

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR AERONÁUTICO

CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA

**CONSTRUCCIÓN DE UNA MAQUETA DIDÁCICA DEL ALA DE
AVIÓN DE BAJO PERFORMANCE (PILATUS PORTER), CON
MATERIALES COMPUESTOS PARA LA ESCUELA TÉCNICA DE
AVIACIÓN DEL EJÉRCITO**

POR:

CBOS. DE AE. GUZMÁN TOASA JESÚS JAIME

Proyecto de grado presentado como requisito para la obtención del

Título de:

TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA

2005

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Sr. CBOS. A. E. GUZMÁN TOASA JESÚS JAIME como requerimiento parcial a la obtención del título de **TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA.**

Mayo Ing. Naranjo Fernando

DIRECTOR DEL PROYECTO

Latacunga, Marzo 2005

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado a todas las personas que me han ayudado a seguir adelante a pesar de las circunstancias que se han presentado, a la Noble y Altiva Institución Aviación del Ejército y exclusivamente al personal de Técnicos que trabajan en los hangares de mantenimiento, por cuanto hemos pasado los mismos inconvenientes.

A mis padres, por fraguarme con ideales y con bases para integrarme a la sociedad como un hombre de verdad y bien.

A mi esposa la cual ha sido el soporte fundamental en mi estabilidad emocional, ya que su apoyo peremne, ha sido el incentivo moral para mi éxito personal y profesional, porque solo la armonía familiar brinda el ambiente propicio para la superación y entrega.

Al Sr. Mayo Ing. Naranjo Fernando quien en su acertada dirección y conocimientos profesionales ha hecho posible que este proyecto se haya logrado culminar con éxito.

CBOS. A.E. GUZMÁN TOASA JESÚS JAIME

AGRADECIMIENTO

Primeramente quiero agradecer a Dios por haberme dado esa luz de sabiduría y en especial a mis queridos padres y hermanos quienes en forma desinteresada contribuyeron para culminar exitosamente este proyecto.

Mi agradecimiento al Instituto Tecnológico Superior Aeronáutico y especial a los profesores que supieron impartirnos sus conocimientos y experiencias haciéndonos excelentes profesionales.

Al Comando de la Brigada Aérea de Aviación del Ejército, que por su valioso aporte permite la formación tecnológica de su personal.

CBOS. A.E. GUZMÁN TOASA JESÚS JAIME

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen.....	1
Introducción.....	2
Justificación.....	3
Objetivos.....	4
Alcance.....	5

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Materiales compuestos

1.1. Introducción	6
1.2. Concepto	7
1.3. Breve reseña.....	8
1.4. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos.....	11
1.4.1. Ventajas.....	11
1.4.2. Desventajas.....	12
1.5. Tipos de materiales de fibras reforzadas.....	12
1.5.1. Fibra de vidrio.....	13
1.5.2. Fibra de Kevlar o arámido.....	13
1.5.3. Fibra de carbono.....	14
1.5.4. Fibra de boro.....	15
1.5.5. Fibra de cerámica.....	16
1.5.6. Fibra de glare.....	16
1.6. Compuesto de matrix de metal.....	17
1.7. Plástico reforzados de fibra de vidrio.....	18

1.7.1. Características del plástico reforzado de fibra de vidrio (PRFV)....	19
1.8. Productos fabricados.....	20
1.8. Partes de la fibra estructural.....	22
2. Resinas	
2.1. Concepto.....	24
2.2. Tipos de resinas.....	24
2.3. Adhesivos.....	27
2.4. Tipos de almas en materiales compuestos.....	28
3. Superficies sustentadoras	
3.1. Alas.....	32
3.2. Componentes estructurales.....	34
3.3. Superficies de mando o control.....	38
3.3.1. Alerones.....	39
3.3.2. Flap del ala principal.....	39
3.3.2.1. Tipos de flaps del borde salida.....	40
3.4. Datos técnicos y descripción.....	41
3.4.1. Generalidades.....	41
3.4.2. Fuselaje.....	42
3.4.3. Ala.....	42
3.4.4. Unidad de cola.....	43
3.4.5. Controles de vuelo.....	44
3.4.6. Construcción del ala.....	44
3.4.7. Unión de las alas.....	45

CAPÍTULO II
ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

2.1. Identificación de alternativas.....	46
2.1.1. Descripción de las alternativa.....	46
2.2. Análisis de factibilidad.....	48
2.3. Estudio de parámetros.....	50
2.3.1. Factor técnico.....	51
2.3.2. Factor económico.....	51
2.3.3. Aspecto complementario.....	52
2.4. Selección de la mejor alternativa.....	54

CAPÍTULO III
CONSTRUCCIÓN

3.1. Selección optativa de construcción.....	55
3.2. Proceso de construcción.....	56
3.3. Diagramas de proceso	58
3.4. Tiempo de construcción	60
3.5. Construcción de costillas.....	61
3.5.1. Aluminio puro.....	61
3.5.2. Materiales compuestos.....	63
3.6. Construcción de largueros y larguerillos.....	66
3.7. Construcción del revestimiento.....	67
3.8. Construcción de las superficies de control.....	68
3.9. Proceso de pintado.....	69
3.10. Construcción del soporte.....	69

CAPÍTULO IV

MANUAL DE MANTENIMIENTO

4.1. Manual de mantenimiento.....	75
4.1.1. Manual de mantenimiento procedimiento.....	76
4.1.2. Manual de reparación.....	78
4.1.3. Guía practica.....	80
Hojas de registro.....	81

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO

5. Gastos.....	84
5.1. Presupuesto.....	84
5.2. Análisis económico y financiero.....	84

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.....	89
6.2. Recomendaciones.....	90
Bibliografía.....	91
Anexos.....	92

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1.1. Sección del material compuesto.....	07
Figura 1.2. Direcciones de la parte estructural de la fibra.....	23
Figura 1.3. Kit de componentes de las resinas.....	25
Figura 1.4. Forma básica del panel de abejas.....	29

Figura 1.5. Modelos de alas aeronáuticas.....	33
Figura 1.6. Componentes estructurales del ala izquierda.....	37
Figura 1.7. Partes de las superficies de control del ala derecha.....	38
Figura 1.8. Tipos de flaps.....	41
Figura 2.1. Maqueta construida con materiales de fibras de kevlar, carbono y resinas especiales.....	47
Figura 2.2. Maqueta construida en fibra de vidrio.....	48
Figura 3.1. Alternativa de construcción.....	55
Figura 3.2. Costillas terminadas en diferentes materiales.....	61
Figura 3.3. Fabricación de las costillas en aluminio puro.....	62
Figura 3.4. Rayado y cortado de las fibras.....	64
Figura 3.5. Molde y secado de la costilla de materiales compuestos.....	64
Figura 3.6. Costilla terminada en materiales compuestos.....	65
Figura 3.7. Unión de las costillas, largueros y larguerillos.....	70
Figura 3.8. Construcción del revestimiento.....	71
Figura 3.9. Construcción y unión del alerón y flaps.....	72
Figura 3.10. Acabado de la maqueta didáctica del ala.....	73
Figura 3.11. Soporte de la maqueta.....	74

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1.1. Muestra de propiedades mecánicas de diversas fibras.....	10
Tabla 1.2. Medidas del panal de abejas.....	29
Tabla 2.1. Matriz de evaluación.....	52
Tabla 2.2. Matriz de decisión.....	53
Tabla 3.1. Máquina - Herramientas utilizadas.....	56

Tabla 3.2. Simbología.....	57
Tabla 3.3. Tiempo de manufacturado de la maqueta.....	60
Tabla 3.4. Materiales utilizados en la costillas.....	66
Tabla 3.5. Herramientas utilizadas en la construcción de costillas.....	66
Tabla 3.6. Material utilizado en largueros y larguerillos.....	67
Tabla 3.7. Herramientas utilizadas.....	67
Tabla 3.8. Material utilizado en el revestimiento.....	68
Tabla 3.9. Materiales utilizados en las superficies de control.....	68
Tabla 5.1. Lista de costo de materiales.....	85
Tabla 5.2. Materiales fungibles.....	86
Tabla 5.3. Costo de mano de obra.....	87
Tabla 5.4. Otros.....	87
Tabla 5.5 Costo total.....	88

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo fundamental la construcción de una maqueta del ala de avión Pilatus Porter, a partir de materiales compuestos utilizados en el campo aeronáutico.

El documento inicia con el análisis de cómo seleccionar el tipo de aeronave y que materiales compuestos son utilizados en la elaboración del ala.

La construcción de la maqueta fue llevada a cabo utilizando diferentes materiales, los convencionales representados por las fibras y, los no convencionales representados por sustancias químicas conocidas como resinas o matrix, en el campo de la aviación, mismas que luego de combinarse y ser curadas, adquieren características mecánicas propicias para este proyecto.

Finalmente con el trabajo investigativo se pretende demostrar la utilidad práctica que tienen en el campo de la aviación las fibras y las resinas, a través de la elaboración de la maqueta, la cual puede ser utilizada como material de apoyo en la formación de los futuros técnicos de la institución.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes

Desde la aparición de la aeronáutica en el siglo XX, las industrias aeronáuticas han investigando cada vez nuevos elementos que permitan construir una aeronave con alto performance y bajo peso; por tal motivo, en la actualidad se han reemplazado las aleaciones del metal por materiales compuestos los cuales ha demostrado obtener excelentes características mecánicas.

