma de un rectángulo como se muestra en la Fig. 12.

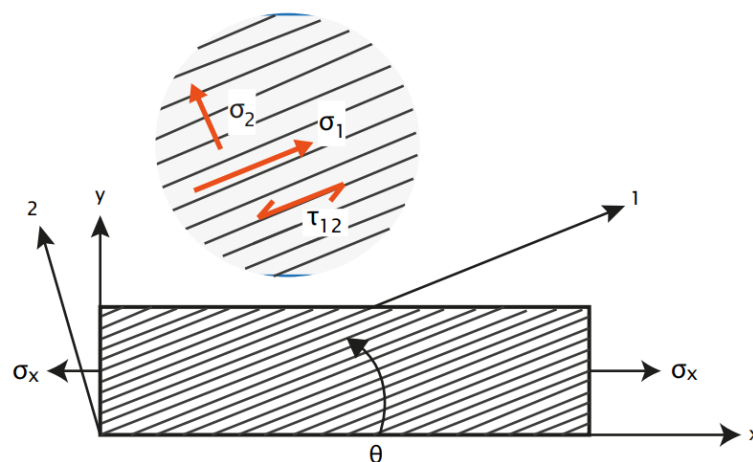


Fig. 13 Carga uniaxial de una lámina unidireccional que se encuentra desplazada respecto al eje principal. [33]

En la situación más amplia, las tensiones experimentan una transformación a lo largo de los ejes principales del material, y cada componente de la tensión se vincula con su respectivo parámetro de resistencia. Tomemos como ejemplo el caso de una carga uniaxial aplicada a una lámina fuera de su eje Fig. 13. Los componentes de tensión a lo largo de los ejes principales del material son:

$$\sigma_1 = \sigma_x \cos^2 \theta \quad (56)$$

$$\sigma_2 = \sigma_x \sin^2 \theta \quad (57)$$

$$\tau_{12} = -\sigma_x \sin \theta \cos^2 \theta \quad (58)$$

Igualando los componentes de tensión en las ecuaciones (54-56) a las fuerzas correspondientes, obtenemos los siguientes valores finales de σ_x , es decir, la fuerza fuera del eje σ_{xu} :

Cuando $\sigma_x > 0$

$$\sigma_{xu} = \frac{X_T}{\cos^2 \theta} \quad (59)$$

$$\sigma_{xu} = \frac{Y_T}{\sin^2 \theta} \quad (60)$$

$$\sigma_{xu} = \frac{S_C}{\sin^2 \theta} \quad (61)$$

Cuando $\sigma_x < 0$

$$\sigma_{xu} = \frac{X_C}{\cos^2 \theta} \quad (62)$$

$$\sigma_{xu} = \frac{Y_C}{\sin^2 \theta} \quad (63)$$

$$\sigma_{xu} = \frac{S_C}{\sin^2 \theta} \quad (64)$$

Criterio Tsai-Hill

Existen otros enfoques que consideran las interacciones entre los modos de fallo y se basan principalmente en modificaciones de los criterios de fluencia utilizados en metales (consulte TLP sobre Teoría del conformado de metales - Estados de tensión y criterios de fluencia). Uno de los más destacados es el criterio de Tsai-Hill, el cual es una adaptación del criterio de von Mises.[34]

$$\left(\frac{\sigma_1}{\sigma_{1u}}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_{2u}}\right)^2 - \frac{\sigma_1 \sigma_2}{\sigma_{1u}^2} + \left(\frac{\tau_{12}}{\tau_{12u}}\right)^2 = 1 \quad (65)$$

Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

En general, CFD predice el flujo turbulento a través de cualquiera de los siguientes tres enfoques: (1) Simulación numérica directa (DNS), (2) Simulación de remolinos grandes (LES) y (3) Promedio de Reynolds Modelos de turbulencia de Navier-Stokes (RANS). En DNS, la

ecuación de Navier-Stokes se usa sin ninguna aproximación para calcular el flujo turbulento. La resolución de cuadrícula fina precisa es esencial para que el DNS lo descubra la formación de remolinos más pequeña en el flujo turbulento es por eso por lo que se desea una gran capacidad de computadora. Ya que hay un alto número de Reynolds en el campo de flujo que necesitaba una alta computación capacidad.

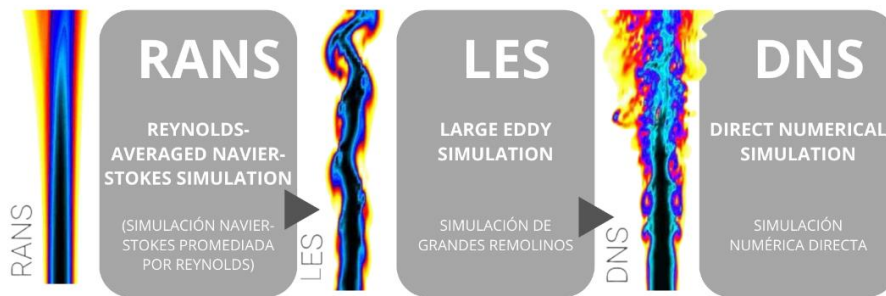


Fig. 14. CFD de un chorro turbulento mediante distintos enfoques. [35]

Ecuaciones de gobierno

Las ecuaciones fundamentales que describen el movimiento de fluidos y la transferencia de calor se conocen como ecuaciones de Navier-Stokes. Estas ecuaciones representan matemáticamente las leyes de conservación en la mecánica de fluidos. Cuando se aplican a un flujo continuo de fluido, estas leyes de conservación establecen una relación entre la tasa de cambio de una propiedad específica del fluido y las fuerzas externas que influyen sobre él. [36]

La primera ley de conservación en la mecánica de fluidos es la ley de conservación de la masa, también conocida como continuidad. Esta ley establece que la cantidad de masa que entra en un elemento fluido debe ser igual a la cantidad de masa que sale de ese mismo elemento. En otras palabras, el flujo de masa que entra es igual al flujo de masa que sale.

La segunda ley de conservación en la mecánica de fluidos es la ley de conservación del momento, que se fundamenta en la segunda ley del movimiento de Newton. Esta ley establece que la suma de las fuerzas externas que actúan sobre una partícula fluida es igual a la tasa de cambio de su momento lineal. En otras palabras, la variación del momento lineal de la partícula es resultado de las fuerzas externas que actúan sobre ella.

La tercera ley de conservación en la mecánica de fluidos es la ley de conservación de la energía, la cual se fundamenta en la primera ley de la termodinámica. Esta ley establece que la tasa de cambio de energía de una partícula fluida es igual a la suma del calor agregado al fluido y del trabajo realizado sobre la partícula. En otras palabras, la variación de energía de la partícula fluida está determinada por la cantidad de calor que se agrega al fluido y el trabajo que se efectúa sobre la partícula.

Navier Stocks:

Las ecuaciones que describen el flujo de fluidos pueden ser un poco intimidantes. Por ejemplo, aunque nos limitemos a flujos incompresibles para en los que la viscosidad es constante, seguimos teniendo las siguientes ecuaciones. [36]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \\ \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (66)$$

Utilizando estas leyes de conservación en volúmenes discretos dentro de un dominio de fluido, es factible llevar a cabo un seguimiento sistemático de las alteraciones en masa, momento y energía a medida que el flujo atraviesa los límites del volumen. Las ecuaciones resultantes pueden expresarse de la siguiente manera:

Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (67)$$

Ecuación de momento:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[-p \delta_{ij} + \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i \quad (68)$$

Ecuación de energía:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho C_a T) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_j C_a T) - \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) = s_T \quad (69)$$

Materiales y métodos

Diagrama de flujo

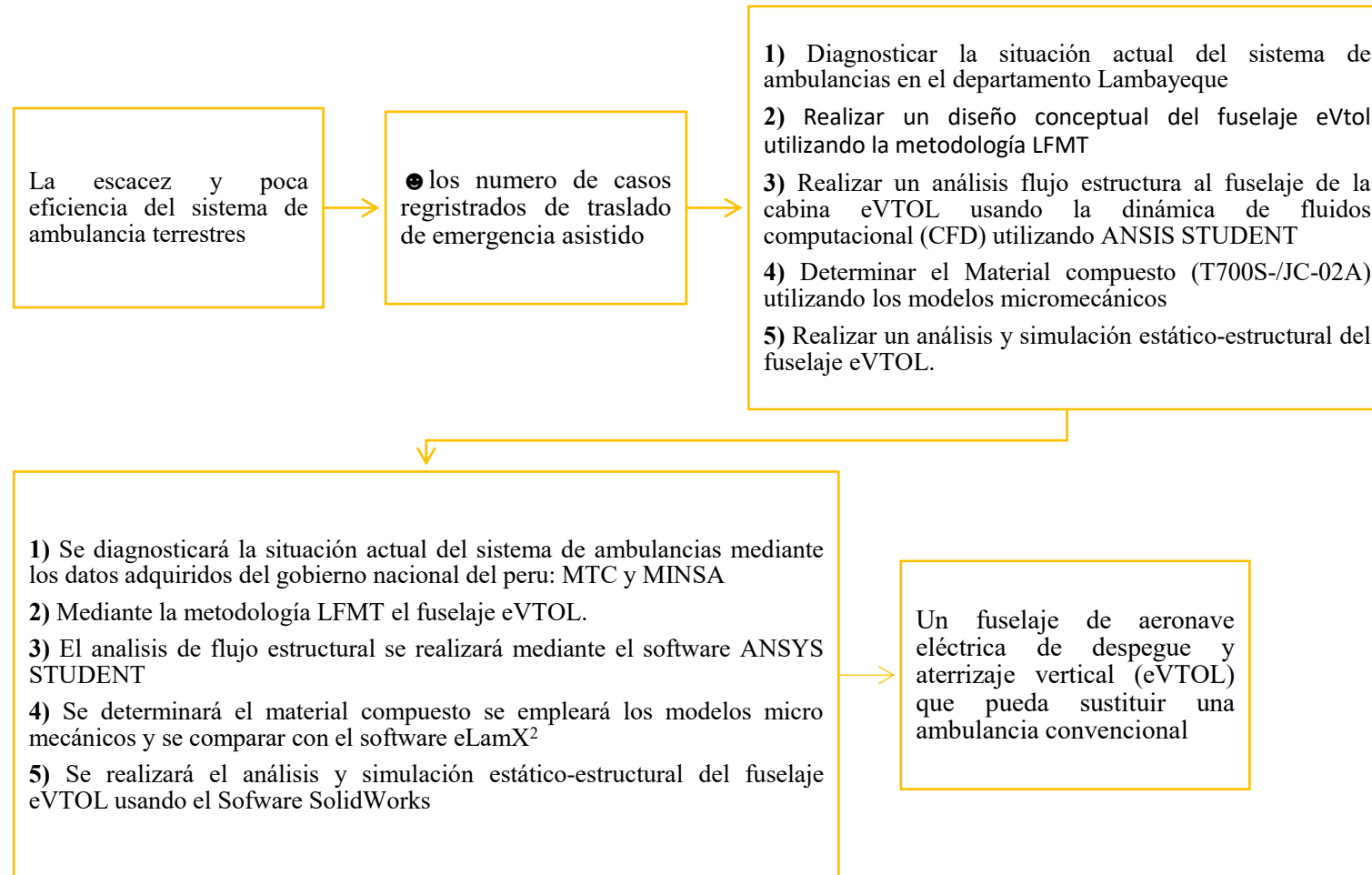


Fig. 15 Diagrama de flujo

Formulación de hipótesis

Tabla N° 9 Formulación de hipótesis

Objetivo general	Hipótesis general
Diseñar un fuselaje aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia	Si se realiza el diseño de un fuselaje de aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia, entonces el sistema de ambulancias tendrá mayor eficiencia y calidad de servicio.
Objetivo específico	Hipótesis específicas
Diagnosticar la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque.	Si se diagnostica la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque, entonces, se tendrá la información necesaria sobre la cantidad, tipos de ambulancia y cuantas se encuentran en funcionamiento, también los reportes de traslados de urgencia y emergencia.
Realizar un diseño conceptual del fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT	Si se diseña el fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT, entonces, se diseñará un fuselaje con mejores prestaciones y características.
Realizar un análisis flujo estructura al fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT	Si se realiza un análisis de flujo estructura del fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT, entonces, se tendrá en las velocidades ejercida por el viento y la presión.
Determinar el Material compuesto (T700S-/JC-02A) utilizando los modelos micromecánicos	Si se calcula las propiedades mecánicas macroscópicas a partir de la microestructura del material compuesto utilizando los modelos de Chamis, Hopkins-Chamis y PUCK, entonces, se tendrá un material con ejes ortogonales con orientación de fibra cambiante dando como resultado datos más exactos para la simulación.
Realizar un análisis y simulación estático-estructural al fuselaje eVTOL	Si se realiza un análisis y simulación estático-estructural del fuselaje eVTOL, entonces, se tendrá la estabilidad por rigidez.

Operacionalización de variables

Tabla N° 10 Operacionalización de variables

Variable independiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Items
Diseño de un fuselaje eVTOL (aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical)	Es un concepto innovador de diseño para transporte que permite emplear aeronaves eléctricas de despegue y aterrizaje vertical. Esta tecnología tiene una capacidad de carga hasta 900 kg a velocidades de 90 - 300 km/h. Los decibeles alcanzados no superan los 70dB a una distancia de 150 m. [6]	Se utilizará fibra de carbono y resina T700S/JC-02A para el diseño de cobertura del fuselaje y distribución interna del fuselaje por medio de la metodología LFMT. Análisis y simulación; Aerodinámico, estático estructural.	Diseño Capacidad de carga Velocidad Ruido	Matriz morfológica Peso Velocidad Sonido	Criterio de diseño kg m/s dB
Variable dependiente	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Items
Servicios médicos de emergencia	Es la movilización del paciente de una zona a otra dentro del Hospital, de forma rápida y eficiente. [9]	Se realizará un diagnóstico del sistema de ambulancias en Lambayeque.	Movilización Rapidez Eficiencia	Desplazamiento Velocidad Tiempo de entrega	m m/s adimensional

Matriz de consistencia

Tabla N° 11 Matriz de consistencia

Diseño del fuselaje de la aeronave eVTOL con materiales compuestos T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia				
Problemas	Objetivos	Hipótesis	Variables	Metodología
	General	General	Variable independiente	Diseño de investigación
¿Sera posible diseño de un fuselaje de aeronave eVTOL con materiales compuestos T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia en zonas de alto tráfico y zonas geográficas de difícil acceso?	Diseñar un fuselaje aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia	Si se realiza el diseño de un fuselaje de aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical (eVTOL) utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia, entonces el sistema de ambulancias tendrá mayor eficiencia y calidad de servicio.	Diseño de un fuselaje eVTOL (aeronave eléctrica de despegue y aterrizaje vertical)	Tipo aplicada – correlacional con utilización del Software SolidWorks, ANSYS STUDENT, eLamX2, Phytion, SMATH y Excel
	Específicos	Específicos	INDICADORES	TECNICA: RECOLECCION DE DATOS
			Matriz morfológica Peso Velocidad Sonido	En este proyecto de investigación se utilizará los datos adquiridos del gobierno regional de Lambayeque y MINSA para ver el estado del sistema de ambulancia a nivel nacional
	Diagnosticar la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque	Si se diagnostica la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque, entonces, se tendrá la información necesaria sobre la cantidad, tipos de ambulancia y cuantas se encuentran en funcionamiento, también los reportes de traslados de urgencia y emergencia.	Variable dependiente	Población y muestra
	Realizar un diseño conceptual del fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT	Si se diseña el fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT, entonces, se diseñará un fuselaje con mejores prestaciones y características.	Servicios médicos de emergencia	la unidad de estudio es el fuselaje eVTOL utilizando fibra de carbono y resina T700S-/JC-02A para servicios médicos de emergencia
	Realizar un análisis flujo estructura al fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT	Si se realiza un análisis de flujo estructura del fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT, entonces, se tendrá en las velocidades ejercida por el viento y la presión.	Indicadores	La población serán las aeronaves eVTOL y las ambulancias terrestres actuales que se usan para servicios médicos de emergencia.
	Determinar el Material compuesto (T700S-/JC-02A) utilizando los modelos micro mecánicos	Si se calcula las propiedades mecánicas macroscópicas a partir de la microestructura del material compuesto utilizando los modelos de Chamis, Hopkins-Chamis y PUCK, entonces, se tendrá un material con ejes ortogonales con orientación de fibra cambiante dando como resultado datos más exactos para la simulación.	Desplazamiento Velocidad Tiempo de entrega	
	Realizar un análisis y simulación estático-estructural al fuselaje eVTOL	Si se realiza un análisis y simulación estático-estructural del fuselaje eVTOL, entonces, se tendrá la estabilidad por rigidez.		

Resultados y discusión

Diagnostico la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque

Proceso de la obtención de información y análisis

Se utilizará de metodología de [37] para el proceso de recolección y análisis de datos cuantitativos, tal como se ilustra en la Fig. 16, se utiliza GRSA-L (Gerencia Regional de Salud - Lambayeque), (Gerencia Regional de Transporte y Comunicaciones de Lambayeque).

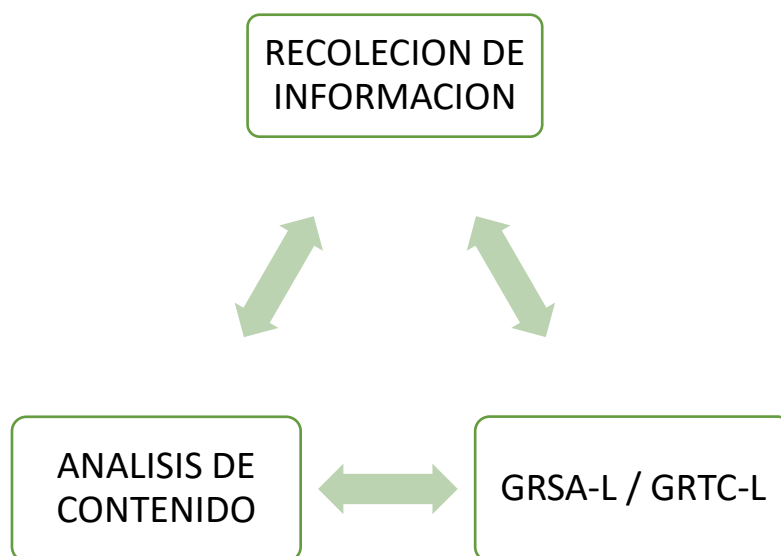


Fig. 16 Diagrama de proceso de obtención de información

Obtención de información

La Tabla N° 12 comprende el dominio territorial de la red de salud de Lambayeque con respecto a su número de habitantes.

Tabla N° 12 Población asignada a la red Lambayeque – año 2022

Red de salud de Lambayeque	
Población por número de habitantes	314424
Área de la red salud	9346,63 km ²

Nota: La Tabla N° 12 muestra los datos correspondientes al área de la red de salud y la población por número de habitantes, obtenidos de referencia en [1].

La Tabla N° 13 muestra los datos correspondientes a los distritos de la red de salud Lambayeque y su población total correspondiente a cada distrito.

Tabla N° 13 Población de la red Lambayeque por distrito – año 2022

Distrito	POBLACIÓN
Lambayeque	68 649
Mochumí	22 619
Túcume	25 027
Íllimo	20 609
Mórrope	57 661
Jayanca	20 542
Salas	17 238
Motupe	30 331
Olmos	50 052
Kañaris	17 296

Nota: En la Tabla N° 13 se presentan los datos correspondientes al número de habitantes por cada distrito de la provincia Lambayeque obtenidos en [1].

La siguiente Tabla N° 14 muestra una visión numérica de las unidades de transporte en la red de salud Lambayeque.

Tabla N° 14 Estado situacional de las unidades de transporte asistido de la red de salud Lambayeque

MICRORRED	EE. SS CON AMBULANCIA	Tipo	Año	Cantidad	Observación
Lambayeque	C.S Toribia Castro Chirinos	I	2020	1	
Mórrope	C.S Mórrope	I	2010	1	
	C.S Cruz Medano	I	2014	1	
Mochumí	C.S Mochumí	I	2013	1	Inoperativa
Íllimo	C.S Íllimo	II	2013	2	
	C.S Pacora	I	1992	1	
Jayanca	C.S Jayanca	I	2010	1	
Salas	C.S Salas	I	2010	1	
	C.S Colaya	I	2010	1	

	P.S La Ramada	I	2013	1	Inoperativa
Motupe	C.S Motupe	I	2013	3	
	P.S Tongorrape	I	2000	1	Inoperativa
	P.S Chochope	I	2000	1	Inoperativa
	C.S Olmos	I	1992	2	Inoperativa
	P.S Insculas	I	1992	1	
Olmos	P.S El Puente	I	2000	1	
	P.S Pueblito	I	1995	1	
	P.S Corral De Arena	I	2019	1	
	C.S Kañaris	I	2013	1	
Kañaris	P.S Huacapampa	II	2013	1	
	P.S Huayabamba	II	2013	1	
	P.S Chiñama	I	1995	1	Inoperativa
	P.S Magma pampa	I	2000	1	
	P.S Quirichima	I	2000	1	
	P.S Hierba Buena	I	2020	1	Inoperativa

Nota: En la Tabla N° 14 se proyectan los números correspondientes a las unidades de transporte de la red salud detallando su tipo. Año y cantidad respectiva, obtenidos en [1].

La siguiente Tabla N° 15 corresponde a un desglose de datos de la accesibilidad de las IPRESS en la red de salud Lambayeque.

Tabla N° 15 Información de las IPRESS según accesibilidad

Establecimiento de salud	Categoría	Población	Vía acceso	Distancia en horas a hospital	Radio comunicaciones	Medio de transporte propio
Toribia Castro	I - 4	28 230	Carretera	0h:15min	No operativa	Ambulancia
San Martín	I - 3	34 290	Carretera	0h:15min	No cuenta	No cuenta
Muy finca punto 09	I - 1	2 665	Carretera	0h:30min	No cuenta	No cuenta
Sialupe			Carretera y			
Huamantanga	I - 1	3 121	trocha	0h:30min	No cuenta	No cuenta
Capilla Santa Rosa	I - 1	3 121	Carretera y trocha	0h:40min	No cuenta	No cuenta
Mochumí	I - 3	13 109	Carretera	0h:40min	No operativa	Ambulancia
Maravillas	I - 2	1 670	Carretera	0h:50min	No cuenta	No cuenta
Punto cuatro	I - 2	4 058	Carretera	0h:45min	No cuenta	No cuenta

Paredones muy finca	I - 1	1 353	Carretera y trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Túcume	I - 2	9 904	Carretera	0h:50min	No cuenta	No cuenta
Túcume viejo	I - 2	1 604	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Granja Sasape	I - 1	2 360	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Los Bances	I - 2	4 402	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
La raya	I - 2	1 771	Carretera	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Los Sanchez	I - 1	1 289	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Llino	I - 3	7 697	Carretera	1h:00min	No operativa	Ambulancia
Chirimoyo	I - 2	1 510	Carretera	1h:15min	No cuenta	No cuenta
San Pedro Sasape	I - 1	652	Carretera	1h:15min	No cuenta	No cuenta
Pacora	I - 3	6 829	Carretera	1h:30min	No operativa	Ambulancia
Huaca Rivera	I - 1	764	Carretera y trocha	1h:50min	No cuenta	No cuenta
Jayanca	I - 3	13 084	Carretera	1h:45min	No operativa	Ambulancia
La viña	I - 1	2 548	Carretera y trocha	1h:50min	No cuenta	No cuenta
Motupe	I - 3	19 347	Carretera	1h:30min	No operativa	Ambulancia
Tongorrape	I - 2	2 590	Carretera y trocha	2h:00min	No operativa	Ambulancia
Anchovira	I - 1	981	Carretera y trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Marripon	I - 2	1 192	Carretera y trocha	2h:00min	No cuenta	No cuenta
El arrozal	I - 1	1 089	Carretera y trocha	2h:00min	No cuenta	No cuenta
Chochope	I - 2	2 590	Carretera y trocha	2h:00min	No operativa	Ambulancia
Mórrope	I - 3	7 049	Carretera	0h:45min	No operativa	Ambulancia
El Romero	I - 2	2 435	Carretera y trocha	0h:50min	No cuenta	No cuenta
Cruz de paredones	I - 1	2 463	Carretera y trocha	0h:50min	No cuenta	No cuenta
Annape	I - 1	1 031	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
La colorada	I - 2	2 509	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Caracucho	I - 2	1 660	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Sequión	I - 1	1 089	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Santa Isabel	I - 2	1 623	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Monte hermoso	I - 1	1 388	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Huaca trapiche de bronce	I - 1	1 079	Trocha	1h:45min	No cuenta	No cuenta
Cruz del médano	I - 3	4 224	Carretera	1h:00min	No operativa	Ambulancia
Quemazón	I - 1	1 460	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Huaca de barro	I - 2	3 232	Carretera y trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta

Las pampas	I - 1	1 468	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Arbolsol	I - 2	2 999	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Lagunas	I - 2	1 844	Carretera	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Chepito	I - 2	1 563	Carreteray trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Positos	I - 2	2 240	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Tranca						
Fanupe	I - 2	3 091	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
La Gartera	I - 2	2 827	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Fanupe Barrio	I - 1	1 118	Trocha	1h:00min	No cuenta	No cuenta
Salas	I - 3	3 109	Carretera	1h:15min	No operativa	Ambulancia moto
Penachi	I - 2	2 630	Trocha	2h:00min	No cuenta	Moto
Kerguer	I - 2	1 671	Trocha	2h:00min	No cuenta	Moto
El Sauce	I - 2	1 204	Trocha	1h:45min	No cuenta	Moto
Colaya	I - 3	1 160	Trocha	3h:00min	No operativa	Ambulancia moto
Humedades	I - 2	1 267	Carretera	1h:00min	No cuenta	Moto
Tallapampa	I - 1	1 094	Trocha	2h:00min	No cuenta	Moto
La ramada	I - 2	1 035	Trocha	3h:00min	No operativa	Ambulancia moto
Corral de piedra	I - 2	1 279	Trocha	5h:00min	No cuenta	Moto
Laguna						
Huanama	I - 1	876	Trocha	5h:00min	No cuenta	Moto
Olmos	I - 3	13 057	Carretera	2h:00min	No operativa	Ambulancia
La estancia	I - 2	4 686	Carretera	2h:00min	No cuenta	No cuenta
Ficuar	I - 1	1 004	Trocha	3h:00min	No cuenta	No cuenta
Santa Rosa	I - 1	686	Trocha	3h:00min	No cuenta	No cuenta
La Calera						
Santa Rosa	I - 1	1 111	Trocha	4h:00min	No cuenta	No cuenta
El puente	I - 2	2 678	Trocha	3h:00min	No operativa	Ambulancia
Playa Cascajal	I - 1	1 198	Trocha	2h:30min	No cuenta	No cuenta
El pueblito	I - 1	1 248	Carretera	2h:30min	No operativa	Ambulancia
Ancol chico	I - 2	3 348	Trocha	4h:00min	No cuenta	No cuenta
Insulás	I - 2	1 339	Carretera	2h:00min	No operativa	Ambulancia
Querpón	I - 2	968	Carretera	3h:00min	No cuenta	No cuenta
Tres batanes	I - 2	680	Trocha	3h:00min	No cuenta	No cuenta
Capilla central	I - 1	728	Carretera	3h:30min	No cuenta	No cuenta
Ñaupe	I - 2	1 023	Carretera	3h:00min	No cuenta	No cuenta
El virrey	I - 2	1 129	Carretera	4h:00min	No cuenta	No cuenta
Las norias	I - 1	2 696	Trocha	5h:00min	No cuenta	No cuenta
Corral de arena	I - 2	1 003	Trocha	3h:00min	No operativa	Ambulancia
Mocape	I - 1	1 035	Carretera	3h:00min	No cuenta	No cuenta
Pasabar aserradero	I - 1	1 214	Carretera	3h:00min	No cuenta	No cuenta

Kañaris	I - 3	3 526	Carretera y trocha	6h:00min	No operativa	Ambulancia moto
Mamagpampa	I - 2	1 503	Carretera y trocha	3h:00min	No operativa	Ambulancia
Pandachí	I - 2	1 393	Trocha	5h:00min	No cuenta	Moto
Huacapampa	I - 2	749	Trocha	6h:00min	No operativa	Ambulancia moto
Chilasque	I - 2	1 047	Trocha	5h:00min	No cuenta	Moto
Quirichima	I - 2	2 404	Trocha	7h:00min	No operativa	Ambulancia moto
La Succha	I - 2	906	Trocha	7h:00min	No cuenta	Moto
Chiñama	I - 2	717	Trocha	6h:00min	No operativa	Ambulancia moto
Huayabamba	I - 2	740	Trocha	7h:00min	No operativa	Ambulancia moto
Hierba buena	I - 2	785	Trocha	8h:00min	No operativa	Ambulancia

Nota: En la Tabla se redacta estadísticas relevantes sobre las vías de acceso, tiempo en ambulancia al hospital, si la unidad cuenta con medio de comunicación y el conteo de estas unidades con respecto a los establecimientos de salud en la red de salud Lambayeque. [1].

