



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA

“CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE
LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS
ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE
TECNOLOGÍAS”

LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME

Trabajo de Graduación para la obtención del título de:

TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
AVIONES

AÑO

2014

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el SR. CARRILLO JÁCOME LUIS MIGUEL, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES.

Tlgo. DGAC. Alejandro Proaño
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

DEDICATORIA

El presente trabajo va dedicado de manera especial a mis padres por todo el apoyo incondicional que me brindan día a día y por permitirme ser una persona de éxito, capaz de buscar solución a los problemas de la vida cotidiana.

A mi tío que con sus sabios consejos me ha enseñado que la vida es un regalo maravilloso y hay que saber aprovecharlo venciendo los obstáculos y caminando por el camino correcto.

A todos mis familiares, amigos y compañeros que me han acompañado en todo momento durante mi formación estudiantil.

LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento grande a Dios y a San Marcos por permitirme tener una familia feliz y por darme lo más maravilloso que es la salud; pilar fundamental para conseguir mis objetivos eliminando todo tipo de dificultades y problemas.

A mis padres porque sin ellos no habría hecho posible mi preparación académica, por todo ese apoyo que me supieron brindar en cada instante de mi vida.

A mis hermanas que supieron sacarme una sonrisa en mis momentos de soledad y tristeza.

A todos mis amigos que supieron darme una palabra de aliento durante toda la etapa estudiantil dejando huellas en mi corazón e incentivándome para cada día seguir adelante.

LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	1
SUMMARY.....	2

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES.....	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 OBJETIVOS.....	6
1.4.1 Objetivo General.....	6
1.4.2 Objetivos Específicos.....	6
1.5 ALCANCE.....	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Aeronave Cessna C-150.....	7
2.1.1 Partes y componentes de la Aeronave Cessna C-150.....	8
2.2 Constitución de las alas.....	9
2.2.1 Estructura de las alas.....	10
2.2.2 Tipos de alas.....	11

2.2.3 Perfil alar.....	12
2.2.3.1 Perfil alar de la aeronave Cessna C-150.....	12
2.2.4 Constitución de las alas de la aeronave Cessna C-150.....	13
2.3 Medición.....	14
2.3.1 Medida.....	14
2.3.2 Dimensión.....	15
2.3.3 Escala.....	15
2.4 MATERIALES A UTILIZAR EN LA CONSTRUCCIÓN DEL NÚCLEO.....	17
2.4.1 Núcleo.....	17
2.4.2 Material.....	17
2.4.2.1 Materiales.....	17
2.4.3 Poliestireno expandido EPS (espuma flex).....	18
2.4.4 Madera Balsa (Ochroma Pyramidale).....	19
2.4.5 Pegamento.....	21
2.4.6 Ligas Industriales de sujeción.....	21
2.5 PROCESO DE FABRICACIÓN.....	22
2.5.1 Trazar.....	22
2.5.2 Cortar.....	22
2.5.3 Pegar.....	23
2.5.4 Lijar.....	24
2.5.5 Reforzar.....	25
2.5.6 Secar.....	25
2.6 MATERIALES EN ANÁLISIS PARA EL RECUBRIMIENTO EXTERIOR.....	25
2.6.1 Materiales Compuestos o Convencionales.....	25
2.7 FIBRA (MATERIAL DE REFUERZO).....	28
2.7.1 Fibra de vidrio.....	28
2.7.2 Fibra de aramida (KEVLAR).....	29
2.7.3 Fibra de carbono.....	31
2.7.3.1 Clasificación de las fibras según su orientación.....	31

2.7.3.1.1 Clasificación de las fibras bidireccionales.....	32
2.7.3.2 Tejidos híbridos.....	34
2.7.3.3 Equilibrio entre capas.....	34
2.7.3.4 Clases de fibra de carbono.....	35
2.7.3.5 Tipos de fibra de carbono.....	35
2.7.3.6 Propiedades de la fibra de carbono.....	36
2.7.3.7 Desventajas de la fibra de carbono.....	37
2.8MATRIZ.....	37
2.9 RESINA.....	38
2.9.1 Características de la resina.....	39
2.9.2 Resina Epoxi o Epoxídica.....	40
2.10 Técnicas de moldeo.....	42
2.11 CONTROL DE CALIDAD.....	43
2.12 ANÁLISIS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL DEL ALA.....	43
2.12.1 Peso.....	43
2.12.2 Carga o Presión.....	44
2.12.3 Tipos de cargas.....	44
2.13 NORMAS DE SEGURIDAD.....	45
2.13.1 Características del lugar de trabajo.....	45
2.13.2 Equipos de protección personal (EPP).....	46

CAPÍTULO III CONSTRUCCIÓN

3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN...	50
3.1.1 Consideraciones para trabajar con de fibra de carbono.....	50
3.1.2 Pasos para laminación de fibra de carbono.....	51
3.1.2.1 Limpieza del molde y aplicación del agente desmoldante.....	51
3.1.2.2 Preparación de la mezcla.....	51
3.1.2.3 Laminación.....	52
3.1.2.4 Curado.....	53

3.1.2.5 Remoción de burbujas de aire.....	53
3.1.2.6 Bolsa de vacío.....	54
3.2 PLANTEAMIENTO Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS.....	56
3.2.1 Comparación de propiedades de la fibra de carbono.....	57
3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD.....	59
3.3.1 Factor Técnico.....	59
3.3.2 Factor Operacional.....	60
3.3.3 Factor Económico.....	60
3.4 Medidas y dimensiones.....	61
3.5 CONSTRUCCIÓN DE LA PARTE INTERNA DEL ALA.....	61
3.5.1 Construcción del Núcleo.....	61
3.5.2 Trazos generales.....	62
3.5.3 Proceso de corte del perfil alar.....	62
3.5.4 Proceso general de corte.....	62
3.5.5 Unión de EPS.....	63
3.5.6 Lijado superficial.....	64
3.5.7 Aplicación del material de refuerzo.....	64
3.5.8 Tiempo de secado.....	65
3.5.9 Pruebas de sustentación.....	65
3.5.9.1 Verificación de errores.....	67
3.5.10 Componentes adicionales.....	68
3.5.11 Pruebas de sustentación en el aire.....	68
3.5.11.1 Primera prueba de sustentación en el aire.....	68
3.6 CONSTRUCCIÓN DE LA PARTE EXTERNA DEL ALA.....	70
3.6.1 Identificación de materiales.....	70
3.6.1.1 Identificación de equipos de protección personal.....	71
3.6.2 Moldeo de fibra de Carbono.....	71
3.6.2.1 Preparación superficial del ala.....	71
3.6.2.2 Técnica de moldeo.....	72
3.6.2.3Aplicación del agente desmoldante.....	72
3.6.3 Preparación de la mezcla resina/endurecedor.....	73

3.6.4 Colocación del Tejido híbrido.....	74
3.6.5 Proceso de Aplicación de la mezcla resina/endurecedor.....	75
3.6.6 Proceso de Laminado.....	75
3.6.7 Proceso de Curado.....	77
3.6.7.1 Aplicación de la tela PEEL PLY.....	77
3.6.7.2 Aplicación del Plástico de refuerzo y la tela BREATHER.....	77
3.6.7.3 Sellado con bolsa de vacío.....	78
3.6.7.4 Remoción de aire y burbujas con bomba de vacío.....	78
3.7 Durabilidad.....	79
3.8 Construcción del Soporte.....	80
3.9 Diagrama de construcción y ensamble del ala.....	82
3.9.1 Proceso de construcción y ensamble del núcleo.....	82
3.9.2 Proceso de construcción y ensamble del refuerzo del núcleo.....	84
3.9.3 Proceso de construcción y ensamble del forrado exterior.....	85
3.10 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CONFORMIDAD DE OPERACIÓN.....	87
3.10.1 Prueba de sustentación del ala en fibra de carbono.....	87
3.10.2 ANÁLISIS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL.....	89
3.10.2.1 Pesos reales de los materiales y componentes.....	89
3.10.2.2 Pruebas de resistencia estructural con la aplicación de pesos.....	90
3.10.2.3 Cargas principales en el ala.....	91
3.10.2.4 Análisis comparativo de Resistencia Estructural.....	92
3.10.2.5 Análisis comparativo de materiales.....	94
3.11 Estudio Económico.....	95
3.12 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.....	97

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones.....	104
4.2 Recomendaciones.....	105
GLOSARIO.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	108
NETGRAFIA.....	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Especificaciones y Rendimiento de la A.Cessna C-150.....	8
Tabla 2.2 Especificaciones del ala.....	14
Tabla 2.3 Clasificación de las hojas de lija según el número de grano	24
Tabla 2.4 Características de las fibras uni y bidireccionales.....	33
Tabla 2.5 Tipos y ventajas de la resina.....	39
Tabla 3.1 Ventajas y Desventajas de la bolsa de vacío.....	55
Tabla 3.2 Ventajas y Desventajas de las fibras usadas en Aviación...	56
Tabla 3.3 Materiales a utilizar en la construcción del núcleo.....	61
Tabla 3.4 Resultados de la primera prueba de sustentación en tierra..	66
Tabla 3.4.1 Resultados de la segunda prueba de sustentación.....	67
Tabla 3.5 Resultados de la primera prueba de sustentación en el aire	69
Tabla 3.6 Materiales para la construcción de la parte externa del ala..	70
Tabla 3.7 Herramientas empleadas en la construcción.....	81
Tabla 3.8 Equipos empleados en la construcción.....	81
Tabla 3.9 Simbología para el proceso de construcción y ensamble.....	82
Tabla 3.10 Proceso de Construcción y Ensamble.....	86
Tabla 3.11 Resultados de la segunda prueba de sustentación.....	88
Tabla 3.12 Peso total de los materiales.....	89
Tabla 3.13 Pruebas de resistencia estructural.....	90
Tabla 3.14 Cargas principales en el ala.....	91

Tabla 3.15 Análisis comparativo de Resistencia Estructural.....	92
Tabla 3.16 Análisis comparativo de materiales.....	94
Tabla 3.17 Gastos de Materiales.....	95
Tabla 3.18 Gastos de equipos y herramientas de alquiler.....	96
Tabla 3.19 Gastos Secundarios.....	96
Tabla 3.20 Total de gastos.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Aeronave Cessna C-150.....	7
Figura 2.1.1 Constitución del ala.....	11
Figura 2.1.2 Ala trapezoidal.....	12
Figura 2.2 Componentes del perfil alar.....	12
Figura 2.2.1 Perfil NACA 2412.....	13
Figura 2.2.2 Alas de la aeronave Cessna C-150.....	13
Figura 2.3. Instrumento de medición- Graduador.....	15
Figura 2.4. Dimensiones.....	15
Figura 2.5. Poliestireno expandido.....	18
Figura 2.6. Aplicación de la balsa.....	20
Figura 2.7. Trazo normal.....	22
Figura 2.8. Cortadora de poliestireno expandido.....	23
Figura 2.9. Pegamento UHU.....	23
Figura 2.10. Método práctico para lijar.....	24
Figura 2.11. Componentes de los materiales compuestos.....	27
Figura 2.12. Fibra de vidrio.....	29
Figura 2.13. Fibra de aramida (Kevlar).....	31
Figura 2.14. Clasificación de la fibra de carbono por su orientación....	32
Figura 2.15. Clasificación de las fibras bidireccionales.....	33
Figura 2.16. Posicionamiento de las capas de fibra de carbono.....	34
Figura 2.17. Orden de los atomos de carbono.....	36
Figura 2.18. Cargas mecánicas sometidas a la matriz.....	38

Figura 2.19. Kit de resina Epoxi.....	40
Figura 2.20. Cargas Distribuidas Superficiales.....	45
Figura 2.21. Overol.....	47
Figura 2.22. Respiradores (máscaras).....	47
Figura 2.23. Guantes impermeables de seguridad.....	48
Figura 2.24. Protectores visuales (gafas).....	48
Figura 2.25. (a) Zapatos punta de acero y (b) Zapatos antideslizantes	49
Figura 3.1. Preparación de la mezcla.....	51
Figura 3.2. Laminación.....	53
Figura 3.3. Componentes para la remoción de aire.....	53
Figura 3.4. Bolsa de vacío.....	54
Figura 3.5. Proceso de trazado en EPS.....	62
Figura 3.6. Proceso de corte.....	63
Figura 3.7. Proceso de pegado.....	63
Figura 3.8. Proceso de lijado.....	64
Figura 3.9. Aplicación del material de refuerzo.....	65
Figura 3.10. Primeras pruebas de sustentación en Tierra.....	66
Figura 3.11. Segundas pruebas de sustentación en Tierra.....	67
Figuras 3.12. Revisión y chequeo de equipos.....	68
Figuras 3.13. Pruebas de Vuelo.....	69
Figura 3.14. Preparación superficial del ala.....	71
Figura 3.15. Aplicación del agente desmoldante.....	72
Figura 3.16. Preparación de la mezcla resina/endurecedor.....	73
Figura 3.17. Corte de la fibra de carbono.....	74
Figura 3.18. Colocación del tejido híbrido.....	74
Figura 3.19. Aplicación de la mezcla resina/endurecedor.....	75
Figuras 3.20. Unión del ala con la fibra de carbono.....	76
Figuras 3.21. Aplicación de la segunda capa de fibra de carbono.....	76
Figura 3.22. Aplicación de telas auxiliares.....	77
Figura 3.23. Conector y desconector de acción rápida.....	79
Figura 3.24. Ala terminada la etapa de curado.....	80

Figura 3.24.1. Soporte del ala.....	80
Figuras 3.25. Prueba de despegue de la aeronave.....	87
Figuras 3.26. Prueba en vuelo de la aeronave.....	88
Figuras 3.27. Prueba de aterrizaje de la aeronave.....	88
Figura 3.28. Prueba de resistencia con la aplicación de pesos.....	91
Figura 3.29. Ala en fibra de Carbono y Ala convencional para análisis	93

RESUMEN

El presente trabajo de graduación permite adquirir conocimientos relevantes sobre la utilización de materiales compuestos con la finalidad de mejorar los laboratorios en la sección de estructuras de la Unidad de Gestión de Tecnologías (UGT).

En el Capítulo I se plantea el problema, el cual, está relacionado con la falta de equipos construidos a partir de materiales compuestos, lo que ha impedido el mejoramiento académico de los estudiantes, así como la manipulación y el conocimiento de los mismos.

En el Capítulo II se delimita el fundamento teórico obtenido de fuentes bibliográficas, libros, manuales, revistas, páginas web y se detallan los datos de la aeronave Cessna C-150 como referencia, definiciones científicas de materiales y herramientas a utilizarse aplicando las normas de seguridad establecidas.

El Capítulo III detalla el proceso de manufactura del ala en fibra de carbono; la cual está construida con materiales de bajo peso y alta resistencia, su elaboración se basa en dos etapas claramente identificadas: construcción del núcleo y forrado exterior. Adicionalmente se efectúa las pruebas operacionales en un aeromodelo con configuración para diferentes tipos de alas, y se establece que la durabilidad y resistencia del ala es significativamente buena en vista que los materiales utilizados son resistentes a la fatiga, humedad, químicos etc.

Finalmente en el Capítulo IV se analizan los resultados y se presentan conclusiones relevantes obtenidas con la construcción del proyecto, además se aportan con recomendaciones accesibles en la UGT, para mantener en buen funcionamiento el equipo.

SUMMARY

This graduation work permits to acquire relevant knowledge on the use of composite materials in order to improve the labs section structures of Technology Management Unit (UGT).

In Chapter I the problem, which is related to the lack of built from composite materials equipment, which prevented the academic improvement of the students and handling and knowledge of them arises.

In Chapter II the theoretical foundation obtained from literature sources, books, manuals, magazines, web pages and data defines the aircraft Cessna C-150 as a reference, scientific definitions of materials and tools used to implement safety standards detailed established.

Chapter III details the process of manufacturing the carbon fiber wing; which is constructed with lightweight materials and high strength, processing is based on two clearly identified stages: construction of the core and outer lining. Further operational testing in a drone with settings for different types of wings is made, and states that the durability and strength of the wing is significantly good considering that the materials used are resistant to fatigue, moisture, chemicals etc.

Finally in Chapter IV the results are analyzed and conclusions relevant to the construction of the project are presented, along with affordable recommendations are provided in the UGT, to keep your equipment running smoothly.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 ANTECEDENTES

La Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas (UFA-ESPE) ubicada en la Provincia de Cotopaxi cantón Latacunga, es un centro de educación superior que forma mano de obra calificada en el campo aeronáutico, actualmente cuenta en sus laboratorios y talleres con material didáctico que permite realizar prácticas a sus estudiantes con la finalidad que adquieran aprendizajes significativos. Por la relevancia del tema se han realizado trabajos investigativos que han dado excelentes resultados entre ellos se pueden encontrar:

SÁNCHEZ ZUMBA MENTOR ALEXIS, cuyo trabajo investigativo fue “CONSTRUCCIÓN DE UN AVIÓN DA-40 DIAMOND STAR A ESCALA A PARTIR DE MATERIALES COMPUESTOS PARA FINES DIDÁCTICOS”, año 2004, llegando a concluir que el avión fue construido según datos y planos específicos, constituido íntegramente por materiales compuestos puesto que la aviación presenta grandes ventajas respecto a otros campos, aunque el costo y factibilidad de los materiales se ha convertido en un factor decisivo se logró obtener los siguientes resultados:

- Mayor resistencia y durabilidad de materiales.
- Menor peso en la aeronave.
- Mayor control del avión.

ALBÁN CHÁVEZ JOFFRE JAVIER, cuyo trabajo investigativo fue “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN AVIÓN A ESCALA DE AEROMODELISMO PARA EL ITSA”, año 2012, estableciendo que el uso de materiales ligeros, resistentes y de buena calidad brindan seguridad al avión en los diferentes

vuelos que se llevan en un tiempo determinado; logrando obtener los siguientes resultados:

- Alta resistencia del avión.
- Desempeño óptimo de los mandos de vuelo.
- Facilidad de mantenimiento y operación.

Es importante mencionar que la Unidad de Gestión de Tecnologías debe contar con el suficiente material didáctico construido a partir de materiales compuestos, en vista que en la actualidad las aeronaves están utilizando este tipo de materiales por sus excelentes propiedades y características.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La carrera de Mecánica Aeronáutica posee laboratorios y talleres con componentes aeronáuticos, pero se debe reconocer que la aviación avanza, se actualiza y requiere de nuevas tecnologías, pues se hace necesario recalcar que la UGT como centro de educación superior en el ámbito aeronáutico requiere de equipos nuevos y actualizados para mejorar el desempeño de prácticas en sus estudiantes.

Se ha podido observar que la sección de estructuras no cuenta con la cantidad suficiente de material didáctico construido a partir de materiales compuestos, lo que ha ocasionado la desmotivación y el desinterés en los estudiantes, es claro reconocer que para materias técnicas como: Estructuras de Aeronaves, Estructuras no Metálicas (Materiales Compuestos) Prácticas Tutoriadas de Estructuras, se requiere básicamente del conocimiento y la manipulación.