En el país también se realizan trabajos de investigación y desarrollo tecnológico y es así como, el Ala de Investigación y Desarrollo No. 12 FAE, ubicado en la ciudad de Latacunga, prepara a su personal técnico para llevar a cabo proyectos acordes al avance tecnológico, lo cual permite ser más competitivos.

Actualmente la Escuela Técnica de Aviación del Ejército, presenta graves inconvenientes para la formación de los futuros técnicos en estructuras aeronáuticas, siendo esto una dificultad en proceso de enseñanza - aprendizaje, motivo por el cual he considerado construir la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter.

Justificación

Las diferentes industrias aeroespaciales han empleado aeronaves ha escala con el fin de obtener un aprendizaje cada vez más eficiente, por lo que la ejecución del presente proyecto suplirá estos requerimientos de proceso enseñanza - aprendizaje, específicamente a los técnicos de mantenimiento en estructuras aeronáuticas de la Escuela Técnica de Aviación del Ejército, de esta manera estaremos acordes con el avance tecnológico.

La realización de este trabajo investigativo permite obtener una experiencia productiva, debido a que se puede poner en práctica todos los conocimientos adquiridos durante el período de formación, cumpliendo de esta manera el objetivo básico del estudio, que es la asimilación de conocimientos y aplicación de estos en la vida diaria.

Objetivos

Objetivo general

Construir una maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter con materiales compuestos para la Escuela Técnica de Aviación del Ejército.

Objetivos específicos

- Investigar los diferentes tipos de materiales compuestos.
- Analizar y seleccionar el tipo de material compuesto en la construcción de la maqueta.
- Facilitar que la maqueta didáctica permita observar los elementos que actúan en el ala y material compuesto.
- Realizar planos del ala y superficies de vuelo para la construcción de la maqueta y elaborar manuales de mantenimiento.

Alcance

El desarrollo del presente proyecto esta encaminado a fortalecer el conocimiento del personal de alumnos de la Escuela Técnica de Aviación del Ejército, en el área de estructuras de aviación y específicamente en materiales compuestos, preparándolos de una manera acorde a la tecnología actual para que tengan un desempeño eficiente en sus tareas diarias. Esta maqueta, será la pionera que motive a los futuros alumnos ha realizar construcciones de elementos o componentes más avanzados que irán en beneficio de la institución y comunidad en general.

El desarrollo de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter construido con materiales compuesto tendrá el siguiente alcance.

1. Recopilación de información.
2. Análisis de alternativas para la mejor selección del material a construir.
3. Construcción de la maqueta didáctica utilizando materiales compuestos.
4. Elaboración de manuales de mantenimiento.
5. Elaboración de planos del ala.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. MATERIALES COMPUESTOS

1.1. Breve introducción

En general, se entiende por material compuesto a aquel que está formado por fibras rectas y largas situadas en el interior de una matrix que mantiene a las fibras unidas y distribuye los esfuerzos. Las fibras soportan la mayor parte de las cargas mientras que la matrix se responsabiliza de la tolerancia al daño (golpes) y del comportamiento a fatiga.

Una fibra es en realidad una multitud de fibras, por lo tanto, lo que se ve a simple vista se llama bundle o yarn. Un bundle pueden tener desde 3.103 a 12.103 fibras. Las fibras ofrecen sus mejores propiedades cuando trabajan en la dirección de la fibra, es decir, que en un caso ideal deberían alinearse las direcciones de las fibras con la dirección de la fuerza exterior.

Las fibras se sitúan en capas o láminas superpuestas en la dirección del espesor obteniendo estructuras que se llaman laminados. Las láminas nunca se superponen con la misma orientación (como se observa la figura 1.1).

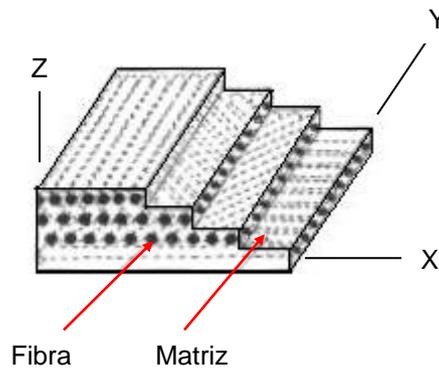


Fig. 1.1. Sección del material compuesto, formado por fibras de alta resistencia mecánica embebidas en una matriz de naturaleza plástica o metálica.

Usando las mismas fibras y matriz o resinas y variando de secuencia o apilado y orientación se pueden conseguir infinitos comportamientos, radicalmente diferentes en resistencia, rigidez, tolerancia al daño, estabilidad dimensional o delaminación.

1.2. Concepto

Los materiales compuestos se definen de manera general, a los materiales estructurales que están contruidos ó "compuestos" por elementos químicamente dispares.

En el lenguaje común actual, los materiales compuestos son aquellos en los que las fibras de unas sustancias están incorporadas en una matriz de otra sustancia, habitualmente un plástico, para crear un material con propiedades mecánicas especiales.

Comúnmente, también se designa a estos materiales como plásticos de fibra reforzada, pero esta expresión es algo incierta por cuanto hace pensar que el material fundamental es el plástico y que las fibras son elementos accesorios. En realidad son las fibras las que casi siempre soportan la carga de los elementos y las matrices plásticas sirven únicamente para estabilizarlas y repartir las cargas entre las fibras. En los materiales compuestos sintéticos modernos, tanto la fuerza tensora como la compresión las soporta el “refuerzo” fibroso.

1.3. Breve reseña

Las fibras de alto rendimiento son algo nuevas en el mundo de los materiales estructurales. Fueron descubiertas en los años 60 por ingenieros electrónicos que trataban de encontrar la causa de misteriosos cortocircuitos en los primeros dispositivos basándose en semiconductores. La causa resultó ser finos filamentos de estaño que aparecían entre capas aislantes. Estos filamentos tenían una estructura cristalina pura muy regular y ofrecían una resistencia mecánica excepcional.

Dicha resistencia, de hecho, se aproximaba a los límites teóricos previstos según sus estructuras atómicas, algo imposible con las muestras ordinarias de metal laminado, fundido o extruído, debido a la amplia distribución de fallas en la estructura cristalina del material en bruto. La elevada relación de rigidez a masa sigue siendo de los atractivos principales de las fibras utilizadas como materiales estructurales. Uno de los primeros materiales de fibra continua de módulo elevado

que se utilizaron en aplicaciones estructurales fue el boro; las fibras de boro, no obstante, eran difíciles de fabricar y trabajar, y lo que podía dar lugar a un desarrollo extraordinario de aplicaciones compuestas avanzadas, tuvieron que esperar la aparición de las fibras de carbono y kevlar a escala comercial principios de los años 70.

Hoy día, debido a su comparativa facilidad y economía de fabricación, las fibras de carbono y arámido son los elementos preferidos para el diseño y fabricación de estructuras compuestas perfeccionadas.

Las fibras a base de carbono se producen hilando fibras de un “precursor” sintético, habitualmente un material emparentado con el rayón. Llamado poliacrilonitrilo, o simplemente PAN y calentándolas luego y extendiéndolas en una atmósfera sin oxígeno para convertir las cadenas de carbono / hidrógeno / oxígeno del material original en moléculas de carbono puro orientadas en alta proporción.

El arámido, un filamento orgánico que proviene de una clase de derivados del petróleo llamados polímeros intratables, se utilizan en estructuras compuestas, como en las fibras de “Kevlar” o en el “Nomex”, de papel y estructura alveolar. (Tanto “Kevlar” como “Nomex” son marcas registradas de la Compañía E. I. Dupont.). Los materiales laminados de carbono y resina epoxídica tienen resistencia a la tracción que sobrepasan las de la mayoría de las aleaciones de acero utilizadas en las aeronaves.

Cada uno de estos materiales sirve para una aplicación especial. A veces las mezclas de fibra de carbono y kevlar (o de carbono y vidrio) se utilizan combinadas en un tejido único o pliegues alternativos de material laminados.

Los materiales compuestos exhiben una resistencia mecánica similar al acero, pero son un 75% más ligeros. Tiene tres veces la resistencia mecánica de las aleaciones del aluminio y son un 25% más ligeros. Así, pues, estos materiales ofrecen la posibilidad de disminuir el peso estructural del avión, y con ello el consumo de combustible.

Tabla 1.1. Muestra las propiedades mecánicas de diversas fibras de empleo en materiales compuestos.

Material	Modulo de Elasticidad (kg/mm²)	Peso especifico (g/cm³)
Fibra de Boro	24.558	2,05
Fibra de Carbono	21.093	1,60
Fibra de Kevlar 49	7.038	1,38
Fibra de Vidrio	4.386	1,57

En aeronáutica, los materiales compuestos aportan cinco propiedades que permiten distinguirlos de manera positiva de los materiales tradicionales:

- Aumentan la vida útil gracias a una buena resistencia a la fatiga.
- Presenta alta resistencia a la corrosión.

- Aumenta la resistencia a elevadas temperaturas.
- Simplifican el diseño gracias a la posibilidad de la integración de función y de la obtención de formas complejas.
- Son muy livianos.