La Tabla N° 16 comprende los reportes de traslado de pacientes de urgencias y emergencias en el año 2021

Tabla N° 16 Reporte de traslados en urgencias y emergencias año 2021

MICRORED	EE. SS	TOTAL (ENERO - DICIEMBRE)
Lambayeque	Toribia Castro	344
Mochumí	Mochumí	33
Mórrope	Mórrope	194
	Cruz De Medano	21
Íllimo	Íllimo	329
	Pacora	27
Jayanca	Jayanca	258
	Motupe	551
Motupe	Tongorrape	0
	Chochope	0
	Olmos	441
Olmos	Insculas	9
	Corral De Arena	3
	El Puente	0
	El Pueblito	22
Kañaris	Kañaris	14
	Huayabamba	4
	Huacapampa	24

	Quirichima	7
	Chiñama	1
	Magmapampa	0
Salas	Salas	151
	Colaya	19
	La Ramada	30
TOTAL		2 482

Nota: [1].

Análisis de la información

Para realizar el análisis de los datos obtenidos en [1], se utilizará la herramienta Python para el análisis según.[37].

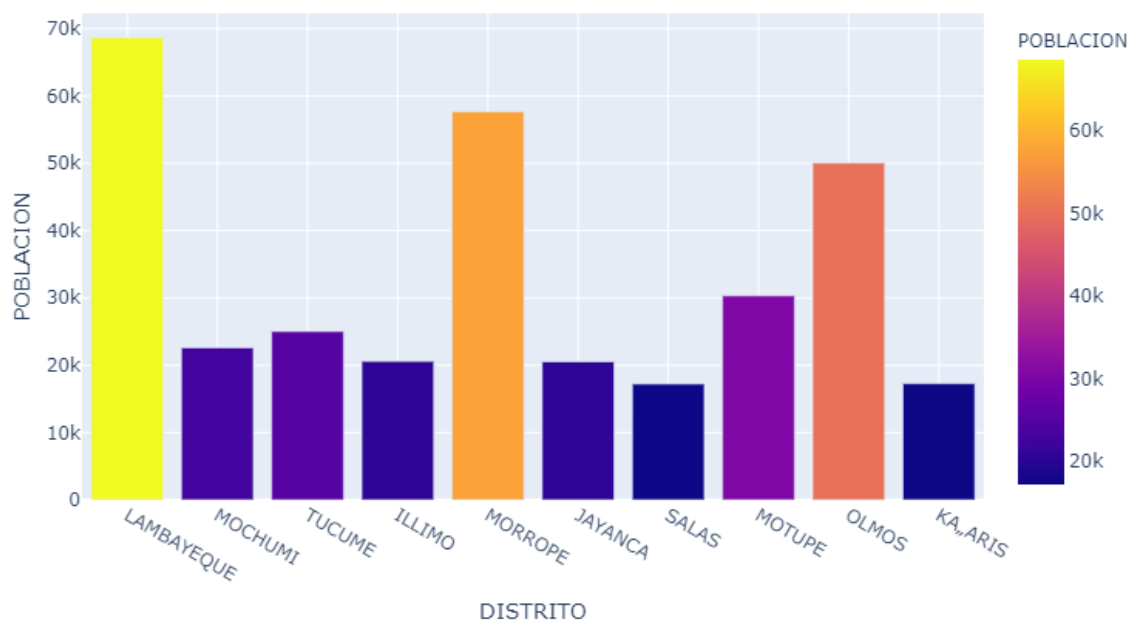


Fig. 17 Distritos por número de población

En la Fig. 17 se puede analizar que el distrito con mayor población es Lambayeque. Además, se observa que los distritos predecesores con el mayor número de habitantes son Morrope, Salas, Motupe, Olmos y Kañaris. Cabe destacar que Olmos y Motupe ocupan el tercer y cuarto lugar, respectivamente, en cuanto a población según el esquema de distancia del Hospital Belén de Lambayeque, mientras que Salas, Motupe, Olmos y Kañaris son los distritos más alejados.

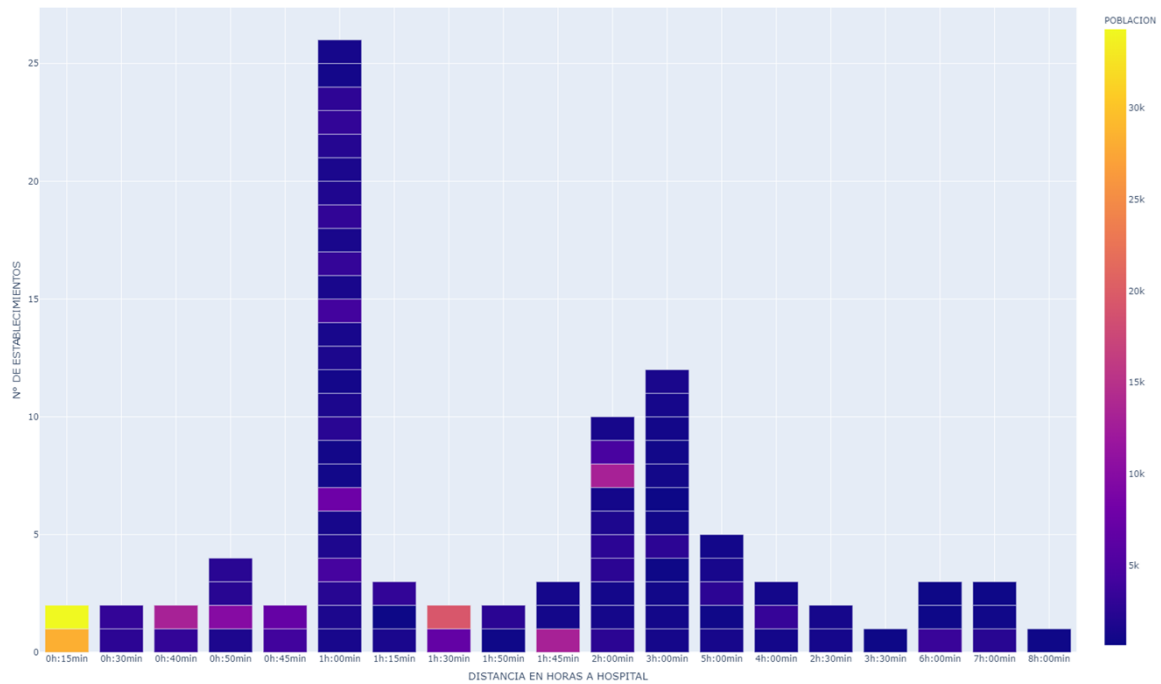


Fig. 20 Numero de establecimiento de salud con horas al hospital

En las Fig. 18, Fig. 19 y Fig. 20 se puede analizar que los establecimientos con más población están a 15 min a distancia al hospital que son Toribia Castro y San Martin a esepcion de esos dos establecimientos el resto está pasando los 40 min de distancia al hospital hasta el 8 horas de distancia el cual es Hierba Buena que queda en Kañaris, dando como resultado que 84 establecimientos quedan a más de 40 min de los cuales 26 establecimientos quedan a 1 hora.

Diseño el fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT

Metodología LFMT

La herramienta LFMT se basa en métodos de diseño de aeronaves, como los descritos en [38]. Se puede utilizar para llevar a cabo un estudio completo de diseño de trazado y ha sido validado en aviones comerciales y configuraciones de vehículos aéreos no tripulados [39]

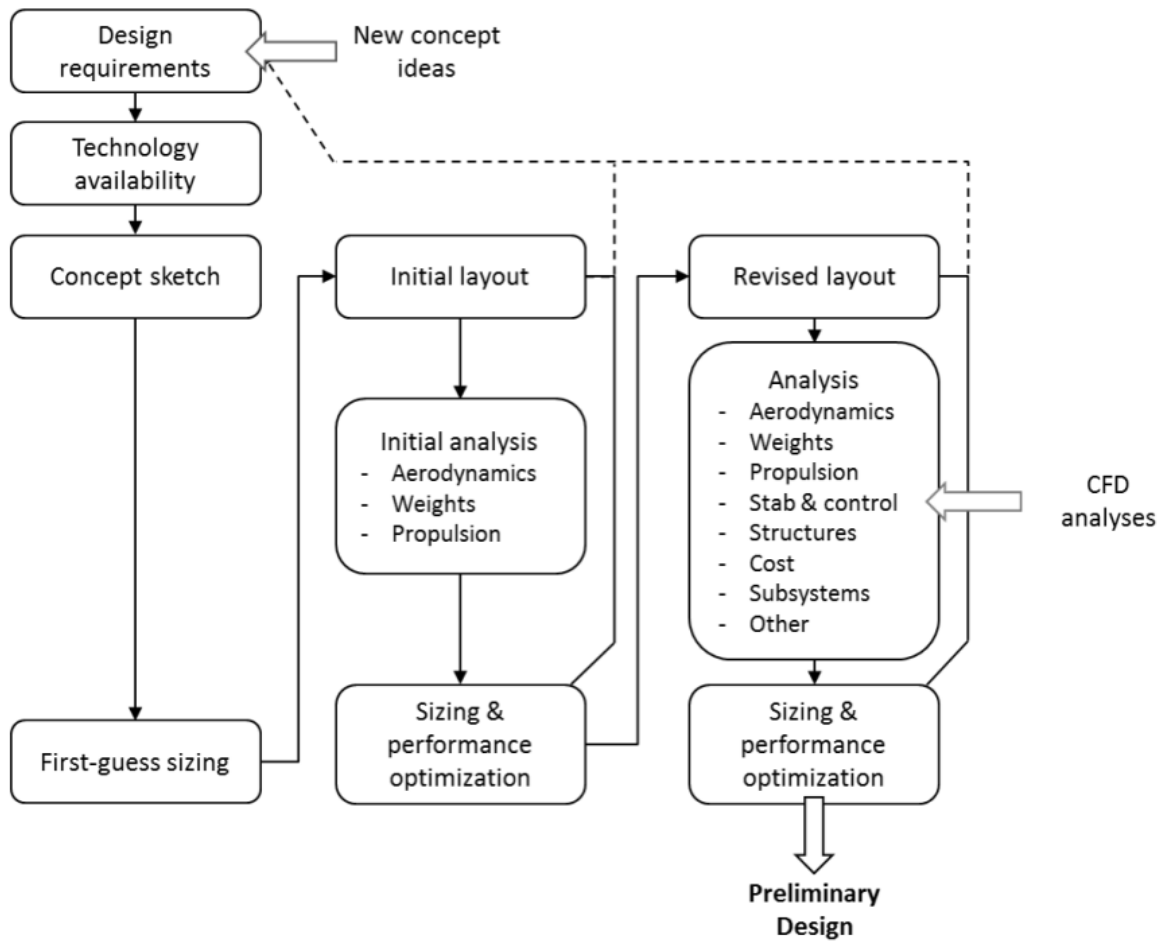



Fig. 21 Hoja de ruta del diseño conceptual de LFMT. [40]

Conceptos básicos del diseño, a continuación, se exhibirán los modelos disponibles en el mercado y se tomarán como volumen, para el diseño del fuselaje:

Modelos de Ambulancias en el mercado

Se obtuvieron los modelos de [41] cumpliendo las normativas de [9]

Tabla N° 17 Modelos de ambulancia según su tipo

Tipo	Figura
Tipo I [41]	

Tipo II [41]**Tipo III [41]**

Nota: se obtuvieron los modelos de [41]

Tabla N° 18 Especificaciones de ambulancia



Modelo	MXP 150	EX SPRINTER	MX 152
Tipo	Tipo I	Tipo II	Tipo III
Longitud total	285"	233,5"	264"
Anchura total	95"	92,3"	86"
Altura total	112"	107,5"	108"
Altura cabina	72"	75"	72"

Se seleccionará la ambulancia tipo III por su optimización de espacio y tiene mejor implementación según la normativa peruana [9] y [2].

Modelos de eVTOL en el mercado

Se obtuvieron los modelos de la empresa AIRBUS pionera en el ámbito de diseño de eVTOL, se consideraron los prototipos probados por la empresa.

Tabla N° 19 Modelos según Airbus

Modelo	Figura
VAHANA [42]	
CITYAIRBUS [43]	


Nota: se tuvo en cuenta los modelos para el diseño.

Tabla N° 20 Especificaciones de los eVTOL

Modelo	VAHANA	CITYAIRBUS
Rango	50 KM	80 KM
Capacidad batería	38kWh	110kWh
Velocidad (Crucero)	190 km/h	120km/h
Motor	8 MOTORES ELÉCTRICOS DE 45KW	8 MOTORES ELÉCTRICOS DE 100KW
N° pasajeros	1	4

Nota: La configuración aerodinámica de la aeronave fue probada en más de 242 pruebas de vuelo y tierra. En julio de 2021, alcanzó el peso de despegue más alto del mundo para un multicópielo con 2.312 kg. [43]

También tenemos los eVTOL híbridos con pila de hidrogeno la empresa Alaka'i Technologies presento un modelo híbrido:

MODELO	FIGURA
SKAI [44]	

Nota: [44]

Tabla N° 21 Especificaciones de SKAI

MODELO	SKAI
RANGO	644 KM
VELOCIDAD (CRUCERO)	190 km/h
MOTOR	6 MOTORES ELÉCTRICOS
N° PASAJEROS	5

Nota: [45]

Se escogerán las baterías de Li-ion por la eficiencia desde la generación distribución y carga de dichas ya que la tecnología de pila de hidrogeno. según [46]:

Hydrogen and electric drive

Efficiency rates in comparison using eco-friendly energy

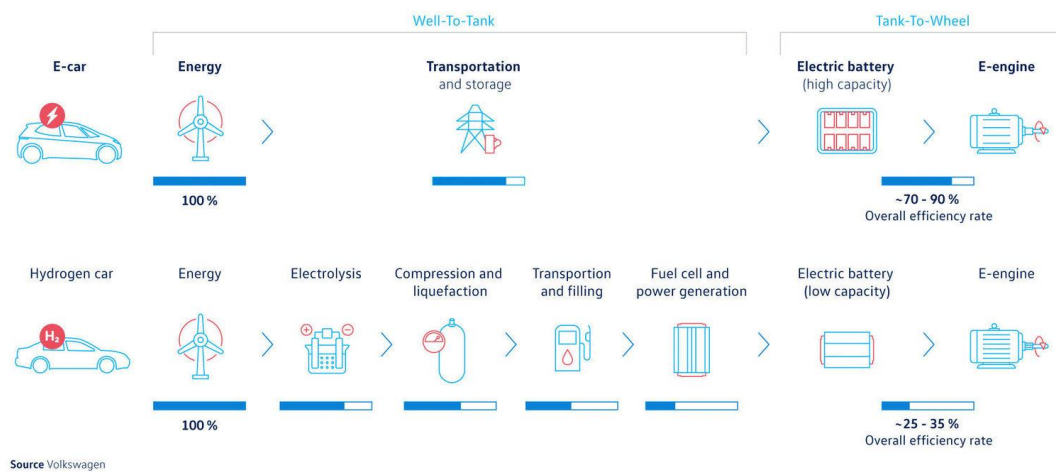


Fig. 22 Comparación de eficiencia de energía eco amigable. [46]

Dado a las configuraciones y el estudio que hizo [13] se tomará la velocidad que ronda entre 250 km/h y el tamaño de la nueva generación de baterías de AIRBUS ya han sido probados en el CityAirbus y el EcoPulse™ [47] que cumplen las siguientes especificaciones.

Tabla N° 22 Especificaciones de la batería del EcoPulse™

Categoría	Especificación	Unidad
Largo	2,3	m
Ancho	75	cm
Espesor	20	cm
Peso	350	Kg
Voltaje C.C	800	V
Potencia	350	W

Nota: Las baterías de alto voltaje menos potentes se instalaron previamente en CityAirbus y Airbus Helicopters FlightLab. El resultado de tales avances incrementales es esta última batería de iones de litio de alto voltaje. La unidad, diseñada para EcoPulse™. [48]

Existen diversas configuraciones de vuelo e-VTOL, cada una con sus ventajas y desventajas, y hasta el momento, el sector no ha logrado encontrar una configuración óptima. Las aeronaves multicóptero están principalmente diseñadas para cubrir la demanda de viajes cortos dentro de las ciudades, mientras que las configuraciones de ala basculante, rotor basculante y elevación+empuje ofrecen eficiencia en vuelos de larga distancia, por lo tanto, se utilizan generalmente para satisfacer la demanda de trayectos interurbanos. Sin embargo, no todas estas aeronaves se encuentran en etapas de prototipo o producción, algunas todavía se mantienen en la fase conceptual. Además, las especificaciones de rendimiento de estos diseños están sujetas a cambios en el futuro. [49].

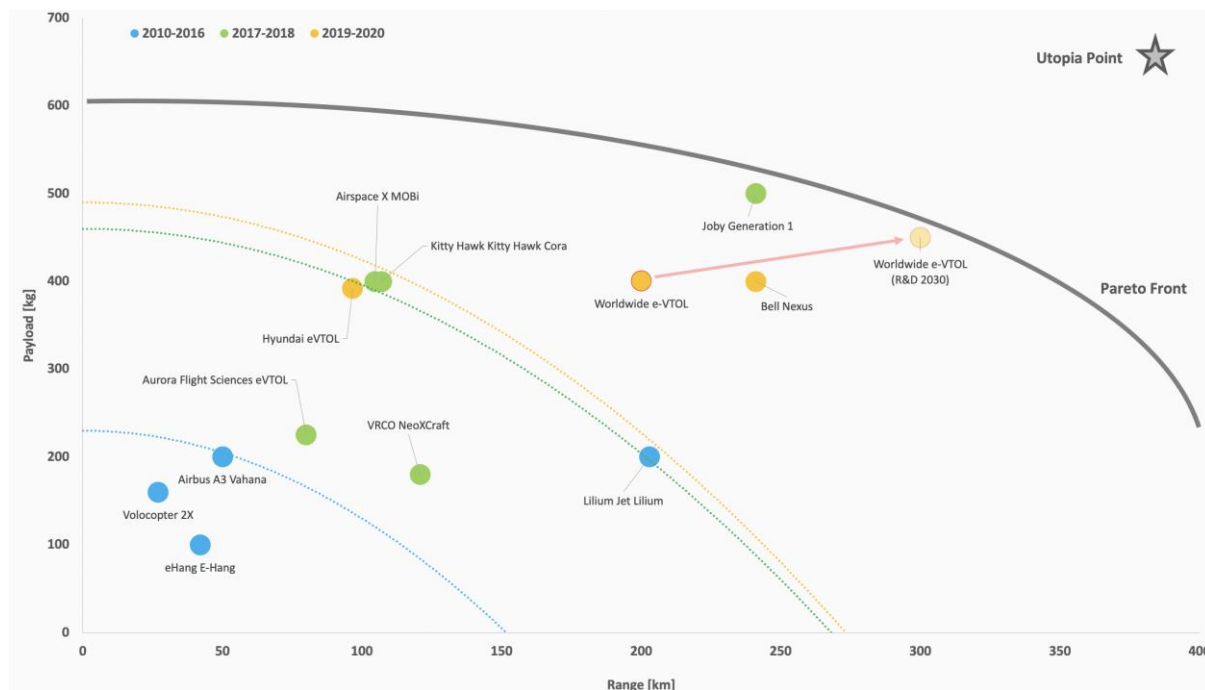


Fig. 23 El equilibrio que existe entre la autonomía de vuelo [km] y la capacidad máxima de carga útil [kg] y la presencia de un frente de Pareto. [49].

Se puede observar que del 2016 al 2018 el aumento de la autonomía de las aeronaves aumento superando los 200 km. El cual implica una contante mejora de la tecnología y puesto al diagrama de Pareto al 2030 estaremos superando los 400 km de autonomía.