Con la asesoría de docentes, técnicos y la observación realizada en los laboratorios y talleres se pudo determinar la necesidad de construir un prototipo de ala en fibra de carbono de la aeronave Cessna C-150 a escala

1:6, para mejorar las destrezas de los estudiantes y además cumplir con las exigencias de los organismos reguladores de la educación superior como el CES, CEAACES, SENESCYT y con la DGAC.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Es importante que los laboratorios de la sección de estructuras cuenten con innovaciones tecnológicas para mejorar el desarrollo de actividades efectivas y seguras para que los estudiantes desarrollen aplicaciones prácticas de los conocimientos adquiridos en las asignaturas referentes a materiales compuestos con equipos que les orienten a poner más énfasis e interés en el aprendizaje mejorando su experiencia en el uso y manejo adecuado de los mismos.

Los resultados del proyecto facilitarán que los estudiantes mejoren sus conocimientos en fibra de carbono estableciendo el análisis de resistencia estructural y el bajo peso que posee, con lo dicho se mejorarán sus expectativas, adicional se beneficiarán los docentes porque permitirá adquirir un mejor proceso de enseñanza a la Unidad de Gestión de Tecnologías porque contará con talleres innovados, calificados y aprobados por los organismos reguladores lo que conllevará a mantener su alto prestigio.

Con lo mencionado se hace importante que la Unidad de Gestión de Tecnologías cuente en el laboratorio de la sección de estructuras con la implementación de un prototipo de ala construida en fibra de carbono con referencias de una aeronave actualmente en servicio (Cessna C-150), con la finalidad de fomentar a la formación de tecnólogos profesionales y capacitados que trabajarán en las diferentes compañías de aviación del país.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Construir un ala en fibra de carbono tomando como referencia las dimensiones y medidas de la Aeronave CessnaC-150 reducida a escala 1:6 para uso de los estudiantes de la carrera de Mecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la UFA-ESPE.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Recopilar información de la Investigación de Campo.
- Analizar los datos obtenidos e interpretar los resultados.
- Construir un prototipo de ala en fibra de carbono.
- Comprobar la sustentación y realizar pruebas de resistencia estructural.

1.5 ALCANCE

El presente trabajo investigativo se basará específicamente en la construcción de un prototipo de ala en fibra de carbono, para permitir el mejoramiento de prácticas de los estudiantes de la carrera de Mecánica Aeronáutica, también estarán beneficiados los docentes porque ayudará a impartir nuevos métodos de instrucción, la UGT porque proporcionará medios que permitan la innovación de los talleres para el desarrollo de las prácticas académicas logrando mantener su buen prestigio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 AERONAVE CESSNA C-150

El CessnaC-150 es un avión privado popular, el cuarto avión civil más producido, y tiene su lugar en la instrucción de vuelo, el uso personal e incluso en los viajes.

El Cessna C-150 es simple, robusto y relativamente fiable, debido a su ligereza y gran área de las alas. Además es bastante sensible a las turbulencias y está muy bien considerado entre los pilotos por su facilidad para volar sin tener que afrontar dificultades especiales.

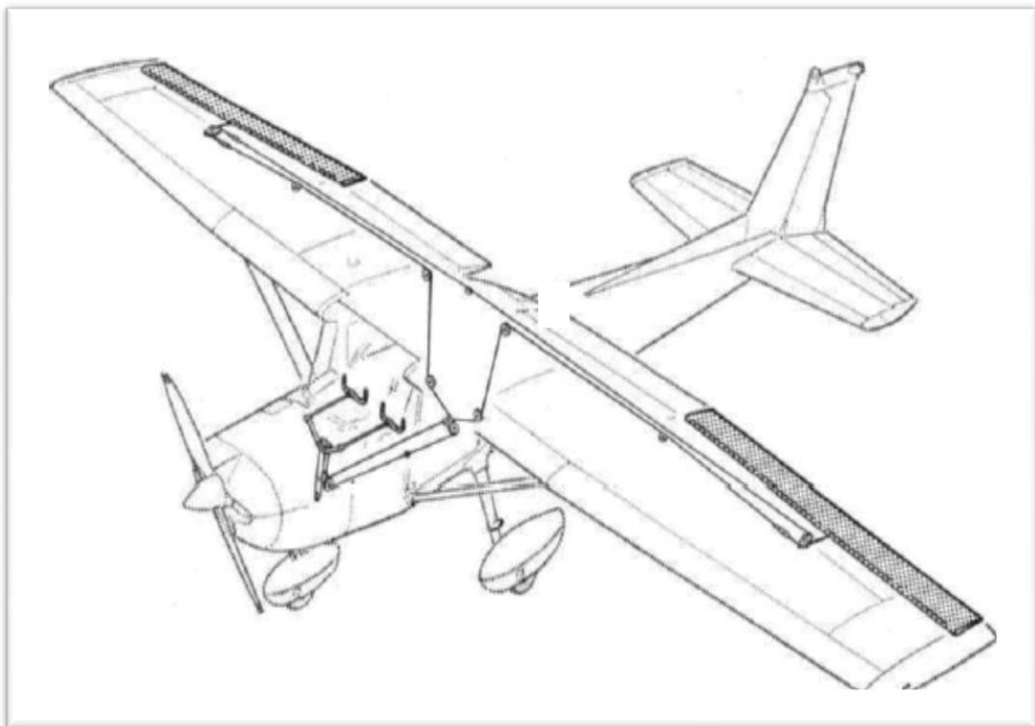


Figura 2.1. Aeronave Cessna C-150

Tabla 2.1

Especificaciones y rendimiento de la aeronave Cessna C-150

Especificaciones y rendimiento de la aeronave Cessna C-150	
Longitud	33' - 11"
Altura	8' - 6"
Envergadura	33' - 2"
Área del ala	160 ft ² (14,86 m ²)
Asientos	2
Carga alar	10 libras / pie cuadrado
Peso en vacío	1111 libras
Peso bruto máximo	1.600 libras
Capacidad de combustible	26 galones
Velocidad máxima operativa	261 km/h (141 knots).
Alcance	589 km (366 millas)
Techo de servicio	4.267 m (14.000 ft)
Régimen de ascenso	3,40 m/s (670 ft/min)

2.1.1. Partes y componentes de la Aeronave Cessna C-150**Estructura**

La estructura tiene mamparos verticales y marcos unidos por largueros que corren a lo largo del fuselaje. La piel de metal de la aeronave permite que las cargas extendidas a lo largo de la estructura sean introducidas.

Fuselaje

El fuselaje es la estructura principal de la aeronave al que están unidos todos los demás componentes. El fuselaje de la aeronave Cessna 150 es una estructura completa de metal. Se trata principalmente de aluminio de aleación 2024-T3, aunque algunos componentes, tales como puntas de las alas y carenados están hechos de plástico reforzado con vidrio. El fuselaje es de tipo semi-monocasco.

Tren de aterrizaje

El Tren de aterrizaje está equipado con tren de aterrizaje triciclo-fijo. El sistema de frenos consta de un solo disco de freno instalado en el tren de aterrizaje principal y es operado por un sistema hidráulico. Los neumáticos estándar que se utiliza son de 600 x 6 en el tren de aterrizaje principal y 500 X 5 en la rueda de nariz.

Empenaje

Se compone de un estabilizador horizontal y otro vertical. El timón de dirección ubicado en el estabilizador vertical puede moverse 23 grados a cada lado. Los elevadores ubicados en el estabilizador horizontal oscilan entre 25 grados hacia arriba y 18 hacia abajo. El elevador derecho cuenta con un suplemento controlado con una pequeña ruedecilla (Trim) en el centro de la consola de mandos. Este suplemento puede moverse desde 10 grados hacia arriba y hasta 20 hacia abajo.¹ PILOT'S OPERATING HANDBOOK, CESSNA 1977,150 COMMUTER, ESPECIFICATIONS, WICHITA- KANSAS- USA

2.2 Constitución de las alas

El ala es el principal componente de un avión, su principal función es asegurar la sustentación, que compensa al peso. Se denomina ala a un cuerpo aerodinámico formado por una estructura muy fuerte, compuesta por un perfil aerodinámico o perfil alar y recubierto por una piel. Sus componentes principales son alerones y flaps:

Alerones: son superficies de mando y control que se encuentran en los extremos de las alas de los aviones y su misión es llevar a cabo los virajes del avión a ambos lados a través de un movimiento de alabeo.

Flaps: son dispositivos utilizados para mejorar las características de sustentación de un ala y están montados en los bordes de salida.

2.2.1 Estructura de las alas

La estructura del ala está formada por componentes primarios como largueros, costillas, revestimiento y herrajes, junto con los componentes secundarios que son costillas falsas, larguerillos y refuerzos.

Componentes primarios de la estructura

Largueros: son vigas que se extienden a lo largo del ala. Forman el componente principal de soporte de la estructura y además resisten los esfuerzos de flexión - torsión.

Costillas: son estructuras que dan resistencia a la torsión al ala. Se encuentran intercaladas de manera perpendicular a los largueros. Suelen estar vaciadas para eliminar material no necesario y aligerar peso.

Revestimiento: es la parte externa del ala, cuya misión es resistir esfuerzos cortantes y aislar el combustible del medio ambiente. En términos generales es "la piel del ala".

Herrajes: son componentes de metal empleados para unir determinadas secciones del ala. De su cálculo depende buena parte de la resistencia estructural del ala. Resisten esfuerzos, vibraciones y deflexiones.

Componentes secundarios de la estructura

Costillas falsas: solo sirven para mantener la forma del revestimiento, y se ubican entre el larguero y el borde de ataque o fuga.

Larguerillos: son pequeñas vigas (más pequeñas que los largueros) que se sitúan entre costillas para evitar el pandeo local del revestimiento. Pueden estar integrados en el propio revestimiento formando una sola pieza.

Refuerzos: componentes adicionales del ala que suministran gran resistencia al corte.



Figura 2.1.1. Constitución del ala

2.2.2 Tipos de alas

Flecha: es el ángulo que forman las alas respecto del eje transversal del avión. La flecha puede ser positiva (hacia atrás), neutra (sin ángulo), o negativa (hacia adelante).

Diedro: visto el avión de frente, ángulo en forma de "V" que forman las alas con respecto al horizonte. El ángulo diedro puede ser positivo, neutro, o negativo.

Posición en el avión: la posición varía dependiendo el tipo y la misión del avión. Se clasifica en alta, media y baja.

Forma: las alas por la forma se clasifican en: recta, trapezoidal, elíptica, flecha, delta, ojival.² CASTELLANO Paul, Publicaciones, Formularios y Registros de Mantenimiento, 2010, Latacunga - Ecuador

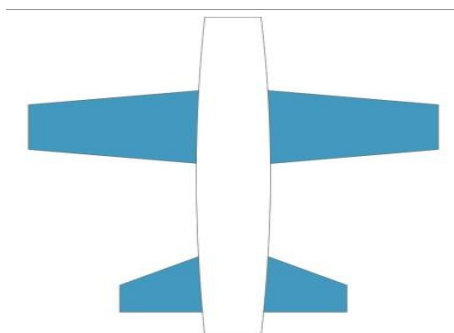


Figura 2.1.2. Ala trapezoidal

2.2.3 Perfil alar

Un perfil alar es una sección del ala de un avión. En el estudio de los perfiles se ignora la configuración en proyección horizontal del ala, como así también los efectos de extremo del ala, flecha, alabeo y otras características de diseño.

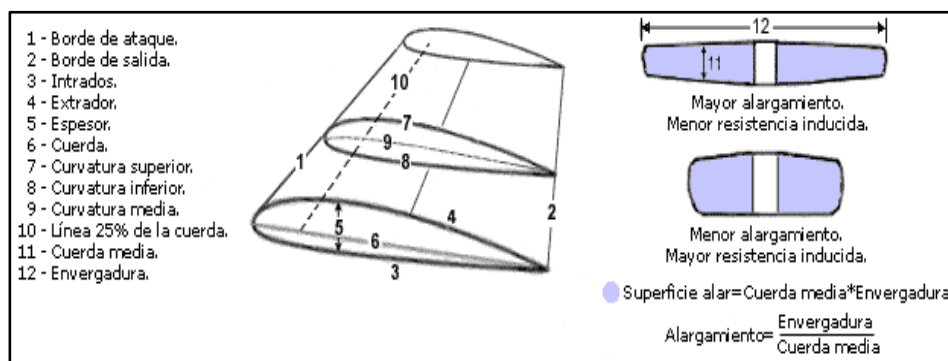


Figura 2.2. Componentes del perfil alar

2.2.3.1 Perfil alar de la aeronave Cessna C-150

El perfil alar viene establecido por el fabricante y para la Cessna C-150 es el Perfil NACA 2412 - NACA 0012.³ <http://aerospace.illinois.edu/m-selig/ads/aircraft.html>

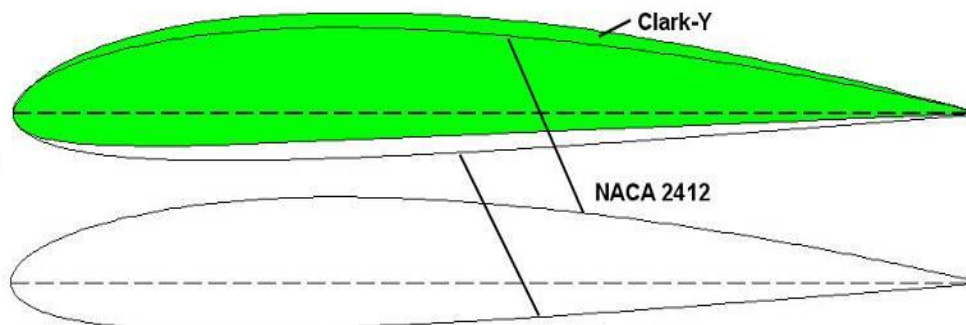


Figura 2.2.1. Perfil NACA 2412

El perfil NACA 2412 se detalla de la siguiente manera:

- El grosor o perfil simétrico 0012 - se muestra en el clark-Y.
- Máxima curvatura del 2% al 40%.
- Máximo espesor del 12% al 30% de la cuerda.
- La cuerda se encuentra en líneas entrecortadas.

2.2.4 Constitución de las alas de la aeronave Cessna C-150

Las alas sirven para sustentar a la aeronave en vuelo, se realiza mediante la introducción de variaciones en el área de las alas u ofreciendo mayor resistencia al aire durante las maniobras de despegue y aterrizaje.

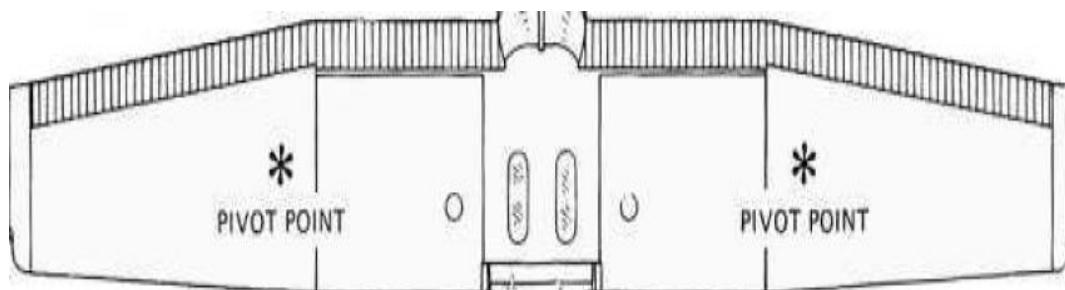


Figura 2.2.2. Alas de la aeronave CessnaC-150

Tabla 2.2

Especificaciones del ala de la aeronave Cessna C-150

Especificaciones del ala de la aeronave Cessna C-150	
Componentes	Primarios: largueros, costillas, revestimiento y herrajes.
	Secundarios: costillas falsas, larguerillos y refuerzos.
Alerones	Alerones diferenciales que oscilan hasta 20 grados hacia arriba y 15 hacia abajo.
Flaps	Flaps Fowler accionados eléctricamente y con un despliegue máximo de 30 grados.
Tipo de ala por su forma	Ala trapezoidal(ala con estrechamiento)
Tipo de ala por su posición	Ala fija- alta
Perfil Aerodinámico	NACA 2412 - NACA 0012 ⁴ http://aerospace.illinois.edu/m-selig/ads/aircraft.html
Posición del diedro	Positivo a 1°
Medidas	Ver anexo A

2.3 MEDICIÓN

2.3.1 Medida

Se conoce con el término de medida a la comparación de una magnitud con otra en un mismo sistema de unidades tomando como referencia un instrumento graduado. Es sumamente importante a la hora de obtener medidas la estimación de error que se puede producir en el proceso de medición, por esta razón cada vez que se vaya a medir algo lo hagamos de manera de imprimirle un cuidado tal para que el margen de error sea nulo o el mínimo posible.

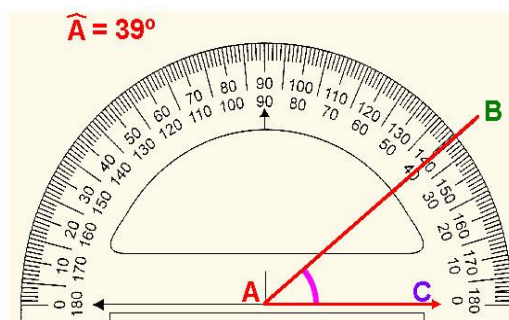


Figura 2.3. Instrumento de medición- Graduador

2.3.2 Dimensión

Se denomina dimensión al área, al volumen y a la longitud de una línea correspondiente al ala en estudio. A la configuración que sólo tiene longitud se dice que tiene una dimensión; área y no volumen, dos dimensiones; y volumen, tres dimensiones.

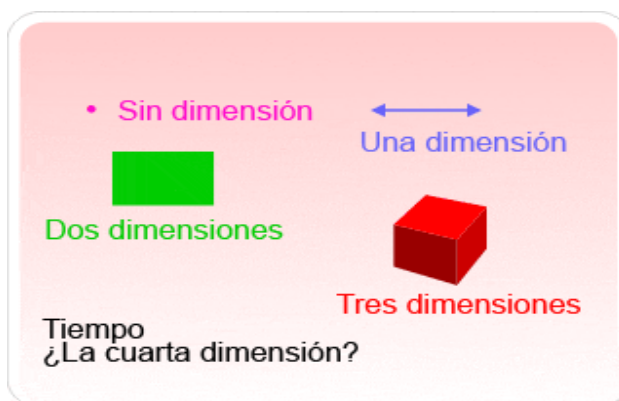


Figura 2.4. Dimensiones

2.3.3 Escala

Se define a escala como la relación matemática que existe entre las dimensiones reales y las del dibujo que representa la realidad sobre un plano. Se expresa en forma de fracción porque es más cómodo que utilizar

números decimales. Se escribe indistintamente con una barra inclinada o con dos puntos (1/25, 1:25).

Tipos de escalas

Existen varios tipos de escalas llamadas:

- **Escala natural:** Es cuando el tamaño físico del objeto representado en el plano coincide con la realidad. Es decir, escala 1:1.
- **Escala de reducción:** Se utiliza cuando el tamaño físico del plano es menor que la realidad. (E.1:2 o E.1:6). Se utiliza este tipo de escala tomando los datos de la aeronave real.
- **Escala de ampliación:** Se utiliza cuando hay que hacer el plano de piezas muy pequeñas o de detalles de un plano. E.2:1 o E.10:1
- Según la norma UNE EN ISO 5455:1996. "Dibujos técnicos. Escalas" se recomienda utilizar las siguientes escalas normalizadas:
Escalas de ampliación: 100:1, 50:1, 20:1, 10:1, 5:1, 2:1

Fórmula para encontrar la escala: **$N=T/P$**

Donde:

N: Escala;

T: Dimensiones de la aeronave (m);

P: Dimensiones en el papel (m); ambos deben estar en una misma unidad

- **Escalas de aeromodelismo (Maqueta)**

Una maqueta es una reproducción de un objeto real o ficticio, normalmente con un tamaño menor que el original. La escala indica la diferencia de tamaño que hay entre el original y la maqueta. Gracias a ella las maquetas se mantienen las proporciones, es recomendable usar escalas acorde a la proporción adecuada para que el ala de la aeronave pueda sustentarse.⁵

<http://tienda-afine.com/manual-modelismo/escalas-modelismo.html>

2.4 MATERIALES A UTILIZAR EN LA CONSTRUCCIÓN DEL NÚCLEO

2.4.1 Núcleo

La palabra 'núcleo' proviene del latín *nuclĕus* y significa en ese idioma parte central o corazón de un elemento.