1.4. Ventajas y desventajas de los materiales compuestos

1.4.1. Ventajas

- Para ciertas aplicaciones las excelentes características mecánicas como la alta rigidez específica, la buena estabilidad dimensional, la tolerancia a alta temperaturas.
- Estos materiales superan las aleaciones metálicas en resistencia, rigidez y fatiga, además son de menor peso y lo más importante son prácticamente inmunes a la corrosión. Por consiguiente están sustituyendo a los metales tradicionales en muchas aplicaciones en aeronaves, tanto civiles como militares.
- Para muchas fibras basadas en materiales compuestos, se ha comprobado que soportan, sin llegar a romperse, cuando la relación entre su longitud y su diámetro es de 100:1
- Reduce el tiempo de reparación, tomando en cuenta al reparar un daño en material de aluminio.
- Facilita el pesaje con la ayuda de una balanza digital.
- No distorsiona la forma del material al momento de ser construida.

1.4.2. Desventajas

- Normalmente se debe comprar en grandes cantidades de rollos e ingredientes completos.
- Deben ser almacenados en bodegas frías o congelador
- La desventaja más clara de los materiales compuestos es el precio. Las características de los materiales y de los procesos encarecen mucho el producto.
- Entre las desventajas que presentan los materiales compuestos es que sufren de una mayor degradación debido a los rayos ultravioletas (UV) y al calor, este caso se presenta mayoritariamente en aquellos materiales que son fabricados con espumas y fibra de vidrio.
- Es más expansivo que los materiales crudos.
- Su fragilidad y su escasa resistencia al impacto.

1.5. Tipos de materiales de fibras reforzadas.

Cuando se combinan con una matriz o resina, con las fibras utilizando un molde de madera o metal, las fibras reforzadas son las que dan la fuerza primaria a la estructura compuesta. Existen diferentes tipos de fibras reforzadas, cada material en particular proporcionan ventajas especiales, dependiendo del tipo de fibra, tipo de matrix, y tipo de alma que se formen.

1.5.1. Fibra de Vidrio

Como su nombre lo indica la fibra de vidrio se hacen de las cuerdas delgadísimas de vidrio de sílice fundido y tejido en tela. Se lo emplea con los más nuevos tipos de matriz y se da el uso apropiado en aplicaciones compuestas avanzadas que hoy dependen del peso y tejido (ver en la Pág. 23).

En el campo aeronáutico las aplicaciones de la fibra de vidrio son muy variadas; debido a su bajo costo y su demostrada resistencia es muy utilizado en la fabricación de superficies aerodinámicas menores, tapas de inspección, componente de cabina de pasajeros y sobre todo para cascos de tripulación de aviones militares (debido al color blanco que lo caracteriza, desvía los rayos del sol hacia fuera de la cabeza del piloto).

1.5.2. Fibra de Kevlar o Arámido

Una fibra de arámido normalmente se caracteriza por su peso y ligero color amarillo, fuerza excelente, tensión, flexibilidad notable, y es cinco veces más resistente que el acero en condiciones de igualdad de peso. Arámido es el nombre dado a las fibras de Polymida Aromática.

Kevlar, es una de las marcas de fabrica registrada por la Compañía Dupont que son las más conocidas en la fabricación de arámido.

Los materiales también tienen su desventaja, pueden causar problemas cuando se corta o taladra el kevlar puede ser un problema cuando la broca del taladro muerde trozos de fibras, lo hala o tira hasta el punto de romperla.

Es una fibra que tiene estabilidad y resistencia térmica a altas temperaturas. Sus propiedades de tracción son superiores a las fibras textiles normales debido a un alto grado de orientación molecular resultante de sus moléculas lineales rígidas. Se utiliza ampliamente en los materiales compuestos más ligeros que los que se basan en fibra de carbono.

Su rigidez se sitúa entre el acero y aluminio. La fibra de arámido tiene aproximadamente la misma resistencia a la tracción que las fibras comunes a base de carbono, una rigidez ligeramente inferior y una resistencia de compresión netamente inferior, pero es excepcionalmente fuerte; es el material que se fabrican los chalecos antibalas y por su extraordinaria resistencia a la fractura se puede utilizar perfectamente en los materiales laminados.

1.5.3. Fibra de Carbono

Esta fibra es de color negro y presenta alta fortaleza de tensión. Es muy rígido y de liviano peso. De este material se derivan varios componentes estructurales tales como: costillas, superficies de piel, etc.; el carbono y el grafito tienen el problema de ser corrosivos cuando están en contacto con el aluminio.

Las fibras de carbono pueden ser fabricadas en base a dos componentes químicos diferentes conocidos como:

- PITCH (brea)
- PAN (fibras de Poliacrilonitrilo)

Las fibras basadas en PITCH poseen propiedades mecánicas inferiores y por esto son muy poco utilizadas en aplicaciones estructurales críticas. Las fibras basadas en PAN (poliacrilonitrilo) se encuentran en continuo desarrollo y son usadas en materiales compuestos para construir piezas livianas pero de gran resistencia.

1.5.4. Fibra de Boro

Es un material altamente resistente a las tensiones y vibraciones sin embargo la principal característica de este es su rigidez. Por esta razón se utiliza en la fabricación de superficies de control de aviones supersónicos como el F – 16 o el Hornet.

Las fibras de boro son obtenidas mediante un proceso químico de deposición por vapor por el cual el boro es depositado en filamento delgado de tungsteno para de esta forma reforzar las telas. Entonces esto resulta fibras de 4mm de diámetro, la fuerza del compuesto es excelente por su rigidez, que es comúnmente dura.

Pese a sus demostradas ventajas el uso de este material es reducido pues los materiales químicos que lo forman (tungsteno y boro) al romperse o lijarse emana un polvo muy fino que al entrar en el organismo del usuario pueden causar irritación de la piel y de las vías respiratorias e incluso causa cáncer.

1.5.5. Fibra de Cerámica

Se usan fibras de cerámica donde se requiere una aplicación de alta temperatura. Este tipo de compuesto retendrá la fuerza y flexibilidad a temperaturas arriba de 2200 °F, este especial compuesto es resistente al calor y dispersa el mismo. Cuando un manual de reparación estructural especifica el uso del tipo de fibra este es dado por un número que usted tiene que indicar el peso, tipo de tejido, solo por una orden de referencia.

1.5.6. Glare

Este material consiste en una combinación de aluminio con centro de fibra de vidrio. Presenta características muy similares a las de la fibra de vidrio excepto que el aluminio lo vuelve menos moldeable; por esta razón se evita su utilización en estructuras aerodinámicas con formas complicadas.

El glare es un tipo específico de lámina de metal y fibra. El nuevo A-380 Jumbo Jet de Airbus tendrá un uso extenso de Glare en el fuselaje.

1.6. Compuesto de matrix de metal

El material de una matrix no siempre tiene que ser de plástico o de resina el metal que puede ser usado es el aluminio, titanio, o podría ser de acero, etc. Los compuestos de una matrix de metal todavía están en la fase experimental y normalmente no se encuentran en partes estructurales en este momento.

Sin embargo varias compañías están haciendo investigaciones en compuestos de matrix de metal y se verán estructuras de matriz de metal probablemente en un futuro cercano.

Estos compuestos de matrices metálicos pueden unirse con hebras de material compuesto para juntarlas con laminas de aluminio, también pueden remacharse o soldarse al igual que el aluminio y obtener más fuerza que con el aluminio tradicional, si trabajamos en dirección de las fibras, se puede comparar con laminas de aluminio 2024 – T6, por su misma fuerza, aunque el compuesto es casi la mitad del peso y con la tercera parte del espesor de la lamina de aluminio.

Este compuesto se forma cuando se corta fibras o cuerdas de fibra mixta con el metal fundido y la mezcla, que forman entonces las fibras dan refuerzo

extra al metal y prestan esta fuerza sin agregar peso, las fibras pueden disipar calor más rápidamente y pueden dar más flexibilidad.

1.7. Plástico reforzado de fibra de vidrio (PRFV)

Las cualidades por las cuales se emplea el PRFV en la construcción de tubos de tanques y otros equipos son su gran resistencia a la corrosión y su comportamiento mecánico puesto que el material es altamente dieléctrico esta excepto de corrosión electroquímica.

No obstante lo atacan ciertos solventes y productos químicos que destruyen los enlaces en la macro molécula (polímero termo estable) debiéndose pues tener esto en cuenta al emplearse el material en contacto con algunas sustancias químicas. Las fibras de vidrio confieren a la resina plástica grandes propiedades elásticas obteniéndose así un material que cumple perfectamente la ley de Hooke en todo el rango de esfuerzo sin presentar fluencia, si no directamente rotura. Existen otras características del material que se enuncia a continuación:

- Bajo peso específico.
- Buena estabilidad dimensional: por pulgada cuadrada.
- Resistencia direccional.

Básicamente, el PRFV es la combinación de una estructura resistente de fibra de vidrio con un material plástico que actúa como aglomerado, el resultado

es un conjunto de materiales con un amplio rango de posibilidad tecnológica y económicas.

El refuerzo de fibra de vidrio provee al compuesto propiedades de material elástico aumentando notablemente su resistencia mecánica, estabilidad dimensional y resistencia al calor. La resina plástica aporta: resistencia química, dieléctrica y excelente comportamiento a la intemperie del medio ambiente.