Sistema de control y navegación

El sistema de control Autopilot 4x es una solución avanzada y versátil para el control y la automatización de vehículos no tripulados (UAV) y aeronaves. Proporciona funciones de navegación, control y gestión de misiones de forma eficiente y fiable. [15]

Tabla N° 23 Especificaciones del sistema de control veronte Autopilot 4x

Características	Especificaciones
Carcasa	Aluminio Anodizado Resistencia al agua Protección EMI
Peso	750g (incluyendo 3x radio)
Tamaño	128x70x84mm
Instalación	Tuercas M4

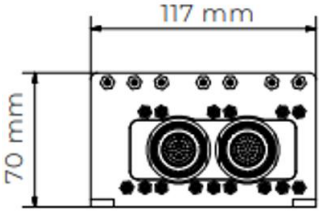
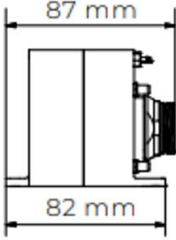
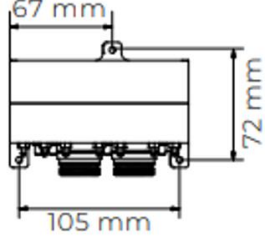
Rango de temperatura (sin convección) -40° hasta 65°C

Diámetro del puerto de presión 2.4mm

Conectores RF SSMA hembra |1x LOS radio / 2x GNSS / 1x 4G


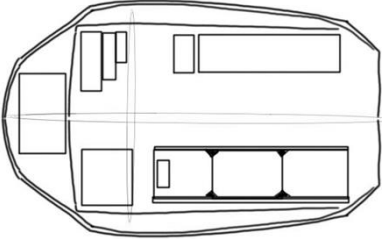
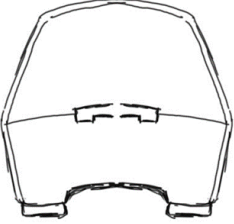
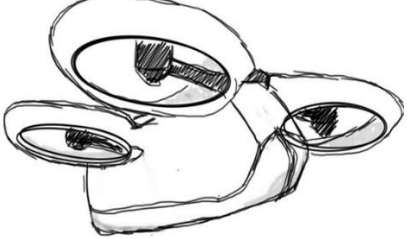
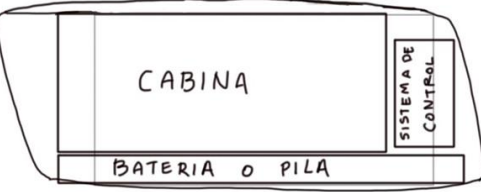
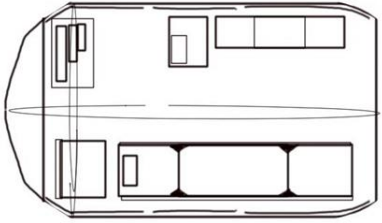
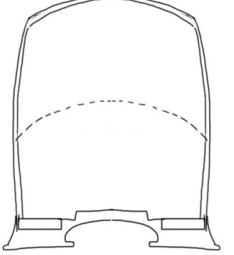

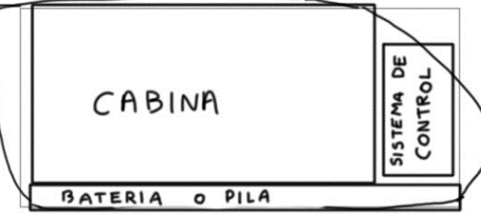
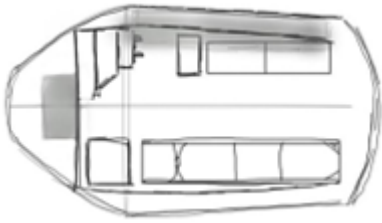
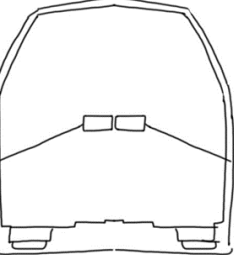
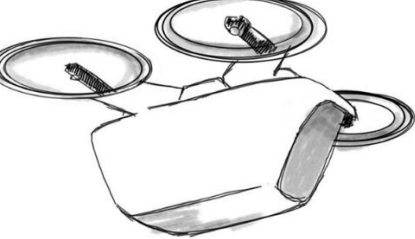
Nota: obtenida de [15]

Tabla N° 24 Medidas específicas del sistema de control veronte Autopilot 4x

Fontal	Lateral	Planta
 <p>117 mm 70 mm</p>	 <p>87 mm 82 mm</p>	 <p>67 mm 72 mm 105 mm</p>

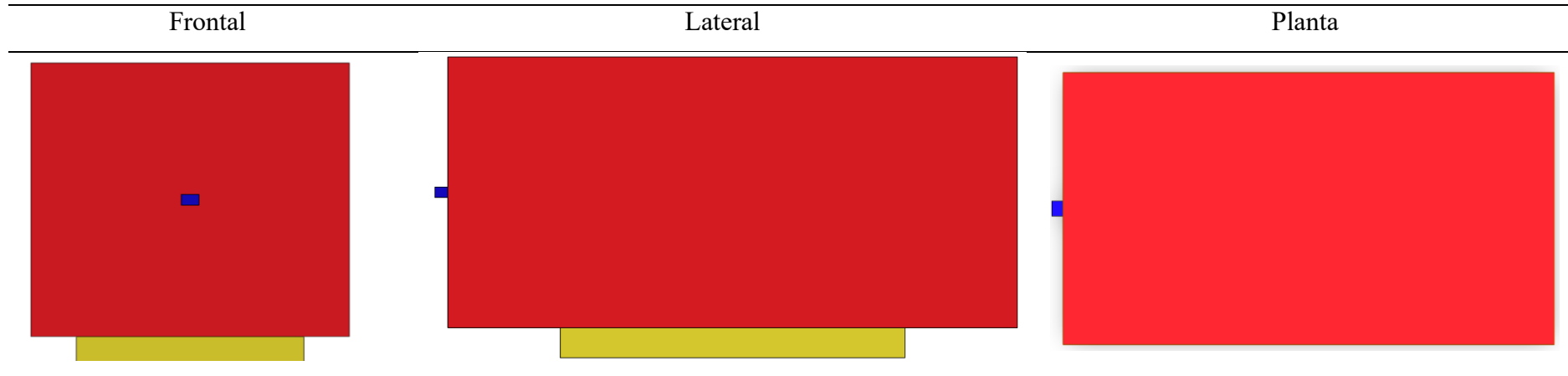
Diseño conceptual de la aeronave eVTOL con características de ambulancia

Tabla N° 25 Bocetos de diseño eVTOL

Concepto	Lateral	Planta	Frontal	Modelo idealizado a futuro
1				
2				
3				

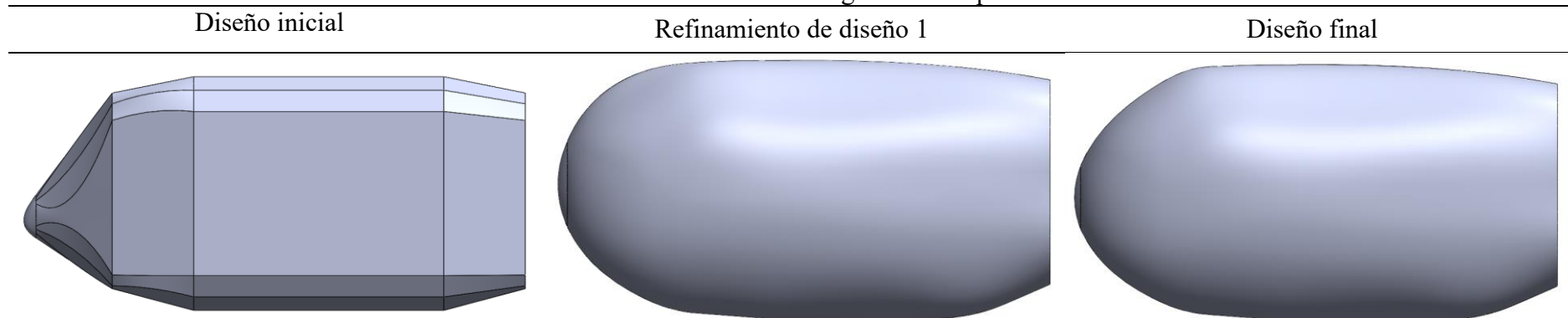
Para el diseño se tomó como referencia las dimensiones de la cabina Mercedes Benz MYSTERE MX152E 2014, la batería se usó como referencia la del EcoPulse™ de Airbus y el sistema de control Autopilot 4x, para poder ver los volúmenes que tendría el fuselaje.

Tabla N° 26 Dimensionamiento de los volúmenes internos



Nota: Se dimensiono los volúmenes de la cabina de ambulancia tipo III de Mercedes Benz MYSTERE MX152E 2014 (rojo) el sistema de control Autopilot 4x (azul) y dos paneles de baterías del EcoPulse™ de Airbus (amarillo).

Tabla N° 27 Diseños 3D según el concepto 3



Nota: El modelado 3D del fusejale eVTOL Con cacteristicas de ambulancia tomado de referencia el modelo CITYBUS y Mercedes Benz MYSTERE MX152E 2014.

Análisis flujo estructura del fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT

Metodología de la para el CFD



Fig. 24 procesos del análisis del utilizado

Según [50] es crucial realizar un estudio sobre la severidad de los errores de dominio con el fin de asegurar que dichos errores operan de manera aislada. Por eso es importante realizar un análisis de independencia de dominio computacional.

A continuación, se presenta dimensiones del dominio computacional y condiciones de contorno donde “a” es la longitud, “b” es el ancho y “c” el alto:

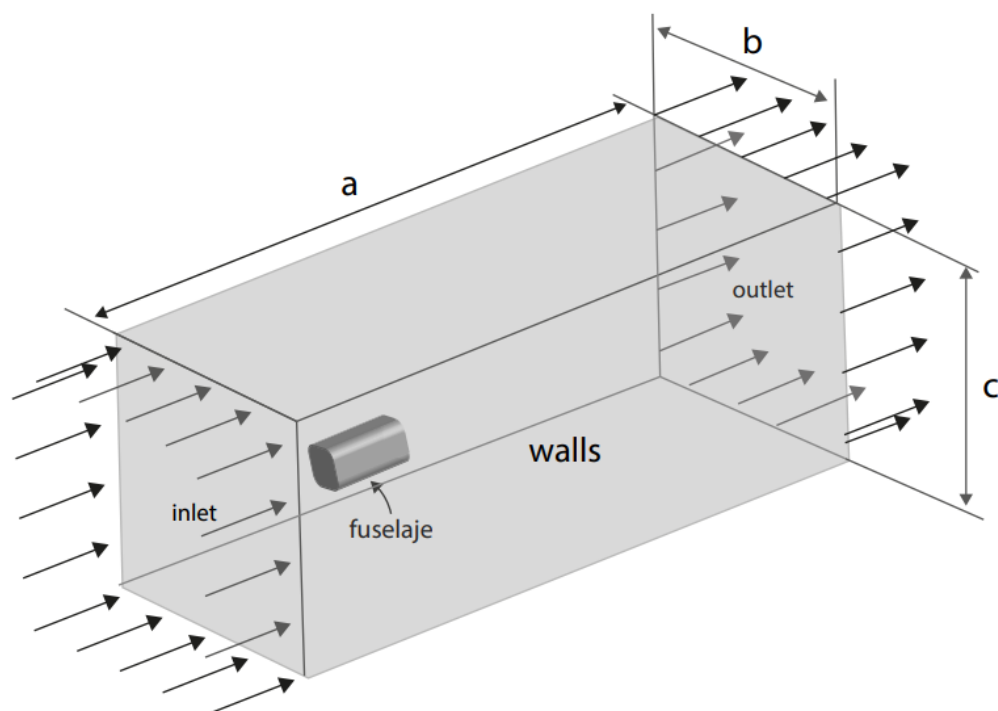


Fig. 25 Dimensiones del dominio computacional y condiciones de contorno

Para el estudio se seleccionó 6 dominios computacionales.

Tabla N° 28 Dimensiones de los dominios

Dominio	a	b	c	Unidad
1	7,5	3	5	m
2	7,5	5	5	m
3	15	6	10	m
4	15	10	10	m
5	30	12	20	m
6	30	20	20	m

Para el análisis se trabajó con la malla estándar que da el ANSYS FLUENT, se trabajó con 5000 iteraciones por caso, a continuación, los nodos y elementos de malla.

Tabla N° 29 Número de nodos y elementos en la malla

Malla	Nodos	Elementos
Dominio 1	7916	41980
Dominio 2	8323	44650
Dominio 3	9534	51794
Dominio 4	10069	55082
Dominio 5	11193	61907
Dominio 6	11954	66422

Las condiciones iniciales de la simulación fueron:

Símbolo	Unidad
ρ_{aire}	1,225 kg/m ³
μ_{aire}	1,7894e-05 Kg/m s
g	9,81 m/s ²
V_c	69,44 m/s

Se considero la velocidad crucero (V_c) a 250 km/h según [13] y [49] los modelos a futuro aumentaran su velocidad crucero por la eficiencia energética según [49] los evtol llegaran a superar un rango de 300 km, porque desde el 2018 ya se superó el rango de 200 km y autonomía.

Parámetros de la simulación:

Tabla N° 30 Parámetros CFD establecidos

Generales/General	
Tiempo/Time	Estable/Steady
Gravedad/Gravity	$\gamma = -9,81 \text{ m/s}^2$
Modelos/Models	
Energía/Energy	Off
Viscoso/Viscous	SST k-omega
Radiación/Radiation	Off
Materiales/Materials	
Fluido/Fluid	Aire/Air
Densidad/Density	Gas ideal/Ideal gas
Métodos de solución/Solution Methods	
Esquema/Scheme	Coupled
Discretización especial/Spatial discretization	
Presión/Pressure	Segundo Orden/ Second Order
Densidad/Density	Segundo orden Upwind/Second Order Upwind
Momento/Momentum	Segundo orden Upwind/Second Order Upwind
Energía cinetica turbulenta/Turbulent Kinetic Energy	Segundo orden Upwind/Second Order Upwind
Tasa de disipación especifica/Specific Dissipation Rate	Primer orden Upwind/First Order Upwind
Gradiente / Gradient	Mínimos cuadrados basados en celdas /Leasts Squares Cell Based
Cálculo de la corrida/Run Calculación	
Paso del tiempo/Time step	1
Iteraciones /Iterations	5000

Nota: se tomaron las condiciones para la simulación CFD del fuselaje.

Se tomo el modelo de turbulencia según [51] varios investigadores han analizado los modelos k- ω estándar y k- ω SST, los cuales han demostrado un rendimiento sobresaliente al predecir tanto la temperatura como la velocidad.

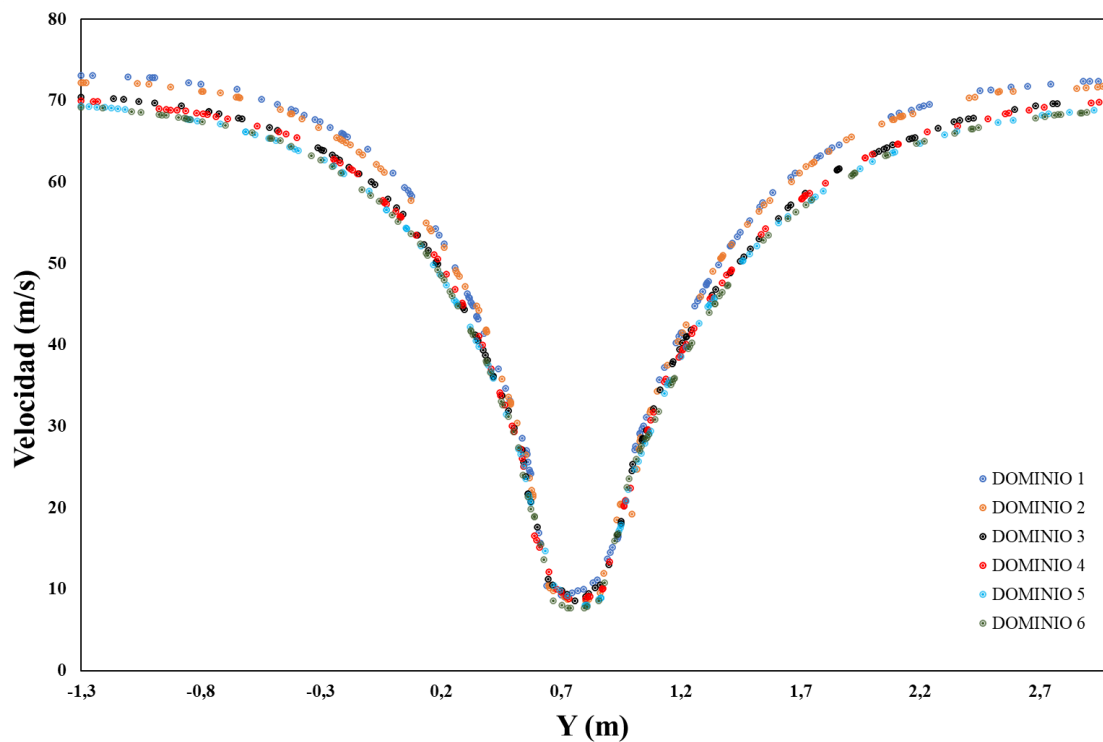
Análisis de independencia de dominio computacional

Fig. 26 velocidad a lo largo de Y

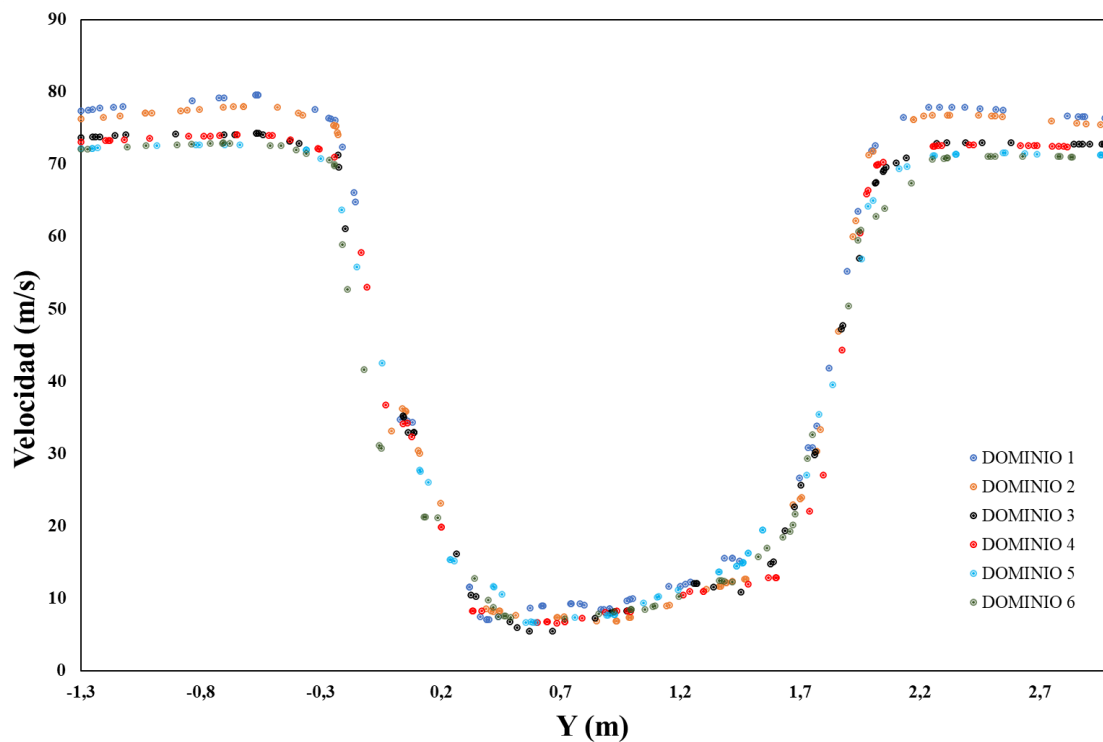


Fig. 27 Velocidad a lo largo de Y

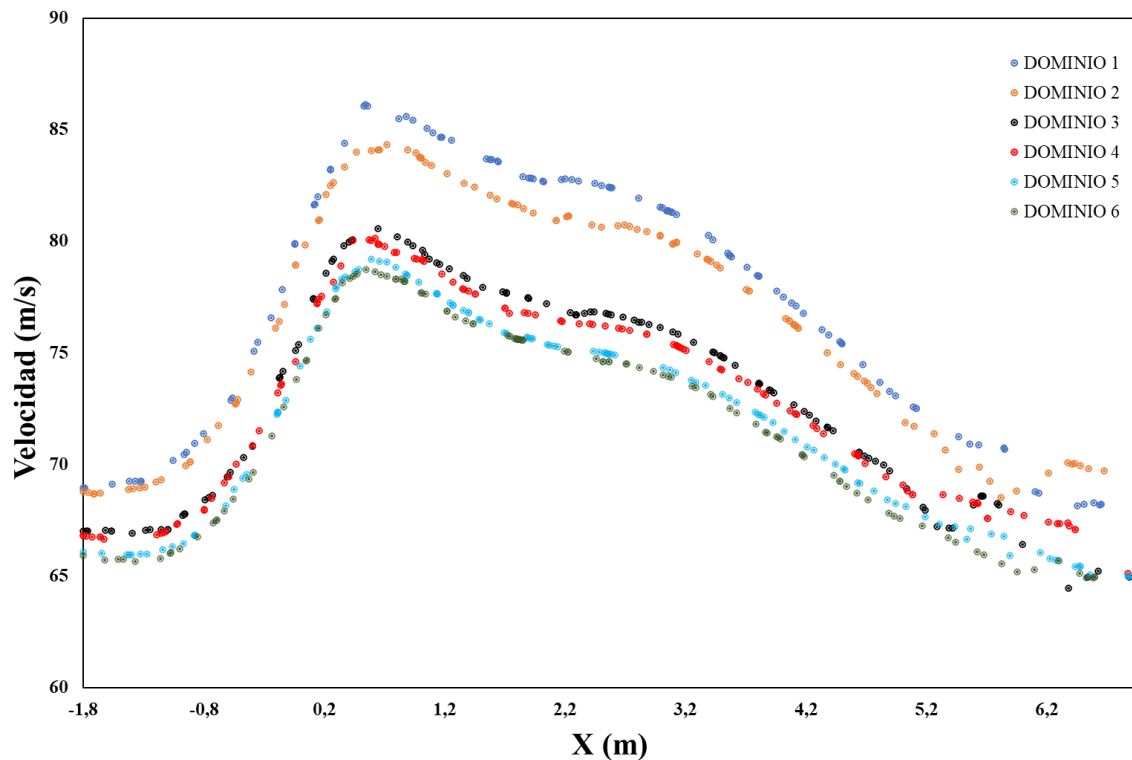


Fig. 28 Velocidad a lo largo de X

Se escogerá el Dominio 4 por la estabilidad de los resultados y la independencia del dominio.

Análisis de independencia de malla

Para este proceso se realizó un refinamiento de malla alrededor del fuselaje, de manera de transferir adecuadamente las condiciones de borde al dominio del aire.

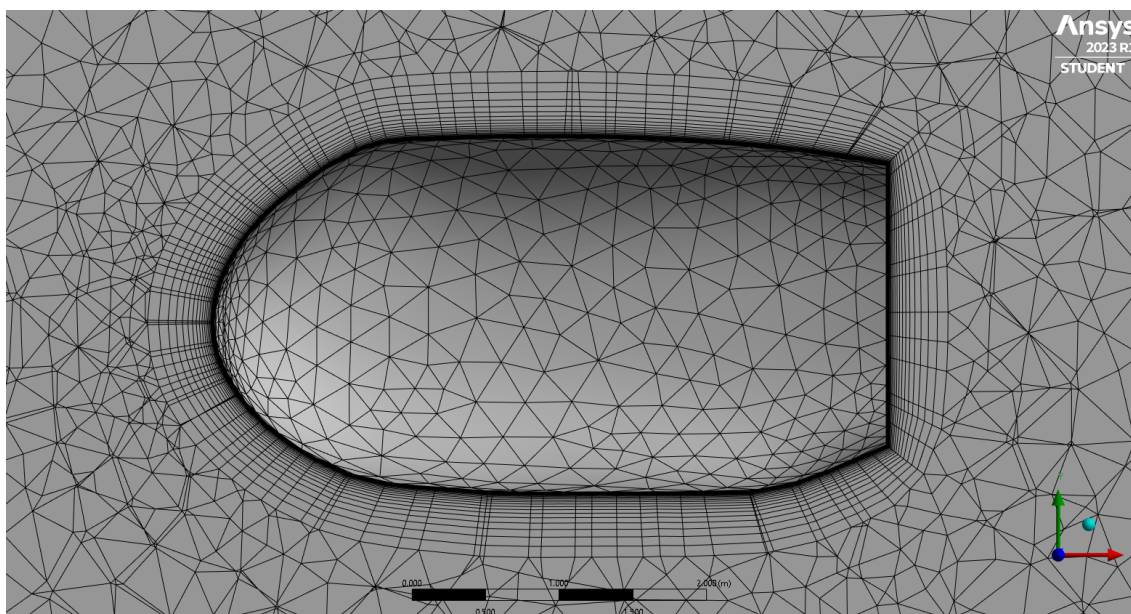


Fig. 29 Refinamiento del Dominio 4 - concepto final

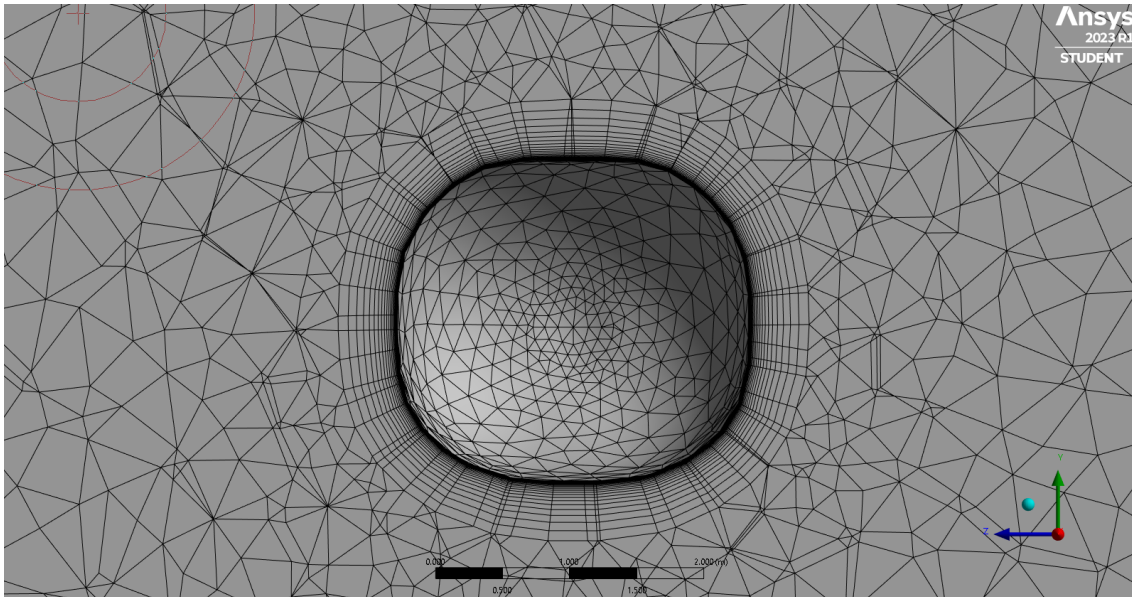


Fig. 30 Refinamiento del Dominio 4 – concepto final

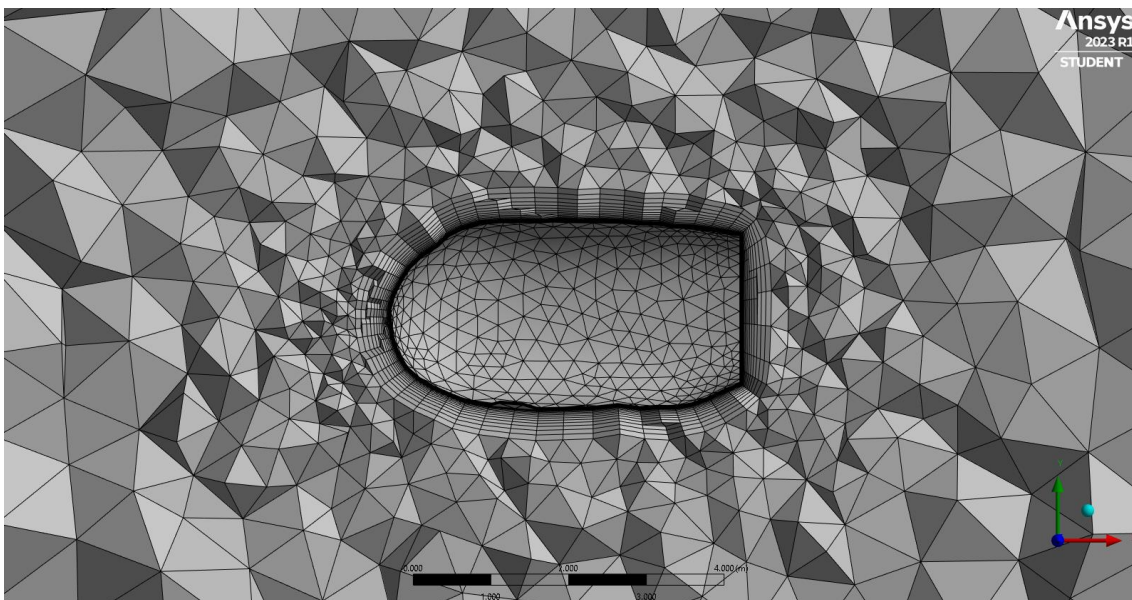


Fig. 31 Refinamiento del Dominio 4 - elementos volumétricos

Tabla N° 31 Número de elemento y nodos con respecto al dominio 4

Malla	Nodo	Elementos
1	29 428	85 120
2	30 991	92 796
3	45 476	167 123
4	110 637	508 921