La palabra núcleo hace referencia al diverso tipo de estructuras que son consideradas el centro o el elemento más importante de una estructura mayor, es decir los elementos imprescindibles que debe tener como base el ala para ser forrada en fibra de carbono.

2.4.2 Material

Es cualquier sustancia que presenta una propiedad útil. Un material es un elemento que puede transformarse y agruparse en un conjunto.

2.4.2.1 Materiales

Por lo general se denomina al conjunto de elementos que son necesarios para actividades o tareas específicas.

La noción de materiales puede aplicarse a diferentes situaciones y espacios, pero siempre girará en torno a varios elementos que son importantes y útiles para desempeñar determinada acción es decir para la construcción del proyecto establecido.

Propiedades de los materiales

Las propiedades de los materiales hacen referencia a las características inertes que permiten diferenciarlos entre ellos. Entre las propiedades están la durabilidad, compresión, flexión, así como también el desgaste, dureza,

resistencia, elasticidad, las facilidades que tenga cada material son imprescindibles en diferentes aspectos.

2.4.3 Poliestireno Expandido EPS (Espuma flex)

Técnicamente se define como material plástico celular y rígido fabricado a partir del moldeo de perlas pre expandidas de poliestireno expandible o uno de sus copolímeros, que presenta una estructura celular cerrada y rellena de aire. Conocido también como Telgopor, Corcho Blanco etc.



Figura 2.5.Poliestireno expandido

Propiedades y características del poliestireno expandido

- **Densidad:** los productos y artículos terminados en poliestireno expandido se caracterizan por ser extraordinariamente ligeros aunque resistentes.
- **Color:** el color natural es blanco, esto se debe a la refracción de la luz.
- **Resistencia Mecánica:** la densidad del material guarda una estrecha relación con las propiedades de resistencia mecánica
- **Aislamiento Térmico:** los productos y materiales presentan una excelente capacidad de aislamiento térmico, esto se debe a la propia estructura del material que esencialmente consiste en aire ocluido dentro de una estructura celular, debido que solo el 2% es materia

sólida el 98% es aire, siendo el aire en reposo un excelente aislante térmico.

- **Comportamiento frente al agua y vapor de agua:** el material no es higroscópico, a diferencia de lo que sucede con otros materiales del sector del aislamiento y embalaje. Incluso sumergido completamente en agua los niveles de absorción son mínimos.
- **Estabilidad dimensional:** los productos de EPS están sometidos a variaciones dimensionales debidas a la afluencia térmica. Estas variaciones se evalúan a través del coeficiente de dilatación térmica.
- **Estabilidad frente a la temperatura:** además de los fenómenos de cambios dimensionales por efecto de la variación de temperatura descritos anteriormente el poliestireno expandido puede sufrir variaciones por efecto de la acción térmica.
- **Propiedades biológicas:** no constituye substrato nutritivo alguno para los microorganismos, es imputrescible, no enmohece y no se descompone. No obstante, en presencia de mucha suciedad el EPS puede hacer de portador de microorganismos. Tampoco se ve afectado por bacterias del suelo y cumple exigencias sanitarias para usarse con seguridad. No es peligroso para las aguas.
- **Comportamiento frente al fuego:** son polímeros de estireno que contienen una mezcla de hidrocarburos de bajo punto de ebullición como agente de expansión. Todos ellos son materiales combustibles.⁶

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/>

2.4.4 Madera Balsa (Ochroma Pyramidale)

La madera balsa es una madera suave, liviana y resistente cuyo uso es muy popular en la fabricación de aviones de aerodelismo, Uvas, maquetas, embalajes, matrices etc.

Características de la madera balsa

La madera balsa es una madera tropical con características óptimas para su fácil manufactura:

- Presenta el peso más liviano entre todas las maderas tropicales y del mundo.
- Esta madera es cotizada mundialmente por poseer una resistencia mecánica relativamente elevada en relación con su peso liviano.
- La madera balsa puede ser cortada y cepillada con facilidad mediante herramientas cortantes delgadas y agudas, volviéndose afelpada.
- La madera balsa responde satisfactoriamente al encolado, siendo éste por lo usual la manera más óptima de fijar la madera.
- Presenta buena respuesta al lijado, teñido, barnizado y preservado.
- Sin embargo, por características anatómicas de sus poros es muy absorbente, por lo que es recomendable el uso de un sellador de poros o en su defecto hacer más espeso el tinte o barniz que se va aplicar.

Propiedades físico-mecánicas de la madera balsa

La principal propiedad de la madera de Balsa es la relación entre su peso extremadamente liviano y su **alta resistencia y estabilidad**.



Figura 2.6. Aplicación de la balsa

2.4.5 Pegamento

Sustancia de consistencia espesa o líquida que se utiliza para pegar un material a una superficie o varios materiales entre sí, como también se lo utiliza para reparar un objeto haciendo que se unan entre sí las partes que quedaron separadas por una rotura. Es importante para la construcción y/o reparación de partes aeronáuticas saber elegir el tipo de pegamento apropiado.

- **Pegamento cola blanca:** La cola blanca es excelente para el pegado de madera balsa ya que al ser bastante líquida, se filtra en sus fibras, garantizando una perfecta unión después del secado.
- **Pegamento UHU:** Es un pegamento especial para pegar espuma rígida de poliestireno expandido, la elástica película adhesiva es extraordinariamente resistente al envejecimiento, casi transparente y resistente al agua. Pega espuma rígida. También es combinada con otros materiales, como madera, papel, tejido y distintos plásticos.

Instrucciones de uso y manejo:

- Las superficies de adherencia deben estar secas, limpias y sin grasa.
- Aplique el pegamento en las dos piezas a pegar.
- Deje que se seque.
- Cuando haya secado (tras aprox. 10 minutos), presione brevemente con fuerza. Cuidado: no dañe la espuma rígida.

2.4.6 Ligas Industriales de sujeción

Son ligas diseñadas especialmente para ajustar, asegurar y mantener en posición dos o más materiales sólidos en una sola unidad.

Las ligas son de uso versátil al sujetar elementos irregulares, además de que no dañan el material.

2.5 PROCESO DE FABRICACIÓN

2.5.1 Trazar

El término trazar hace referencia al trazo de una línea o raya. Se utiliza para nombrar a las rectas y curvas que se escriben a mano sin levantar el instrumento de escritura (lápiz, esfero) de la superficie. Es aconsejable pintar el objeto totalmente o solo en el área donde se va a realizar el trazado, de esta manera no habrá margen de error en las medidas y dimensiones tomadas a escala.



Figura 2.7. Trazo normal

2.5.2 Cortar

Este verbo hace referencia a dividir algo con algún instrumento cortante o a dar una cierta forma con una herramienta de filo. Se hace necesario para cortes precisos de poliestireno expandido EPS (espuma flex) y madera balsa el uso de una máquina específica de corte para EPS, gillette y estilete.



Figura 2.8. Cortadora de poliestireno expandido

2.5.3 Pegar

Es unir dos elementos a través del uso de una materia abrasiva. Cuando se habla del término pegar en relación a la unión de dos objetos, siempre se hace referencia al uso de un elemento o diferentes elementos pegajosos que al secarse mantienen los objetos unidos.



Figura 2.9. Pegamento UHU

2.5.4 Lijar

Lijar significa alisar, pulir, abrillantar y limpiar algo mediante el frotamiento con un objeto abrasivo, generalmente una lija. El lijado es una tarea fundamental en cualquier trabajo de acabado. Lo más recomendable para tener un buen lijado es usar una lija envuelta en un taco de madera pegado con un material elástico.

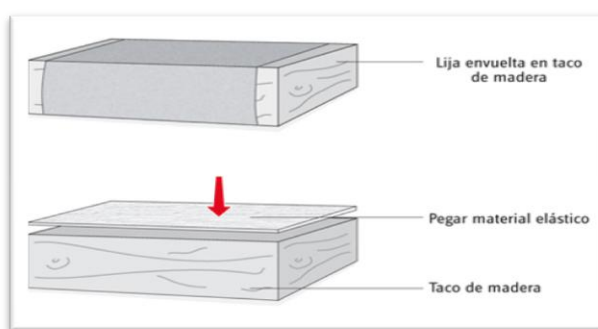


Figura 2.10. Método práctico para lijarse

Para lijarse poliestireno expandido, madera o balsa es importante hacerlo con una presión moderada y siempre de adelante hacia atrás, no en círculos y se debe utilizar la lija fina y muy fina.⁷ <http://www.bricotodo.com/lijar.htm>

Tabla 2.3

Clasificación de las hojas de lija según el número de grano

GRANO	TIPO DE LIJA
de 40 a 50	muy gruesa
de 60 a 80	gruesa
de 100 a 120	media
de 150 a 180	fina
de 240 a 400	muy fina

2.5.5 Reforzar

Es aumentar la fuerza o consistencia de algún material. Los materiales poseen propiedades y características independientes lo que les hace fuertes o débiles según el tipo de aplicación que se les utilice, sin embargo hay la posibilidad de combinarlos para adquirir mejoras y tener altos estándares que garanticen mayor seguridad y rendimiento.

2.5.6 Secar

Es quitar la humedad o hacer que se evapore el líquido de un cuerpo. Para secar el poliestireno expandido, madera de eucalipto y madera balsa se debe hacer de manera natural sin el contacto directo con el sol debido a los daños en la estructura.

Tiempo de secado: para el núcleo el tiempo se basa de acuerdo a la cantidad de material y pegamento que se utilice, es importante recordar que el secado se debe realizar bajo sombra para evitar daños y alteraciones en los materiales.

2.6 MATERIALES EN ANÁLISIS PARA EL RECUBRIMIENTO EXTERIOR

2.6.1 Materiales Compuestos o Convencionales

Los materiales compuestos son combinaciones macroscópicas de dos o más materiales diferentes que poseen una interface discreta y reconocible que los separa. Debido a ello, son heterogéneos (sus propiedades no son las mismas en todo su volumen). Estos compuestos pueden seleccionarse para lograr combinaciones poco usuales de rigidez, resistencia, peso, rendimiento a alta temperatura, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad.⁸

BESEDNJAK Alejandro, Materiales Compuestos, Ediciones UPC, Primera Edición, 2005, Barcelona - España

Características de los materiales compuestos

- Están formados de dos o más componentes distinguibles físicamente y separables mecánicamente.
- Presentan varias fases químicamente distintas, completamente insolubles entre sí y separadas por una interface.
- Sus propiedades mecánicas son superiores a la simple suma de las propiedades de sus componentes (sinergia).
- Estos materiales nacen de la necesidad de obtener materiales que combinen las propiedades de los plásticos y los metales.
- A pesar de haberse obtenido materiales con unas propiedades excepcionales, las aplicaciones prácticas se ven reducidas por algunos factores que aumentan mucho su costo.

Propiedades de los materiales compuestos

Propiedades Mecánicas o Específicas:

Las propiedades del material compuesto estarán determinadas por:

- Las propiedades de la fibra
- Las propiedades de la matriz
- La relación entre la cantidad de fibra y de resina en el material
- La geometría y orientación de las fibras en el compuesto

Resistencia a la corrosión:

Los polímeros son resistentes a la corrosión

Clasificación de los materiales compuestos

- **Compuestos de matriz polimérica:** son los más comunes, también se los conoce como polímeros (o plásticos) reforzados con fibras. La

matriz es un polímero y una variedad de fibras, tales como las de vidrio, las de carbono o las aramídicas, se utilizan como refuerzo.

- **Compuestos de matriz metálica:** Estos materiales están formados por metales “livianos” como el aluminio como matriz y fibras de refuerzo como las de carburo de silicio.
- **Compuestos de matriz cerámica:** se utilizan en aplicaciones de alta temperatura. Estos materiales están formados por una matriz cerámica y un refuerzo de fibras cortas.

Componentes de los Materiales Compuestos

Un material compuesto presenta dos elementos principales:

- fibra (material de refuerzo)
- matriz.

La combinación adecuada de estos componentes origina unos materiales con mejores propiedades que las partes que los componen por separado. Además de fibra y matriz existen otros tipos de componentes como cargas y aditivos que dotan a los materiales compuestos de características peculiares para cada tipo de fabricación y aplicación.

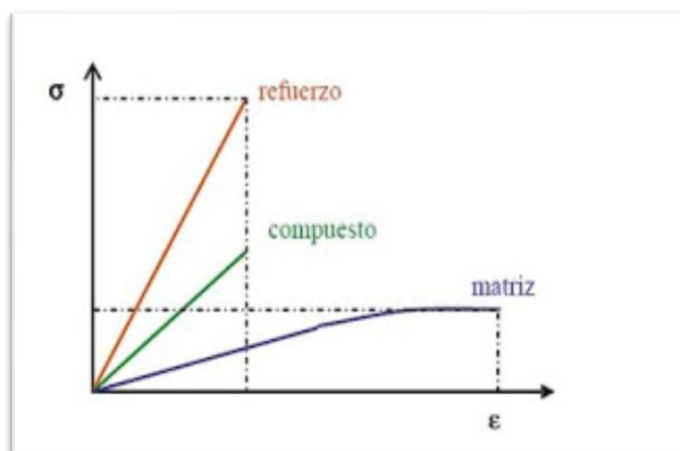


Figura 2.11. Componentes de los materiales compuestos

2.7 FIBRA (MATERIAL DE REFUERZO)

Aporta resistencia mecánica, rigidez y dureza, va a ser determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes de las fibras de los materiales compuestos son su resistencia a la tracción específica y su elevado modulo específico.

Las fibras más utilizadas en aviación son fibra de vidrio, fibra de carbono y fibra de aramida (KEVLAR). Estos tres materiales poseen una resistencia a la tracción extremadamente alta.

2.7.1 Fibra de vidrio

Es el refuerzo más utilizado actualmente en la fabricación de materiales compuestos, sobre todo en aplicaciones industriales. La fibra de vidrio se recubre con un material denominado ensimaje que protege la superficie del deterioro por fricción o abrasión y facilita la unión entre la fibra y la matriz.

El vidrio E (E de eléctrico) es el más comúnmente usado, porque se estira bien y tiene unas buenas propiedades de resistencia y rigidez, eléctricas y de desgaste. El vidrio C (C de corrosión) tiene una mayor resistencia a la corrosión química que el vidrio E, pero es más caro y de resistencia inferior.

Características de la fibra de vidrio

Las fibras de vidrio se caracterizan por medio de dos valores:

- **Titulo:** relación entre el peso y longitud de un hilo (depende del diámetro y número de filamentos de un hilo) (g/km).
- **Gramaje:** relación entre el peso de un tejido y su superficie (g/mm²)

Propiedades de la fibra de vidrio

- Material muy duro
- Resistente a la humedad
- Resistente al ataque químico
- Alta flexibilidad. ⁹ AREAL Rogelio & AREAL Antonio, An Introduction to Composite Materials, Editorial Reverté, 1997- 2003, España

Desventajas de la fibra de vidrio

- Débil conductividad térmica
- La humedad antes de la laminación perjudica la unión con la resina
- Irrita la piel, ojos y vías respiratorias
- Produce dolores de cabeza y picazón



Figura 2.12. Fibra de vidrio

2.7.2 Fibra de aramida (KEVLAR)

Se considera el Kevlar, nombre comercial otorgado a las fibras arámidas, como la fibra sintética más importante luego de nylon. Su uso se concentra en los campos en lo que requiere alta resistencia a la tracción con bajo peso y elevada resistencia al impacto del material. Se encuentra ampliamente difundido en la industria aeronáutica.

Características del Kevlar

- **Kevlar 29:** alta resistencia y baja tenacidad. Su uso fundamental se orienta a la confección de cuerdas y cables.
- **Kevlar 49:** tiene alta resistencia, alto módulo y baja tenacidad. Es el tipo de fibra más apto para combinar con diferentes matrices en la confección de materiales compuestos. Es muy usado en el campo aeronáutico.

Propiedades del kevlar

- Alta resistencia específica a la tracción
- Excelente resistencia al impacto
- Buena resistencia a fatiga
- Buenas características dieléctricas
- Elevada resistencia térmica
- Coeficiente de dilatación negativo

Desventajas

- Reducida resistencia a la compresión
- Sensibilidad a la humedad
- Los rayos UV afectan las capas exteriores

Su impregnación de resina puede presentar dificultades¹⁰ BESEDNJAK Alejandro, Materiales Compuestos, Ediciones UPC, Primera Edición, 2005, Barcelona - España



Figura 2.13. Fibra de aramida (Kevlar)

2.7.3 Fibra de carbono

La fibra de carbono es un material excepcional para aplicaciones de estructuras sometidas a cargas repetitivas o fatiga ya que es el único material conocido cuyas propiedades mecánicas apenas son sensibles a la aplicación de una carga cíclica.

También en lo que se refiere a su comportamiento en condiciones estáticas, sus propiedades son muy elevadas tanto en las fibras de alto módulo como en las de alta resistencia.¹¹ STUPENENGO Franco, Materiales y Materias Primas, Capítulo 10, Colección Encuentro Inet, 2011, Buenos Aires - Argentina

2.7.3.1 Clasificación de las fibras según su orientación

Según la orientación las fibras se puede clasificar en:

- **Unidireccionales:** fibras en una única dirección
- **Bidireccionales:** entremado de fibras en dos direcciones a 90° (FABRIC)

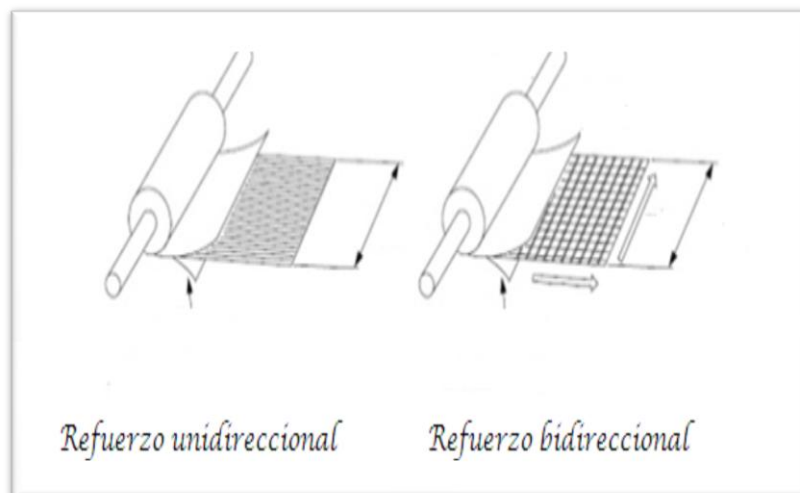


Figura 2.14. Clasificación de la fibra de carbono por su orientación

2.7.3.1.1 Clasificación de las fibras bidireccionales

- **Tejido plano o simple:** el tejido de este tipo es aquel en el que cada hilado longitudinal y transversal pasa por debajo de un hilo y por encima del próximo.