1.7.1. Características del plástico reforzado de fibra de vidrio (PRFV)

- **Físicas**

Los plásticos reforzados son un material flexible pero a su vez, muy resistente mecánicamente. Sometido a un esfuerzo de tracción, se deforma proporcionalmente, es decir, que cumple con la ley de Hooke, con la particularidad de que la rotura se produce sin presentar fluencia previa. Su peso específico (1.8 kg/dm^3) es mucho menor que el de los materiales tradicionales, lo que hace que el PRFV posea una alta resistencia específica.

- **Hidráulicas**

Los tanques accesorios y muy principalmente los caños en PRFV llevan un acabado superficial interno con terminación espejo y sección perfectamente circular, debido a que estos se moldean sobre matrices de una sola pieza.

Debido a sus propiedades anticorrosivas y que no son atacadas por ningún tipo de microorganismo y que es difícil la adición de incrustaciones en su superficies, los caños no aumentan su rugosidad y la sección interna no disminuye, aún en largos periodos de tiempo. Con lo antedicho se logra una gran economía en la elección del área de flujo con respecto a los materiales tradicionales, lo que adquiere gran importancia en caños de grandes diámetros.

- **Químicas**

El PRFV es inerte a una gran cantidad de compuestos, la inherencia química esta influenciada por la temperatura, el tipo de resina usada y la concentración del producto agresivo. La elección de la resina correcta surgirá de un estudio de las condiciones, tipo de fluido y de las tablas de resistencia química que proveen los fabricantes.

El PRFV resiste perfectamente la corrosión de los suelos más agresivos y al ser un material dieléctrico esta excluido de los casos de corrosión electroquímica.

1.8. Productos fabricados

La incorporación al mercado de los nuevos materiales como los compuestos en fibras de carbono abren un abanico de posibilidades incalculables allí donde se necesite una resistencia excepcional, flexibilidad y un bajo peso tales como la industria aeroespacial, aviación, náutica, automovilística, etc.

Las características especiales de la fibra de carbono hacen que ofrezca una resistencia y flexibilidad parecidas a las del acero pero con un peso inferior al aluminio.

Actualmente se puede fabricar cualquier pieza en fibra de vidrio y fibra de carbono, de cualquier tamaño y forma, garantizando la máxima calidad del producto acabado. Las piezas que se pueden fabricar comprenden desde piezas de acabado simple hasta elementos estructurales de alta resistencia y complejidad.

La fabricación de piezas son para las industrias Aeroespacial, Aviación Comercial, Aviación Deportiva, Automovilismo. Las excelentes propiedades que posee la fibra de carbono, flexibilidad, dureza, resistencia estructural, bajo peso, inalterabilidad, elementos que las hacen especialmente útiles en la industria aeronáutica y en los vehículos (motocicletas y automóviles de alta competencia).

Las pruebas de carga a las que se ha sometido a algunos elementos estructurales de aviones que se han fabricado con estos materiales a revelado que las resistencias obtenidas superan con creces las mejores expectativas.

Si comparamos la resistencia de un larguero de aluminio con otro de fibra de carbono de similares características se puede observar que con un menor peso, el fabricado en fibra supera ampliamente en resultados al de aluminio.

1.7. Partes de la fibra estructural

La colocación de fibras selectivas son para dar la mayor resistencia a esfuerzos en varios componentes es conocida como ciencia de fibra (como se observa la figura 1.2.). La resistencia y rigidez de un compuesto dependen de la orientación que recorren las fibras.

- **Ciencia de la fibra.** Es la posición de las fibras para producir una fuerza mayor para una tensión específica.
- **La urdimbre.** Los hilos que se encuentran en toda la longitud del tejido o cuando se cae la saeta se le designa como cero grados (0°).
- **La trama (Hartura).** Los hilos que corren perpendicular a las fibras de la urdimbre se los designan como de noventa grados (90°).
- **El prejuicio.** Esta en un ángulo de cuarenta y cinco grados (45°) a los hilos de la urdimbre.

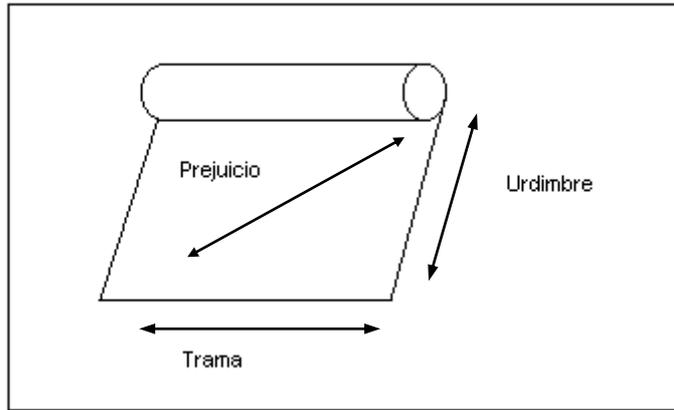
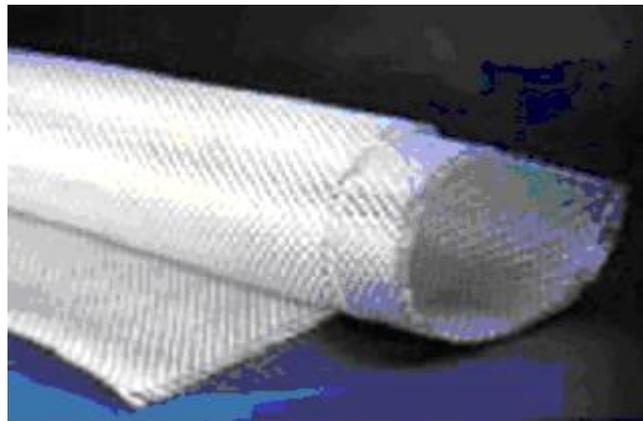


Fig.1.2. Se describe las direcciones de la parte estructural de la fibra.



Fibra de vidrio

2. RESINAS

2.1. Concepto

Las más comúnmente empleadas son los poliésteres. Las mismas resultan de combinar ácidos polibásicos (saturado o insaturado) con glicoles de los distintos compuestos usados y de las diferentes proporciones entre ellas surgen diferentes tipos de resinas. En esta primera etapa, son sólidas y para conferirles sus propiedades de polimerización se debe disolver en un monómero (generalmente estireno) obteniéndose un líquido espeso.

Las resinas pasan del estado líquido al sólido, por copolimerización, con el aporte de un iniciador activo (catalizador) en combinación con otro producto químico (acelerador) y/o el aporte del calor.

2.2. Tipos de resinas

Las principales resinas termo rígidas son las de poliéster. Los poliéster pasan del estado líquido al estado sólido por copolimerización de la resina y de un monómero que han sido mezclados. Esta polimerización que provoca el endurecimiento que se efectúa por un iniciador activo (catalizador) en combinación con otro producto químico (acelerador) y/o por aporte del calor. Esta reacción de polimerización provoca una elevación de temperatura al material químico combinado al momento de excederse los límites emitidos por el fabricante.

Las resinas mayormente empleadas en la construcción de equipos resistentes a la corrosión son de poliéster no saturadas, pudiendo elegirse un poliéster Isoftálico o bisfenólico. También existen otras resinas como son las vinilíéster y las epoxies.

Es fundamental para un seguro y económico funcionamiento del equipo la adecuada elección de la resina como se observa la figura 1.3. Esto requiere un conocimiento del comportamiento de las mismas frente a los productos químicos y de las características físico mecánica del material. La mayoría de los fabricantes de resinas advierten en los envases de las mismas, los productos con los cuales pueden ser combinados y con cuales no.



Fig. No. 1.3. Kit de componentes de las resinas

La función de las resinas es la de unir las fibras y proteger el material del contacto con el agua, combustible y demás sustancias que pudiera ser perjudiciales para el material.

La cantidad de resina a ser utilizada en cada material compuesto dependerá de las propiedades requeridas y de las recomendaciones del fabricante. Usualmente debe pesar y calcular la cantidad de resina a ser utilizada

respecto al tipo y cantidad de fibra que será impregnada con la misma. Es recomendado no utilizar demasiada resina pues debido a sus características el exceso de esta puede volver frágil al material.

- **Resina de poliéster no saturado**

Se clasifican en resinas de poliéster isoftálico y poliéster bisfenólico, son fáciles de impregnar sobre todo en la fibra de vidrio. Poseen alta resistencia a la compresión, resistencia térmica, mecánica y química.

- **Resinas de poliéster Isoftálico**

Son resinas de poliéster insaturado de altas cualidades formuladas especialmente para estructuras marinas con excelentes propiedades de curado a temperatura ambiente y conservación de las propiedades mecánicas incluso a temperatura elevada. Posee alta resistencia mecánica y química. Provee excepcional adherencia y excelente resistencia al impacto, la corrosión y el agua.

- **Resina de poliéster bisfenólico**

Son resinas termoestables producidas por la condensación de un alcohol aromático con un aldehído, particularmente fenol con formaldehído. Tienen mayor resistencia mecánica y química que las de poliéster Isoftálico.

- **Resinas de viniliéster**

Poseen buenas cualidades mecánicas y excelente resistencia a la fatiga. Buena adhesión sobre las fibras de refuerzo, resistencia a la corrosión y a la temperatura.

2.3. Adhesivos

Algunas resinas se constituyen en láminas por que estos son generalmente más delgados y pueden trabajarse en las fibras.