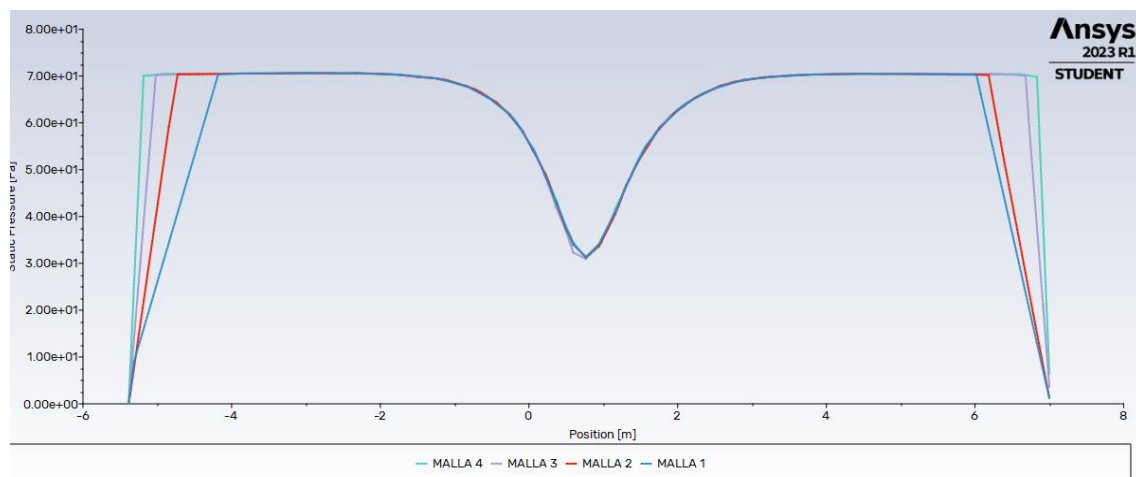


Fig. 32 Mallas casos de mallas seleccionado

Se escogerá la malla 3

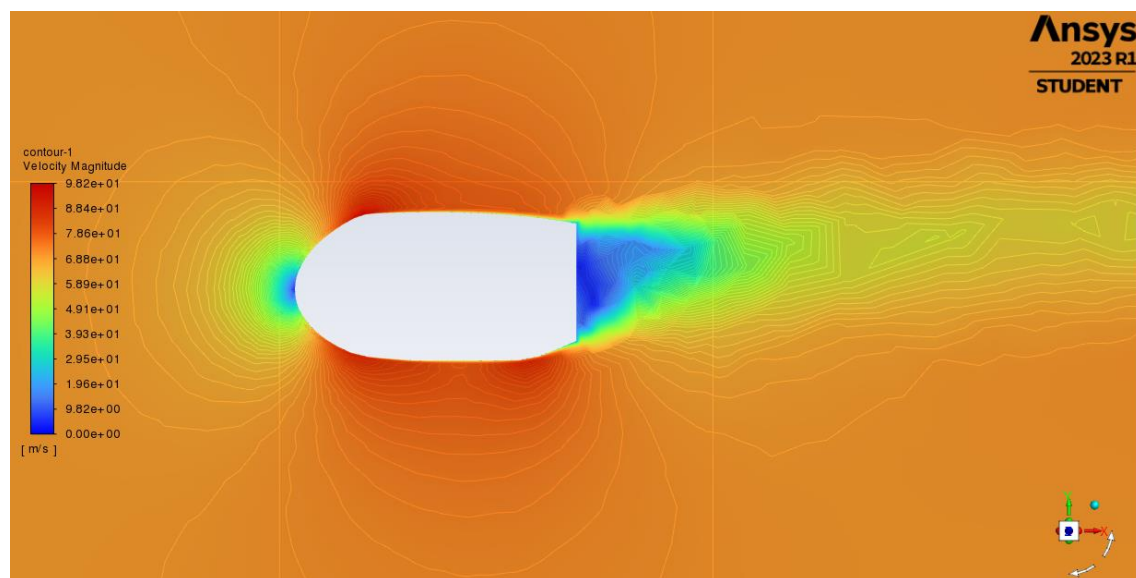


Fig. 33 Velocidad del fuselaje

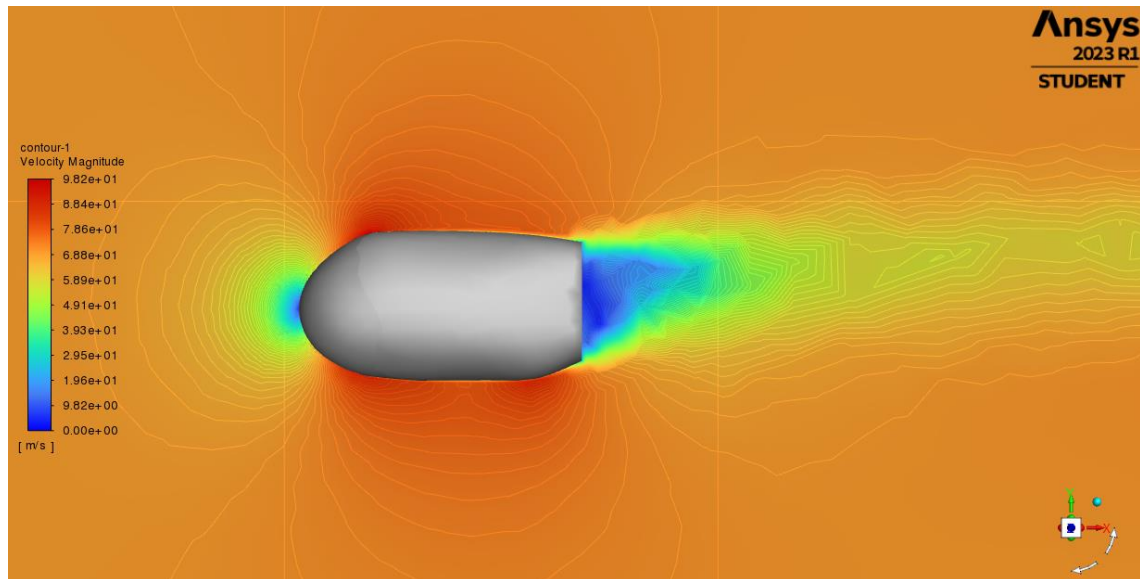


Fig. 34 Velocidad del fuselaje

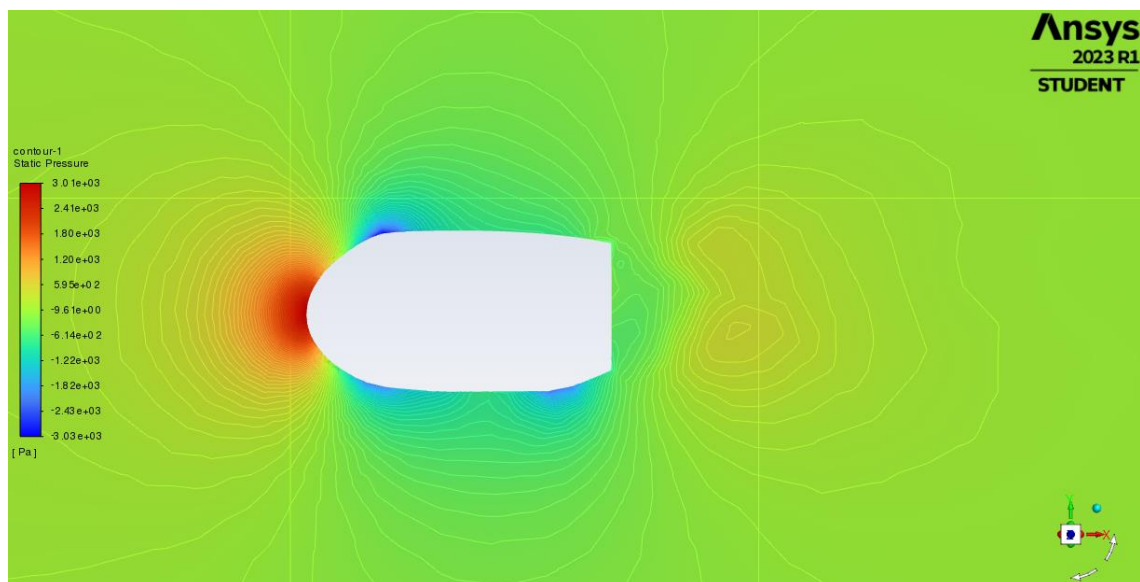


Fig. 35 Presión estática del fuselaje

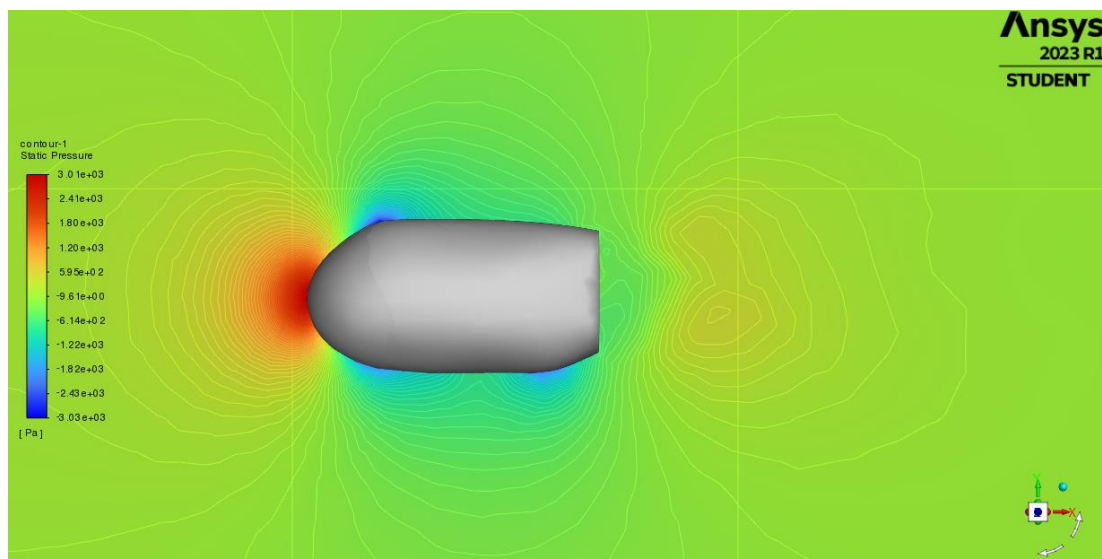


Fig. 36 Presión estática del fuselaje

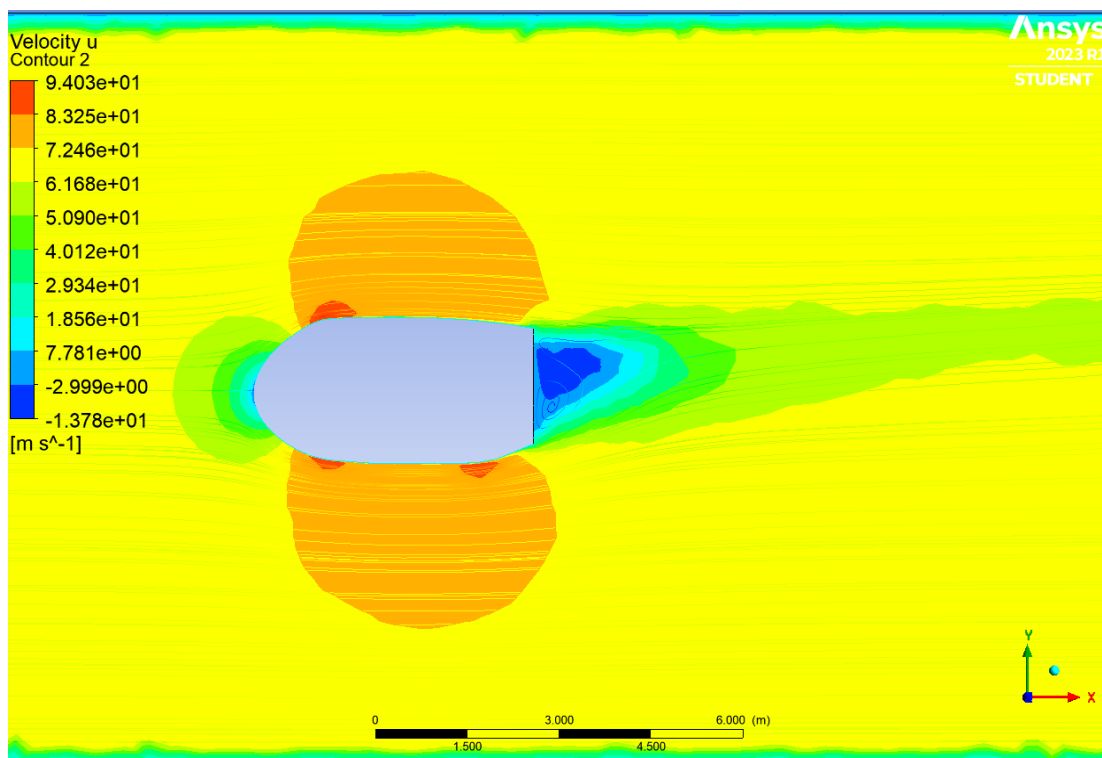


Fig. 37 Velocidad en la dirección X

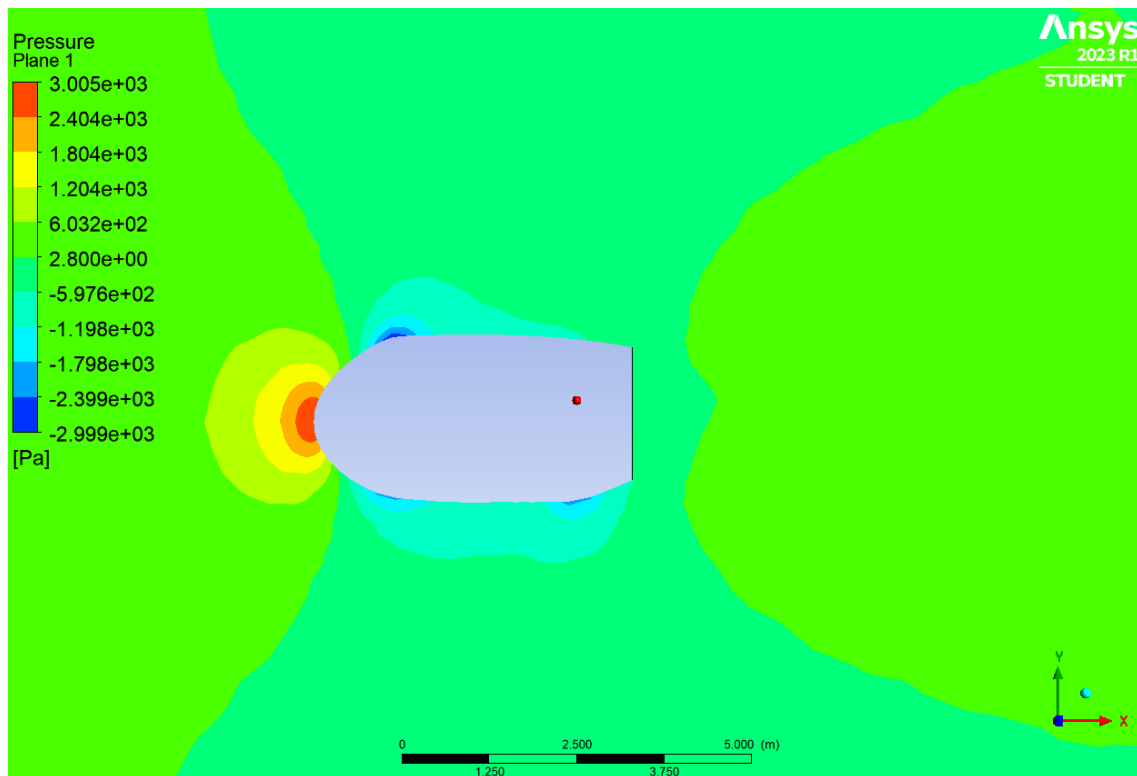


Fig. 38 Contornos de presión

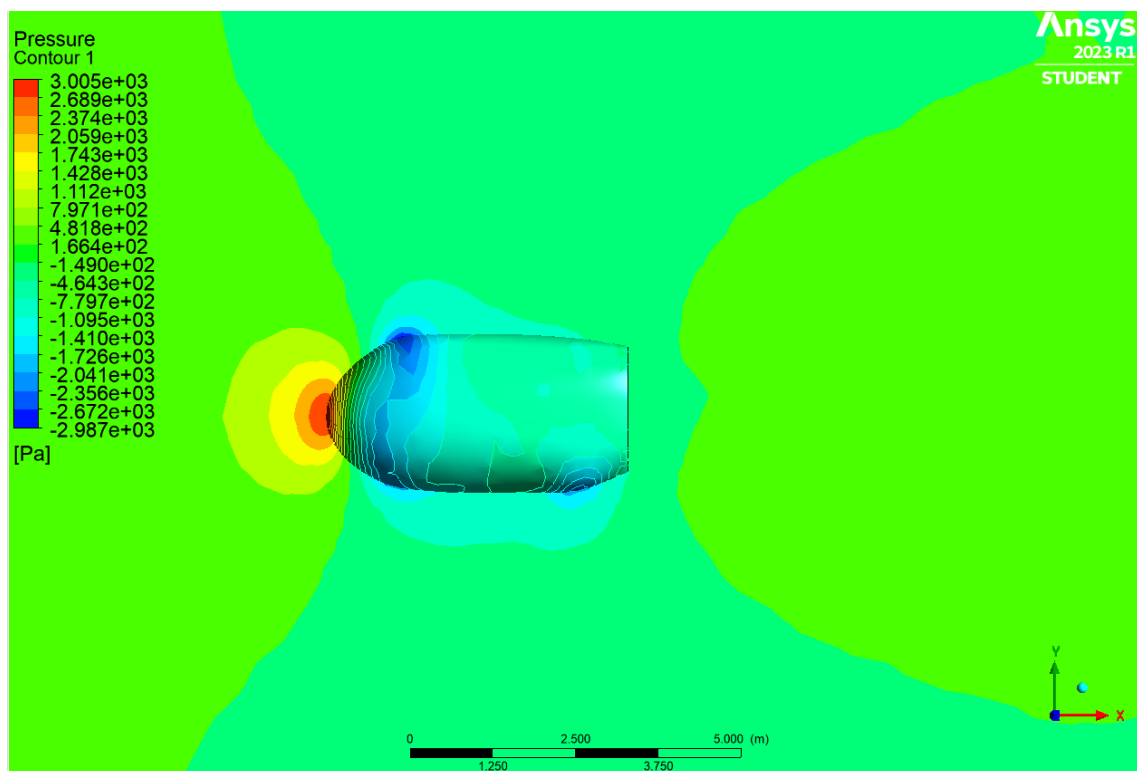


Fig. 39 Contornos de presión

Diseño material compuesto (T700S-/JC-02A) utilizando los modelos micromecánicos

Las propiedades mecánicas de las fibras se obtuvieron de la empresa Toray Composite Materials America, Inc [52], y se seleccionaron tres tipos de fibras de carbono, fibra de carbono de modulo estándar, modulo Intermedio y alto modulo, las propiedades de las fibras en la tabla.

Tabla N° 32 Propiedades de las fibras

Propiedades	T700S [53]	T800H [54]	M35J [55]	Unidad
Tipo	Modulo Estándar	Modulo Intermedio	Alto Modulo	-
Resistencia a la tracción	4 900	5 490	4 510	MPa
Módulo de tracción	230	294	343	GPa
Deformación a la rotura	2,1	1,9	1,3	%
Densidad	1,80	1,81	1,75	g/cm3
Diámetro del filamento	7	5	5	µm
Rendimiento	6k (400/1000)	6k (223/1000)	6k (225/1000)	(g/m)
	12k (800/1000)	12k (445/1000)	12k (450/1000)	(g/m)
	24k (1,650/1000)	-	-	(g/m)
Compatibilidad	Epoxy	Epoxy	Epoxy	-
	Phenolic	Phenolic	Phenolic	-
	Polyester	Polyester	Polyester	-
	Vinyl Ester	Vinyl Ester	Vinyl Ester	-
Calor específico	0,752	0,752	0,723	J/g · °C
Conductividad térmica	0,096	0,10	0,389	J/cm ·s·°C
Resistividad eléctrica	1,6	1,4	1,1	10 ⁻³ Ω·cm
Composición química: Carbono	>93	>96	>99	%

Nota: Esta tabla presenta las propiedades mecánicas, rendimiento, compatibilidad con las resinas en el mercado de los 3 tipos de fibras.

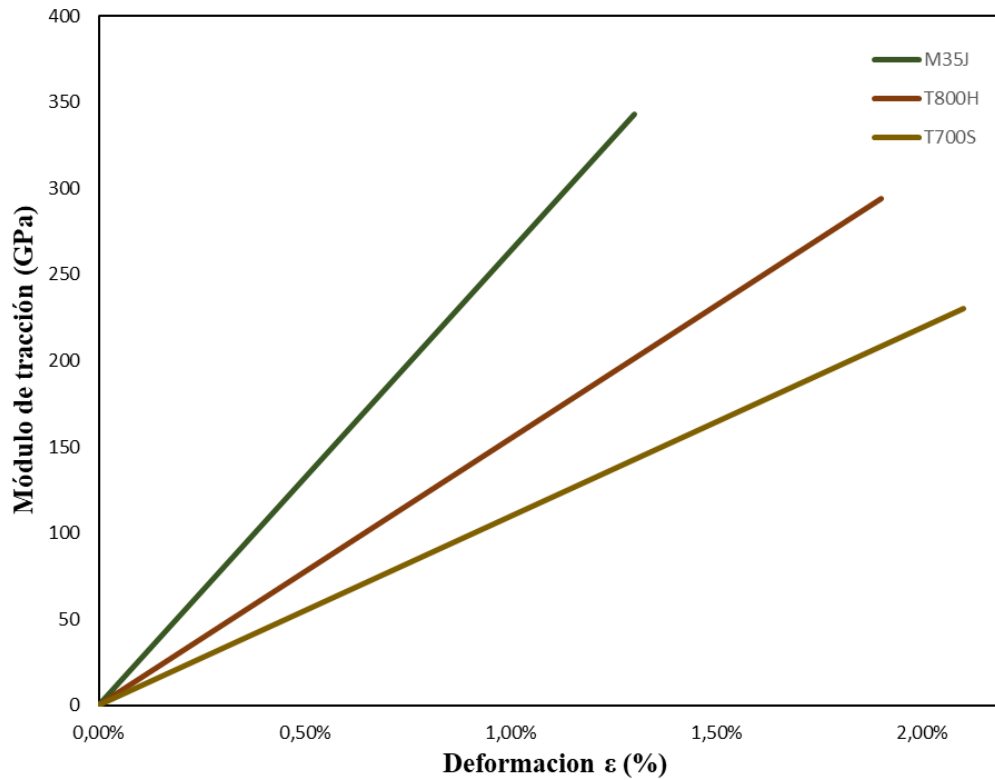


Fig. 40 Comparación de módulos y deformación a la rotura de las fibras

En la Fig. 40 se compararon los módulos y deformaciones de las fibras, la fibra M35J que es de alto modulo es superior a las 2 fibras.

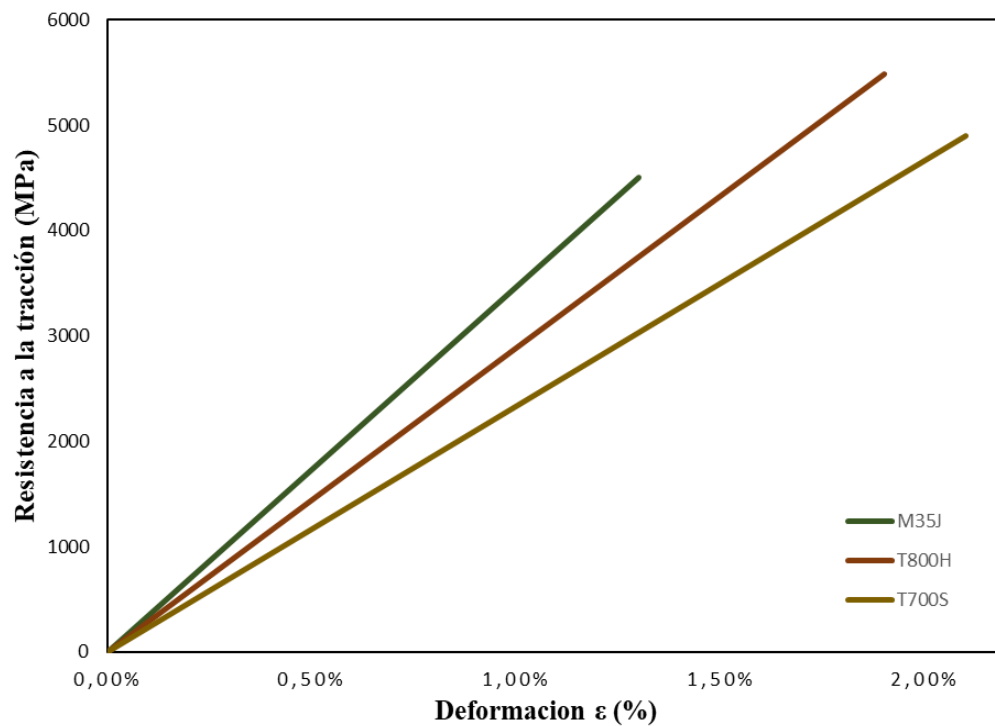


Fig. 41 Comparación de resistencia a la tracción y deformación a la rotura de las fibras

En la Fig. 41 se realizó la comparación de resistencia a la tracción de las fibras propuestas donde se puede observar que la fibra T800H es ligeramente superior con respecto a la T700S.