Este tipo de construcción proporciona una tela reforzada que es ampliamente usada en aplicaciones generales y garantiza laminados de buen espesor. Es muy estable por lo que difícilmente se distorsiona.

- **Tejido satinado o satin:** en este caso el entrelazado es muy similar al cruzado, con la diferencia que en este caso el número de hilados longitudinales y transversales que pasan por encima y por debajo antes del entrelazado es mayor.

De este modo, un lado queda mayormente formado por fibras longitudinales y el otro con fibras transversales. El acabado superficial es excelente y de ahí su denominación.

- **Tejido cruzado o twill:** en este tipo de tejido, el número de hilos longitudinales que pueden pasar sobre los transversales y viceversa, puede ser variable, dando lugar a distintos tipos de tejidos cruzados. Este tipo se marcan más que el tipo PLAIN y además se humedecen mejor facilitando su adhesión a la resina.

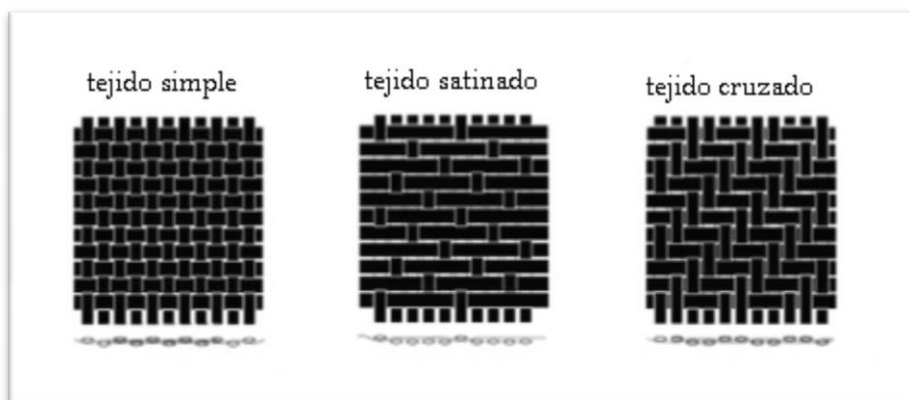


Figura 2.15. Clasificación de las fibras bidireccionales

Tabla 2.4

Características de las fibras uni y bidereccionales

UNIDIRECCIONAL	BIDIRECCIONAL
<ul style="list-style-type: none"> • Altas fuerzas y rigideces en una única dirección • Bajo peso de las fibras • • Uso extendido • Precio reducido 	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza y rigidez en dos direcciones • Características de manejo muy buenas • Buena caída • Diversas posibilidades de disposición en el tejido • Posibilidad de mezclar fibras • Peso reducido entre 20 a 1000 g/m² • Mayor precio que las unidireccionales

2.7.3.2 Tejidos Híbridos

Se construyen tramando en forma conjunta diferentes fibras; la combinación más común es la de carbono y Kevlar.

Esto permite al diseñador incorporar las propiedades de dos fibras dándole el comportamiento requerido en términos de rigidez y resistencia al impacto conjuntamente con óptima eficiencia en el costo.

2.7.3.3 Equilibrio entre capas

El equilibrio de las capas de un laminado es un detalle imprescindible para obtener un laminado cuya resistencia sea uniforme, siempre el posicionamiento de la primera capa debe ser igual a la última.

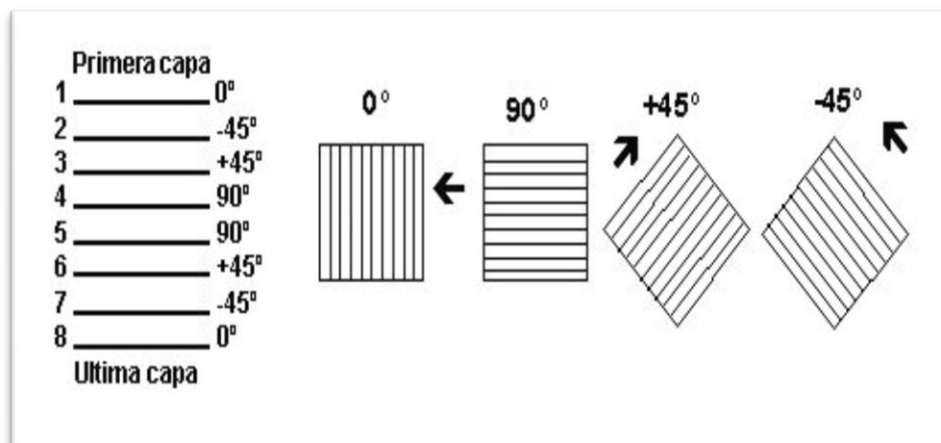


Figura 2.16. Posicionamiento de las capas de fibra de carbono

Las fibras longitudinales tienen una orientación a 90° y las transversales 0°. Para mejorar la resistencia en otras direcciones se agregan las +/- 45°.

Con el fin de producir un laminado balanceado este debe verse reflejado como en un espejo alrededor de su plano medio o eje. Esto se logra

trabajando a partir del medio, haciendo lo mismo para un lado que para el otro.

En relación a la Figura 2.16. la orientación está basada en un total de ocho capas donde la primera capa siempre va estar a 0° la siguiente a $-45^\circ, +45^\circ, 90^\circ, 90^\circ, +45^\circ, -45^\circ$ y finalmente la última capa a 0° .¹²
<http://www.carmas.com.ar/blogg.html>

2.7.3.4 Clases de fibras de Carbono

Entre las fibras de carbono de uso actual se pueden citar las siguientes:
Fortatil 510 - 80 k, Toray S 400 - 70K, Zoltek Panex 33 - 48K, Graphi 34 - 48K, Toray T700 - 24K, Toray T600 - 24K, Tenax HTS 5631 - 24K y Tenax STS 5631-24K.

2.7.3.5 Tipos de fibra de carbono

A partir de las temperaturas del tratamiento de calentamiento, se han identificado las tres principales y de mejor categoría:

- **Fibras HT** (alta tenacidad); tienen mejores propiedades mecánicas que la fibra de vidrio, se carboniza a la temperatura que proporciona la mayor resistencia tensil.
- **Fibras HM** (alto módulo); tienen mejores propiedades mecánicas, es la mas rígida y requiere la mayor temperatura en el tratamiento.
- **Fibras IM**(Módulo elástico intermedio); es la más barata; la rigidez es menor que en las anteriores pero la resistencia es buena. Este tipo tiene la temperatura más baja en el tratamiento.

2.7.3.6 Propiedades de la fibra de carbono

- Elevada resistencia mecánica
- Elevada dureza
- Bajo peso
- Alta resistencia a la vibración
- Buen comportamiento a la fatiga
- Buena conductividad térmica
- Buena conductividad eléctrica
- Bajo coeficiente de dilatación térmica
- Resistencia a altas temperaturas
- Elevada resistencia química a ácidos, disolventes y alcálisis
- No se ven afectados por el agua de mar.¹³ BESEDNJAK Alejandro, Materiales Compuestos, Ediciones UPC 2005, Primera Edición, Barcelona- España

Para obtener un alto módulo y resistencia los planos de las capas del grafito deben estar orientados paralelamente al eje de la fibra

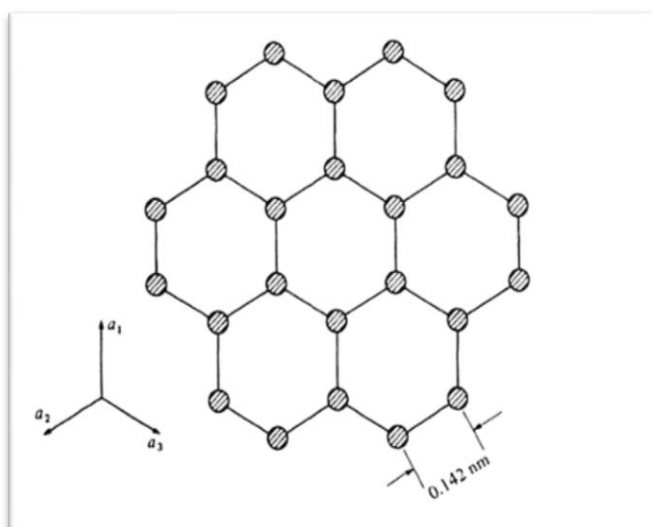


Figura 2.17. Orden de los átomos de carbono

2.7.3.7 Desventajas de la fibra de carbono

Entre sus desventajas cabe resaltar:

- Alto precio
- En contacto con los metales se genera diferencia de potencial que provoca corrosión.

2.8 MATRIZ

Tanto materiales metálicos, cerámicos o resinas orgánicas pueden cumplir con este papel. A excepción de los cerámicos, el material que se elige como matriz no es, en general, tan rígido ni tan resistente como el material de refuerzo.

Las funciones principales de la matriz son:

- Definir las propiedades físicas y químicas;
- Transmitir las cargas al refuerzo,
- Protegerlo y brindarle cohesión.

Al someter al material compuesto a diferentes tipos de cargas mecánicas la matriz juega diferentes roles:

- **Bajo Cargas Compresivas:** Es la matriz la que soporta el esfuerzo, ya que se trata de la fase continua.
- **En Tracción:** La matriz transfiere la carga aplicada sobre la pieza a cada una de las fibras o partículas, de manera que éstas sean las que soporten el esfuerzo. Para ello es necesaria una excelente adhesión entre la matriz y el refuerzo.

Además, muchas veces es la matriz la que determina la resistencia al impacto y la encargada de detener la propagación de fisuras.

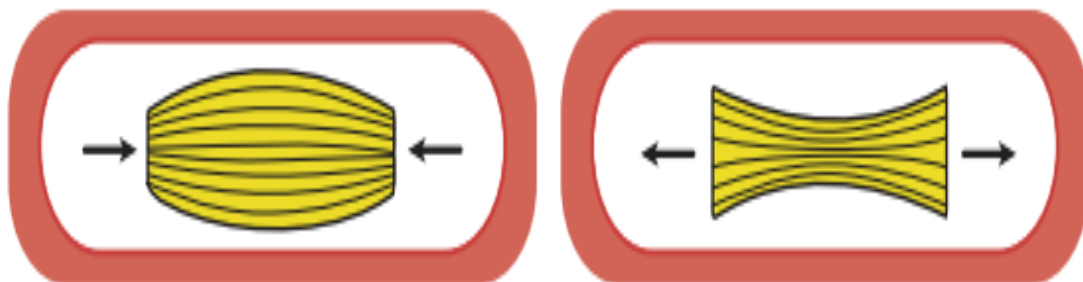


Figura 2.18. Cargas mecánicas sometidas a la matriz

Propiedades de las matrices:

La matriz de un material compuesto que:

- Soporta las fibras manteniéndolas en su posición correcta.
- Transfiere la carga a las fibras fuertes.
- Las protege de sufrir daños durante su manufactura y uso.
- Evita la propagación de grietas en las fibras a todo lo largo del compuesto.
- La matriz, por lo general, es responsable del control principal de las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas del compuesto

2.9 RESINA

Es una sustancia pastosa o sólida que se utiliza para la elaboración de adhesivos, barnices y aditivos. La resina tiene alta resistencia a la intemperie y a los impactos y actúa como aislante acústico y térmico.

2.9.1 Características de la resina

Las características principales de las resinas suelen suministrarse en forma de hojas técnicas en las que se brinda información de una serie de parámetros como:

- Tiempo de gelificación
- Tiempo de curado
- Temperatura máxima

A continuación se muestra una tabla de los principales tipos de resina junto con sus ventajas:

Tabla 2.5

Tipos y ventajas de la resina

TIPO DE RESINA	VENTAJAS
Resina Epoxídica	<ul style="list-style-type: none"> • Excelentes propiedades mecánicas • Buena resistencia ambiental • Alta dureza • Fácil procesado
Resina Phenólica	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente resistencia al fuego • Bajas emisiones de humo • Curado rápido
Resina Poliamínida	<ul style="list-style-type: none"> • Excelente resistencia a altas las temperaturas • Buenas propiedades mecánicas • Buena resistencia a agentes exteriores

2.9.2 Resina Epoxi o Epoxídica

Las resinas epoxi son el resultado de la reacción que se produce al mezclar una base epoxi con un endurecedor. Tras la mezcla comienza el proceso reactivo, que puede ser acelerado añadiendo alguna determinada sustancia.

También pueden agregarse otros productos, como plastificantes, diluyentes (reactivos), solventes y cargas minerales, bien incorporados a la base epoxi o al endurecedor.



Figura 2.19. Kit de resina Epoxi

Tipos de resina epoxídica

- **Base epoxi con diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA):** La DGEBA es una de las sustancias que más se utilizan para obtener resinas epoxi.
- **Base epoxi de bisfenol F:** el bisfenol F se obtiene a partir de la reacción entre fenol y formaldehído, encontrándose en exceso el primero. El producto resultante es una mezcla de isómeros.
- **Bases epoxi novolacas:** existen dos tipos de bases epoxi novolacas, las de fenol y las de cresol. La reacción se cataliza mediante un ácido.

- **Bases epoxi a partir de compuestos nitrogenados:** se obtienen a partir de la reacción de la epiclorhidrina con compuestos nitrogenados como por ejemplo /7-aminofenol, metilendianilina y ácido cianúrico.

Propiedades de resina epoxídica

- Su humectación y su adherencia son óptimas
- Buen aislamiento eléctrico
- Buena resistencia mecánica
- Resistente a la humedad
- Resisten el ataque de fluidos corrosivos
- Resisten temperaturas elevadas
- Excelente resistencia química
- Poca contracción al curar
- Excelentes propiedades adhesivas

Características de la resina epoxídica

- Las resinas epoxi son resinas termoestables, que se presentan inicialmente sin polinizar, siendo polimerizadas durante el proceso de fabricación del componente.
- Dentro del mismo grupo se encuentran las resinas fenólicas (que son las más utilizadas), las resinas de poliéster y las acrílicas.
- Las propiedades varían dependiendo de la resina base, agente de curado, de los distintos modificadores que pueden añadirse y de las condiciones de polimerización.
- Su curado se produce mediante reacción de poli-adición de una resina base con un agente de curado (aminas, anhídridos, etc.).
- Las resinas epoxi presentan baja concentración y buena adhesión a la mayoría de las fibras.
- Son bastante resistentes a disolventes, ácidos y álcalis.

Reacciones en las resinas epoxi

En este apartado se van a estudiar algunas de las reacciones que se producen al mezclar la base epoxi con el endurecedor. Se verán concretamente las que se producen entre los grupos epoxi de la base y los endurecedores amínicos y anhídridos. ¹⁴ Documento CARMAS COMPOSITIES, Como Laminar Fibra de Carbono con Resina Epoxi, 2007, Argentina

2.10 Técnicas de moldeo

El moldeo consiste en dar las formas y medidas deseadas por medio de un molde. El molde es una pieza hueca en la que se vierte un material fundido para que adquiera su forma.

- **Moldeo por contacto**

Para el moldeo por contacto se necesita únicamente de un molde, el cual puede ser de dos tipos:

Macho: Referido a la superficie de acabado interior.

Hembra: Que se refiere a la superficie de acabado exterior.

- **Moldeo por contacto a mano**

El cual consiste en primero incorporar desmoldante el cual funciona como separador.

- **Moldeo por rociado**

Es también conocido con el nombre de moldeo por inyección de resina a baja presión, este proceso consiste básicamente en la aplicación simultánea de resina, y fibra.

2.11 CONTROL DE CALIDAD

Los fabricantes de los productos facilitan la información de control de calidad de las partidas suministradas, para certificar la veracidad de la información detallada en la ficha técnica de los productos.

Existen varios tipos de ensayos para caracterizar los productos que forman el sistema de refuerzo estructura. Todos ellos están contenidos en normas ASTM, y las normas OSHA de los Estados Unidos de Norte América. Ellas normalizan la caracterización de resinas de pegado y de matriz y también el ensayo de plásticos reforzados con fibras (resistencia a tracción, contenido de resina en la matriz, volumen de fibras, etc.). Para ensayar las propiedades, las normas establecen las condiciones del ensayo.¹⁵ Ver Anexo F.

MSDS PARA TRABAJAR CON FIBRA DE CARBONO

2.12 ANÁLISIS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL DEL ALA

El análisis de resistencia estructural permite determinar las cargas que puede soportar el ala sin colapsar. Para el análisis será necesaria la aplicación de cargas en puntos determinados del ala y se realizará las respectivas pruebas de resistencia estructural como también el análisis comparativo alar y el análisis comparativo de materiales para determinar su factibilidad.

2.12.1 Peso

El peso está determinado como la cantidad de masa de un cuerpo multiplicado por la gravedad que ejerce sobre la tierra. En condiciones normales es decir en el Ecuador principalmente en la Sierra la gravedad es de $9,8 \text{ m/s}^2$.

La fórmula para calcular el peso es la siguiente:

$$W = m \cdot g$$

Dónde= W es el peso total

m= masa total del ala

g= gravedad de la Tierra

2.12.2 Carga o Presión

Denominada tensión mecánica es la magnitud física que representa el peso o fuerza por unidad de área en el entorno de un punto material sobre una superficie.

La carga uniaxial se define como la situación en que se aplica una fuerza F uniformemente distribuida sobre un área A. Su fórmula es:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde σ = Carga

F= Fuerza aplicada al ala, la fuerza es igual al peso

A= Área del ala

2.12.3 Tipos de cargas

- **Cargas Permanentes:** cargas en las cuales las variaciones a lo largo del tiempo son raras o de pequeña magnitud y tienen un tiempo de aplicación prolongado. En general, consisten en el peso de todos los materiales de construcción incorporados en el ala. Cuando se determinen las cargas permanentes se deben usar los pesos reales de los materiales.

- **Distribuidas Superficiales:** están repartidas en una superficie. Su magnitud, se expresa en N/m^2 .

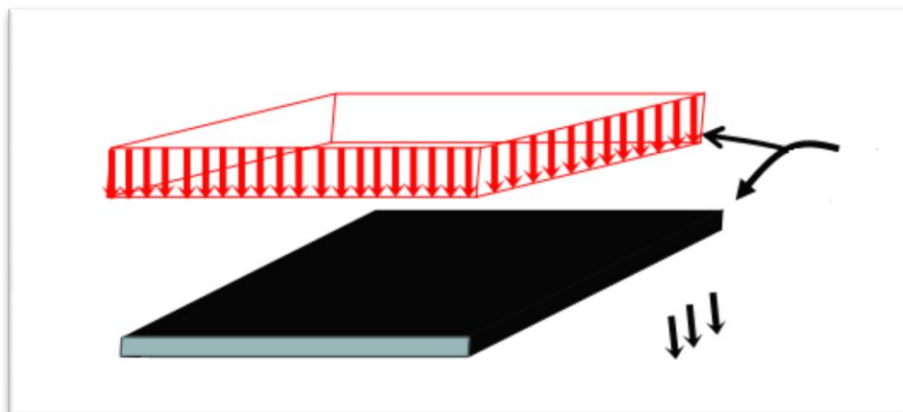


Figura 2.20. Cargas Distribuidas Superficiales

- **Sobrecargas:** las sobrecargas se producen por la aplicación excesiva de cargas en el equipo, éstas son provocadas por materiales o personas.