Los que se usan generalmente para unir fibras, son conocidos como adhesivos por que se los mezcla en partes iguales, los adhesivos existen en muchas marcas y pueden comprarse en envases individuales que se pesan y se mezclan juntos.

Una de las formas de aplicar el adhesivo es en una forma de película delgada, la cual puede aplicarse con otro compuesto que tiene resina y catalizador premezclado.

Se requiere la refrigeración de las películas adhesivas cuando la temperatura del cuarto aumenta, en el congelador la velocidad del proceso de curado se reduce y las películas aplicadas tienen una vida más larga.

Se usan películas adhesivas en muchas ocasiones cuando se coloca un parche en áreas de reparación.

Otro tipo de los adhesivos es el espumado que se usan para empalmar reemplazos de los segmentos apanalados con el material apanalado existente.

2.4. Tipos de almas en materiales compuestos

El alma de un material compuesto es el miembro central del mismo. Este componente es de bajo peso y alta fortaleza. Puede aumentar significativamente el volumen de una pieza estructural con un aumento mínimo de peso.

Existen tres tipos básicos de almas:

- Panal de abejas (honeycomb)
 - Espumas o foams
 - Madera
-
- **Panal de abejas (honeycomb)**

Es conocido como panal de abejas debido a la forma estructural que posee. Su apariencia se debe a la unión de un número infinito de hexágonos cuyas medidas se muestran en la tabla 1.2.

Cada hexágono es una estructura muy firme, resistente y que no puede ser aplastada fácilmente, como se observa en la figura 1.4.

Las estructuras de honeycomb se pueden construir en una variedad de materiales como el aluminio, papel, nomex.

Tabla 1.2 Centros de panal de abejas

No.	Dimensiones	Celda
1	1/8"	Tamaño de la celda
2	3/16"	Tamaño de la celda
3	1/4"	Tamaño de la celda
4	3/8"	Tamaño de la celda

Un balance conveniente entre fuerza, resistencia y peso alcanzado con este tipo de materiales celulares, los hace muy atractivos para diferentes tipos de aplicaciones en la industria aeronáutica y aeroespacial.

La industria aeronáutica utiliza los honeycomb para obtener productos más livianos con mejores propiedades mecánicas y menor peso.

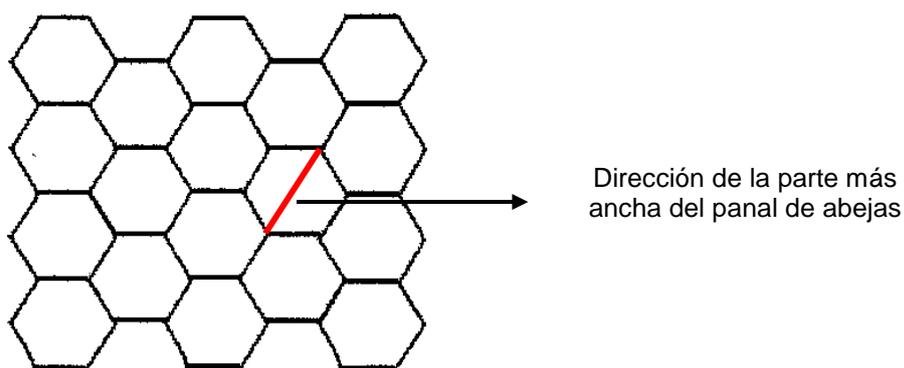


Fig. 1.4. Forma básica de un Honeycomb

Al igual que los honeycomb las espumas sirven de relleno o alma del material y se clasifican de la siguiente manera:

- **Styrofoam**

Es una espuma de poli estireno moldeada al calor. Es resistente al agua, tiene altos valores de aislamiento y es muy resistente a la compresión.

- **Uretano**

Es un material formado a base de una serie de Polímeros (cadenas entrelazadas de moléculas) cuyo componente básico es el grupo URETANO (formado por Carbono, Nitrógeno, Oxígeno e Hidrogeno).

Se caracteriza por poseer muy buena elasticidad lo que permite lograr una gran variedad de productos con los que se fabrican componentes de aeronaves con óptimas propiedades mecánicas, según lo requiera cada aplicación específica.

Posee altísima resistencia a la abrasión, excepcional absorción de impactos, excelente resistencia al corte y desgarre, es liviano y flexible, resistente a la corrosión y peso muy reducido.

- **Poli vinyl Clorato (PVC)**

Es un material termoplástico compuesto de polímeros de vinyl clorato. Es ampliamente utilizado para coberturas de cables y para equipo de protección personal.

- **Strux**

El strux es un sellante muy utilizado en la construcción y reparación de materiales compuestos que son curados a temperaturas de 400 °F. Es de color gris claro y se cura después de 23 horas de haber sido aplicado. Provee buena resistencia a los esfuerzos. Se adhiere con mucha fuerza, tiene la propiedad de expandirse dentro de los poros del material.

- **Madera**

La madera de balsa es ampliamente usada en combinación con fibras para producir materiales compuestos debido a que presenta alta resistencia al esfuerzo de tensión y gran elasticidad además de peso reducido.

3. SUPERFICIES SUSTENTADORAS

3.1. Alas

Los aviones pueden llevar dos, tres o cuatro alas con las que consiguen sustentación con una estructura más fuertes. La estructura de un ala consiste en un armazón de largueros y costillas características cubierto por planchas metálicas unidas y sujetas al mismo por remaches u otros medios. Los largueros y costillas se extienden desde el fuselaje hasta la punta del plano. Las costillas van perpendiculares a ellos y dan al ala su forma exterior. El tamaño y forma de las alas varía mucho con los requerimientos aerodinámicos. Las características fundamentales son:

- a) La *superficie*, factor que influye en la fuerza de sustentación.
- b) El *perfil*, sección transversal del ala; se llama *cuerda* a la recta que une la parte delantera o *borde de ataque*, con la trasera, o *borde de salida*; la parte superior se denomina *extradós*, y la inferior *intrados*.
- c) *Forma en planta*, que es de varios tipos: rectangular, trapezoidal, triangular o en flecha (para aviones supersónicos).

La sustentación se origina por diferencia de presiones entre la superficie superior e inferior del ala. Al aumentar el ángulo de ataque (formado por las direcciones del avión y del fluido), se produce en la parte superior del ala un estrechamiento de las líneas de corriente, lo que, según Bernouilli, representa un aumento de velocidad del fluido y una disminución de presión. La presión de debajo del ala continua siendo atmosférica, lo cual da una fuerza resultante

vertical hacia arriba que sostiene al avión. No obstante para ángulos de ataque grandes la corriente se separa de la superficie superior del ala, con un decrecimiento brusco de la sustentación, condición que se denomina *entrada en pérdida*. El piloto puede variar en vuelo las características del ala mediante ciertos dispositivos auxiliares móviles colocados en ella.

En el borde de ataque se sitúan las aletas de ranura, destinadas a aumentar la sustentación en las fases de despegue y de aterrizaje de la aeronave. En el borde de salida, además de incorporarse los deflectores a fin de incrementar la sustentación, se sitúan también partes móviles para el gobierno del aeroplano (aleros timones de profundidad, etc.). A fin de limitar la velocidad del avión en vuelo en picada, o disminuirla durante el aterrizaje, se puede instalar una aleta disruptora encima del ala o bien un freno aerodinámico por debajo de ella.

Actualmente existen aeroplanos con ala en flecha variable durante el vuelo, para adaptarlo a las distintas velocidades de régimen como se puede observar la figura 1.5.

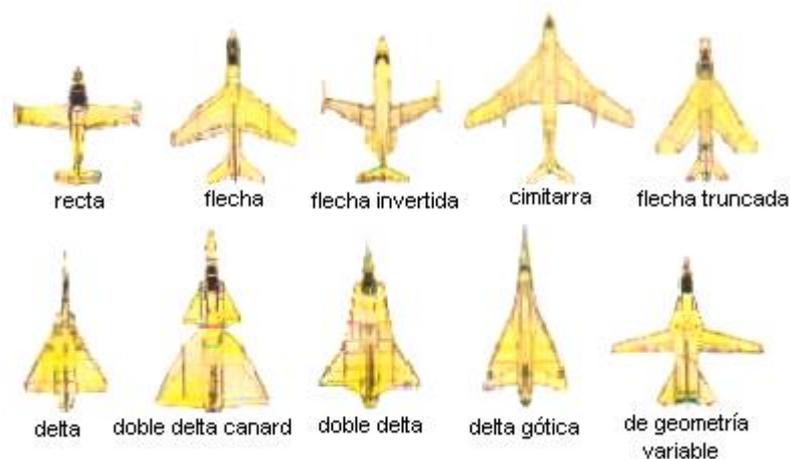


Fig. 1.5. Diferentes modelos de alas aeronáuticas

3.2. Componentes estructurales

La estructura interna del ala está constituida por largueros, larguerillos y costillas (como se observa la figura 1.6.).

- **Largueros**

Miembros estructurales principales del ala, es el componente que soporta las cargas principales en vuelo y tierra. Los largueros se extienden a lo largo del ala, se extienden en dirección paralela al eje longitudinal. Los largueros son las vigas del ala, la sección recta de estas vigas suelen tener la forma de "I". El material de construcción es de aleación de aluminio de muy alta resistencia.