Matiz de selección de la fibra

Los valores de calificación en cada criterio se mantienen en una escala de 1 a 5, donde 5 indica una calificación más alta y mejor ajuste, en la Tabla N° se presenta la matriz.

Tabla N° 33 Matriz de selección de la fibra

Criterio	Peso (%)	T700S	T800H	M35J
Resistencia a la tracción	20%	4	5	4
Módulo de tracción	15%	3	4	5
Deformación a la rotura	10%	2	3	4
Densidad	10%	4	3	5
Rendimiento	10%	5	3	4
Compatibilidad	10%	5	5	5
Costo	15%	4	3	2
Accesibilidad	10%	5	3	2
Total	100%	3,95	3,75	3,85

Nota: En este caso, según la matriz de selección, la mejor opción sería la T700S, ya que obtiene la puntuación más alta en términos de los criterios evaluados. Cabe resaltar que la T700S es la más utilizada para investigaciones por su precio rendimiento de la fibra y características mecánicas.

Según Toray Composite Materials America, Inc [52], la fibra T700S tiene la mejor compatibilidad con la resina Epoxi, las propiedades de la resina se obtuvieron de la empresa Hangmo Jiafa New Materials (Suzhou) Co. [56]. es una empresa de alta tecnología con investigación y desarrollo, producción y operación de resina epoxi especial, aditivos de apoyo y productos de procesamiento profundo de resina Epoxi. [56].

Tabla N° 34 Propiedades de las resinas

Propiedades	JC-01A [57]	JC-02A [57]	JC-03A [57]	Unidad
Nombre químico	Resina Epoxi	Resina Epoxi	Resina Epoxi	-
Viscosidad	2 000 – 5 000	1 000- 3 000	3 000 – 5 000	Mpa.s25°C
Valor epoxi	0,51 – 0,53	0,51 – 0,53	0,53 – 0,55	EQ/100g
Densidad	1,12 – 1,14	1,12 – 1,14	1,12 – 1,14	g/cm3
Resistencia a la flexión	100 - 110	110 - 120	110 - 120	MPa
Módulo de flexión	2 500 – 3 000	2 500 – 3 000	2 500 – 3 000	MPa
Resistencia a la tracción	50-60	60-70	70-80	MPa
Módulo de tracción	2 200 – 2 400	2 200 – 2 400	2 000-2 200	MPa
Deformación a la rotura	3-5	4-6	5-7	%

Nota: Se obtuvieron los datos de la empresa Hangmo Jiafa.[57]

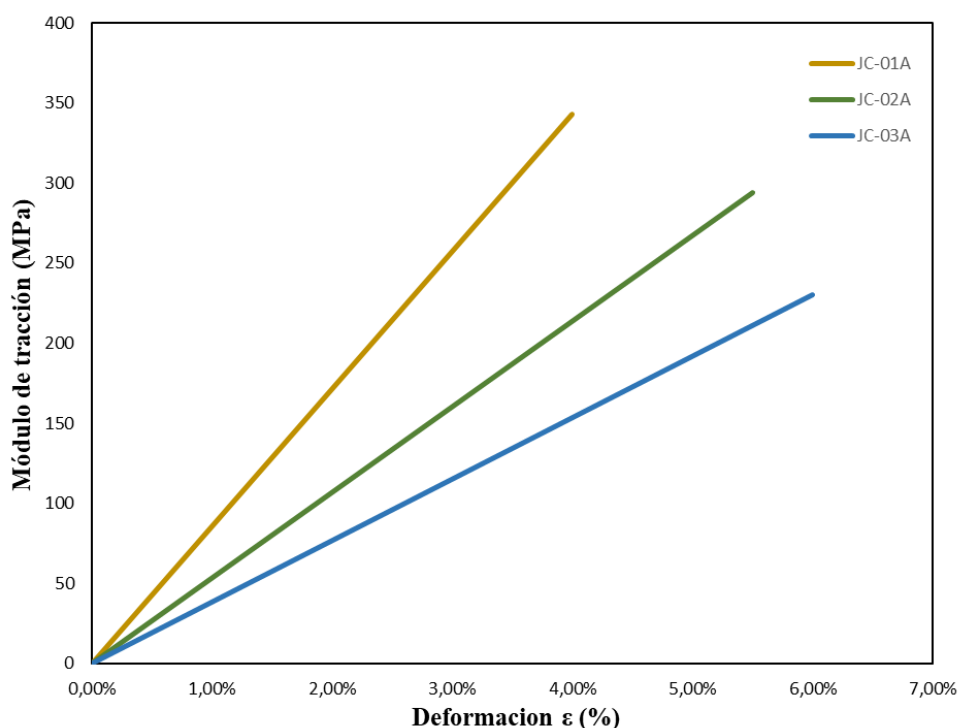


Fig. 42 Comparación de módulos y deformación a la rotura de las resinas

En la Fig. 42 que la resina JC-01A tiene mayor módulo de tracción y menor deformación a la rotura a diferencia de la JC-02A y JC-03A.

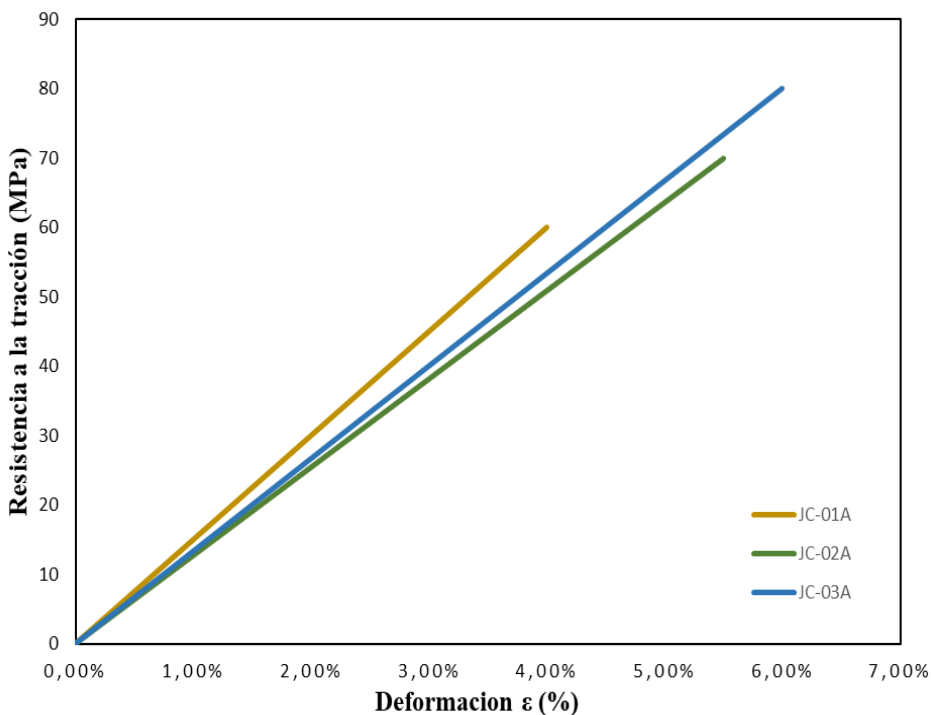


Fig. 43 Comparación de resistencia a la tracción y deformación a la rotura de las resinas

En la Fig. 43 la resina JC-03A tiene mejor resistencia a la tracción y también mayor deformación a la rotura, a diferencia de la JC-01A y la JC-02A esta es la segunda mejor con respecto a la primera.

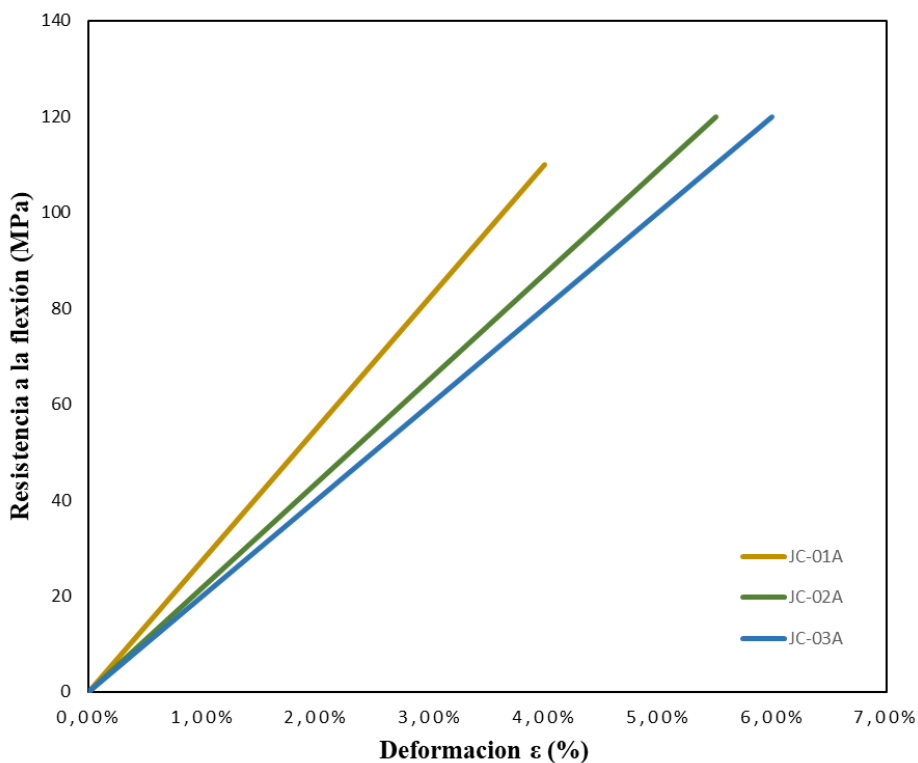


Fig. 44 Comparación resistencia a la flexión y deformación a la rotura de las resinas

En la Fig. 44 la resina JC-02A tiene mejor deformación y una buena resistencia a la flexión respecto a la resina JC-01A y JC-03A.

Matriz de selección de la resina

Los valores de calificación en cada criterio se mantienen en una escala de 1 a 5, donde 5 indica una calificación más alta y mejor ajuste, en la Tabla N° 35 se presenta la matriz.

Tabla N° 35 Matriz de selección de la resina

Criterio	Peso (%)	JC-01A	JC-02A	JC-03A
Resistencia a la tracción	20%	3	4	5
Módulo de tracción	15%	4	5	5
Resistencia a la flexión	20%	5	5	5
Módulo de flexión	15%	5	5	4
Densidad	10%	5	5	5
Deformación a la rotura	10%	5	4	3
Accesibilidad	10%	5	5	5
Total	100%	4,45	4,7	4,65

Nota: En este caso, según la matriz de selección, la mejor opción sería la JC-02A, ya que obtiene la puntuación más alta en términos de los criterios evaluados.

Propiedades micromecánicas del material T700S/ JC-02A

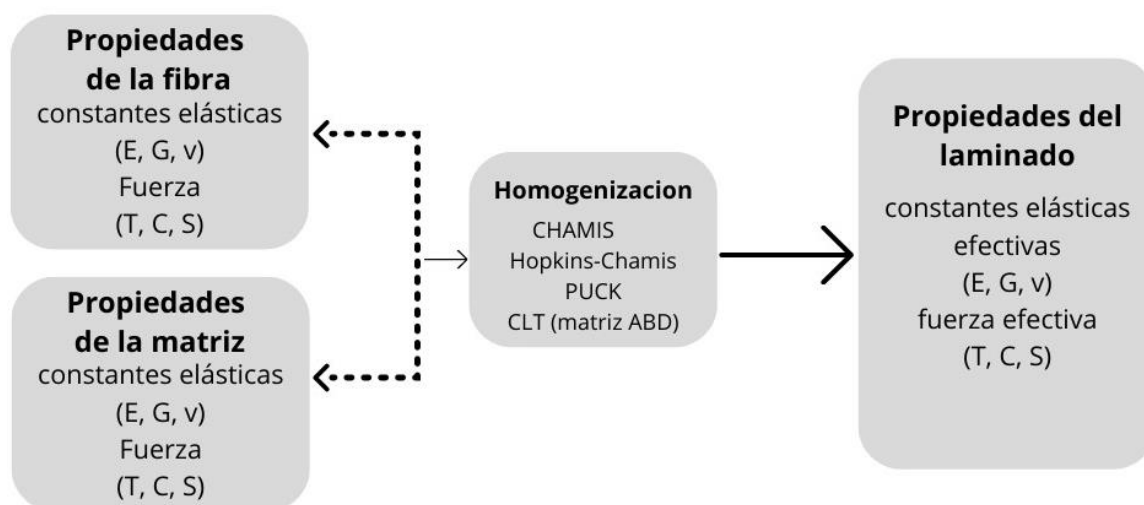


Fig. 45 Diagrama de flujo para determinar las propiedades del material

Propiedades micromecánicas de los materiales

Las propiedades micromecánicas de la fibra y la resina se obtuvieron de [58], [59], [60]. La fibra de carbono T700S sus propiedades se enumeran en la Tabla N° 36, la resina JC-02A cuyas propiedades mecánicas se estipulan en la Tabla N° 37.

Tabla N° 36 Propiedades micromecánicas T700S

Propiedades	Valor
E_{XX} (GPa)	230
E_{YY}=E_{ZZ} (GPa)	15
G_{XY}=G_{XZ} (GPa)	9
G_{YZ} (GPa)	5
v_{XY}=v_{XZ}	0,25
v_{YZ}	0,30
X_T(GPa)	4,9
X_C(GPa)	2,4
Y_T (GPa)	3
Y_C (GPa)	3
S_{XY} (GPa)	1
S_{YZ} (GPa)	0.8
ρ (kg/m³)	1 800

Nota: X_T y X_c son la resistencia a la tensión y la compresión en la dirección longitudinal, mientras que Y_T e Y_c son la resistencia a la tensión y la compresión en la dirección transversal, respectivamente. S_{XY} y S_{YZ} son resistencia al corte en los planos respectivos. [58] y [60].

Tabla N° 37 Propiedades micromecánicas JC-02A

Propiedades	Valor
E_m (GPa)	2,4
G_m (GPa)	0,89
ν_m	0,35
X_T (MPa)	80
X_C (MPa)	370
SS (MPa)	70
ρ (kg/m³)	1 300

Nota: Las propiedades micromecánicas de la resina. [58] y [59]

Determinación de las propiedades del material compuesto

Usando las ecuaciones del Modelo Micro mecánico de Chamis nos da como resultado:

Tabla N° 38 Propiedades micromecánicas (T700S/ JC-02A)

Propiedades	Valor	Unidad
E_X	161 720	MPa
E_Y	8 075	MPa
E_Z	8 075	MPa
ν_{XY}	0,28	-
ν_{XZ}	0,28	-
ν_{YZ}	0,42	-
G_{XY}	3 614	MPa
G_{XZ}	3 614	MPa
G_{YZ}	2 848	MPa
X_T	3 430	MPa
Y_T	71	MPa

X_C	1 680	MPa
Y_C	328	MPa
S_C	56	MPa
ρ	1 599	kg/m³
σ_y	3 087	MPa

Nota: se muestran las propiedades micromecánicas usando el modelo de chamis a 70% de volumen de fibra de carbono (T700S) y 30% de resina epoxi (JC-02A), donde σ_y es el límite elástico.

Usando la ecuación del modelo de Hopkins-Chamis nos da como resultado:

Tabla N° 39 Propiedades micromecánica (T700S/ JC-02A)

Propiedades	Valor	Unidad
E_X	161 720	MPa
E_Y	7 535	MPa
E_Z	7 535	MPa
ν_{XY}	0,28	-
ν_{XZ}	0,28	-
ν_{YZ}	0.38	-
G_{XY}	3 456	MPa
G_{XZ}	3 456	MPa
G_{YZ}	2 728	MPa
X_T	3 430	MPa
Y_T	71	MPa
X_C	1 680	MPa
Y_C	328	MPa
S_C	56	MPa
ρ	1 599	kg/m³
σ_y	3 087	MPa

Nota: se muestran las propiedades micromecánicas usando el modelo de Hopkins-Chamis a 70% de volumen de fibra de carbono (T700S) y 30% de resina epoxi (JC-02A).

Usando las ecuaciones del Modelo Puck nos da como resultado:

Tabla N° 40 Propiedades micromecánica (T700S/ JC-02A)

Propiedades	Valor	Unidad
E_X	161 720	MPa
E_Y	11 080	MPa
E_Z	11 080	MPa
ν_{XY}	0,28	-
ν_{XZ}	0,28	-
G_{XY}	4 869	MPa
G_{XZ}	4 869	MPa
X_T	3 430	MPa
Y_T	71	MPa
X_C	1 680	MPa
Y_C	328	MPa
S_C	56	MPa
ρ	1 599	kg/m³
σ_y	3 087	MPa

Nota: se muestran las propiedades micromecánicas usando el modelo de Puck a 70% de volumen de fibra de carbono (T700S-) y 30% de resina epoxi (JC-02A).

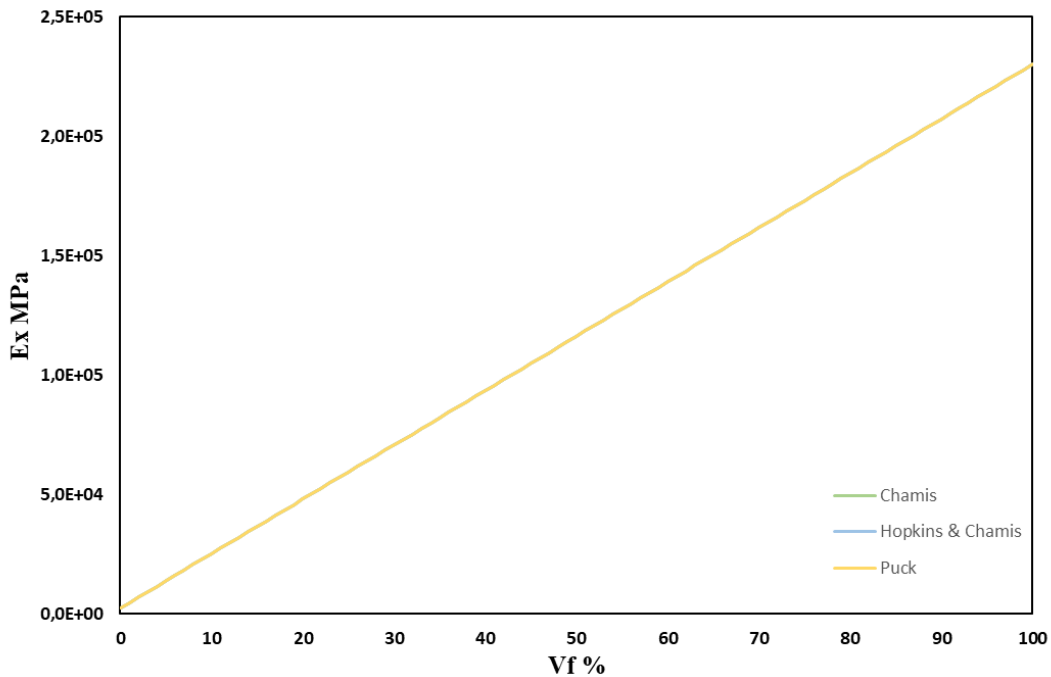


Fig. 46 Módulo de Young en x respecto al porcentaje de volumen de fibra

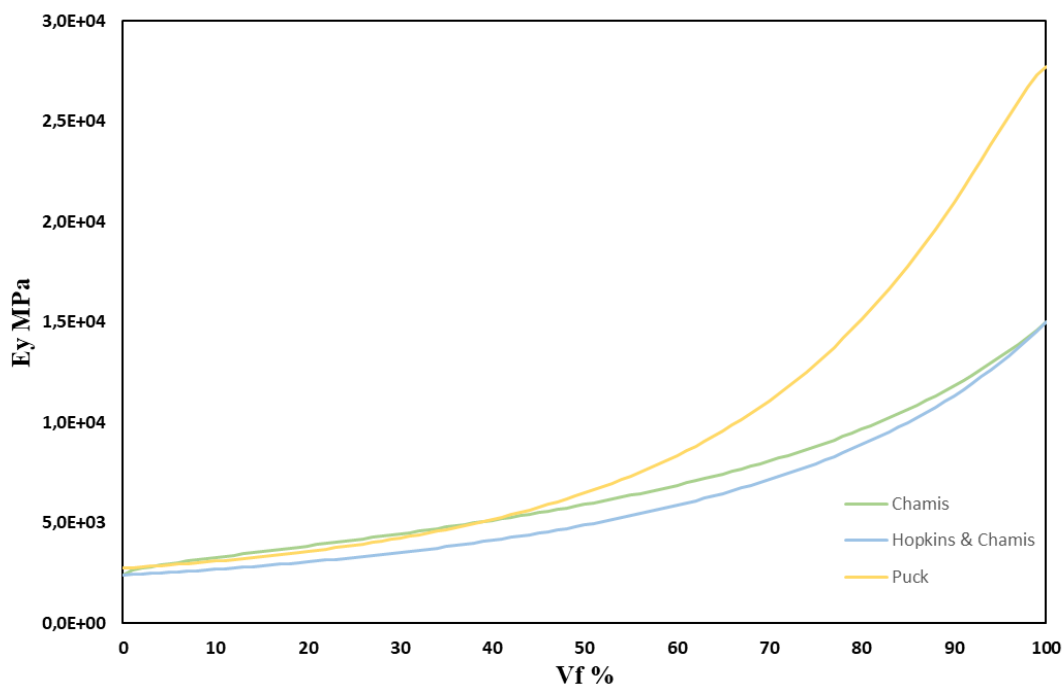


Fig. 47 Módulo de Young en y respecto al porcentaje de volumen de fibra

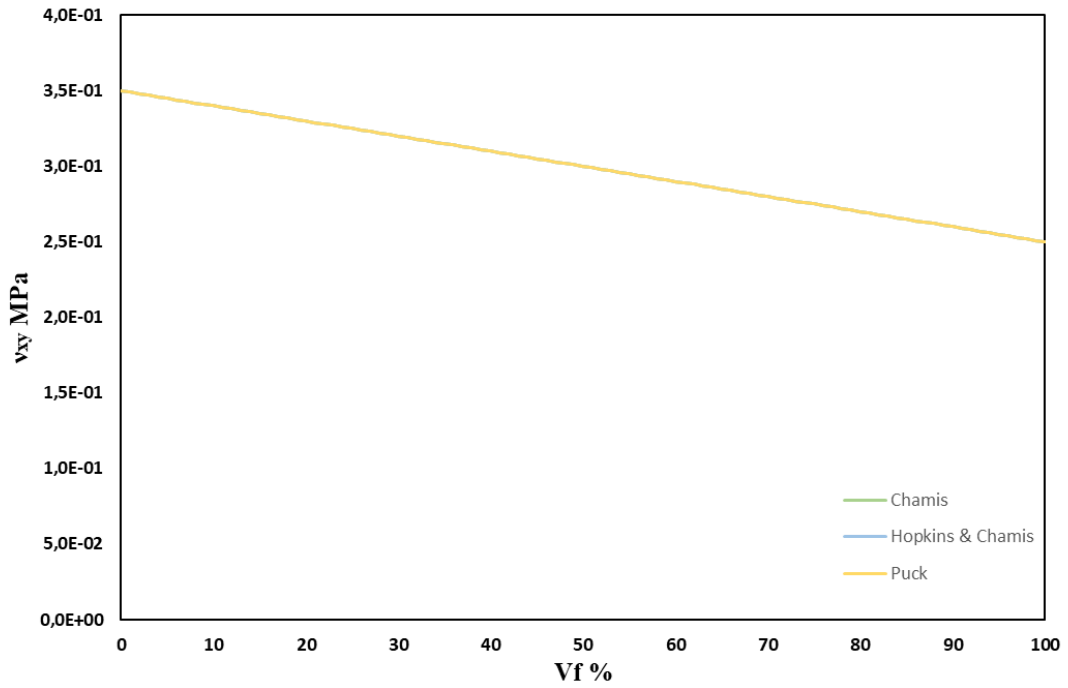


Fig. 48 Coeficiente de poisson en xy con respecto al volumen de fibra

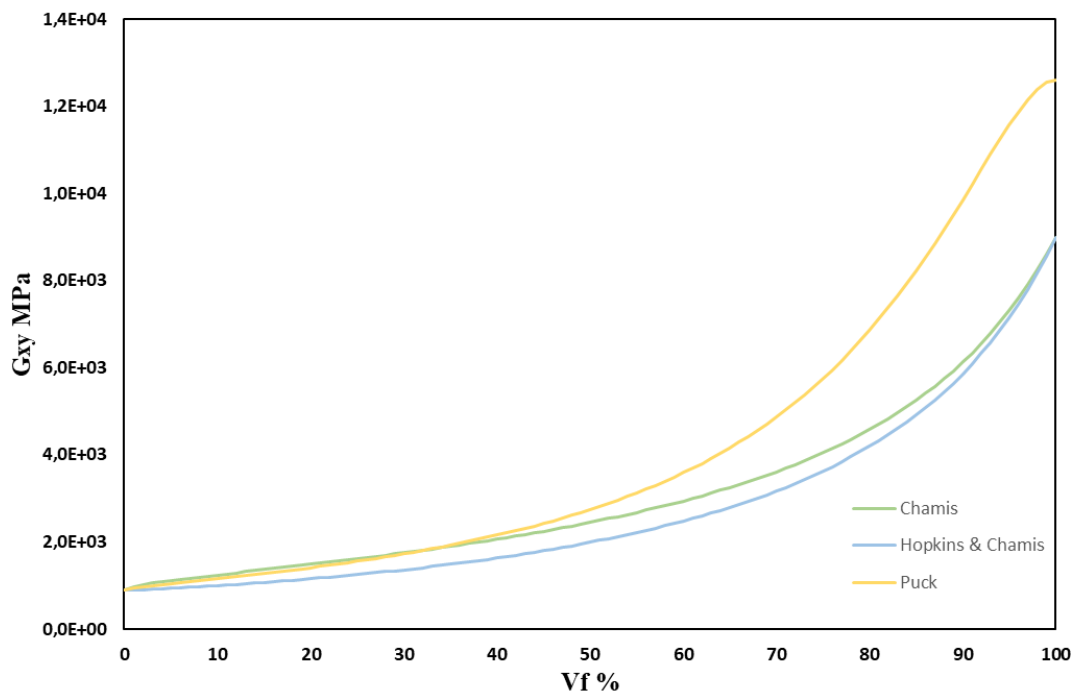


Fig. 49 Modulo de Cortadura en xy con respecto al volumen de fibra

Con el análisis correspondiente se usará el modelo micromecánica de chamis porque es el que está en un punto medio en relación con los demás criterios.