2.13 NORMAS DE SEGURIDAD

Las normas de seguridad son muy esenciales en todo proyecto de construcción. Es importante trabajar en un lugar determinado y utilizar la vestimenta adecuada, esto ayuda mucho en la seguridad e higiene en el proceso de trabajo.

2.13.1 Características del lugar de trabajo

Áreas Ventiladas

Los materiales compuestos deben ser utilizados en áreas bien ventiladas, preferentemente con ductos de extracción. El polvo y partículas que genera principalmente la fibra de carbono pueden ser perjudiciales para la salud.

Por ello es recomendable el uso de máscaras para polvo, para minimizar la inhalación del mismo.

Peligro de Exposición

Trabajar con materiales compuestos siempre implica el peligro de exposición, a continuación se notan los casos principales:

- **Inhalación:** casi todos los polvos y partículas que están suspendidos en el aire pueden ser inhalados.
- **Absorción:** La absorción por la piel puede ocurrir rápidamente sin necesidad que haya un corte o abrasión debido al tamaño de las partículas.
- **Ingestión:** Pueden entrar al cuerpo por el aparato gastrointestinal. En el sitio de trabajo, se puede ingerir, sin saber, los químicos peligrosos por comer, beber, o fumar en las áreas de trabajo contaminados.
- **Inyección:** Ocurre cuando un objeto agudo pincha la piel, permitiendo que polvos y partículas entren al cuerpo.

2.13.2 Equipos de protección personal (EPP)

La función de los EPP es proteger al organismo del producto tóxico como polvos y partículas contaminantes dispersas en el ambiente de trabajo, minimizando el riesgo de sufrir enfermedades y lesiones corporales.

Para trabajar con materiales compuestos es importante seguir los instructivos indicados en el MANUAL TÉCNICO OSHA (OTM) ADVANCED COMPOSITES. (Ver anexo G)

Overol

Es una prenda de trabajo de una sola pieza que se utiliza sobre la ropa normal para protegerla de cualquier tipo de contaminante como polvo, partículas, resina etc.



Figura 2.21. Overol

Respiradores (máscaras)

Los equipos respiratorios (máscaras) tienen por objetivo proteger de los efectos nocivos contra la salud, causados al respirar aire contaminado por polvos, brumas, vapores, gases, humos, salpicaduras o emanaciones perjudiciales. Según las normas OSHA, generalmente el equipo respiratorio tapa la nariz y la boca, o la cara o la cabeza entera y ayuda a evitar lesiones o enfermedades.



Figura 2.22. Respiradores (máscaras)

Guantes

Constituye uno de los equipos de protección más importantes, ya que protege las partes del cuerpo con mayor riesgo de exposición; las manos. La fibra de carbono/resina debe ser manipulada exclusivamente con guantes impermeables de químicos, aunque para su moldeo y definición es también aceptado la utilización otro tipo de guante pero únicamente por una sola vez. ¹⁶ <http://www.ips.gob.cl/transparencia/portal/Documentos/elementosproteccionpersonal>



Figura 2.23. Guantes impermeables de seguridad

Protectores visuales (gafas)

El tipo de protección ocular sugerido para actividades con materiales compuestos como fibra de carbono y resinas es la gafa de seguridad panorámica y de campo de uso 5, es importante porque impedirá la entrada de partículas finas y polvo al ojo.



Figura 2.24. Protectores visuales (gafas)

Calzado

El calzado adecuado es muy importante porque previene de golpes fuertes, resbalones, y caídas por la presencia de líquidos derramados en el piso. Los zapatos adecuados para este trabajo son conocidos actualmente como zapatos punta de acero y zapatos antideslizantes.



Figura 2.25. (a) Zapatos antideslizantes y (b) Zapatos punta de acero

CAPÍTULO III CONSTRUCCIÓN

3.1 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA CONSTRUCCIÓN

Para la construcción del proyecto se hace necesario mencionar las consideraciones de diseño obtenidas de documentación técnica obtenida de "OSHA MANUAL TÉCNICO (OTM) ADVANCED COMPOSITES" aplicada para trabajar con fibra de carbono. (Ver Anexo G)

3.1.1 Consideraciones para trabajar con fibra de carbono

El proceso de elaboración de Materiales Compuestos consiste en unir íntimamente una resina epoxi de laminación con un tejido de carbono obteniéndose así un laminado extremadamente resistente y liviano.

El impregnado de las telas junto con la resina epoxi culmina con el endurecimiento, también llamado polimerización que se alcanza en un lapso de 24 horas. Generalmente cada resina tiene su tiempo específico de secado para obtener las mejores propiedades mecánicas.

Se debe destacar que la resina epoxi tiene una contracción que prácticamente es despreciable, por ese motivo es el material elegido por excelencia en los laminados de alta calidad. Por lo expuesto este tipo de resina de impregnación está destinada a impregnar "mojar" las telas de laminación, la cual tiene la ventaja de poseer una buena resistencia estructural junto con la propiedad de soportar temperaturas relativamente altas y ser adhesivas por excelencia.

Cuando estos se mezclan comienza una reacción que aglutina las moléculas y origina que la resina se convierta en un sólido, manteniendo el componente rígido, y distribuyendo la carga transfiriéndosela a las fibras.

3.1.2 Pasos para laminación de fibra de carbono

Para aplicar la fibra de carbono sobre una superficie o núcleo se debe seguir los pasos establecidos que se anotan a continuación para tener un mejor acabado:

- Limpieza del molde y aplicación del agente desmoldante
- Preparación de la mezcla
- Laminación
- Remoción del aire y compactado con bolsa de vacío.
- Curado.

3.1.2.1 Limpieza del molde y aplicación del agente desmoldante

La limpieza del molde o núcleo se debe realizar con un material libre de contaminación de polvo, líquidos u otros agentes, es importante aplicar el agente desmoldante; un buen desmoldante es el alcohol polivinílico (PVA); colocar la cantidad que sea necesaria. Si la matriz es nueva se deben sellar los poros con productos especiales sella poros para matrices.

3.1.2.2 Preparación de la Mezcla

El siguiente paso es la preparación de la mezcla resina epoxi/endurecedor, tomar en cuenta los instructivos emitidos por el fabricante.

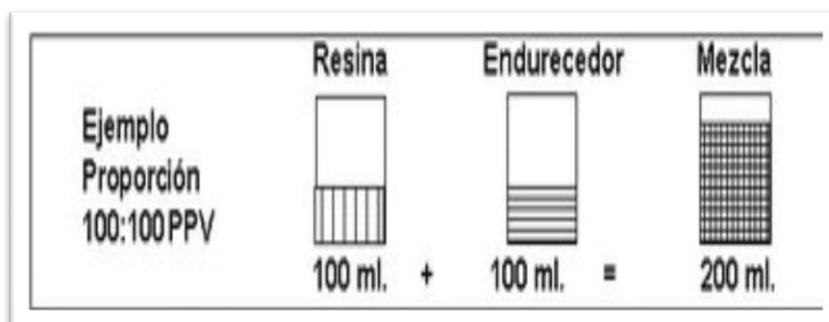


Figura 3.1. Preparación de la mezcla

Una vez medidos correctamente los pesos o volúmenes de resina y endurecedor, estos deben ser mezclados agitando bien pero lentamente y raspando los costados y el fondo del recipiente con una espátula o removedor.

Continuar mezclando hasta que la mezcla tome un color homogéneo, si hay presencia de burbujas de aire es normal luego desaparecen.

El mezclado lleva alrededor de 3 minutos, dependiendo del tamaño y la forma del envase y la cantidad y temperatura de la mezcla. El proceso de gelado depende del tipo de resina.

3.1.2.3 Laminación

Se corta la fibra de carbono, y se impregna la mezcla de resina con rodillo, hasta que de una apariencia de transparencia de la tela, (evite las burbujas de aire en la laminación) en ese momento fijarse si hay excesos en la laminación, si lo hay extraerlo con el mismo rodillo, después se aplicaran las siguientes capas hasta llegar al espesor deseado.

En algunos casos para garantizar que la laminación quede absolutamente plana se procede a prensarla utilizando el proceso de bolsa de vacío.

La laminación debe quedar pareja en todo sentido, si utiliza telas de vidrio, carbono o kevlar, hay que equilibrarlas (ver equilibrio de capas) de esta forma se evita que se levanten los bordes en el proceso de secado.

No mezclar grandes lotes de resina + endurecedor, los lotes grandes son más difíciles de mezclar, tienen un tiempo de uso (pot-life) menor y además cuestan más si se deben desechar.

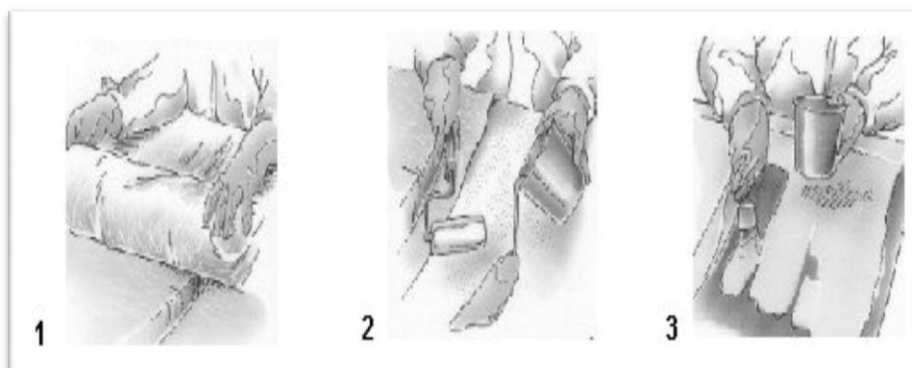


Figura 3.2. Laminación

3.1.2.4 Curado

El proceso de curado consiste en el método de remoción del aire contenido en la bolsa de vacío a una presión negativa medida con un manómetro.

3.1.2.5 Remoción de burbujas de aire

La remoción de burbujas de aire se realiza comúnmente con una bomba de vacío junto con telas y componentes adicionales que ayudan en la eliminación de burbujas contenida en el interior. En el siguiente gráfico se describe la ubicación de los componentes adicionales:

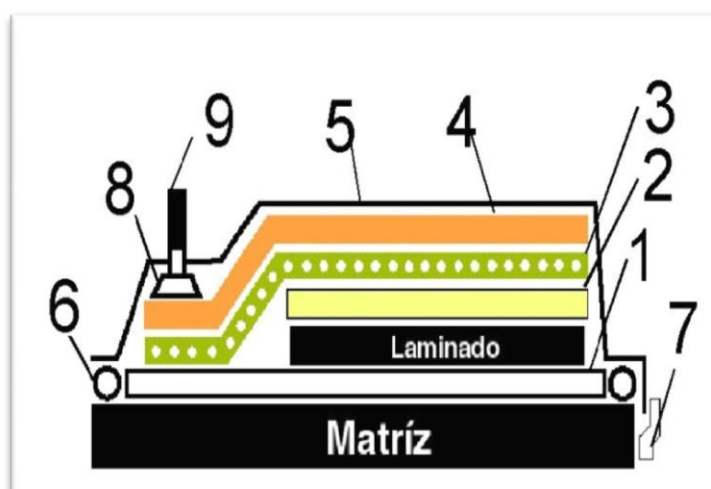


Figura 3.3 Componentes para la remoción de aire

- 1) Desmoldante- alcohol polivinílico PVA
- 2) Tela Peel ply
- 3) Plástico de refuerzo
- 4) Tela Breather
- 5) Bolsa de Vacío
- 6) Vac-Tape (cinta selladora de bolsa de vacío)
- 7) Pressure Tape (cinta de presión)
- 8) Vac-Valve (válvula de vacío)
- 9) Conector de desconexión rápida.

3.1.2.6 Bolsa de vacío

La bolsa de vacío consiste en cubrir un componente laminado con una bolsa plástica para crear depresión durante su ciclo de curado, mientras su compactado permite mejorar la adherencia de la fibra con el núcleo para obtener mejores resultados.

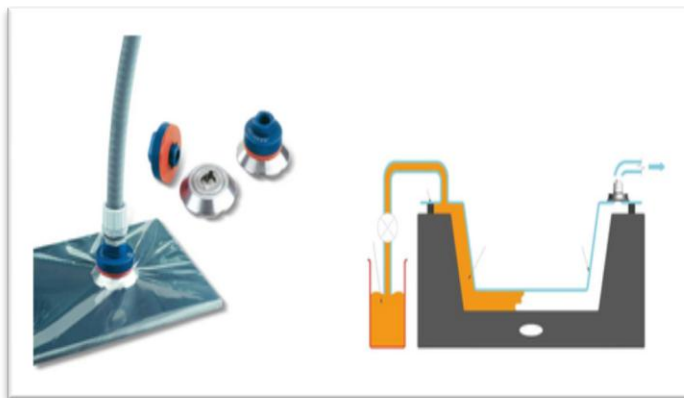


Figura 3.4. Bolsa de vacío

La presurización con este método cumple varias funciones: Primera, remueve el aire atrapado entre capas. Segunda, compacta las capas de refuerzo por transmisión de fuerzas, proporcionando laminados más uniformes. Tercera, evita que la orientación del laminado se modifique durante el curado. Cuarta, reduce la humedad.

La función más importante es que la técnica de vacío optimiza las relaciones refuerzo – matriz.¹⁷ <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22641-3142.pdf>

Tabla 3.1

Ventajas y Desventajas de la bolsa de vacío

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Altos porcentajes de refuerzo comparado con los métodos tradicionales	Requerimientos de mano de obra calificada del operario
Mayor densidad de laminado	Proceso lento de acabado
Baja tasa de porosidad	
Mejor impregnación de las fibras	
Mejor acabado superficial	Costo de los materiales fungibles
Diseños flexibles	
Eficiente eliminación de burbujas	

Cuando estén retiradas las capas o telas adicionales y una vez cumplido el lapso de tiempo para el secado se verificará si hubo un buen curado.¹⁸ Bajo las normas OSHA Ver ANEXO G

Los materiales compuestos generan sus propiedades y atributos al finalizar con este proceso de construcción.

3.2 PLANTEAMIENTO Y ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

Con las alternativas notadas anteriormente es fundamental hacer una comparación entre fibras para verificar si la fibra de carbono cumple con los parámetros de construcción.

Tabla 3.2

Ventajas y Desventajas de las fibras usadas en Aviación

FIBRAS	VENTAJAS Y DESVENTAJAS	
Vidrio	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Material muy duro • Resistente a la humedad • Resistentes al ataque químico • Alta flexibilidad
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Débil conductividad térmica • La humedad antes de la laminación perjudica la unión con la resina • Irrita la piel, ojos y vías respiratorias • Produce dolores de cabeza y picazón
Carbono	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada resistencia y rigidez • Alta resistencia a la vibración • Buen comportamiento a la fatiga • Buena conductividad térmica • Buena conductividad eléctrica • Bajo coeficiente de dilatación térmica • Resistencia a altas temperaturas • Elevada resistencia química a ácidos y disolventes • No se ven afectados por el agua de mar
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • En contacto con los metales se genera diferencia de potencial que provoca corrosión.

Continua



Kevlar 49	Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Alta resistencia específica a la tracción • Excelente resistencia al impacto. • Buena resistencia a fatiga • Buenas características dieléctricas • Elevada resistencia térmica • Coeficiente de dilatación negativo
	Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> • Reducida resistencia a la compresión • Sensibilidad a la humedad • Los rayos UV afectan las capas exteriores • Su impregnación de resina puede presentar dificultades

3.2.1 Comparación de propiedades de la fibra de carbono

Las ventajas que ofrece la fibra de carbono fueron esenciales para elegirlo como componente principal en la parte exterior del ala debido a sus excelentes propiedades que están revisadas e interpretadas a continuación:

Elevada resistencia y rigidez: la fibra de carbono posee mayor resistencia en comparación con la fibra de vidrio y kevlar 49, la rigidez es un factor principal que determina la dureza del material, pero al tener un núcleo flexible el ala puede ser sustentable y bien resistente.

Alta resistencia a la vibración: la excesiva vibración causa daños a los materiales y les deteriora con el tiempo, al usar la fibra de carbono la vibración no afectará al ala, al contrario si se utiliza fibra de vidrio o Kevlar 49 las probabilidades de daño serían mayores.

Buen comportamiento a la fatiga: la fibra de vidrio no tiene un buen comportamiento a la fatiga a diferencia de la fibra de carbono y el kevlar 49 que se caracterizan por tener buena resistencia al ser sometidos a esfuerzos repetidos.

Buena conductividad térmica: la fibra de vidrio no es un buen conductor de calor, la fibra de carbono y el kevlar 49 son excelentes por esta propiedad.

Buena conductividad eléctrica: la fibra de vidrio no posee esta propiedad, la fibra de carbono y el Kevlar 49 son buenos conductores de electricidad.

Bajo coeficiente de dilatación térmica: la fibra de carbono no cambia su longitud, volumen o alguna otra dimensión métrica mientras se calienta o se enfría, las dos fibras en comparación; se ven afectados por su negativo coeficiente de dilatación térmica.

Resistencia a altas temperaturas: la fibra más resistente a altas temperaturas sin alterar sus propiedades es la fibra de carbono.

Elevada resistencia química a ácidos y disolventes: la fibra de vidrio y la fibra de carbono comparten esta propiedad, tomando en cuenta que la fibra de vidrio con la humedad antes de la laminación perjudica la unión con la resina, y el Kevlar 49 es sensible a la humedad.

No se ve afectado por el agua de mar: importante notar que únicamente la fibra de carbono no se ve afectado con el agua de mar, las otras dos fibras si son afectadas debido a la alta salinidad.

Estas propiedades hacen que la fibra de carbono sea óptima e ideal para construir un prototipo de ala, conservando un peso moderado para poder

realizar las respectivas pruebas de sustentación con una aeronave compatible y elevar la resistencia, es importante mencionar las dos desventajas al utilizar esta fibra: la primera está relacionada con el alto costo y la segunda que al exponerla en contacto con los metales se genera diferencia de potencial que provoca corrosión con lo dicho se evitará exponerla junto a metales.

Por lo expuesto, el ala en fibra carbono va a ser construida en su totalidad por el Investigador y de esta manera se va a establecer los materiales, equipos y herramientas a utilizarse en cada una de las etapas.

Los materiales que se emplean en la construcción del núcleo fueron analizados de acuerdo a sus propiedades, así como también a su combinación y adherencia a la fibra de carbono y resina.

3.3 ESTUDIO DE FACTIBILIDAD

Para el estudio de factibilidad se debe considerar los siguientes factores:

- Factor técnico
- Factor operacional
- Factor económico

Los parámetros que debe cumplir el ala al ser construida en fibra de carbono deben garantizar alta resistencia a las cargas aplicadas sin deformarse teniendo en cuenta que es de uso en particular para instrucción en la asignatura de Materiales Compuestos.

3.3.1 Factor Técnico

Es importante considerar los estándares de construcción establecidos por el fabricante para verificar que el ala es sustentable y puede volar.

De acuerdo al análisis e investigación desarrollada se logró establecer como factible el uso de materiales alternos con propiedades similares para este tipo de ala, así como el uso de una escala de reducción aplicable.

3.3.2 Factor Operacional

Este factor resulta importante porque permite obtener una visión clara de una parte importante para la sustentación de la aeronave como es el ala construida a partir de materiales altamente resistentes y ligeros a la vez.