Los largueros están unidos al fuselaje generalmente por:

Herrajes de ala

Vigas sencillas

Sistema de armazón

- **Costillas**

Las costillas son piezas transversales que forman la estructura del ala, le dan forma al ala y transfieren el peso del revestimiento a las vigas. Con el revestimiento inferior del ala ya instalado, las costillas pueden ser de dos tipos de construcción: de chapa o mecanizadas.

Las primeras, como su nombre indica, están hechas de chapa y se emplean en aviones ligeros donde el espesor de la chapa requerido no es muy grande. Las costillas mecanizadas se fabrican en máquinas-herramientas a partir de grandes planchas de material, las costillas mecanizadas se emplean en aviones de mayor peso y características, como es el caso de los aviones comerciales.

Para estos fines la resistencia mecánica que debe tener la costilla no permite el empleo de chapa sino de plancha de ocho o más centímetros de espesor, según los casos. Con frecuencia, tanto en largueros como en las costillas de chapa se abren grandes agujeros (vaciados) con un doble propósito: a) aliviar peso, ya que el material que permanece es suficiente para soportar las cargas; b) Facilita el paso de cables, cañerías hidráulicas, combustibles que exista comunicación entre paneles, además aportan mayor rigidez al componente debido a los bordes de los agujeros.

Las costillas se encargan de:

- Mantener perfil aerodinámico
- Introducir cargas aerodinámicas
- Distribuir cargas concentradas
- Distribuir cargas desde revestimiento hasta largueros
- Distribuyen esfuerzos pandeo de larguerillos y revestimiento

- **Larguerillos**

Los larguerillos le proporcionan una fuerza adicional a la estructura del ala y suministran el espacio en donde se sujetará el revestimiento. Estos miembros se sitúan en sentido longitudinal, a través de las costillas como se refleja en la figura 1.6. Los larguerillos proporcionan asimismo la superficie necesaria para unir con remaches la chapa de revestimiento del ala.

- **Caja del ala**

El primer larguero del ala está situado aproximadamente entre el 25 y 30 por ciento de la cuerda del ala, El segundo, que frecuentemente es el último, está situado alrededor del 70 por ciento de la citada cuerda.

Si se tiene en cuenta que sobre los largueros se coloca el revestimiento metálico resulta que se forma una estructura en forma de “caja”, este volumen se llama caja del ala (*wing box*) y normalmente suele alojar los depósitos integrales de combustible.

La caja del ala es un conjunto estructural integral que aporta una ventaja fundamental respecto a otros posibles tipos de construcción: a igual de resistencia mecánica frente a las cargas en vuelo es el conjunto más ligero. Además, su empleo como depósito de combustible resulta la solución idónea desde diversos puntos de vista.

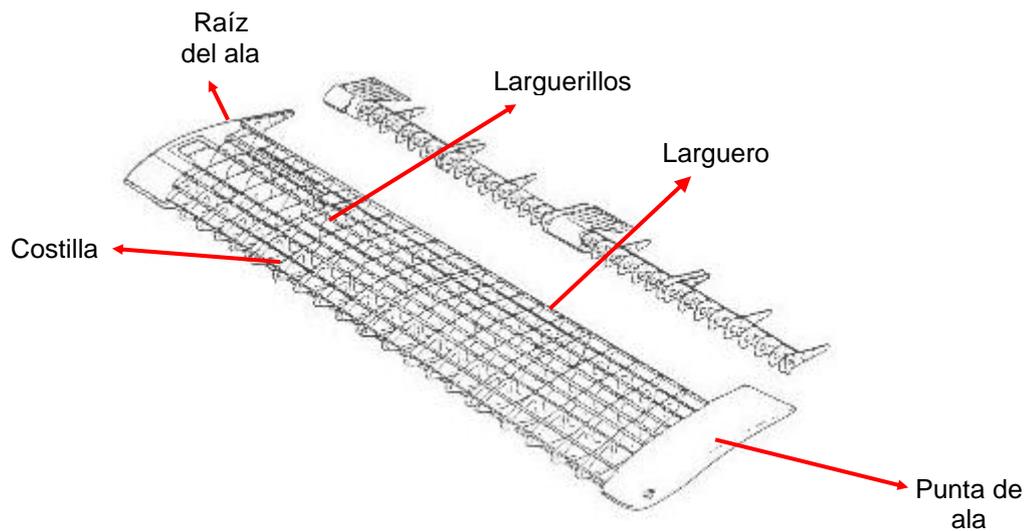


Fig. 1.6. Componentes estructurales del ala izquierda.

- **Revestimiento**

El revestimiento es una cubierta lisa exterior de avión, que cubre unidades estructurales principales, como:

- Alas
- Barquillas
- Fuselaje
- Superficies de control, etc.

Por lo general son de aleaciones de aluminio en láminas, con tratamiento anticorrosivo, pueden ser también de magnesio y acero inoxidable, forma una superficie impermeable para soportar:

- Presiones dinámicas
- Momentos flectores
- Cargas axiales
- Momentos torsores

El espesor difiere de acuerdo a cargas, tensiones (externas e internas).

Nota: Con el avance tecnológico en la aeronáutica han sido remplazadas las aleaciones de metal por los materiales compuestos, donde se ha comprobado que estos superan ciertas características mecánicas del metal.

3.3. Superficies de mando o control

Además de que un avión vuele, es necesario que este vuelo se efectúe bajo control del piloto; que el avión se mueva respondiendo a sus órdenes (como se observa la figura 1.7. controles del ala y superficie de mando).

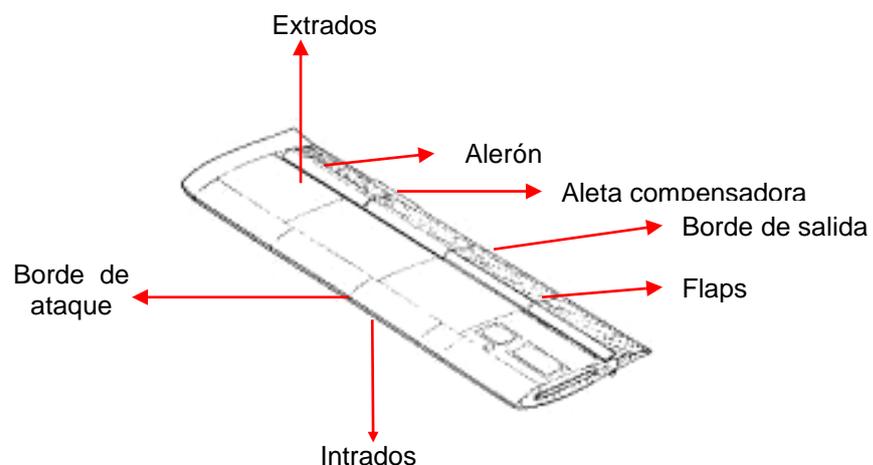


Fig. 1.7. Partes de las superficies de control del ala derecha

3.3.1. Alerones

Palabra de origen latino que significa "ala pequeña", son unas superficies móviles, situadas en la parte posterior del extremo de cada ala, cuyo accionamiento provoca el movimiento de alabeo del avión sobre su eje longitudinal. Su ubicación en el extremo del ala se debe a que en esta parte es mayor el par de fuerza ejercido. El piloto acciona los alerones girando el volante de control a la izquierda o la derecha, o en algunos aviones moviendo la palanca de mando a la izquierda o la derecha. Los alerones tienen un movimiento asimétrico.

3.3.2. Flaps del ala principal

Los flaps son dispositivos hipersustentadores, cuya función es la de aumentar la sustentación del avión cuando este vuela a velocidades inferiores a aquellas para las cuales se ha diseñado el ala. Situados en la parte interior trasera de las alas, se deflecan hacia abajo de forma simétrica (ambos a la vez), en uno o más ángulos, con lo cual cambian la curvatura del perfil del ala (más pronunciada en el extradós y menos pronunciada en el intrados), la superficie alar (en algunos tipos de flap) y el ángulo de incidencia, todo lo cual aumenta la sustentación (y también la resistencia).

Se accionan desde la cabina, bien por una palanca, por un sistema eléctrico, o cualquier otro sistema, con varios grados de calaje (10° , 15° , etc..) correspondientes a distintas posiciones de la palanca o interruptor eléctrico, y no

se bajan o suben en todo su calaje de una vez, sino gradualmente. En general, deflexiones de flaps de hasta unos 15° aumentan la sustentación con poca resistencia adicional, pero deflexiones mayores incrementan la resistencia en mayor proporción que la sustentación.

3.3.2.1. Tipos de flaps de borde de salida

- **Sencillo.** Es el más utilizado en aviación ligera. Es una porción de la parte posterior del ala.
- **De intrados.** Situado en la parte inferior del ala (intrados) su efecto es menor dado que solo afecta a la curvatura del intrados.
- **Zap.** Similar al de intrados, al deflectarse se desplaza hacia el extremo del ala, aumentando la superficie del ala además de la curvatura.
- **Fowler.** Idéntico al flap zap, se desplaza totalmente hasta el extremo del ala, aumentando enormemente la curvatura y la superficie alar.
- **Ranurado.** Se distingue de los anteriores, en que al ser deflectado deja una o más ranuras que comunican el intrados y el extradós, produciendo una gran curvatura a la vez que crea una corriente de aire que elimina la resistencia de otros tipos de flaps.
- **Krueger.** Como los anteriores, pero situado en el borde de ataque en vez del borde de salida.