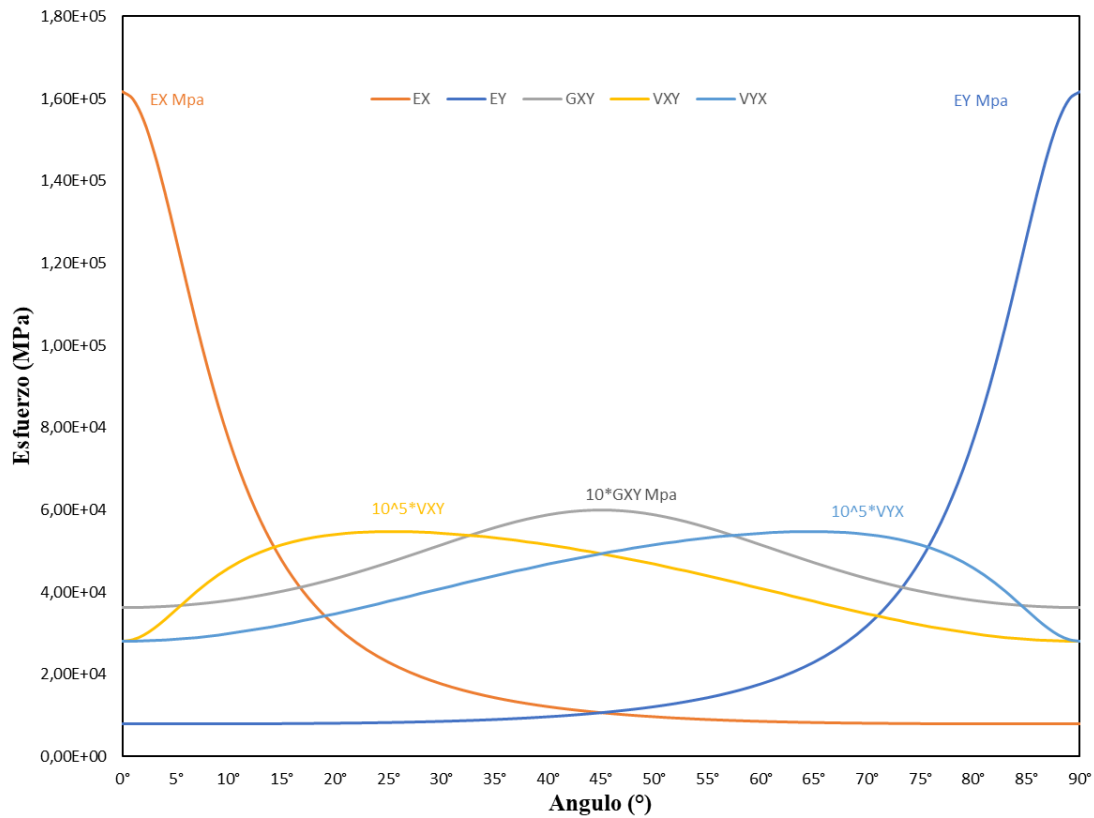


Fig. 50 variación de ángulos con respecto a las variables elásticas del material T700S/JC-02A al 70% de Vf

Como se puede observar en la Fig. 50 se usó el modelo micro mecánico de chamis al 70% de volumen de fibra, el material tiene sus mejores propiedades elásticas en 0° y 90° , teniendo el mejor módulo de corte en 45° los cuales usaremos para la simulación.

Criterio de falla del material compuesto

Para el diseño del material se usará el criterio de falla de Máximo Stress ya mencionado anteriormente y para la simulación se usará el criterio de Tsai-Hill, como se puede observar en la Fig. 51.

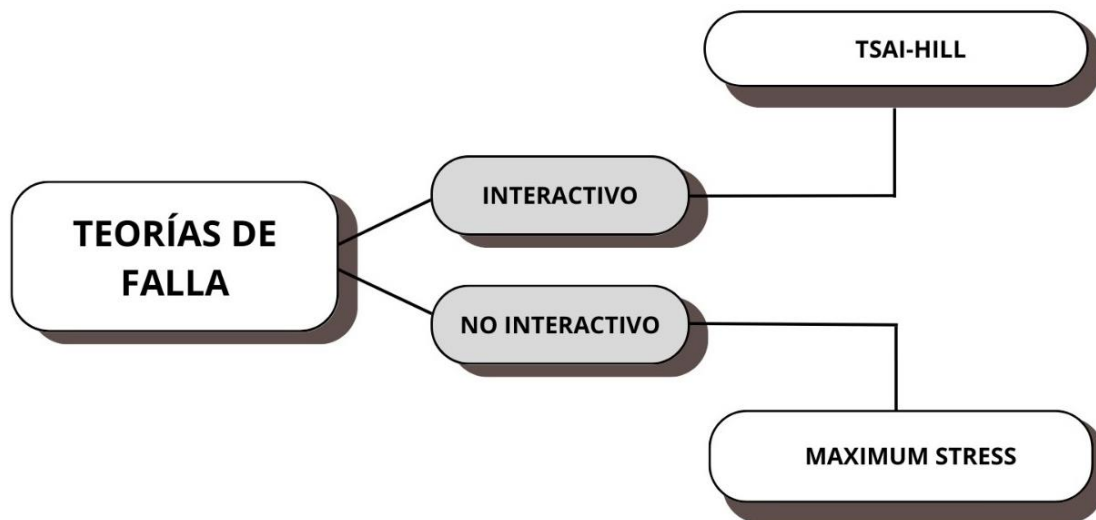


Fig. 51 Criterios de falla interactivo y no interactivo

Para el diseño del material compuesto se usará el criterio no interactivo ya que este no permite saber que falla, sea la matriz, resina o ambos en dirección de los ángulos como se puede observar en la Fig. 52.

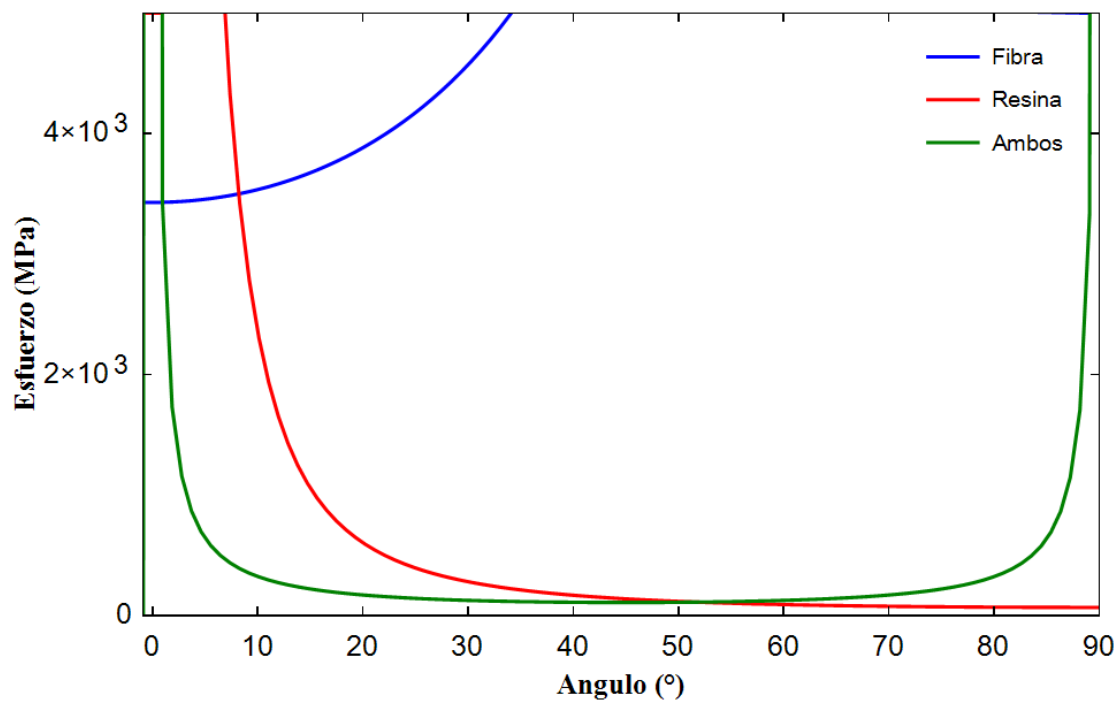


Fig. 52 Grafica del criterio de falla Máximo stress para el material T700S/JC-02A

En la Fig. 52 se observa que en los ángulos 0 y 90 la relación matriz fibra son casi infinitas lo cual es muy importante al escoger la dirección de las fibras.

Espesor del material compuesto

Para hallar el espesor del material tomamos encuentra el peso en g/m^2 a este valor se le denomina espesor textil el cual es $300\text{g}/\text{m}^2$ según la empresa ixing Huaheng High Performance Fiber Textile Co. [60].

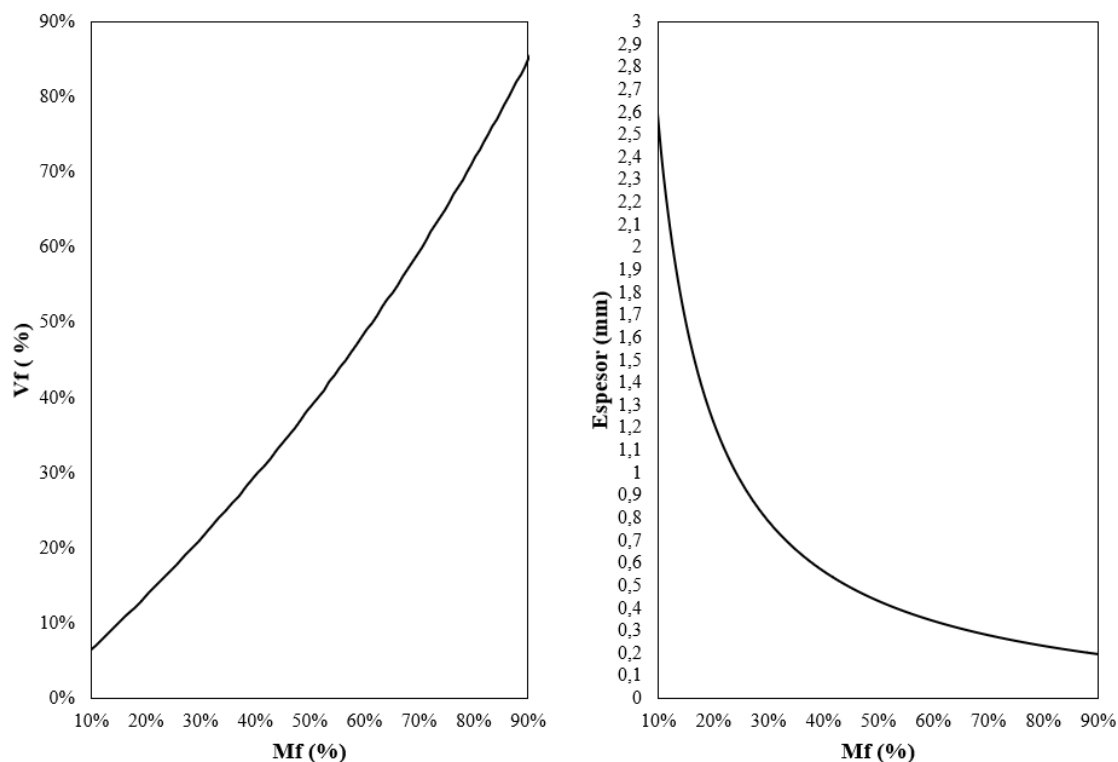


Fig. 53 espesor con respecto al porcentaje de masa en fibra

En la Fig. 53 se presenta la gráfica con el espesor con respecto al volumen de fibra donde y el porcentaje de masa en fibra, el cual escogimos un volumen de fibra de 70% el cual nos da 79% de porcentaje de masa en fibra como se muestra en la Tabla N°41.

Tabla N° 41 Espesor del laminado compuesto

Propiedades compuestas	Valor	Unidad
Volumen de fibra	166,667	cm^3
Volumen de la resina	74,88	cm^3
Peso de la fibra	300	g
Peso de la resina	74,88	g
Espesor compuesto	0,24	mm

Procederemos a hallar el espesor mínimo de diseño con ayuda de ElamX² el cual los siguientes datos de entrada que están en la Tabla N° 42.

Tabla N° 42 Datos de entrada para el espesor mínimo de diseño

Datos	Valor	Unidad
Espesor	0,24	mm
Fuerza de impacto	849,76	N
Criterio de falla	Máximum Stress	-
Ángulos	-45/0/45/90	°
Simetría	si	-
Algoritmo	eLamX	-

Nota: la fuerza de impacto se halló con la presión máxima y el área proyectada de la punta del fuselaje 0,282743 m² y la presión de 3,005 kPa.

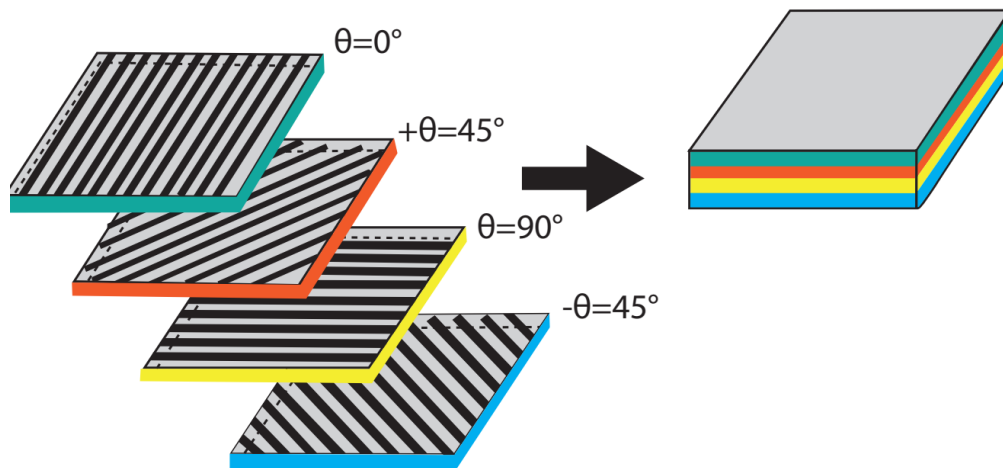


Fig. 54 Proceso de selección de espesor con sus ángulos

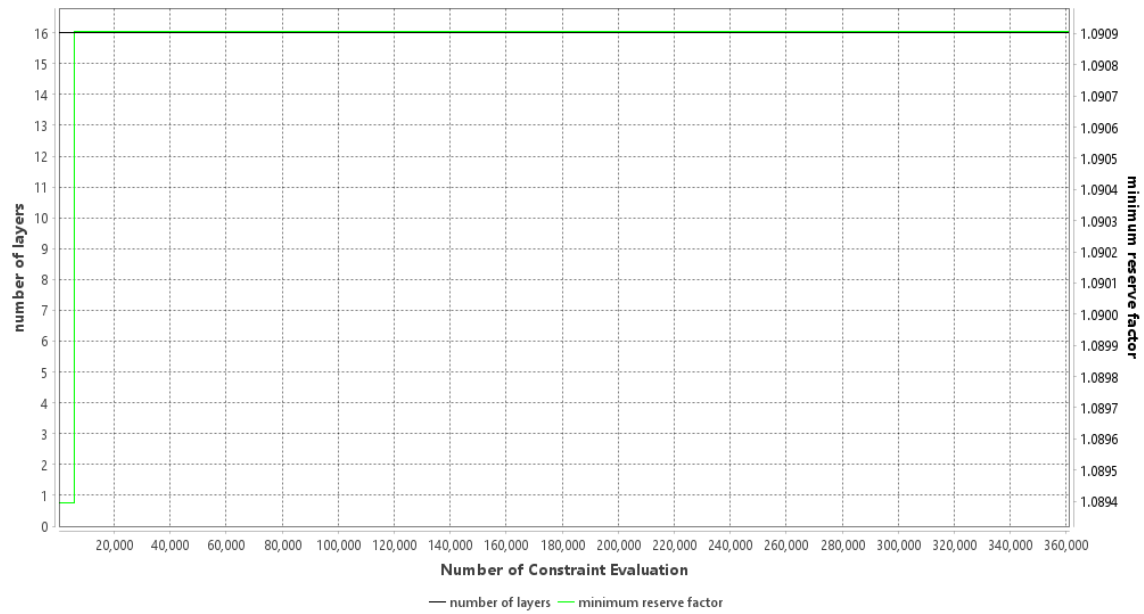


Fig. 55 Iteraciones del Algoritmo de eLamX.

Resultados del eLamX se presentarán en la Tabla N° 43.

Tabla N° 43 Resultados de la simulación de eLamX

Variable	Resultado
Laminado Optimo	[90/0 ₂ /-45/45 ₂ /-45/90] _s
Factor de seguridad mínimo	1,091
Numero de laminas	16
Iteraciones	360 897
Espesor mínimo de diseño	3,84 mm

Nota: la “S” significa simetría, el número de láminas fueron 16 y cada lamina vale 0,24mm.

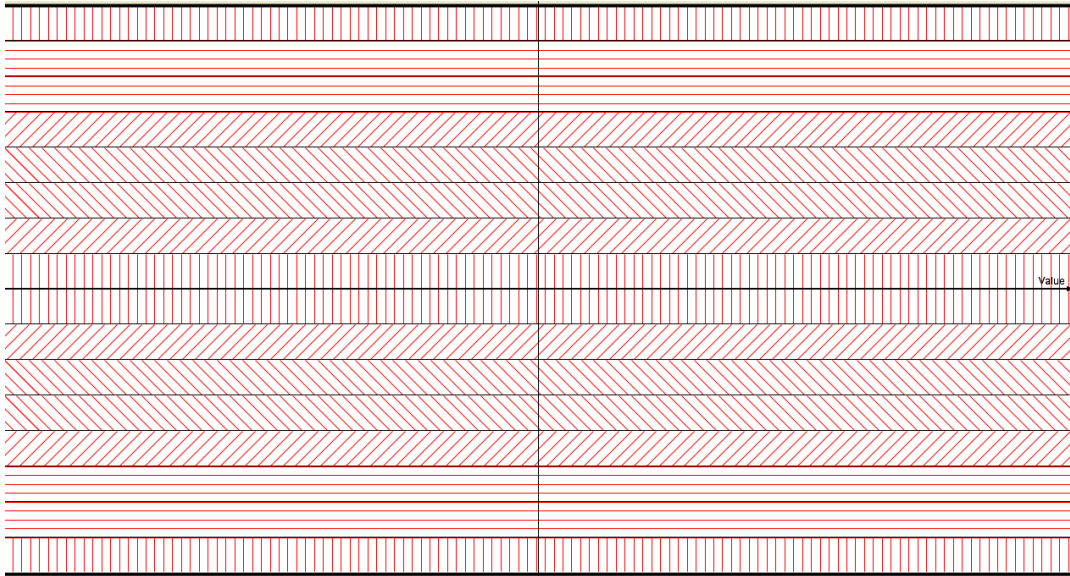


Fig. 56 Distribución de las fibras en $[90/0_2/-45/45_2/-45/90]_s$

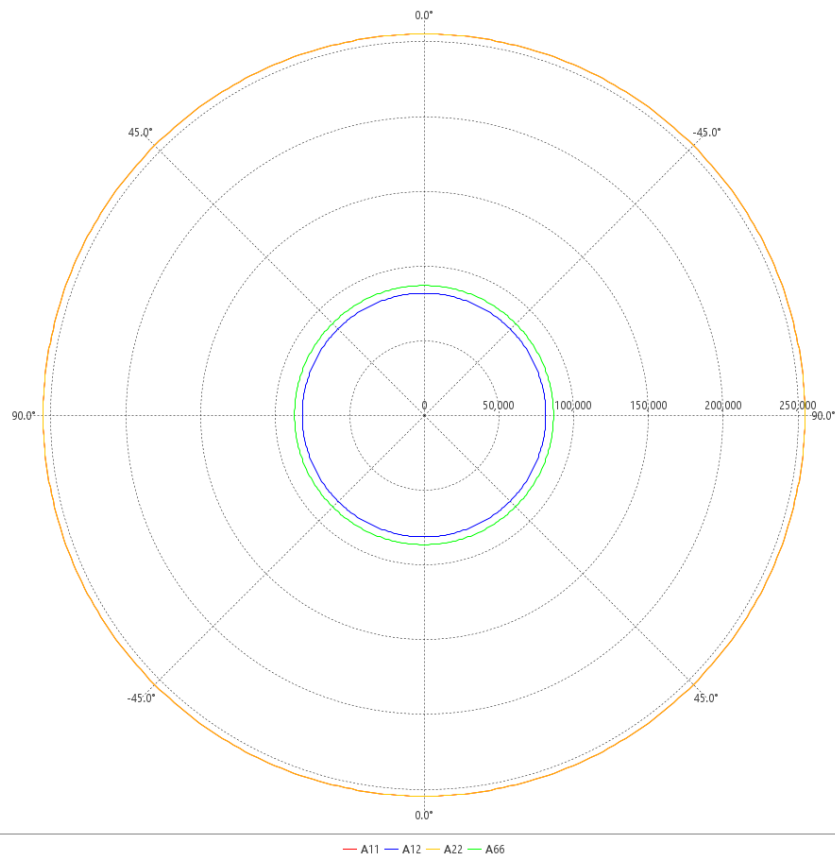


Fig. 57 Grafico polar con respecto a los ángulos

En el grafico representa a el comportamiento quasi-isotropico del material T700S/JC-02A donde A11 corresponde al módulo longitudinal, A22 corresponde al módulo transversal, A66 está vinculado con el módulo de cortadura y el A12 está relacionado con el coeficiente de poisson.

ABD-Matrix						
254583.6	81421.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	
81421.0	254583.6	0.0	0.0	0.0	-0.0	
0.0	0.0	86581.3	-0.0	-0.0	0.0	
0.0	0.0	-0.0	393015.2	53984.6	-4264.7	
0.0	0.0	-0.0	53984.6	324780.6	-4264.7	
-0.0	-0.0	0.0	-4264.7	-4264.7	60325.6	

Inverse ABD-Matrix						
4.3755E-6	-1.3994E-6	1.2347E-22	-2.8245E-...	4.8733E-22	-4.0029E-...	
-1.3994E-6	4.3755E-6	-3.8897E-...	5.4971E-22	-2.9155E-...	-1.8089E-...	
1.2347E-22	-3.8897E-...	1.155E-5	-9.4319E-...	-1.7994E-...	-1.5996E-...	
-2.8245E-...	5.4971E-22	-9.4319E-...	2.6053E-6	-4.3103E-7	1.5371E-7	
4.8733E-22	-2.9155E-...	-1.7994E-...	-4.3103E-7	3.1532E-6	1.9244E-7	
-4.0029E-...	-1.8089E-...	-1.5996E-...	1.5371E-7	1.9244E-7	1.6601E-5	

Engineering Constants					
		without Poisson		with Poisson	
		Membrane	Flexural	Membrane	Flexural
E_x	=	66297.8	83290.8	59516.5	81344.6
E_y	=	66297.8	68830.0	59516.5	67210.9
G_{xy}	=	22547.2	12784.7	22547.2	12765.8
ν_{xy}	=	-	-	0.320	0.165
ν_{yx}	=	-	-	0.320	0.137

Fig. 58 Matriz ABD de la teoría clásica de lamino compuesto

En la Fig. 58 lo que está en marcado con rojo corresponde a que el material compuesto llego a ser quasi-isotropico lo cual se puede ver que los módulos son iguales y el coeficiente de poisson también.

En el cual se puedo hallar las gráficas para posteriores diseños. El carpet plot, nos permite hallar la quasi-isotropia del material de una manera más directa con al tener el número de láminas donde corresponde a lo siguiente: $[\pm 45/90/0]_s$, donde eje horizontal es el porcentaje de láminas en ± 45 y en el eje vertical son los porcentajes de láminas en la dirección 0 y el porcentaje sobrante serian laminas a 90. cómo se puede apreciar en las figuras, Fig. 59, Fig. 60, Fig. 61.