Sin embargo, es necesario citar ciertas características que debe cumplir el ala para ser optimizada de la mejor manera posible:

- Buena resistencia a cargas
- Buena resistencia agentes externos como humedad.
- Peso notoriamente ligero
- Manipulable
- Modo fácil para transportar
- Accesible dentro y fuera del laboratorio

3.3.3 Factor Económico

Para determinar el total de gastos realizados en la construcción del ala es ideal referirse principalmente en la adquisición de la fibra de carbono/resina.

Notado como una desventaja de estos materiales debido a su alto costo y su difícil accesibilidad para comprarlo en nuestro país; así como también los gastos realizados para los componentes adicionales.

3.4 Medidas y dimensiones

Las medidas y dimensiones utilizadas en la construcción del ala están basadas en una Escala de reducción aplicada a una maqueta, con las referencias tomadas de la Aeronave CessnaC-150.(Ver Anexo B conversiones)

3.5 CONSTRUCCIÓN DE LA PARTE INTERNA DEL ALA

3.5.1 Construcción del Núcleo

El núcleo es la parte central del ala, permite tener una estructura base (molde), para aumentar la resistencia, hacerlo flexible hasta un punto determinado, mantener el peso liviano y darle las características aerodinámicas para que pueda sustentarse.

Con los materiales disponibles que se citan a continuación se inició el proceso inicial:

Tabla 3.3

Materiales a utilizar en la construcción del núcleo

MATERIAL	CANTIDAD
Poliestireno Expandido EPS(espuma flex)	2 planchas de (1,5 x 0,5 x 0,1)m ³
Madera balsa	1 tabla de (0,8 x 0,1 x 0,02) m ³ 4 tablas de (0,8 x 0,1 x 0,01) m ³ 8 tablas de (0,8 x 0,1 x 0,001) m ³
Madera de eucalipto	2 tablas de (0,2 x 0,05 x 0,02) m ³
Pegamento UHU	2 kits de 42 g
Pegamento cola blanca	1 kit de 500 ml

3.5.2 Trazos generales

Luego de tener las medidas ya reducidas a escala 1:6 (ver Anexo C) se realizan los trazos generales en la plancha de Poliestireno Expandido EPS (espuma flex) y se procede hacer cortes con el cortador de EPS a medida que se calienta. Es necesario realizar un corte general a la medida del ala y tres cortes adicionales para facilitar el trabajo.



Figura 3.5. Proceso de trazado de EPS

Se representan las medidas respectivas en una hoja para luego pasarla a la madera balsa y cortarla detenidamente.

3.5.3 Proceso de corte del perfil alar

Una vez obtenido el molde del perfil alar se realizan cuatro copias similares de cada una de ellas. Los cortes deben realizarse con las herramientas adecuadas para tener buenos resultados.

3.5.4 Proceso general de corte

Para el corte del perfil alar se debe utilizar un estilete, y para el corte de EPS (espuma flex) un cortador de poliestireno expandido; si es necesario adicional se usa un guía para evitar errores de medida.

Se procede a cortar el poliestireno expandido en la forma del perfil aerodinámico al momento de la ejecución importante tener precaución y concentración porque la herramienta es demasiado peligrosa.



Figura 3.6. Proceso de corte

3.5.5 Unión de EPS (espuma flex)

Para pegar las tres partes de EPS con las que se trabajó por separado es importante utilizar el tipo de pegamento que garantice una excelente adherencia. De esta manera se ha considerado como apropiado al pegamento UHU por sus buenas propiedades.

Se nivelan cada una de las partes y con la cantidad determinada de pegamento se unen cuidadosamente. Para asegurar una buena adherencia además es importante colocar ligas industriales de sujeción en los extremos del ala y dejarlo secar mínimo tres días.



Figura 3.7. Proceso de pegado

3.5.6 Lijado Superficial

Una vez secado completamente se continúa con el proceso de lijado con una lija fina envuelta en taco de madera con un número de grano de 180, se realiza el proceso de lijado muy cuidadosamente, evitando cualquier tipo de alteración en la estructura.



Figura 3.8. Lijado superficial

Se lija con el tipo de lija fina envuelta en taco de madera con un número de grano de 180, su lijado se hace con una presión moderada y siempre de adelante hacia atrás, no en círculos y con mucha precaución para no alterar el perfil.

3.5.7 Aplicación del material de refuerzo

El poliestireno expandido es un material ligero y resistente, debido a las cargas que van a ser aplicadas es necesario y de gran importancia establecer una combinación con otro material que cumpla con propiedades similares.

La madera balsa (usada en la construcción de maquetas), permite la combinación adecuada con el poliestireno expandido. Si se combinan estos

materiales se obtendrá mayor resistencia del ala y el peso no se verá afectado notoriamente en vista que los dos son muy ligeros.

Establecida su compatibilidad se procede a colocar la madera balsa sobre el ala, se utiliza una tabla de $(0,8 \times 0,1 \times 0,02) \text{ m}^3$ en los flaps, dos tablas de $(0,8 \times 0,1 \times 0,01) \text{ m}^3$ en el borde de ataque y ocho tablas de $(0,8 \times 0,1 \times 0,001) \text{ m}^3$ en la superficie, para este tipo de pegado se usa un pegamento conocido como cola blanca, pegamento específico para este tipo de uniones. Para tener mayor sujeción y evitar errores de pegado es también necesario colocar ligas industriales de sujeción mientras que para las partes críticas a la rotura como mitad de ala se utiliza 2 tablas de madera de eucalipto de $(0,2 \times 0,05 \times 0,02) \text{ m}^3$.



Figura 3.9. Aplicación del material de refuerzo

3.5.8 Tiempo de secado

Después de haber aplicado el material de refuerzo se determina un tiempo necesario de cuatro días para el secado uniforme.

3.5.9 Pruebas de sustentación

Se realizan las primeras pruebas de sustentación en tierra para verificar que los parámetros que se utilizaron en su construcción son verdaderos y aplicables.

Para lo expuesto es fundamental colocar tiras de papel en todo el borde de ataque del ala a una distancia de cinco centímetros.

Para la comprobación se hizo necesario además el alquiler de una aeronave de aeromodelismo con configuración para diferente tipo de ala.



Figura 3.10. Primeras pruebas de sustentación en Tierra

Mediante la etapa de comprobación se encontró el centro de gravedad del avión en general y se tuvieron los siguientes datos:

Tabla 3.4

Resultados de la primera prueba de sustentación en tierra

PRUEBA	RESULTADO
A $\frac{3}{4}$ del perfil en ambos extremos de ala	Inclinación cero, sin inclinación
Cuerda colocada en el centro de ala	Inclinación cero, sin inclinación
Motor encendido a alta potencia	Inclinación hacia la izquierda
Tiras de papel levantadas a partir de la mitad de ala	Parte central: tira levantada Partes laterales:3 derecha-3 izquierda
Motor encendido a baja potencia	Inclinación cero, sin inclinación

3.5.9.1 Verificación de errores

A partir de estos datos se procedió a revisar parte por parte los componentes que conforman el ala y luego de un estudio minucioso se logró determinar una alteración en el perfil en vista que la madera balsa había obstruido al poliestireno expandido por la extrema fuerza que se aplicó durante el proceso de pegado.

Se hizo necesario el reemplazo de la madera balsa, se utilizó dos tablas de madera balsa de $(0,8 \times 0,1 \times 0,01) \text{ m}^3$, una vez concluido el remplazo se realizan las segundas pruebas de sustentación.



Figura: 3.11. Segundas pruebas de sustentación en Tierra

Tabla 3.4.1

Resultados de la segunda prueba de sustentación en tierra

PRUEBA	RESULTADO
A $\frac{3}{4}$ del perfil en ambos extremos	Inclinación cero, sin inclinación
Cuerda colocada en el centro de ala	Inclinación cero, sin inclinación
Motor encendido a alta potencia	Inclinación cero, sin inclinación
Tiras de papel levantadas a partir de la mitad de ala	Parte central: tira levantada Partes laterales:3 derecha-3 izquierda
Motor encendido a baja potencia	Inclinación cero, sin inclinación

3.5.10 Componentes adicionales

Previo a la utilización de la fibra de carbono en el ala, se usa un método alternativo para verificar la sustentación del avión en el aire, se utiliza papel adhesivo forrante en su superficie y una vez finalizado, se colocan dos servos HI-TEC en el lado derecho e izquierdo del ala respectivamente.

3.5.11 Pruebas de sustentación en el aire

Para comprobar que el ala es sustentable en el avión se realizan pruebas reales de vuelo.

3.5.11.1 Primera prueba de sustentación en el aire

El ala cumple la función de darle sustentación al avión en el aire. Se realiza la primera prueba de vuelo en la pista de aerodelismo ubicada en Tilipulo – Latacunga.

Previo al vuelo se revisan todos los equipos.



Figuras 3.12. Revisión y chequeo de equipos



Figuras 3.13. Pruebas de Vuelo

Una vez finalizado el vuelo de manera satisfactoria se presenta un resumen general con las características de vuelo en la siguiente tabla determinándose como sustentable:

Tabla 3.5

Resultados de la primera prueba de sustentación en el aire

ETAPA	CARACTERÍSTICAS	CONDICIÓN
Despegue	Despegue a potencia moderada sin dificultad	√
Vuelo	Alabeo izquierda – derecha y vuelo nivelado	√
Aterrizaje	Aterrizaje a baja potencia sin dificultad	√

Terminado el vuelo y con los resultados obtenidos, se determina que el ala es sustentable.

A continuación se procede a quitar el papel forrante y se revisa el estado actual de los materiales, una vez finalizada su revisión no se encuentran daños en el ala.

3.6 CONSTRUCCIÓN DE LA PARTE EXTERNA DEL ALA

La parte externa del ala proporcionará una resistencia muy alta a los materiales utilizados en la construcción del núcleo, sin que su peso varíe notoriamente.

3.6.1 Identificación de materiales

Tabla 3.6

Materiales para la construcción de la parte externa del ala

MATERIALES	CARACTERÍSTICAS	CANTIDAD
Fibra de Carbono	Clase de fibra: Toray T600 - 24K. ¹⁹ Torayca Japón-América-Europa , T600: Resistencia a la tracción de 600 KSI,- 24k: 24000 filamentos por las que están compuestas las mechas. Tipo de fibra: HT Orientación : Bidireccional Tipo de tejido: Tejido cruzado Gramaje: 220 gr/m ²	5 partes de (0,5 x 1) m ²
Papel suave	Papel para limpiar superficies	1 rollo
Alcohol polivinílico	Alcohol desmoldante PVA	1 spray
Resina Epoxi/endurecedor	Nombre: Aeropoxi	250 gr / 67,5gr
Plástico recubridor	Plástico externo	3 m ²
Tela Peelply	Tela adicional	2 m ²
Plástico poroso	Elimina exceso de resina	2 m ²
Tela Breather	Tela adicional	2 m ²
Bolsa de Vacío	Bolsa para la etapa de curado	3 m ²
Vac-Tape	Cinta selladora	1 rollo
Pressure Tape	Cinta de presión	1 rollo

3.6.1.1 Identificación de equipos de protección personal

Antes de iniciar con el moldeo en fibra de carbono es indispensable utilizar los equipos de protección personal como:

- Overol
- Guantes impermeables
- Mascarilla o respirador
- Protectores visuales
- Calzado: botas punta de acero o zapatos antideslizantes

3.6.2 Moldeo de fibra de Carbono

El moldeo de fibra de carbono se basa en la aplicación del agente desmoldante en el núcleo y la unión de la fibra junto con la resina aeropoxi que culmina con el endurecimiento que se alcanza en un lapso de 24 horas.

3.6.2.1 Preparación superficial del ala

Antes de colocar la fibra de carbono y la mezcla de resina/endurecedor se prepara la superficie del núcleo limpiándolo con papel suave que se encuentre limpio y libre de partículas de polvo. No es recomendable limpiar con objetos que contengan sustancias como thinner, MEK, gasolina, acetona o kerosene porque pueden dañar la estructura del núcleo.



Figura 3.14. Preparación superficial del ala

3.6.2.2 Técnica de moldeo

La técnica utilizada se llama moldeo por contacto a mano, la cual consiste en la aplicación de los diferentes procesos de forma manual; directamente la fibra, la mezcla de resina y los componentes adicionales, mientras que para la aplicación del agente desmoldante se utiliza la técnica de moldeo por aspersión o rociado.

3.6.2.3 Aplicación del agente desmoldante

La aplicación del agente desmoldante conocido como alcohol polivinílico PVA se basa en la liberación del núcleo (molde) en vista que la resina aeropoxi no se adhiere fácilmente.

Este proceso se debe realizar sobre la superficie alar completamente limpia; rociándolo con un spray de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo para cubrirlo por completo, es importante notar que el alcohol polivinílico PVA requiere un tiempo determinado de 3 a 5 minutos para su concentración.



Figura 3.15. Aplicación del agente desmoldante

3.6.3 Preparación de la mezcla resina/endurecedor

Se realiza la mezcla indicada en el kit de resina emitido por el fabricante que es de 100 / 27 por cada metro cuadrado (1 m^2), es decir 100 partes de resina a 27 partes del endurecedor por cada metro cuadrado de fibra de carbono, estos valores son obtenidos con una balanza digital y la tela es medida con un flexómetro. Durante una hora se realiza el proceso de gelado que es la reacción química que se da entre la resina y el endurecedor para poder laminar.

Se utiliza 2 vasos para sacar la cantidad suficiente de resina y de endurecedor, dos recipientes para medir las partes, un frasco que contenga los dos componentes y una paleta para mezclar. La mezcla se realiza por varios minutos hasta que la composición adquiera un color uniforme, es importante dejar en reposo por una hora hasta que se cumpla el proceso de gelado.



Figura 3.16. Preparación de la mezcla resina/endurecedor

Diez minutos antes de cumplirse la hora de gelado, se procede a colocar la bolsa de vacío abierta en la parte inferior del ala y posteriormente se corta la fibra de carbono con la tijera en partes moldeables para poder ubicarlo.



Figura 3.17. Corte de la fibra de carbono

3.6.4 Colocación del Tejido híbrido

Con la finalidad de incorporar las propiedades de las dos fibras tanto de carbono como del kevlar dándole el comportamiento requerido en términos de rigidez y resistencia al impacto conjuntamente se coloca una capa fina de kevlar en las partes más propensas a la rotura como son las uniones.



Figura 3.18. Colocación del tejido híbrido

3.6.5 Proceso de Aplicación de la mezcla resina/endurecedor

Se coloca la mezcla de resina/endurecedor con la técnica de moldeo por contacto a mano a lo largo de toda la fibra, esto es en modo de ondas eléctricas o tipo serpentina para humectar la fibra por completo y se remueve con una paleta o brocha para humectarlo de mejor manera.

Concluida esta etapa se observa la fibra a 45° si la tela esta brillante u opaca; si esta opaca es porque aún no está con la mezcla de resina/endurecedor y se coloca nuevamente hasta adquirir un tono brillante uniforme, este paso es importante porque evitará fallos durante el vaciado.



Figura 3.19. Aplicación de la mezcla resina/endurecedor

3.6.6 Proceso de Laminado

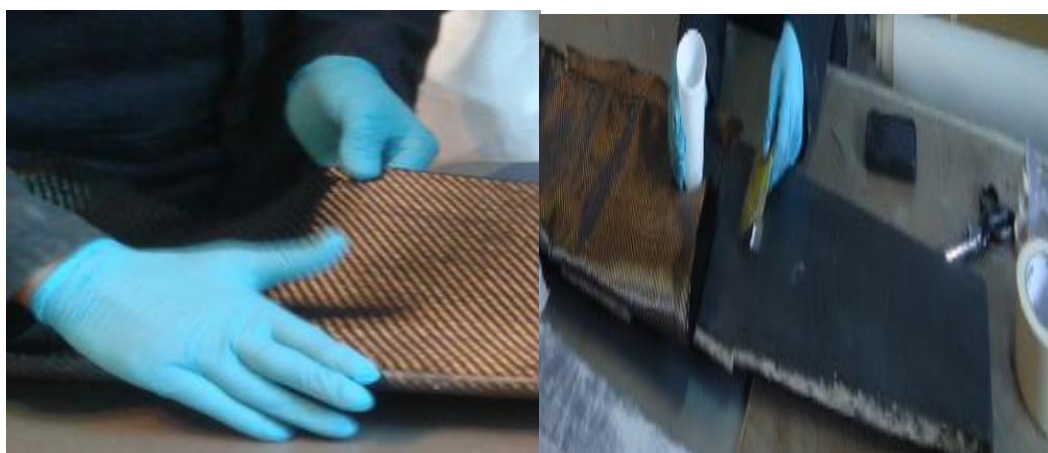
Se une la fibra de carbono con el ala, con una paleta plana se esparce la mezcla de resina/endurecedor y el exceso de fibra se corta con la tijera.

Si hay exceso de mezcla se remueve con la paleta plana o con la brocha.



Figuras 3.20. Unión del ala con la fibra de carbono

Una vez pegada e igualada la fibra a lo largo de la superficie del ala, se coloca la segunda capa de fibra de carbono, de igual manera se determina la cantidad adecuada de mezcla de resina/endurecedor así como de la fibra. El equilibrio de las capas de un laminado es un detalle que no se debe descuidar, para obtener un laminado cuya resistencia sea uniforme, importante recordar que siempre el posicionamiento de la primera capa debe ser igual a la última. La primera capa está ubicada a 0° , por ende la segunda y última también debe estar a 0° .



Figuras 3.21. Aplicación de la segunda capa de fibra de carbono

3.6.7 Proceso de Curado

Cuando se haya aplicado la segunda y última capa de fibra, se realiza el respectivo moldeo quitando los excesos de mezcla de resina/endurecedor; se verifica que no haya imperfecciones o fallas durante el laminado y se identifican los materiales adicionales.

3.6.7.1 Aplicación de la tela PEEL PLY

Se aplica en la superficie de toda el ala una tela llamada Peelply; que es una tela auxiliar que ayuda a dar la forma adecuada del ala, evita el proceso de lijado, no se pega y una vez secado se remueve fácilmente.

3.6.7.2 Aplicación del Plástico de refuerzo y la tela BREATHER

Cuando se haya aplicado la tela PEEL PLY, luego de unos minutos se coloca un plástico de refuerzo con porosidades que cumple la función de eliminar el exceso de resina, a continuación se aplica una segunda tela llamada breather; ésta es una tela auxiliar fácil de remover y además permite que el aire y las burbujas sean absorbidos fácilmente por la bomba de succión en el proceso de vacío.



Figura 3.22. Aplicación de las telas auxiliares

3.6.7.3 Sellado de la bolsa de vacío

La bolsa de vacío es un proceso de enfundado para sacar el aire a depresión negativa de 20 PSI, además:

- No deja nada de aire en el interior para un excelente acabado,
- Saca el exceso de resina,
- Permite que haya mayor compacto de la fibra con el núcleo

Una vez sellada la bolsa de vacío con la VAC-TAPE se coloca una cinta adhesiva de presión como refuerzo conocida como PRESSURE-TAPE que evitará que haya fugas de aire.

3.6.7.4 Remoción de aire y burbujas con bomba de vacío

Al succionar el aire y las burbujas retenidas en el interior se debe hacer de manera rápida y precisa de esto dependerá si hay una buena depresión.