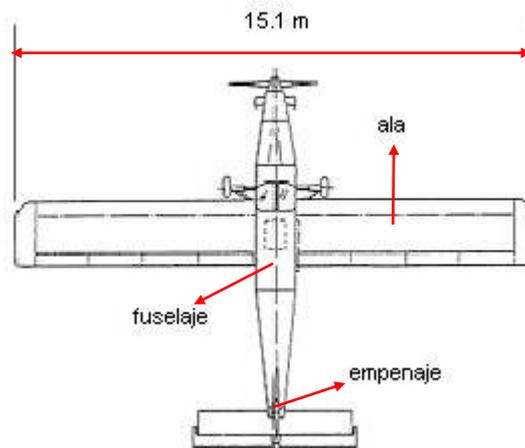
En la figura 1.8. se representan unas posiciones de calaje de los varios tipos de flaps: sencillo, de intrados, flap zap, flap fowler, flap ranurado, flap Krueger, etc.



Fig. 1.8. Tipos de flaps

3.4. Datos técnicos y descripción

Aeronave Pilatus Porter



3.4.1. Generalidades

El modelo PC-6/B2-H2 TURBO POETER es una aeronave en su totalidad de metal. Esta equipada con un motor turbo de tipo UACL PT6A-27, el cambio de dirección de las palas y puesta en marcha hacia atrás da una velocidad constante la hélice HARTZELL.

3.4.2. Fuselaje

Construcción semimonocoque. Tiene larguerillos y formadores. Sección transversal es rectangular, conocido como ala del avión. Puntos de accesorios para el armazón y levantamiento de la rueda delantera.

3.4.3. Ala

- Perfil NACA 64 – 514 envergadura sobre todo es constante.
- Plano Rectangular.
- Envergadura 15.13 m
Incluido luces de navegación.
15.2 m
- Area 28.8 m²
- Carga Máximo 76.4 kg/ m²
- Cuerda 1.9 m
- Aspecto de relación 7.96
- Ángulo de incidencia 2°
- Ángulo diedro 1°

Aletas de aterrizaje

- Construcción Características del cambio del flap, tiene a cada lado del ala, dividido en dos partes.
- Area total 3.76 m²

- Recorrido posición "0" - despegar (28°)
- aterrizaje (38°)

Alerón

- Construcción Igual que el flap de aterrizaje.
- Area total 3.83 m²
- Recorrido 20° hacia arriba, 13.5° hacia abajo.
- Aleta compensadora 13.5° hacia arriba, 20° hacia abajo.

3.4.4. Unidad de cola

Aleta

- Area 1.70 m²

Rudder

- Area 0.96 m²
- Recorrido 30° cada lado.
- Aleta compensadora 6° cada lado.

Estabilizador

- Área 4.03 m²
- Envergadura 4.80 m²
- Recorrido + 2° 10° (lectura en el indicador)
5° nariz abajo.
7° nariz arriba.

Elevador

- Área 2.11 m²
- Recorrido 25° ABAJO 30° ARRIBA
- Aleta compensadora 57° ABAJO 32° ARRIBA

Nota: Todas las superficies de control son equilibradas en tierra.

3.4.5. Controles de vuelo

- Bastón individual de mando y una barra izquierda para el rudder.
- Estabilizador horizontal ajustable por una manivela de mano (opción de control eléctrico).
- Aleta de aterrizaje es operada manual y eléctricamente.
- Rudder de equilibrio operado por palanca de la mano izquierda o derecha.
- Alerón de equilibrio es operado por un manubrio sobre el techo de la cabina
- Bastón y rudder tiene una barra o pasador de seguridad.

3.5. Construcción del ala

En su totalidad la construcción del ala es de metal, y su plano rectangular, además tiene una cuerda constante a lo largo de toda la envergadura. Desde el borde hacia la parte posterior del ala se extiende el tanque integral de combustible, el lado de la popa esta formado por la parte posterior del cajón.

Los larguerillos son de peso ligero y dan refuerzo necesario al revestimiento. Las cargas de torsión son llevadas por celdas paralelas, de las secciones delanteras y posteriores del ala.

Las costillas formadas en láminas de aluminio tratadas térmicamente mantienen la forma de la sección del ala y transmiten las cargas de las aletas compensadoras y alerones hacia el cajón del ala por medio de bisagras. El revestimiento de las alas son cubiertas por láminas de aleación de aluminio. Una aleta ranurada en forma de ángulo recto, esta permanentemente unida al borde de salida de cada ala y unida el borde delantero de las aletas compensadoras.

3.6. Unión de las alas

Las alas están unidas en su raíz al fuselaje por un perno localizado en cada larguero, además está sujeto por puntos correspondientes con la estructura principal en el fuselaje. Un larguero simple se extiende de un montaje que proyecta lo mas bajo de la superficie de cada ala, sujetado en la parte inferior del fuselaje por medio de correas. Los dos largueros llevan las cargas del ala hacia la estructura del fuselaje.

CAPÍTULO II

ESTUDIO DE ALTERNATIVAS

2.1. Identificación de alternativas

Esta alternativa, esta en relación directa con el análisis de los materiales compuestos disponibles que intervienen en la elaboración de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter.

Estas son diseñadas de acuerdo a los siguientes factores:

- Factor técnico
- Factor económico
- Aspecto complementario.

2.1.1. Descripción de la alternativa

El proyecto tiene como base fundamental dos alternativas, donde se seleccionará la mas propicia y material disponible para la elaboración de la maqueta.

Primero, está en relación directa en la utilización de fibras de Kevlar, carbono y resinas especiales de aviación.

Segundo, está en relación directa en la utilización de fibras de vidrio y resinas disponibles.

- **Primera alternativa**

La elaboración de la maqueta didáctica utilizando fibras de kevlar, resinas o matrix especiales de aviación, como se muestra en la figura 2.1. Donde se va a obtener un material compuesto de excelentes características y propiedades mecánicas que superan fácilmente a los metales tradicionales. Ya que se va a realizar por un fabricante de partes de aeronaves en material compuesto.

Para realizar este trabajo es necesario la utilización de maquinas – herramientas especiales y personal calificado.



Fig. 2.1. Muestra la utilización de fibras de kevlar y resinas especiales, para la fabricación de ala real, utilizado maquinaria - herramientas especiales.

- **Segunda alternativa**

La segunda alternativa se refiere a una maqueta de ala basándose en los materiales compuestos como se observa en la figura 2.2., a través de la combinación de tela de vidrio y resinas disponibles. Además es necesario enfatizar la utilización de laminas de aluminio puro para la construcción de costillas, largueros, larguerillos para obtener la resistencia y rigidez necesaria en esta maqueta.



Fig. 2.2. Maqueta construida en fibra de vidrio.

2.2. Análisis de factibilidad

El presente estudio pretende definir cual será la mejor opción de construcción considerando los materiales a ser utilizados y evaluando las ventajas y desventajas que cada una de las alternativas presenta.

- **Primera alternativa**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Estructura sólida y propicia • Menor peso. • Alta resistencia mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil de conseguir el material en el país. • Muy costoso para su construcción. • Se necesita personal calificado. • Se debe tener el área de trabajo adecuado y equipo de protección personal. • No se dispone de maquina – herramienta especiales.

- **Segunda alternativa**

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de construir y reparar. • Liviano • Resistente a la corrosión. • Fácil de reparar • Su forma facilita para la enseñanza en la instrucción académica. • Compatible con otro material de fibra de vidrio. • Costo menor con relación a los materiales anteriores. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se necesita personal calificado para la utilización de estas fibras. • No se necesita maquinaria - herramienta especial para la utilización de estas fibras.

2.3. Estudio de parámetros

Para evaluar cada una de las alternativas propuestas se asigna un cierto valor en cada uno de los parámetros de selección "X", este valor "X" esta comprendido entre un rango de $0 < X \leq 10$.

Los parámetros de selección están en función de las ventajas y desventajas de cada una de las alternativas propuestas y se ha considerado los siguientes factores:

Factor técnico:

- Resistencia del material
- Durabilidad
- Proceso de construcción
- Peso
- Rendimiento

Factor económico:

- Costo de material
- Costo de fabricación

Aspecto complementario:

- Tiempo

2.3.1. Factor técnico

- **Resistencia del material.-** Se refiere a la capacidad del material de absorber fuerzas y cargas a las que será sometida el ala, se tomará en cuenta que es un material didáctico. Este parámetro tiene un valor de 8.
- **Durabilidad.-** Se refiere a la operabilidad del material en un tiempo de vida útil. Este parámetro tiene un valor de 7.
- **Proceso de construcción.-** Facilidad para ser trabajado con maquinas – herramientas disponibles y la operabilidad que tiene el material para ser formada al momento de construir. Este parámetro tiene un valor de 9.
- **Peso.-** El peso es uno de los factores importantes en la construcción de la maqueta didáctica. Este parámetro tiene un valor de 8.
- **Rendimiento.-** Se refiere al producto final, que deberá satisfacer las inquietudes y expectativas de los futuros técnicos en lo que este material didáctico se refiere. Este parámetro tiene una valor de 7.

2.3.2. Factor económico

- **Costo del material.-** El costo del material dependerá básicamente de las medidas del modelo de ala de la aeronave y facilidad del material disponible para su construcción. Este parámetro tiene un valor de 8.
- **Costo de construcción.-** Se refiere a la utilización de herramientas, equipos y maquinas eléctricas, además consideramos las hora/hombre para su fabricación. Este parámetro tiene un valor de 6.