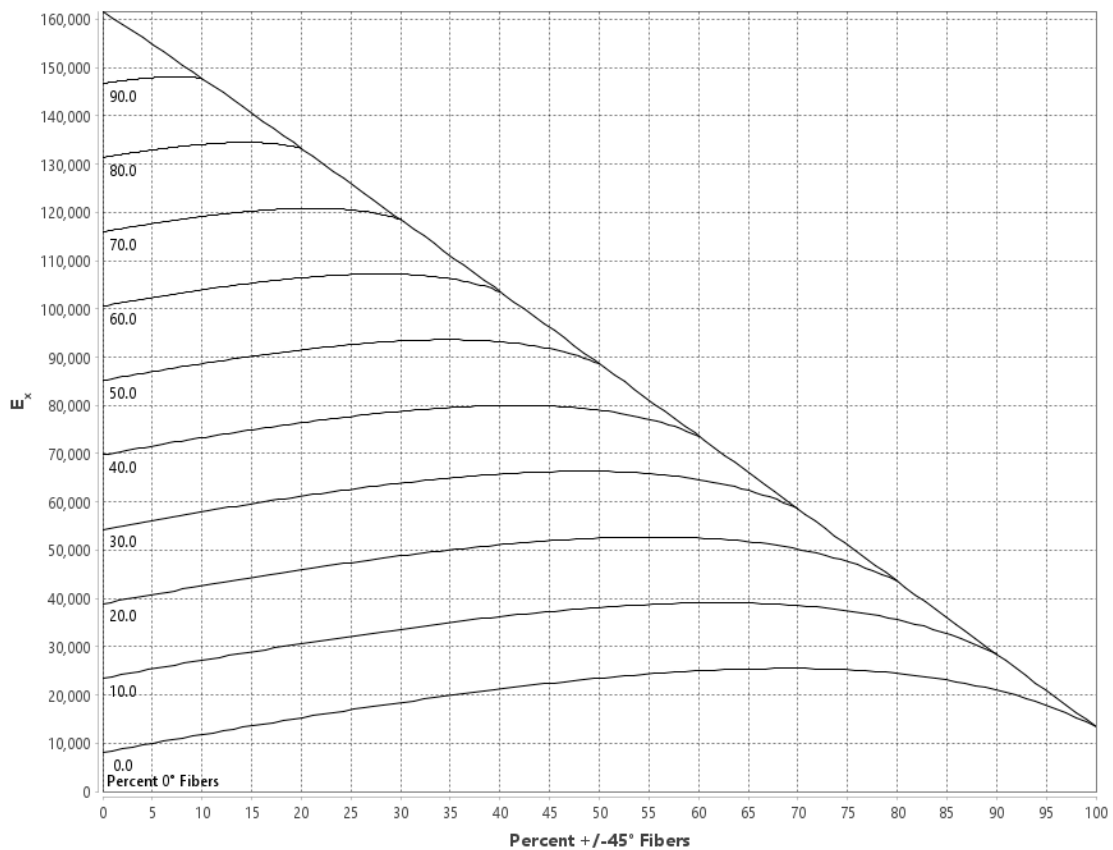


Fig. 59 Grafico Carpet plot para la estimación de modulo Ex

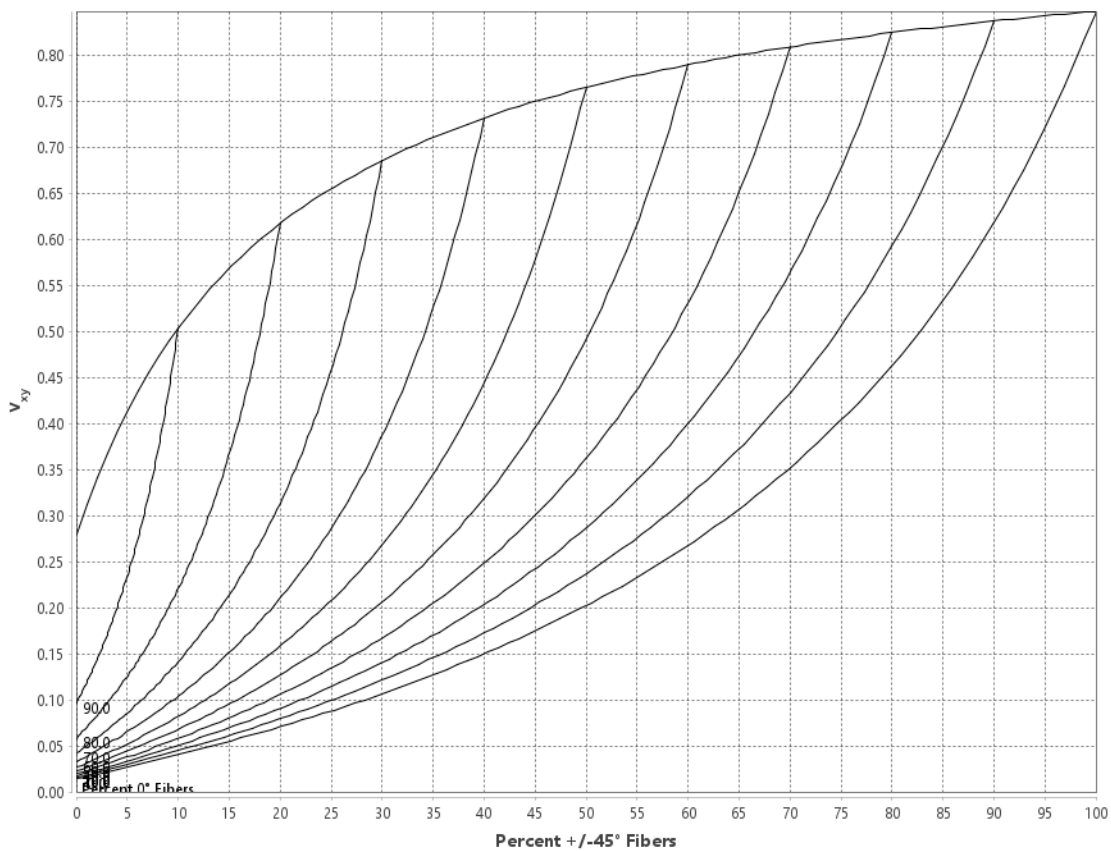


Fig. 60 Grafico Carpet plot para la estimación de coeficiente vxy

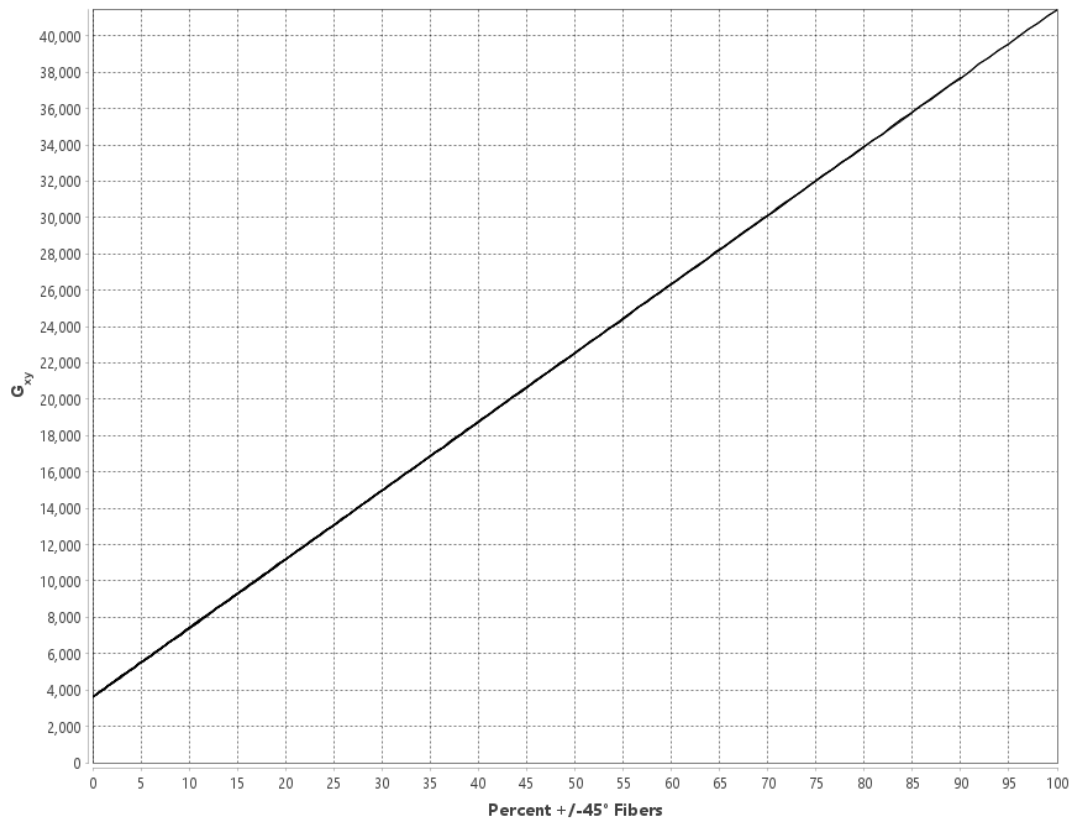


Fig. 61 Grafico Carpet plot para la estimación de modulo Gxy

Análisis y simulación estático-estructural al fuselaje eVTOL

Para el análisis y simulación estático estructural se siguió la metodología de [62] y [63], para validar la simulación se debe realizar un análisis de convergencia de malla, la cual nos permitirá tener un resultado independiente de la malla, se podría llamar análisis de independencia de malla.

Parámetros de la simulación

Se utilizo la Presión de que obtuvimos del análisis CFD (3005 Pa), y se consideró la gravedad (9,81 m/s²). como se muestra en la

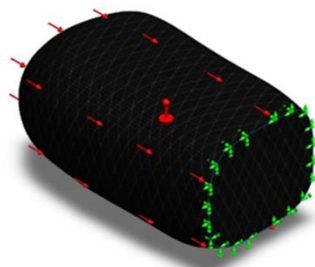


Fig. 62 presión, gravedad y sugestión del análisis

Los parámetros de los pliegues que fueron 16 que se obtuvieron del eLamX y el espesor de 0,24 mm.

Tabla N° 44 Pliegues para la simulación en SolidWorks

Pliegue	Espesor (mm)	Ángulo (deg)
1	0,24	90
2	0,24	0
3	0,24	0
4	0,24	-45
5	0,24	45
6	0,24	45
7	0,24	-45
8	0,24	90
9	0,24	90
10	0,24	-45
11	0,24	45
12	0,24	45
13	0,24	-45
14	0,24	0
15	0,24	0
16	0,24	90

Nota: En los parámetros de entrada de la simulación se simuló el fuselaje a la presión máxima ejercida por el aire.

Análisis de convergencia de malla

Para este caso se realizaron 8 iteraciones de refinamiento, los cuales los podrán ver en la tabla

Tabla N° 45 Iteraciones para el análisis

m	Iteraciones	N° nodos	N° elementos
0.242621	1	2 923	1 446
0.24	2	2 967	1 468
0.2	3	4 799	2 382
0.15	4	65 977	32 964
0.10	5	75 033	37 480
0.09	6	78 911	39 416
0.08	7	83 973	41 942
0.07	8	92 139	46 018

Donde nos dieron como resultados las máximas tensiones, el máximo desplazamiento, el peor factor de seguridad

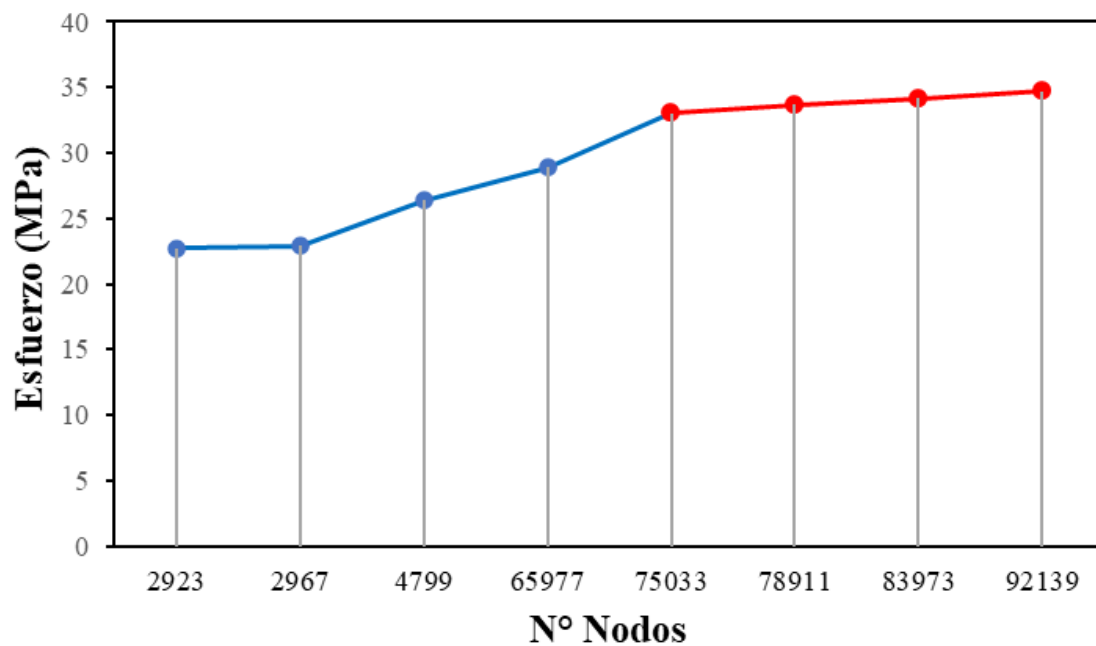


Fig. 63 esfuerzo número por número de nodos

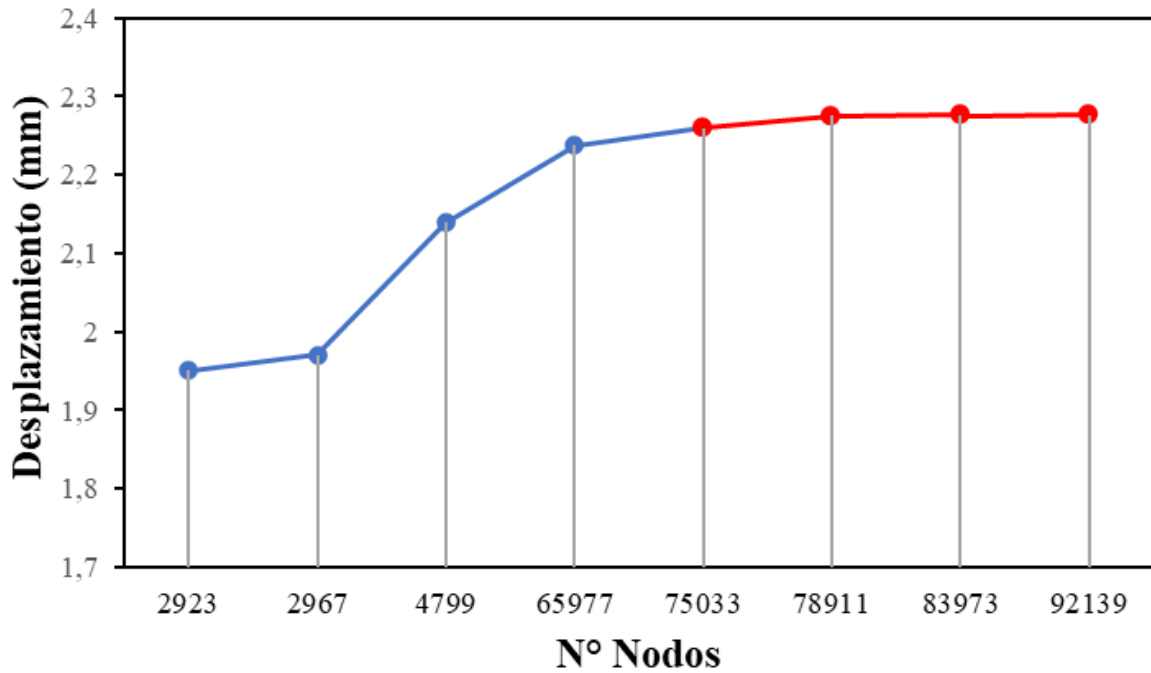


Fig. 64 Desplazamientos por número de nodos

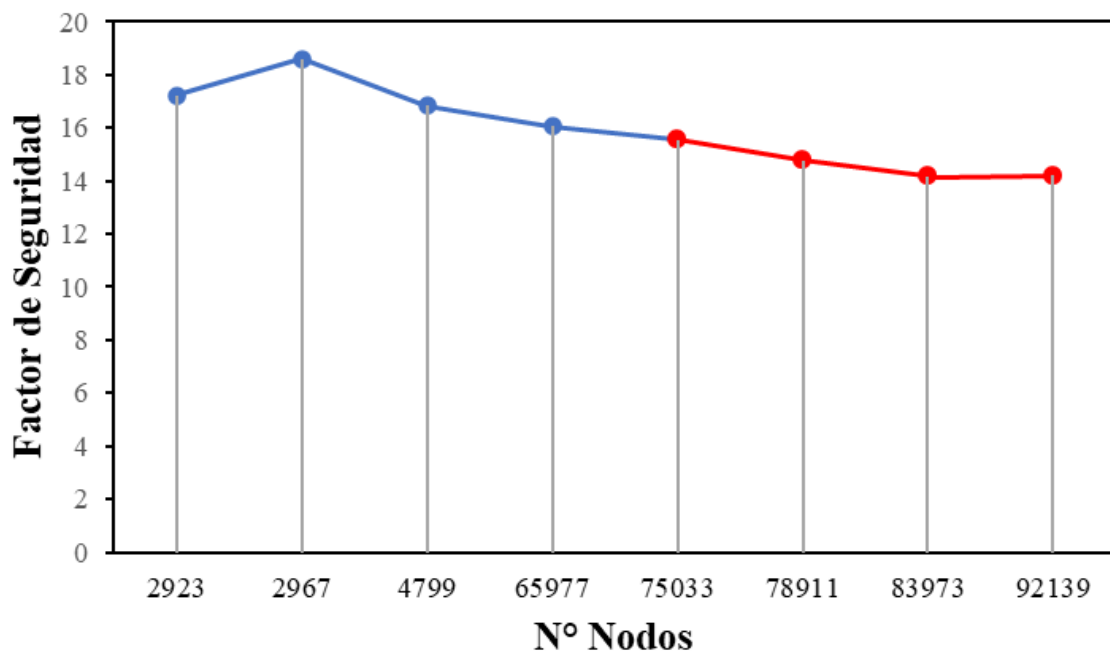


Fig. 65 Factor de seguridad Por número de nodos

Donde se puede observar en la zona roja es la zona donde la simulación converge el cual nos indica que los datos obtenidos a partir de la simulación estarán lo más cercana posible y tendrán menos errores. A continuación, en las tablas

Tabla N° 46 Error porcentual de las iteraciones

Iteraciones	Esfuerzo (MPa)	%Error
1	22,7148	-
2	22,923	0,9%
3	26,4075	15,2%
4	28,9082	9,5%
5	33,0471	14,3%
6	33,6676	1,9%
7	34,1713	1,5%
8	34,679	1,5%

Nota: para el análisis se usará la iteración 8 ya que el error porcentual es igual al 7

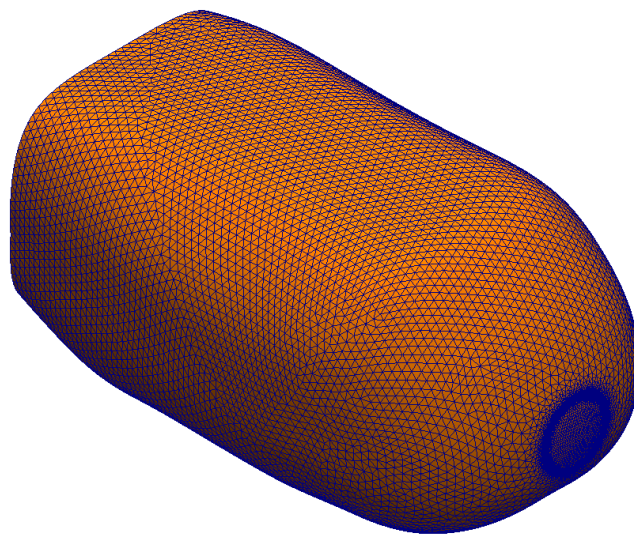


Fig. 66 mallado de la iteración 8

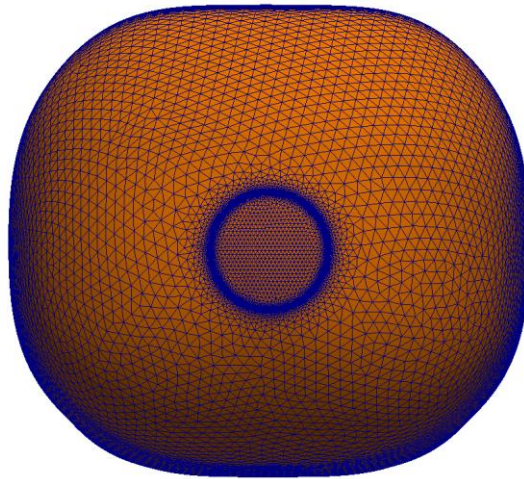


Fig. 67 Refinamiento de malla local

Resultados de la simulación

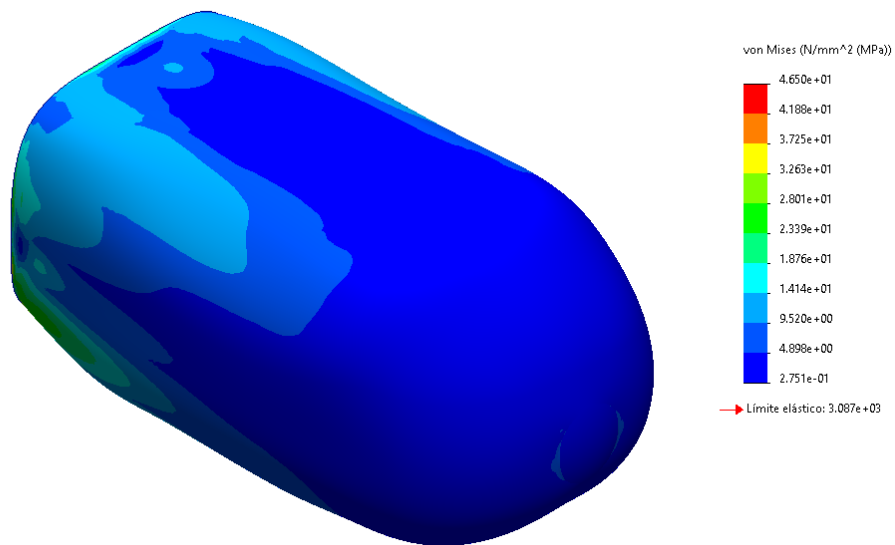


Fig. 68 La tensión máxima a lo largo de los pliegues

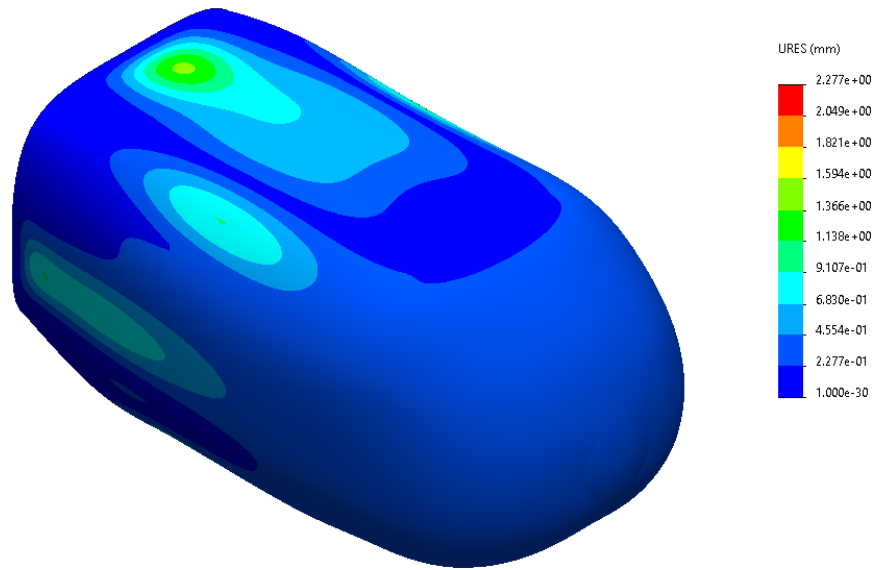


Fig. 69 Desplazamiento

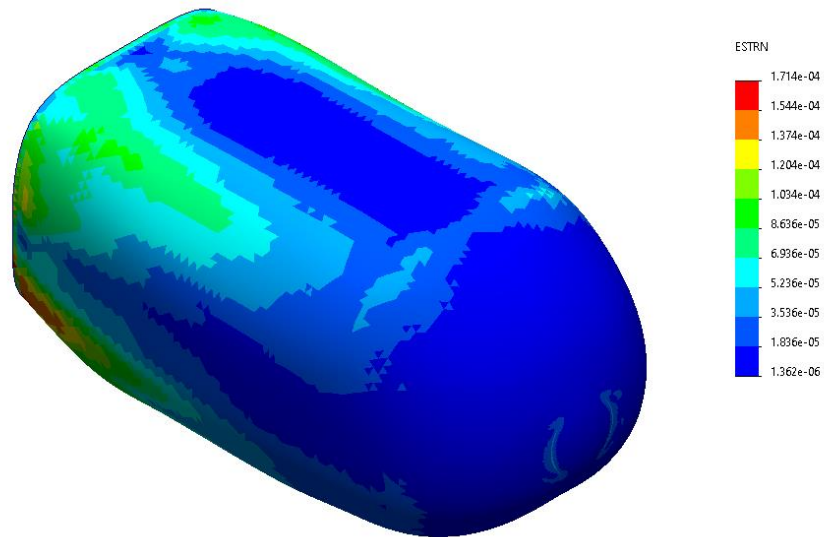


Fig. 70 Deformaciones Unitarias

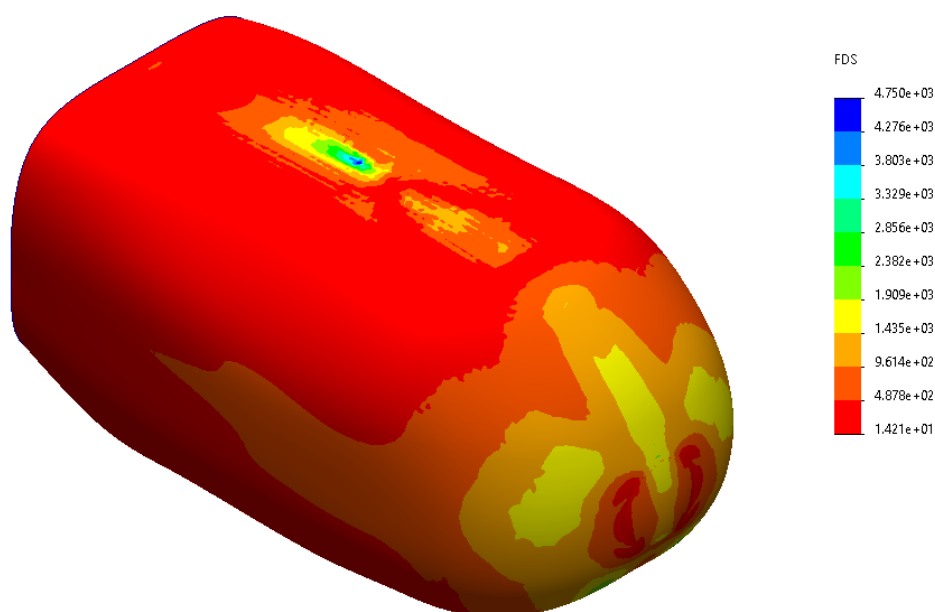


Fig. 71 Peor factor de seguridad a lo largo de todos los pliegues

Tabla N° 47 Resultados de la simulación

	Esfuerzo (MPa)	Desplazamiento (mm)	Deformación unitaria	Factor de Seguridad
Mínimo	2,75E-01	0,00E+00	1,32E-06	1,42E+01
Máximo	4,65E+01	2,277E+00	1,65E-04	4,75E+03

Conclusiones

Se diagnosticó la situación actual del sistema de ambulancias en el departamento Lambayeque, de este modo se obtuvo la cantidad de ambulancias dando un total de 29 ambulancias las cuales 7 se encuentran inoperativas, los tipos de ambulancia utilizados para el traslado de emergencia y urgencia son tipo I y tipo II, los traslados de urgencia y emergencia en el año 2021 fueron 2482 los cuales Motupe y Olmos registraron los mayores traslados los cuales quedan a distancias considerables del Hospital Belen en Lambayeque.