Para la remoción de burbujas de aire se requiere de los siguientes componentes:

- Bomba de vacío
- Válvula de vacío conocida como VAC VALVE; para regular la depresión.
- Mangueras
- Conector de desconexión rápida (instalado en la vac valve)

El manómetro estará calibrado para medir presiones negativas en intervalos de -5, -10, -15 y -20 PSI, cuando se tenga una buena depresión el valor del manómetro se mantendrá entre -15 y - 20 PSI y al trascurrir una hora la bomba puede ser desconectada con normalidad sin riesgo alguno.

Si el valor excede de -15 PSI, la depresión no será favorable y la bomba tiene que mantenerse encendida por un lapso de tres horas aproximadamente.



Figura 3.23. Conector y desconector de acción rápida

Una vez que el manómetro haya llegado a -20 PSI el proceso de curado e impregnado de las telas junto con la resina epoxi culmina con el desprendimiento de las telas adicionales peelply, porosa y breather.

El endurecimiento se alcanza en un lapso de 24 horas.

3.7 Durabilidad

Importante notar que si el curado es bueno la durabilidad del ala va a ser extensa, además hay que notar que si se conserva el ala en buenas condiciones libre de humedad, sin emisiones de luz ultravioleta, con ciclos moderados de calor y sin el contacto con químicos perjudiciales u hongos el ala no va a tender a deformarse, dañarse o alterarse drásticamente sus propiedades.



Figura 3.24. Ala terminada la etapa de curado

Finalizada la etapa de curado y secado, se procede a ubicar los flaps, alerones y servos tanto izquierdos como derechos respectivamente.

3.8 Construcción del Soporte

El soporte permite tener mayor accesibilidad del ala construida en fibra de carbono dentro del laboratorio de la sección de estructuras, su construcción está basada en medidas reales del ala acorde con un material compatible y resistente como es la madera.

Para conservar el tiempo de utilidad del ala y del soporte es importante mantener en buenas condiciones realizando el respectivo mantenimiento y no excediendo en los pesos colocados.



Figura 3.24.1 Soporte del ala

Tabla 3.7

Herramientas empleadas en la construcción

HERRAMIENTAS	DESIGNACIÓN
Flexómetro	H1
Escuadra/graduador	H2
Nivel	H3
Lápiz/esfero	H4
Estilete	H5
Lijas	H6
Ligas industriales de sujeción	H7
Tijeras	H8
Recipientes	H9
Pegamento/papel sellante	H10
Removedor (paleta)	H11
Brocha	H12
Rociador (spray)	H13
Papel suave para superficies	H14




Tabla 3.8

Equipos empleados en la construcción

EQUIPOS/ACCESORIOS	DESIGNACIÓN
Cortador de poliestireno expandido	E1
Avión de Aeromodelismo	E2
Equipo de soporte de Avión	E3
Bomba de vacío	E4
Balanza Digital	E5
Manómetro	E6
Servos HI –TEC	A1

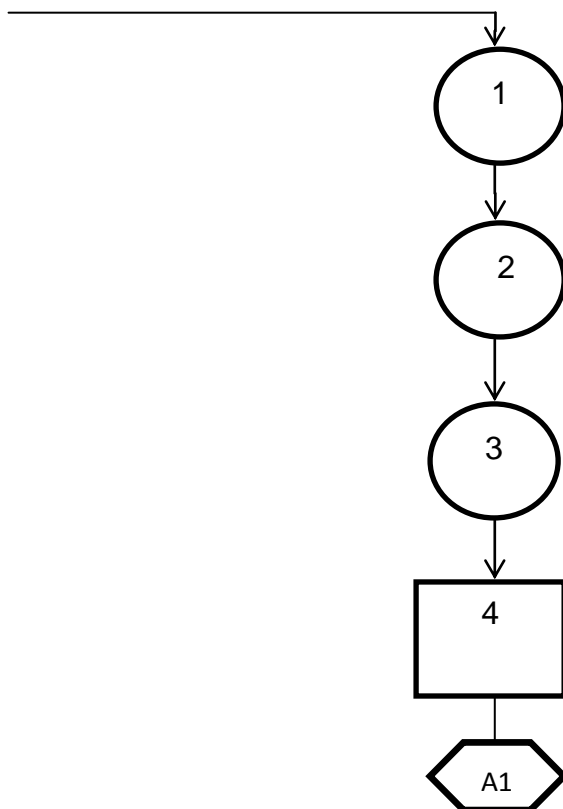
3.9 Diagrama de construcción y ensamble del ala

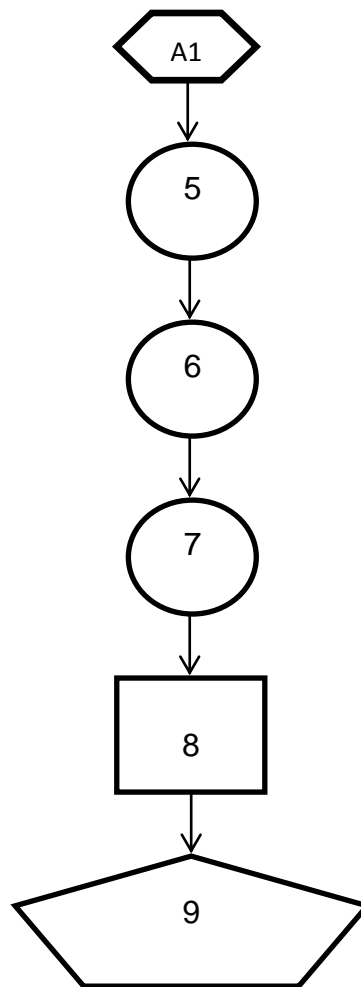
Tabla 3.9 Simbología para el proceso de construcción y ensamble

FIGURA	DESIGNACIÓN
	Operación
	Inspección / Verificación
	Ensamble

3.9.1 Proceso de construcción y ensamble del Núcleo

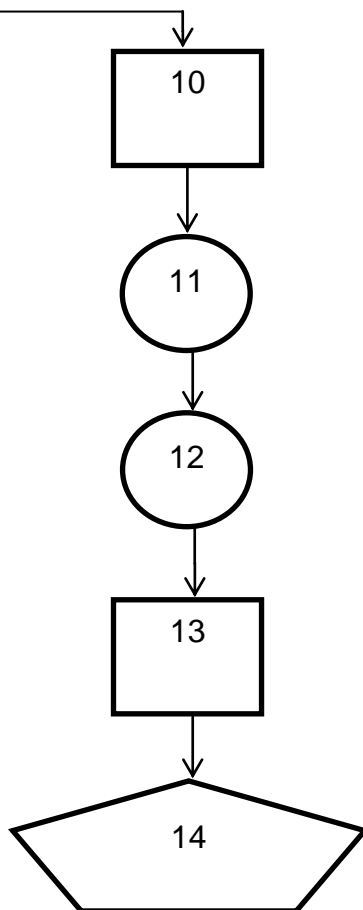
Poliestireno expandido





3.9.2 Proceso de construcción y ensamble del refuerzo del núcleo

Madera Balsa



3.9.3 Proceso de construcción y ensamble del forrado exterior

Fibra de carbono/resina

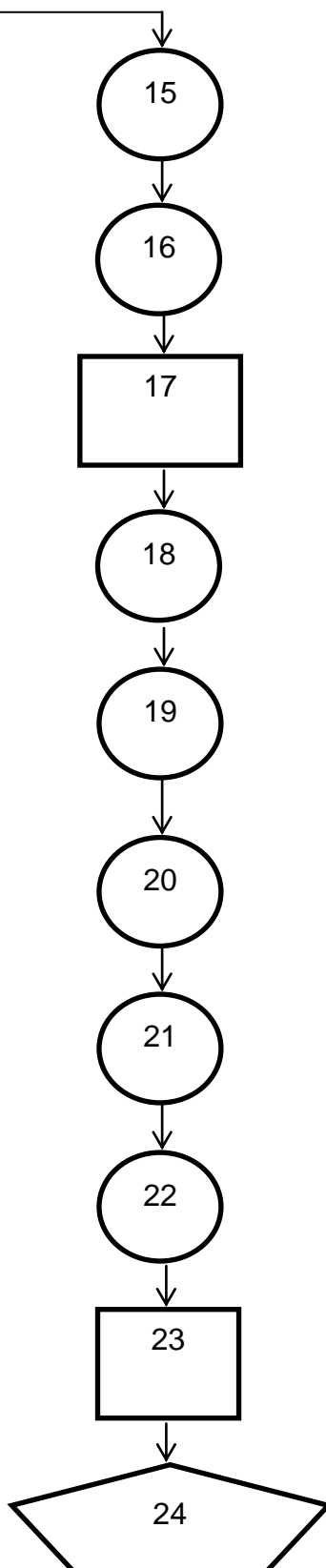


Tabla 3.10

Proceso de Construcción y Ensamble

Nº	OPERACIÓN	EQUIPO	HERRAMIENTA	OBSERVACIÓN
1	Medir		H1- H2	
2	Trazar		H4	
3	Cortar	E1		
4	Inspeccionar		H1- H2-H3	Sin novedad
5	Cortar		H5	
6	Pegar		H7- H10	
7	Lijar		H6	
8	Verificar		H1-H2-H3	Corrección de errores
9	Ensamblar 1		H10	
10	Inspeccionar	E3		
11	Pegar		H10	
12	Colocar	A1		
13	Inspeccionar	E3		
14	Ensamblar 2		H10	Unión balsa/poliestireno
15	Limpiar		H14	
16	Mezclar		H9-H10- H11	
17	Inspeccionar	E5		
18	Cortar		H8	
19	Rociar		H12- H13	
20	Unir		H10	Capa exterior
21	Sacar exceso		H8 - H12	
22	Curar	E4		
23	Inspeccionar	E6		
24	Ensamblar 3			

3.10 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y CONFORMIDAD DE OPERACIÓN

3.10.1 Prueba de sustentación del ala construida en fibra de carbono

Finalizada la etapa de construcción del ala en fibra de carbono, se procede a realizar las pruebas de sustentación, para las pruebas respectivas se hace necesario nuevamente el alquiler de la aeronave de aeromodelismo con configuración para diferente tipo de ala.

Previo a las pruebas se realiza un chequeo general de la aeronave y se revisa que todos los equipos estén instalados correctamente para evitar cualquier tipo de incidente o accidente.

Las pruebas fueron desarrolladas en la pista de aeromodelismo ubicada en Tilipulo – Latacunga.



Figuras 3.25. Prueba de despegue de la aeronave



Figuras 3.26. Prueba en vuelo de la aeronave



Figuras 3.27. Prueba en aterrizaje de la aeronave

Finalizada la segunda prueba de sustentación de la aeronave en el aire se presenta un resumen general con las características de vuelo:

Tabla 3.11

Resultados de la segunda prueba de sustentación en el aire

ETAPA	CARACTERÍSTICAS	CONDICIÓN
Despegue	Despegue a potencia moderada sin dificultad	√
Vuelo	Alabeo izquierda – derecha y vuelo nivelado	√
Aterrizaje	Aterrizaje a baja potencia sin dificultad	√

Aprobadas las tres etapas de vuelo se observa que el ala sigue siendo sustentable a la aeronave sin exceder en el peso y elevando la resistencia estructural en un alto porcentaje.

3.10.2 ANÁLISIS DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL

El análisis de resistencia estructural permite determinar las cargas que puede soportar el ala construida en fibra de carbono sin colapsar.

3.10.2.1 Pesos reales de los materiales y componentes

Antes de realizar las pruebas de resistencia estructural es necesario determinar los pesos reales de cada uno de los materiales y componentes que permitieron ejecutar las pruebas de sustentación del avión de manera satisfactoria con la finalidad de establecer el punto máximo de resistencia. (Ver Fórmulas y Cálculos Anexo D)

Tabla 3.12

Peso total de los materiales

Nº	DETALLE DE PESOS	PESO TOTAL	OBSERVACIÓN
1	EPS	1,78 N	Ninguna
2	Madera balsa	3,56 N	Diferente espesor
3	Pegamento	2,22 N	En toda la superficie
4	Servos	0,89 N	Dos servos
5	Núcleo del ala	8,45 N	Solo peso del ala
6	Fibra de carbono/resina	4,29 N	Forrado exterior
7	Peso total del ala	12,74 N	Ninguna
8	Avión	19,11 N	Solo peso del avión
9	Avión con el ala	31, 85 N	Peso distribuido
10	Objeto a colocar	41,65 N	Peso unitario

Una vez revisado los pesos totales se puede notar que el peso del ala es proporcional al peso de aeronave utilizada en las pruebas de vuelo, estableciendo que el ala no se vio afectada notoriamente por el peso aplicado en el recubrimiento; si se observan los datos el ala sin la fibra pesa 8,45 N y con la fibra pesa 12,74 N, determinando claramente que la fibra de carbono/resina pesa casi la mitad del núcleo.

3.10.2 Pruebas de resistencia estructural con la aplicación de pesos

Para las pruebas de resistencia estructural es necesaria la aplicación de pesos en puntos determinados del ala, proceso que se encuentra detallado en la siguiente tabla:

Tabla 3.13

Pruebas de resistencia estructural con la aplicación de pesos

DETALLE	PESO APLICADO	CONDICIÓN	OBSERVACIÓN
Peso del ala	Ninguno	√	Peso neto: 12,74 N
Primer peso aplicado al extremo derecho	41,65 N	√	1(41,65) N Aprobado
Segundo peso aplicado al extremo izquierdo.	83,3 N	√	2(41,65) N Aprobado sin novedad
Tercer peso aplicado a 30,3 cm del centro a la derecha	124,95 N	√	3(41,65) N Aprobado sin novedad
Cuarto peso aplicado a 30,3 cm del centro a la izquierda.	166,6 N	√	4(41,65) N Deflexión de 0,6 cm

En la tabla 3.13 se muestran los pesos aplicados en el ala excluyendo su peso neto; se detalla que la condición del ala en estado normal soporta un peso de 124,95 N, y con la aplicación del cuarto peso que es de 41,65 N; llega a una **resistencia máxima de 166,6 N**.

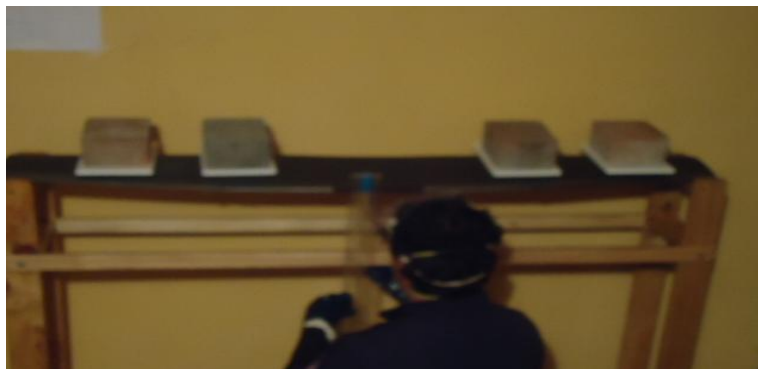


Figura 3.28. Prueba de resistencia con la aplicación de pesos

3.10.2.3 Cargas principales en el ala

La carga en el ala es un parámetro que consiste en determinar el peso que ésta dividido o distribuido en el área o superficie de sustentación.

Tabla 3.14

Cargas principales en el ala

DETALLE	CARGA APLICADA	CONDICIÓN	OBSERVACIONES
Carga Permanente	31,07 N/m ²	√	Carga =Peso ala/Área
Carga Distribuida	335,82 N/m ²	√	Aprobado sin novedad
Carga Distribuida con deflexión máxima	437,41 N/m ²	√	Aprobado con deflexión de 0,6 cm
Límite de Sobrecarga	437,41N/m ²	❖	Deflexión extrema

La carga permanente como su nombre lo indica va a permanecer siempre en el ala, en vista que es la carga de todos los materiales utilizados; las demás cargas aplicadas estarán incluidas con la carga permanente para poder determinar los valores de resistencia. El máximo valor de resistencia es el límite de sobrecarga con un valor establecido de $437,41 \text{ N/m}^2$ con una deflexión de 0,6 cm.

3.10.2.4 Análisis comparativo de Resistencia Estructural

La construcción del proyecto permite hacer un análisis comparativo de resistencia estructural que tiene el ala construida en fibra de carbono con un ala convencional utilizada en las aeronaves de aeromodelismo que tenga características similares, para establecer las ventajas y beneficios que se obtiene al usar este tipo de fibra.

Tabla 3.15

Análisis comparativo de Resistencia Estructural

ALA	CARACTERÍSTICAS	RESISTENCIA ESTRUCTURAL
Fibra de carbono	<p>Componentes: poliestireno expandido, madera balsa, pegamento, fibra de carbono/resina,</p> <p>Tamaño: envergadura 1,61 m</p> <p>Ancho de ala 0,26 m</p> <p>Área de ala: $0,41 \text{ m}^2$</p> <p>Peso: 12,74 N</p> <p>Tipo de ala: Ala trapezoidal</p> <p>Perfil aerodinámico: NACA 2412</p>	<p>$W_{\text{máx}} = 166,6 \text{ N}$ (excluido el peso neto del ala)</p> <p>$C_{\text{máx}} = 437,41 \text{ N/m}^2$</p> <p>Deflexión de 0,6 cm</p>

Continúa



Convencional	<p>Componentes: poliestireno expandido reforzado con balsa, pegamento y papel forrante</p> <p>Tamaño: envergadura 1,50 m</p> <p>Ancho de ala: 0,33 m</p> <p>Área de ala: 0,49 m²</p> <p>Peso: 12,44 N</p> <p>Tipo de ala: Ala plana</p> <p>Perfil aerodinámico: Convexo</p>	<p>W_{máx}= 20,8 N (excluido el peso neto del ala)</p> <p>C_{máx}= 42,44 N/m²</p> <p>Deflexión de 2 cm</p>
--------------	--	---

Elaborado por: Investigador

La comparación con un ala convencional permite verificar que la resistencia estructural del ala en fibra de carbono es extremadamente buena en donde el peso máximo que soporta esta ala es de 166,6 N y la carga máxima es de 437,41 N/m² con una deflexión de 0,6 cm ;mientras que el ala convencional solo con un peso de 20,8 N y soportando una carga máxima de 42,44 N/m² ; ya alcanza un punto de deflexión de 2 cm; la proporción vendría a ser aproximadamente (8) ocho veces más resistente el peso del ala en fibra de carbono.



Figura 3.29. Ala en fibra de Carbono y Ala convencional para análisis

Comparando la a proporción de carga máxima del ala en fibra de carbono con el ala convencional es de 10,30 veces aproximadamente; lo que permite verificar el alto punto de resistencia sin aumentar notoriamente el peso.

3.10.2.5 Análisis comparativo de materiales

El análisis comparativo de materiales permite establecer una comparación entre la fibra de carbono utilizada en la construcción de la parte principal del proyecto con la aleación de aluminio 2024 – T3 utilizado actualmente en la aeronave Cessna C-150 para determinar su aplicabilidad.

Tabla 3.16

Análisis comparativo de materiales

FIBRA DE CARBONO	ALEACIÓN DE ALUMINIO 2024 – T3
Propiedades	Propiedades
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada resistencia y rigidez • Alta resistencia a la vibración • Buen comportamiento a la fatiga • Buena conductividad térmica • Buena conductividad eléctrica • Bajo coeficiente de dilatación térmica • Resistencia a altas temperaturas • Elevada resistencia química a ácidos y disolventes. • No se ven afectados por el agua de mar • Duración prolongada 	<ul style="list-style-type: none"> • Adecuada resistencia • Baja densidad • Fácil de trabajar y reparar • Peso reducido en comparación al acero • En su composición destaca la presencia del Cu (Cobre) que le proporciona dureza. • Excelente comportamiento en el acabado superficial. • Difícil soldabilidad • Susceptible a la corrosión • Uso limitado por temperatura

Si se reemplaza la aleación de aluminio 2024 - T3 utilizada actualmente en el revestimiento o piel de aeronave Cessna C-150 por la fibra de carbono las propiedades que se tendría en el ala serían mejores, no habrá uso limitado ni riesgos por químicos u otros agentes, resistirá altas temperaturas, se reducirá el peso y la resistencia estructural seguirá siendo buena.