Se realizó el diseño conceptual del fuselaje eVtol utilizando la metodología LFMT, obteniendo un fuselaje con mejores características y prestaciones.

Realizo un análisis flujo estructura al fuselaje eVTOL usando la dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS STUDENT, determinando la velocidad del del fuselaje siendo 69,44 m/s y la presión máxima ejercida por aire es de 3,005 kPa.

Se Determino el material compuesto (T700S-/JC-02A), ángulos de orientación de la fibra de 0°,90°,45° los cuales son los que presentan las mejores características en módulo de elasticidad y módulo de cortadura, espesor mínimo de diseño 3,84 mm.

Se realizo un análisis y simulación estático-estructural teniendo como esfuerzo máximo a lo largo de los pliegues es de 4,65E+01MPa, desplazamiento máximo 2,277E+00 mm, deformación unitaria 1,65E-04 y el mínimo factor de seguridad a lo largo de los pliegues es de 1,42E+01.

Recomendaciones

Se recomienda para el proceso de manufacturado utilizar el método VARTM según [28] si esta entre el 50% a 80% de volumen de fibra se deberá usar ese proceso. Según como menciona [64] el método VARTM es muy costoso para un solo prototipo dado que las maquinas el proceso de curado de resina toma más de 9 horas, teniendo en cuenta eso [64], que a partir de los 150 prototipos es rentable usar el proceso.

Referencias

- [1] Gobierno Regional de Lambayeque, “PLAN PARA MANTENIMIENTO DE UNIDADES DE TRANSPORTE ASISTIDO RED DE SALUD LAMBAYEQUE,” Lambayeque, 2022.
- [2] Ministerio de Salud, *CATEGORIAS DE ESTABLECIMIENTO DE SALUD*. Peru: NT N° 021-MINSA / DGSP V.01, 2005. Accessed: May 11, 2023. [Online]. Available: http://bvs.minsa.gob.pe/local/dgsp/103_N.T.021Categoria.pdf
- [3] A. R. Gnadt, R. L. Speth, J. S. Sabnis, and S. R. H. Barrett, “Technical and environmental assessment of all-electric 180-passenger commercial aircraft,” *Progress in Aerospace Sciences*, vol. 105. Elsevier Ltd, pp. 1–30, Feb. 01, 2019. doi: 10.1016/j.paerosci.2018.11.002.
- [4] Á. Pérez-Carrasco Gómez, “Estudio de infraestructuras para aeronaves eVTOL. Aplicación al caso de taxi aéreo en Madrid,” Universidad de Sevilla, Madrid, 2021. Accessed: May 11, 2023. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11441/129042>
- [5] D. Askeland, *Ciencia e ingeniería de materiales*, Cengage Learning. 2011.

- [6] G. Zhao, L. Zhang, C. Tang, W. Hao, and Y. Luo, "Clustering of AE signals collected during torsional tests of 3D braiding composite shafts using PCA and FCM," *Compos B Eng*, vol. 161, pp. 547–554, Mar. 2019, doi: 10.1016/j.compositesb.2018.12.145.
- [7] J. Dielemans, "Graduate student AMBULANCE DRONES IN THE NETHERLANDS: A VISION + CONCEPT DESIGN FOR 2035," Delft University of Technology, 2021.
- [8] S. N. Subramanian, "Design of Zoom41: An Autonomous Single-Passenger eSTOL Aerial Vehicle Master of Science in Aerospace Engineering," 2019.
- [9] Normativa Técnica de Salud para el Transporte Asistido de pacientes por Vía Terrestre, NTS N° 051-MINSA / OGDN - V.01, MINSA, Perú, 2006.
- [10] Vertical Flight Society Electric. "Press Release: Vertical Flight Society Electric VTOL Directory Hits 600 Concepts". Vertical Flight Society Electric. <https://evtol.news/news/vertical-flight-society-electric-vtol-directory-hits-600-concepts> (accedido el 26 de mayo de 2023).
- [11] A. Misra *et al.*, "A Review on Vertical Take-Off and Landing (VTOL) Tilt-Rotor and Tilt Wing Unmanned Aerial Vehicles (UAVs)", *J. Eng.*, vol. 2022, pp. 1–27, septiembre de 2022. Accedido el 26 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1155/2022/1803638>
- [12] M. Mittereder. "Technological Progress Sends Passenger Drones Soaring". Roland Berger. <https://www.rolandberger.com/en/Media/Technological-Progress-Sends-Passenger-Drones-Soaring.html> (accedido el 26 de mayo de 2023).
- [13] R. Bridgelall, T. Askarzadeh y D. D. Tolliver, "Introducing an efficiency index to evaluate eVTOL designs", *Technolog. Forecasting Social Change*, vol. 191, p. 122539, junio de 2023. Accedido el 26 de mayo de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122539>
- [14] B. Harris. *Engineering composite materials*. London IOM Communications, 1999
- [15] Embention. "Veronte autopilot 4x redundante - productos veronte embention". <https://www.embention.com/es/>. <https://www.embention.com/es/producto/veronte-autopilot-4x-redundante/> (accedido el 7 de junio de 2023).
- [16] B. Harris. *Engineering composite materials*. London IOM Communications, 1999.
- [17] Universitat Politècnica de València y Escuela Politécnica Superior de Alcoy, "Anisotropía en materiales. Relación tensión-deformación en una lámina de material compuesto de fibra larga unidireccional", *Universitat Politècnica de València*, pp. 10, 2019. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10251/122109>ⁱ

- [18] V. Radeva, "Materiales compuestos reforzados con fibra", *Ciencia y Sociedad*, vol. 31, n.º 4, pp. 544–564, diciembre de 2006. Accedido el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.22206/cys.2006.v31i4.pp544-564>
- [19] L. P. Kollár y G. S. Springer, *Mechanics of Composite Structures*. Cambridge University Press, 2009.
- [20] C. C. Chamis, "Simplified composite micromechanics equations for hygral, thermal and mechanical properties", *Nasa*, NASA-TM-83320, p. 19, febrero de 1893. [En línea]. Disponible: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19830011546/downloads/19830011546.pdf>
- [21] L. Ge, H. Li, B. Liu y D. Fang, "Multi-scale elastic property prediction of 3D five-directional braided composites considering pore defects", *Composite Struct.*, vol. 244, p. 112287, julio de 2020. Accedido el 7 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2020.112287>
- [22] D. A. Hopkins y C. C. Chamis, "A unique set of micromechanics equations for high temperature metal matrix composites", *NTRS - NASA Tech. Rep. Server*, NASA-TM-87154, NAS 1.15:87154, p. 30, enero de 1985. [En línea]. Disponible: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19860015286/downloads/19860015286.pdf>
- [23] TU Dresden. "ELamX²". TU Dresden. https://tu-dresden.de/ing/maschinenwesen/ilr/lft/elamx2/elamx?set_language=en (accedido el 12 de julio de 2023).
- [24] J. M. Cano Cortés, "Diseño de un arco de protección en material compuesto para vehículos de competición", TRABAJO FIN DE GRADO, UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA, VALÈNCIA, 2019. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10251/124512>
- [25] Universitat Politècnica de València y Escuela Politécnica Superior de Alcoy, "Anisotropía en materiales. Efecto del ángulo de orientación de la fibra en las propiedades elásticas de una lámina de material compuesto", *Universitat Politècnica de València*, pp. 9, 2019. [En línea]. Disponible: <http://hdl.handle.net/10251/122056>
- [26] A. M. de Marco y J. Cuartero, *Materiales compuestos. Volumen 1*. Reverte, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=GWEJEAQAQBAJ>
- [27] R. D. Rawlings y F. L. Matthews, *Composite Materials: Engineering and Science*. Elsevier Science & Technology, 1999.
- [28] D. Gay, *Composite Materials: Design and Applications, Third Edition*. CRC Press, 2014.

- [29] A. M. de Marco, *Materiales compuestos. Volumen 2*. Reverte, 2020. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.com.pe/books?id=F2EJEAAAQBAJ>
- [30] Z. Huda, *Mechanical Behavior of Materials: Fundamentals, Analysis, and Calculations*. Springer, 2021.
- [31] M. B. Atar, "Experimental and numerical failure analysis of advanced composite structures with holes," M.S. - Master of Science, Middle East Technical University, 2016.
- [32] A. Kelly y N. H. Macmillan, *Strong Solids*. Oxford University Press, USA, 1986.
- [33] I. M. Daniel y O. Ishai, *Engineering Mechanics of Composite Materials*. Oxford University Press, USA, 2006.
- [34] Libretexts. "6.10: Failure of laminates and the tsai–hill criterion". Engineering LibreTexts. https://eng.libretexts.org/Bookshelves/Materials_Science/TLP_Library_II/6:_Mechanics_of_Fibre-Reinforced_Composites/6.a10:_Failure_of_Laminates_and_the_Tsai-Hill_Criterion (accedido el 29 de junio de 2023).
- [35] IdealSimulations Ltd. "Turbulence models in CFD". idealsimulations. <https://www.idealsimulations.com/resources/turbulence-models-in-cfd/> (accedido el 29 de junio de 2023).
- [36] "Navier-Stokes Equations". NASA Glenn Research Center. <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/nseqs.html> (accedido el 26 de mayo de 2023).
- [37] R. H. Sampieri, C. F. Collado, P. B. Lucio, S. M. Valencia, y C. P. M. Torres, *Metodología de la investigación*. 2014.
- [38] D. P. Raymer, *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics), 2012.
- [39] P. Panagiotou, E. Giannakis, G. Savaidis y K. Yakinthos, "Aerodynamic and structural design for the development of a MALE UAV", *Aircr. Eng. Aerosp. Technol.*, vol. 90, n.º 7, p. 1077–1087, octubre de 2018. Accedido el 29 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1108/aeat-01-2017-0031>
- [40] K. Yakinthos, P. Panagiotou, y P. Kaparos, «AERODYNAMIC DESIGN OF INNOVATIVE LAYOUT UNMANNED AERIAL VEHICLES SUPPORTED BY HIGH-FIDELITY NUMERICAL TOOLS», 2019.
- [41] Demers Ambulances. "Demers ambulances". Demers Ambulances. <https://www.demers-ambulances.com/> (accedido el 25 de junio de 2023).

- [42] Airbus. "Vahana". Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen/vahana> (accedido el 25 de junio de 2023).
- [43] Airbus. "CityAirbus demonstrator". Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/urban-air-mobility/cityairbus-nextgen/cityairbus-demonstrator> (accedido el 25 de junio de 2023).
- [44] Alaka'i Technologies. "Skai | alaka'i technologies". Alakai.com. <https://www.alakai.com/skai> (accedido el 30 de junio de 2023).
- [45] Vertical Flight Society. "Alaka'i technologies skai". Home. <https://evtol.news/alakai-technologies-skai/> (accedido el 30 de junio de 2023).
- [46] Volkswagen. "Battery or fuel cell, that is the question". Volkswagen Newsroom. <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/stories/battery-or-fuel-cell-that-is-the-question-5868> (accedido el 30 de junio de 2023).
- [47] Airbus. "EcoPulse™". Airbus. <https://www.airbus.com/en/innovation/low-carbon-aviation/hybrid-and-electric-flight/ecopulsetm> (accedido el 25 de junio de 2023).
- [48] AIRBUS. "Airbus' high-voltage battery technology prepares for EcoPulse flight test and beyond". AIRBUS. <https://www.airbus.com/en/newsroom/news/2022-03-airbus-high-voltage-battery-technology-prepares-for-ecopulse-flight-test> (accedido el 29 de junio de 2023).
- [49] MIT Technology. "WorldWide eVTOL - MIT Technology Roadmapping". MIT Technology Roadmapping. https://roadmaps.mit.edu/index.php/WorldWide_eVTOL (accedido el 26 de junio de 2023).
- [50] Y. Abu-Zidan, P. Mendis y T. Gunawardena, "Optimising the computational domain size in CFD simulations of tall buildings", *Heliyon*, vol. 7, n. °4, abril de 2021, art. n. ° e06723. Accedido el 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06723>
- [51] M. Cortés, P. Fazio, J. Rao, W. Bustamante y S. Vera, "Modelación CFD de casos básicos de convección en ambientes cerrados: Necesidades de principiantes en CFD para adquirir habilidades y confianza en la modelación CFD", *Revista ingeniería de construcción*, vol. 29, n.º 1, p. 22–45, 2014. Accedido el 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4067/s0718-50732014000100002>

- [52] TORAYCA®. "TORAYCA® carbon fiber | toray composite materials america". Toray Composite Materials America, Inc. <https://www.toraycma.com/products/carbon-fiber/> (accedido el 2 de julio de 2023).
- [53] TORAYCA®. "T700S standard modulus carbon fiber". Carbon Fiber | Prepreg | Toray Composite Materials America, Inc. <https://www.toraycma.com/wp-content/uploads/T700S-Technical-Data-Sheet-1.pdf.pdf> (accedido el 2 de julio de 2023).
- [54] TORAYCA®. "T800H intermediate modulus carbon fiber". Carbon Fiber | Prepreg | Toray Composite Materials America, Inc. <https://www.toraycma.com/wp-content/uploads/T800H-Technical-Data-Sheet-1.pdf.pdf> (accedido el 2 de julio de 2023).
- [55] TORAYCA®. "M35J high modulus carbon fiber". Carbon Fiber | Prepreg | Toray Composite Materials America, Inc. <https://www.toraycma.com/wp-content/uploads/M35J-Technical-Data-Sheet-1.pdf.pdf> (accedido el 2 de julio de 2023).
- [56] Hangmo Jiafa New Materials (Suzhou) Co. "低粘度环氧树脂-环氧拉挤树脂-环氧缠绕树脂-杭摩佳发新材料（苏州）有限公司". 环氧拉挤树脂-低粘度环氧树脂-柔韧性环氧树脂-杭摩佳发新材料（苏州）有限公司
. <http://www.hmjiafa.cn/intro/27.html> (accedido el 3 de julio de 2023).
- [57] Hangmo Jiafa New Materials (Suzhou) Co. "气瓶缠绕料_杭摩佳发新材料（苏州）有限公司". 环氧拉挤树脂-低粘度环氧树脂-柔韧性环氧树脂-杭摩佳发新材料（苏州）有限公司. <http://www.hmjiafa.cn/product/56.html> (accedido el 3 de julio de 2023).
- [58] R. K. Gideon, H. Zhou, Y. Li, B. Sun y B. Gu, "Quasi-static compression and compression-compression fatigue characteristics of 3D braided carbon/epoxy tube", *J. Textile Inst.*, vol. 107, n.º 7, p. 938–948, julio de 2015. Accedido el 3 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1080/00405000.2015.1071964>
- [59] R. K. Gideon, H. Zhou, X. Wu, B. Sun y B. Gu, "Finite element analysis of 3D circular braided composites tube damage based on three unit cell models under axial compression loading", *Int. J. Damage Mechanics*, vol. 25, n.º 4, p. 574–607, septiembre de 2015. Accedido el 3 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1177/1056789515605568>
- [60] L. Ge, H. Li, J. Zhong, C. Zhang y D. Fang, "Micro-CT based trans-scale damage analysis of 3D braided composites with pore defects", *Composites Sci. Technol.*, vol. 211, pp. 108830, julio de 2021. Accedido el 3 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2021.108830>

- [61] ixing Huaheng High Performance Fiber Textile Co. "Tela Unidireccional De Fibra De Carbono T700,12k,300g,Para Refuerzo De Construcción - Buy Carbon Fiber Fabric,Carbon Fiber Fabric For Construction,Unidirectional Carbon Fiber Fabric For Building Reinforcement Product on Alibaba.com". Alibaba - la plataforma de comercio entre empresas en línea más grande del mundo. https://spanish.alibaba.com/p-detail/T700-62086169263.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.45f248deqJajea (accedido el 3 de julio de 2023).
- [62] SOLIDWORKS. "My SolidWorks". MySolidWorks - Official SOLIDWORKS Community. <https://my.solidworks.com/training/master/296/1/0/mesh-convergence-and-mesh-controls?&lang=es> (accedido el 11 de julio de 2023).
- [63] Autodesk. "Cómo realizar un estudio de convergencia de malla". Autodesk | Software de diseño, ingeniería y construcción en 3D. <https://www.autodesk.es/support/technical/article/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/ESP/How-to-Perform-a-Mesh-Convergence-Study.html> (accedido el 11 de julio de 2023).
- [64] K. Velazquez, G. Estrada y A. Gonzalez, "Statistical Analysis for Quality Welding Process: An Aerospace Industry Case Study", *J. Appl. Sci.*, vol. 14, n.º 19, p. 2285–2291, septiembre de 2014. Accedido el 12 de julio de 2023. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.3923/jas.2014.2285.2291>

Anexos

Modelo Chamis

```

import math

# Función para calcular las propiedades de la lámina compuesta
def calcular_propiedades(E_Xf, E_Yf, v_XYf, G_XYf, V_f, E_M, v_M):
    # Cálculo de las constantes
    G_M = E_M / (2 * (1 + v_M))
    a = math.sqrt(V_f)
    b = (1 - V_f) ** 1.45

    # Cálculo de las propiedades
    E_X = E_Xf * V_f + E_M * (1 - V_f)
    E_Y = (E_M / (1 - v_M ** 2)) * ((1 + (0.85 * V_f ** 2)) / ((1 - V_f) ** 1.25 + V_f *
(E_M / (E_Yf * (1 - v_M ** 2))))))
    v_XY = v_XYf * V_f + v_M * (1 - V_f)
    G_XY = G_M * ((1 + 0.4 * a) / (b + V_f * (G_M / G_XYf)))

    return E_X, E_Y, v_XY, G_XY

# Función principal
def main():
    # PROPIEDADES DE LA FIBRA
    E_Xf = 230000.0
    E_Yf = 15000.0
    v_XYf = 0.230
    G_XYf = 30000.0
    V_f = 0.7
    # PROPIEDADES DE LA MATRIZ ()
    E_M = 3500.0
    v_M = 0.350

    # Calcular propiedades
    E_X, E_Y, v_XY, G_XY = calcular_propiedades(E_Xf, E_Yf, v_XYf, G_XYf, V_f,
E_M, v_M)

    # Imprimir resultados
    print("Propiedades :")
    print("Módulo de Young en dirección X (E_X):", E_X)
    print("Módulo de Young en dirección Y (E_Y):", E_Y)

```

```

print("Coeficiente de Poisson entre las direcciones X e Y (v_XY):", v_XY)
print("Módulo de cizalladura (G_XY):", G_XY)

# Ejecutar el programa principal
if __name__ == "__main__":
    main()

```

Modelo Puck

```

import math

# Función para calcular las propiedades efectivas del material compuesto def
calcular_propiedades_efectivas(E_Xf, E_Yf, v_XYf, G_XYf, V_f, E_M, v_M):

# Constantes de la matriz
G_M = E_M / (2 * (1 + v_M))
a = math.sqrt(V_f)
b = (1 - V_f) ** 1.45

# Cálculo de las propiedades efectivas
E_X = E_Xf * V_f + E_M * (1 - V_f)
E_Y = 1 / ((a / (a * E_Yf + (1 - a) * E_M)) + ((1 - a) / E_M))
v_XY = v_XYf * V_f + v_M * (1 - V_f)
G_XY = 1 / ((a / (a * G_XYf + (1 - a) * G_M)) + ((1 - a) / G_M))
return E_X, E_Y, v_XY, G_XY

# Función principal
def main():
    print("Ingrese los datos de la fibra:")
    E_Xf = float(input(" Módulo de Young en dirección X (E.Xf): "))
    E_Yf = float(input(" Módulo de Young en dirección Y (E.Yf): "))
    v_XYf = float(input(" Coeficiente de Poisson (v.XYf): "))
    G_XYf = float(input(" Módulo de cizalladura (G.XYf): "))
    V_f = float(input(" Fracción volumétrica de fibra (V.f): "))
    print("\nIngrese los datos de la resina:")
    E_M = float(input(" Módulo de Young (E.M): "))
    v_M = float(input(" Coeficiente de Poisson (v.M): "))

# Calcular propiedades efectivas
E_X, E_Y, v_XY, G_XY = calcular_propiedades_efectivas(E_Xf, E_Yf, v_XYf,
G_XYf, V_f, E_M, v_M)

```

```

# Imprimir resultados
print("\nPropiedades efectivas del material compuesto:")
print(f' Módulo de Young en dirección X (E.X): {E_X:.2f}')
print(f' Módulo de Young en dirección Y (E.Y): {E_Y:.2f}')
print(f' Coeficiente de Poisson (v.XY): {v_XY:.3f}')
print(f' Módulo de cizalladura (G.XY): {G_XY:.2f}')
# Ejecutar el programa principal
if __name__ == "__main__":

main()

```

Modelo de Hopkins and Chamis

```

import math

# Función para calcular las propiedades efectivas del material compuesto def
calcular_propiedades_efectivas(E_Xf, E_Yf, v_XYf, G_XYf, V_f, E_M, v_M):

# Cálculo de constantes
G_M = E_M / (2 * (1 + v_M)) # Módulo de cizalladura de la matriz
a = math.sqrt(V_f)
b = (1 - V_f) ** 1.45

# Propiedades efectivas
E_X = E_Xf * V_f + E_M * (1 - V_f)
E_Y = (E_M / (1 - v_M**2)) * (
(1 + (0.85 * V_f**2)) / ((1 - V_f)**1.25 + V_f * (E_M / (E_Yf * (1 -
v_M**2))))
)
v_XY = v_XYf * V_f + v_M * (1 - V_f)
G_XY = G_M * ((1 + 0.4 * a) / (b + V_f * (G_M / G_XYf)))
return E_X, E_Y, v_XY, G_XY

# Función principal
def main():
print("Ingrese los datos de la fibra:")
E_Xf = float(input(" Módulo de Young en dirección X (E.Xf) [MPa]: "))
E_Yf = float(input(" Módulo de Young en dirección Y (E.Yf) [MPa]: "))
v_XYf = float(input(" Coeficiente de Poisson (v.XYf): "))
G_XYf = float(input(" Módulo de cizalladura (G.XYf) [MPa]: "))

```

```

V_f = float(input(" Fracción volumétrica de fibra (V.f): "))
print("\nIngrese los datos de la resina:")
E_M = float(input(" Módulo de Young (E.M) [MPa]: "))
v_M = float(input(" Coeficiente de Poisson (v.M): "))

# Cálculo de las propiedades efectivas
E_X, E_Y, v_XY, G_XY = calcular_propiedades_efectivas(
i
E_Xf, E_Yf, v_XYf, G_XYf, V_f, E_M, v_M
)

# Imprimir resultados
print("\nPropiedades efectivas del material compuesto:")
print(f' Módulo de Young en dirección X (E.X): {E_X:.2f} MPa")
print(f' Módulo de Young en dirección Y (E.Y): {E_Y:.2f} MPa")
print(f' Coeficiente de Poisson (v.XY): {v_XY:.3f}")
print(f' Módulo de cizalladura (G.XY): {G_XY:.2f} MPa")
# Ejecutar el programa principal
if __name__ == "__main__":

main()

```

[i https://drive.google.com/drive/folders/1kbM6tOyFMC6Q0rPJ1frTf-kLhMM1ECUU?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1kbM6tOyFMC6Q0rPJ1frTf-kLhMM1ECUU?usp=sharing)