3.11 ESTUDIO ECONÓMICO

El estudio económico se basa en el total de gastos realizados en la etapa de construcción del proyecto.

Tabla 3.17

Gastos de Materiales

CANTIDAD	DESIGNACIÓN	PRECIO/ UNIDAD	\$
2	Poliestireno Expandido (espuma flex)	5,5	11
13	Madera balsa	1,1	14,3
2	Madera de eucalipto	0,5	1
1	Pegamento UHU	44	44
1	Pegamento cola blanca	2,5	2,5
5	Fibra de Carbono	130	650
1	Resina Epoxi/endurecedor	54	54
2	Servos HI TEC	22	44
1	"Y" de extensión	12	12
2	Cuernos y seguros	1	2
1	Funda de tornillos	1,6	1,6
1	Rollo de papel forrante	15	15
1	Soporte del ala	20	20
TOTAL \$			871,40

Tabla 3.18

Gastos de equipos y herramientas de alquiler

CANTIDAD	DESIGNACIÓN	COSTO \$
1	Cortador de EPS	5
1	Avión de aeromodelismo	50
1	Equipo de soporte del avión	20
1	Bomba de vacío	20
1	Plástico recubridor	2,5
2	Tela peelply/Tela adicional	5
2	Plástico poroso	5
2	Tela breather	5
1	Bolsa de vacío	5
1	Vac – tape y Pressure - tape	5
1	Balanza digital	5
1	Manómetro	5
-	Herramientas de trabajo	10
TOTAL \$		142,50

Tabla 3.19

Gastos Secundarios

Orden	DESIGNACIÓN	COSTO \$
1	Internet	25
2	Impresiones, anillados y empastado	60
4	Alimentación y transporte	300
6	Varios	40
TOTAL \$		425


Tabla 3.20 Total de Gastos


REFERENCIA	GASTOS	TOTAL \$
Tabla 3.17	Materiales	871,40
Tabla 3.18	Equipos y herramientas de alquiler	142,50
Tabla 3.19	Secundarios	425
TOTAL DE GASTOS \$		1438,90

3.12 DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

Ver tablas en la siguiente página:

	MANUAL DE OPERACIÓN	Pág. : 1 de 4
	CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS	Código: MOP-01
	ELABORADO POR: LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME	Revisión. 01
	APROBADO POR: TLGO. DGAC ALEJANDRO PROAÑO	Fecha: 30/06/14
<p>1. OBJETIVO</p> <p>Establecer los procedimientos de operación para construir un ala en fibra de carbono.</p> <p>2. ALCANCE</p> <p>El presente manual de operaciones está dirigido para docentes y estudiantes que realizan prácticas en la Unidad de Gestión de Tecnologías de la UFA – ESPE.</p> <p>3. MATERIALES A UTILIZARSE DURANTE LA PRÁCTICA</p> <p>Para evitar riesgos y accidentes al momento de realizar las prácticas, es importante el uso de equipos de protección personal como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Overol • Mascarilla • Guantes (de preferencia impermeables) • Gafas • Zapatos punta de acero o zapatos antideslizantes 		

	MANUAL DE OPERACIÓN	Pág. : 2 de 4
	CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS	Código: MOP-01
	ELABORADO POR: LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME	Revisión. 01
	APROBADO POR: TLGO. DGAC ALEJANDRO PROAÑO	Fecha: 30/06/14
<p>Materiales a utilizarse en la construcción del núcleo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Instrumentos de medición y trazado. • Poliestireno Expandido EPS(espuma flex) • Madera balsa y madera de eucalipto • Pegamento UHU y pegamento cola blanca • Papel forrante <p>Materiales a utilizarse en la construcción de la parte exterior:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fibra de Carbono • Papel suave • Alcohol polivinílico • Resina Epoxi/endurecedor • Plástico recubridor – recipientes – brocha-espátula y removedor. • Tela Peel ply • Plástico poroso • Tela Breather • Bolsa de Vacío • Bomba de vacío – manómetro – balanza digital • Vac-Tape y Pressure- tape 		


	MANUAL DE OPERACIÓN	Pág. : 3 de 4
	CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS	Código: MOP-01
	ELABORADO POR: LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME	Revisión. 01
	APROBADO POR: TLGO. DGAC ALEJANDRO PROAÑO	Fecha: 30/06/14

4. PROCEDIMIENTOS

Pasos para la construcción del núcleo del ala


Para construir el núcleo del ala se debe seguir los siguientes pasos:

- Establecer las medidas y dimensiones en la plancha de poliestireno expandido con un instrumento de medición (flexómetro).
- Trazar las medidas con un lápiz/esfero.
- Seleccionar el perfil alar.
- Cortar el poliestireno expandido (espuma flex).
- Unir las partes que se encuentran separadas con pegamento (UHU).
- Dejar secarlo uniformemente.
- Lijar la superficie y aplicar la madera balsa como material de refuerzo (usar pegamento cola blanca).
- Colocar dos trozos pequeños de eucalipto en la parte central del ala.
- Comprobar la sustentación del ala.
- Verificar errores.
- Colocar los componentes adicionales en el ala (servos etc.)
- Cubrir con papel forrante.
- Finalizada la comprobación de sustentación, quitar el papel forrante.

	MANUAL DE OPERACIÓN	Pág. : 4 de 4
	CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS	Código: MOP-01
	ELABORADO POR: LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME	Revisión. 01
	APROBADO POR: TLGO. DGAC ALEJANDRO PROAÑO	Fecha: 30/06/14

Pasos para laminación de fibra de carbono

- Preparar el lugar de trabajo y colocar un plástico recubridor.
- Preparar la mezcla de resina/endurecedor (proceso de gelado), importante utilizar varios recipientes y un removedor.
- Colocar la bolsa de vacío abierta en la parte inferior del ala.
- Limpiar el núcleo con papel suave y aplicar el alcohol polivinílico PVA
- Colocar la mezcla de resina/endurecedor sobre la fibra aplicando las técnicas de moldeo por contacto a mano.
- Si se aplica varias capas de fibra de carbono ver la orientación.
- Unir la fibra de carbono con el núcleo y sacar los excesos de resina. con una brocha y espátula.
- Iniciar el proceso de curado, aplicar la tela Peel ply.
- Aplicar la tela porosa y la tela breather.
- Sellar la bolsa de vacío con la Vac - tape y la Pressure – tape.
- Colocar la válvula de desconexión rápida de la bomba de vacío.
- Remover el aire y burbujas atrapadas en el interior.
- Verificar que la depresión del manómetro se encuentre entre -15 PSI y -20 PSI, si el valor disminuye dejarlo conectado por tres horas.
- Dejar en reposo por 24 horas y remover las telas y la bolsa de vacío.

	MANUAL DE MANTENIMIENTO	Pág. : 1 de 2
	CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS	Código: LMC-03
	ELABORADO POR: LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME	Revisión. 01
	APROBADO POR: TLGO. DGAC ALEJANDRO PROAÑO	Fecha: 30/06/14

1. OBJETIVO

Establecer los procesos de mantenimiento del ala construida en fibra de carbono.

2. ALCANCE

Mantener el ala en buenas condiciones para uso de instrucción en el laboratorio de materiales compuestos.


3. CONCEPTOS BÁSICOS

Limpieza: se define como la acción de eliminar suciedad, microorganismos, humedad u otro agente perjudicial.

Mantenimiento: se define como la acción de mantener un equipo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.

4. MATERIALES A UTILIZARSE DURANTE EL MANTENIMIENTO

- Usar equipos de protección personal (EPP) como: overol, mascarilla, gafas, guantes de látex y calzado adecuado
- Usar materiales como: franela, waipe, tela o papel suave, lija fina, desarmadores.

	MANUAL DE MANTENIMIENTO	Pág. : 2 de 2
	CONSTRUCCIÓN DE UN ALA EN FIBRA DE CARBONO DE LA AERONAVE CESSNA C-150 A ESCALA 1:6 PARA LOS ESTUDIANTES DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS	Código: LMC-03
	ELABORADO POR: LUIS MIGUEL CARRILLO JÁCOME	Revisión. 01
	APROBADO POR: TLGO. DGAC ALEJANDRO PROAÑO	Fecha: 30/06/14
<p>MANTENIMIENTO TRIMESTRAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar por condición que no haya daños estructurales. • Limpieza por acumulación de polvo en el equipo. <p>MANTENIMIENTO SEMESTRAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verificar las condiciones de las planchas de EPS (espuma flex). • Chequear el funcionamiento de la balanza de mano. • Comprobar el funcionamiento de los accesorios que se encuentran en el ala tales como: servos, “y” de extensión, cuernos y varillas metálicas. <p>MANTENIMIENTO ANUAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reemplazar los tornillos del soporte, si se encuentran rotos o deteriorados. • Inspeccionar la base del soporte. • Lijar con una lija fina los hilos que se encuentran levantados o desprendidos en la estructura del ala. • Chequear que los cuatro bloques de 4,25 kg. no se encuentren rotos. 		

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La investigación de campo realizada a técnicos en mantenimiento sección estructuras de aeronaves se hizo necesaria para poder establecer las consideraciones de diseño, la factibilidad y los parámetros de construcción del ala en fibra de carbono.

- El análisis de datos y la interpretación de resultados que se obtuvo durante la investigación de campo permitieron tener una idea acertada en la elección, cantidad, uso y aplicación tanto de materiales, herramientas, equipos y accesorios empleados en la construcción del proyecto.

- La construcción del prototipo de ala en fibra de carbono fue desarrollada de manera secuencial partiendo desde el análisis de medidas y dimensiones a escala de maqueta, utilizando poliestireno expandido (espuma flex) y balsa como materiales para obtener un núcleo ligero, resistente y flexible, finalizando con la aplicación del componente principal la fibra de carbono para darle alta resistencia estructural sin exceder en su peso.

- Las pruebas sustentación aportan al funcionamiento del ala para que pueda ser utilizada en cualquier aeronave de aeromodelismo que comparta características similares de vuelo, mientras que; la resistencia estructural, el análisis comparativo alar y el análisis comparativo de materiales, permiten establecer las ventajas y beneficios que se obtiene al utilizar la fibra de carbono junto con otros materiales en el ala.

4.2 Recomendaciones

- Es importante que los laboratorios de Mecánica de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la UFA-ESPE cuenten con partes de aeronaves construidas a partir de materiales compuestos para mejorar el aprendizaje tanto de docentes como estudiantes.
- La fibra de carbono es un material que está siendo utilizado hoy en día en las aeronaves, como tecnólogos de aviación debemos conocer principalmente su uso y modo de aplicación, por lo que sería necesario que la UGT cuente con el apoyo de las autoridades y de la sección de Logística para iniciar con la implementación de este tipo de fibra.
- Cuando se vaya a realizar demostraciones de sustentación en una aeronave de aeromodelismo utilizar únicamente el tipo de aeronave que comparta características similares, a su vez cuando se realicen pruebas de resistencia estructural del ala colocar únicamente las cargas establecidas para evitar cualquier tipo de rotura o daño.
- Al momento de realizar prácticas específicamente con materiales compuestos, es bien importante usar de manera adecuada los equipos de protección personal teniendo en cuenta que este tipo de fibras puede causar graves enfermedades como cáncer, esterilidad etc.

GLOSARIO

Sistema de unidades: Es el conjunto de unidades convenientemente relacionadas entre sí que se utilizan para medir o comparar diversas magnitudes como longitud, peso, volumen. El sistema utilizado es el sistema internacional.

Espuma Flex: Es el nombre que comúnmente se le da al Poliestireno expandido o EPS, material muy reconocido en Ecuador por sus buenas propiedades.

Copolímero: Es una macromolécula compuesta por dos o más unidades repetitivas distintas, que se pueden unir de diferentes formas por medio de enlaces químicos.

Pre-expandido: es el proceso de fabricación del EPS cuando la materia prima (millones de pequeñas esferas que semejan "perlas") se calienta con vapor de agua, en unos equipos denominados pre-expansores, a una temperatura entre 80° y 100° C. La densidad del material disminuye drásticamente y durante este proceso las "perlas" compactas de materia prima se convierten en "perlas" de plástico celular con una estructura interior de pequeñas celdillas rellenas de aire.

Coefficiente de dilatación térmica: El coeficiente de dilatación es el cociente que mide el cambio relativo de longitud o volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o un fluido dentro de un recipiente cambia de temperatura provocando una dilatación térmica. Así, los sólidos normalmente se expanden al calentarse y se contraen al enfriarse

Carga ciclica: Se conoce como carga ciclica a la aplicación de cargas repetidas en un material o componente, esto quiere decir que su valor cambia en el tiempo, es decir cargas dinámica cíclica. La excepción a esta

condición está en el hecho de que, si el componente está trabajando en un ambiente corrosivo, la falla por fatiga se produce bajo condiciones estáticas.

Cohesión: Unión entre las moléculas de la matriz con una fuerza de atracción que las mantiene unidas. Las fuerzas de cohesión son máximas en los sólidos, mucho más débiles en los líquidos y casi nulas en los gases.

Polimerización: Proceso químico por el cual mediante el calor, la luz u otro agente se unen varias moléculas de un compuesto para formar una cadena de múltiples eslabones de estas y obtener una macromolécula.

Contracción: Disminución de la cantidad o el tamaño de un material o componente.

Pot - life: Traducido como tiempo de vida. Hace referencia a la mezcla de resina/endurecedor, el tiempo que dura la mezcla una vez realizada y durante el cual todavía es utilizable manteniendo todas sus propiedades.

Resistencia específica a la tracción: Es el esfuerzo interno que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo o alargarlo.

Características dieléctricas: Características principalmente del kevlar por ser mal conductor de electricidad, por lo que puede ser utilizado como aislante eléctrico. En sí, todos los materiales dieléctricos son aislantes.

Coefficiente de dilatación negativo: Los materiales con un coeficiente de dilatación negativo, aumenta de tamaño al disminuir la temperatura y disminuyen de tamaño al aumentar la temperatura.

BIBLIOGRAFÍA

- PILOT'S OPERATING HANDBOOK, CESSNA 1977,150 CONMUTER, ESPECIFICACIONES, WICHITA- KANSAS- USA.
- DGAC–RDAC 001 – Definiciones y Abreviaturas (<http://www.aviacioncivil.gob.ec/>)
- CASTELLANO Paul, Publicaciones, Formularios y Registros de Mantenimiento, 2010, Latacunga – Ecuador.
- BESEDNJAK Alejandro, Materiales Compuestos, Ediciones UPC, Primera Edición, 2005, Barcelona – España.
- AREAL Rogelio & AREAL Antonio, An Introduction to Composite Materials, Editorial Reverté, 1997- 2003, España.
- STUPENENGO Franco, Materiales y Materias Primas, Capítulo 10, Colección Encuentro Inet, 2011, Buenos Aires – Argentina.
- Documento publicado por David Bueno & Daniel Bravo- Ciencia de los Materiales- Fibra de Carbono.
- Documento CARMAS COMPOSITIES, Como Laminar Fibra de Carbono con Resina Epoxi, 2007, Argentina.
- Revista: Fibra de Carbono, Presente y futuro de un material revolucionario, por Carolina Llano Uribe Periodista, Metal Actual.

NETGRAFÍA

- <http://aerospace.illinois.edu/m-selig/ads/aircraft.html> (en línea)
- <http://tienda-afine.com/manual-modelismo/escalas-modelismo.html> (en línea)
- <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/>(en línea)
- <http://www.airfoiltools.com> (en línea)
- <http://www.hagaloustedmismo.cl/>(en línea)
- <http://www.bricotodo.com/lijar.htm> (en línea)
- <http://www.carmas.com.ar/blogg.html> (en línea)
- <http://www.vuototecnica.es/> (en línea)
- <http://www.ips.gob.cl/transparencia/portal/Documentos/elementosproteccionpersonal> (en línea)
- <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com> (en línea)
- <http://www.fibradecarbono.es/guias/como-piezas-carbono/>(en línea)
- <http://www.carbonconcrete.es/HTLM/es/Material%20Compuesto.html> (en línea)
- <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22641-3142.pdf> (en línea)
- <http://www.sandglasspatrol.com/IIGM-12oclockhigh/Materiales%20Aeronauticos.htm> (en línea)
- http://www.moldesymatrices.com/ThyssenKrupp_aluminio.htm(en línea)

HOJA DE VIDA

DATOS PERSONALES

APELLIDOS: CARRILLO JÁCOME

NOMBRES: LUIS MIGUEL

NACIONALIDAD: Ecuatoriana

ESTADO CIVIL: Soltero

FECHA DE NACIMIENTO: 03 de Noviembre de 1992

CÉDULA DE CIUDADANÍA: 180489614-8

TELÉFONOS: 032874989 - 0995323999

CORREO ELECTRÓNICO: carrillomiguel81@yahoo.es

DIRECCIÓN: Píllaro – Marcos Espinel



ESTUDIOS REALIZADOS

[2004] [Educación Primaria] [Escuela “Manuel del Carmen Pachano”] [Píllaro]

[2010] [Título de Bachiller Físico Matemático] [Colegio Nacional “Jorge Álvarez”] [Píllaro]

[2013] [Suficiencia en el Idioma Inglés] [Latacunga]

[2013] [Título de Conductor Profesional][“Sindicato de Choferes Profesionales”] [Píllaro]

[2014] [Tecnología en Mecánica Aeronáutica-Aviones] [Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE] [Latacunga]

PRÁCTICAS PRE-PROFESIONALES

[Febrero 2012 - Marzo 2012] [Ala de Combate Nº 23] [Fuerza Aérea Ecuatoriana - Manta] [Esc. A-29 B Avión Súper Tucano]

[Julio 2012 –Agosto 2012] [Escuela de Aviación Pastaza] [Shell] [Aviones: Cessna C-150, Cessna A-150, Piper Cumanche, Cessna 172]

[Febrero2013 - Marzo 2013] [Pasantías - Latacunga] [Avión Escuela]

[Julio 2013 – Agosto 2013] [CID – FAE] [Ambato] [UAV’s: Gavilán y Fénix]

HOJA DE LEGALIZACIÓN DE FIRMAS

**DEL CONTENIDO DE LA PRESENTE INVESTIGACIÓN SE
RESPONSABILIZA EL AUTOR**

Luis Miguel Carrillo Jácome

**DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

Ing. Lucía Guerrero.

Directora del Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Latacunga, Agosto 07 del 2014

CESIÓN DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Yo, Luis Miguel Carrillo Jácome, Egresado de la carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Aviones, en el año 2013, con Cédula de ciudadanía N°180489614-8

Declaro que:

El proyecto denominado “Construcción de un ala en fibra de carbono de la aeronave Cessna C-150 a escala 1:6 para los estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías”, ha sido desarrollado en base a una investigación científica exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan a la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la institución, del trabajo”

Luis Miguel Carrillo Jácome

Latacunga, Agosto 07 del 2014