2.3.3. Aspecto complementario

- **Tiempo.-** Se refiere al tiempo requerido para la construcción de la maqueta.

Este parámetro tiene un valor de 7.

Tabla 2.1. Matriz de evaluación

Parámetros de evaluación	(X)	Alternativas	
		1	2
		Construcción en fibras de kevlar y matrix	Construcción en fibras de vidrio y resinas
Resistencia del material	8	5	3
Durabilidad	7	4	3
Proceso de construcción	9	4	5
Peso	8	3	5
Rendimiento	7	3	4
Costo del material	8	3	5
Costo de construcción	6	2	4
Tiempo	7	3	4

Tabla 2.2. Matriz de decisión

Parámetros de evaluación	(X)	Alternativas	
		1(X)	2(X)
		Construcción en fibras de kevlar y matrix	Construcción en fibras de vidrio y resinas
Resistencia del material	8	40	24
Durabilidad	7	28	21
Proceso de construcción	9	36	45
Peso	8	24	40
Rendimiento	7	21	28
Costo del material	8	24	40
Costo de construcción	6	12	24
Tiempo	7	21	28
Total		206	250

2.4. Selección de la mejor alternativa

Luego de analizados los parámetros, de los materiales que intervienen en la elaboración del ala, se llega a una conclusión que se realizara la construcción de la maqueta didáctica del ala avión Pilatus Porter, en tela de vidrio, resinas, debido al material disponible y la facilidad para su construcción. La fabricación se lo realizará con maquinaria - herramientas disponibles en el Taller de Estructuras del Ala de Investigación y Desarrollo N° 12. Además esta maqueta es realizada con fines didácticos, donde se permite visualizar los componentes y elementos que actúan en la superficie de vuelo.

Es necesario informar al lector que el proyecto de construcción está sintetizando los materiales compuestos, pero siempre como soporte de fijación en las costillas, largueros, larguerillos y revestimiento, en la construcción de la maqueta fue necesaria la utilización de láminas de aluminio en cantidades mínimas.

CAPÍTULO III

3. CONSTRUCCIÓN

El presente capítulo esta en relación directa con la parte operativa, en lo cual partiré de la elaboración y ensamblaje utilizando materiales compuestos en la construcción de las partes principales del ala, con el soporte indispensable de las laminas de aluminio, materiales fundamentales para la fabricación del armazón y molde de la misma.

3.1. Selección optativa de construcción

En la elaboración de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter se observa en el siguiente gráfico 3.1. Para la construcción de la maqueta se ha considerado las características originales, perfil NACA 64 – 514; modelo de ala vigente en la fabricación de la aeronave Pilatus Porter.

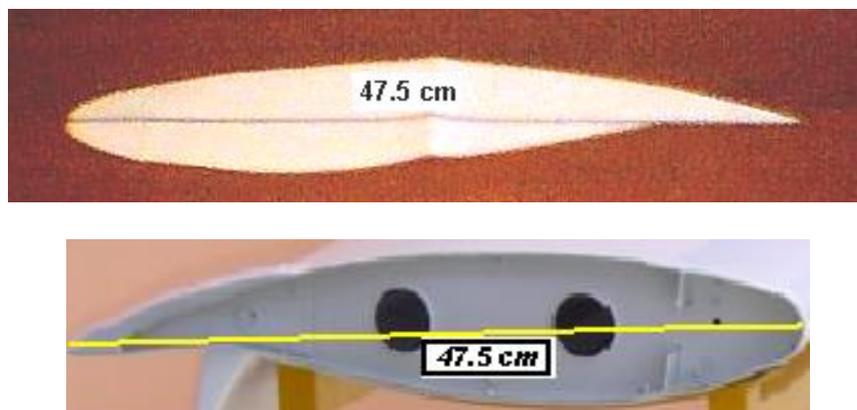


Figura 3.1. Alternativa de construcción de la maqueta

3.2. Proceso de construcción

El orden para la construcción de la maqueta del ala es el siguiente:

1. Estructuras individuales (largueros, larguerillos, costillas y revestimiento)
2. Ensamblaje de los elementos.
3. Aplicación del revestimiento en la estructura del ala.
4. Tapa de inspección.
5. Terminados de la maqueta.

Para obtener las diferentes partes del ala del avión se realizaron en varias máquinas - herramientas existentes, como se demuestra en la tabla 3.1 del taller de Estructuras de Aviones Militares del Ala No. 12 de la FAE, incluyendo la experiencia de los técnicos que asesoran el trabajo de la fabricación de la maqueta didáctica.

Tabla 3.1. Máquinas - Herramientas utilizadas

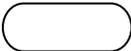
- Maquinas

No.	MÁQUINA	MARCA	CODIGO
1	Sierra circular	PEERLESS	M - 1
2	Guillotina mecánica	TENNSMIT	M - 2
3	Dobladora de cornisa	TENNSMIT	M - 3
4	Compresor neumático	BLUEPOINT	M - 4

- Herramientas

No.	HERRAMIENTA	MARCA	CODIGO
1	Remachadora manual	BLUEPOINT	H - 1
2	Taladro neumático	BLUEPOIN	H - 2
3	Lijadora neumática	CHAMPION	H - 3
4	Pinza de clecos		H - 4
5	Clecos		H - 5
6	Martillo de goma	STANLEY	H - 6
7	Flexometro	STANLEY	H - 7

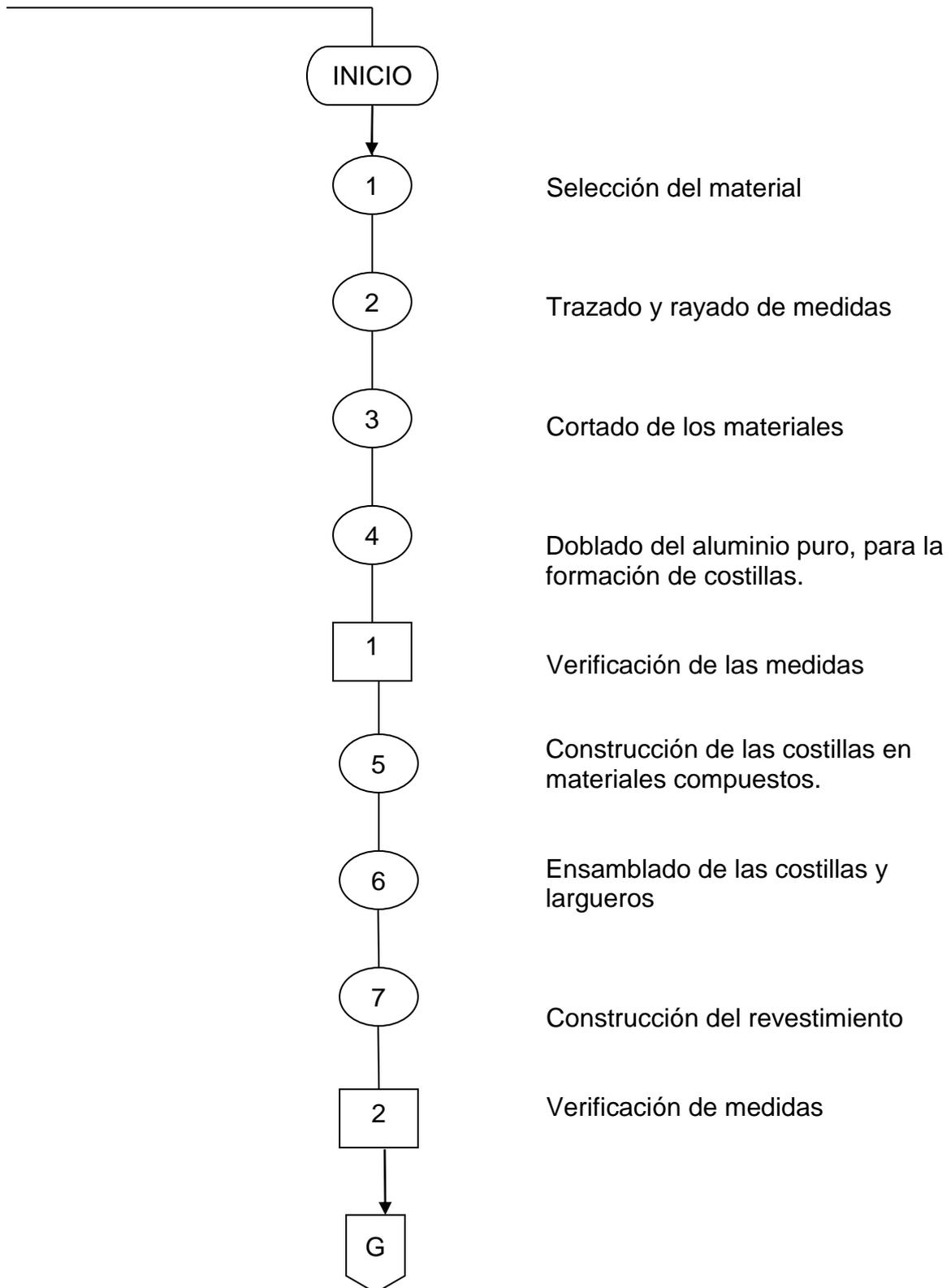
TABLA 3.2. SIMBOLOGÍA

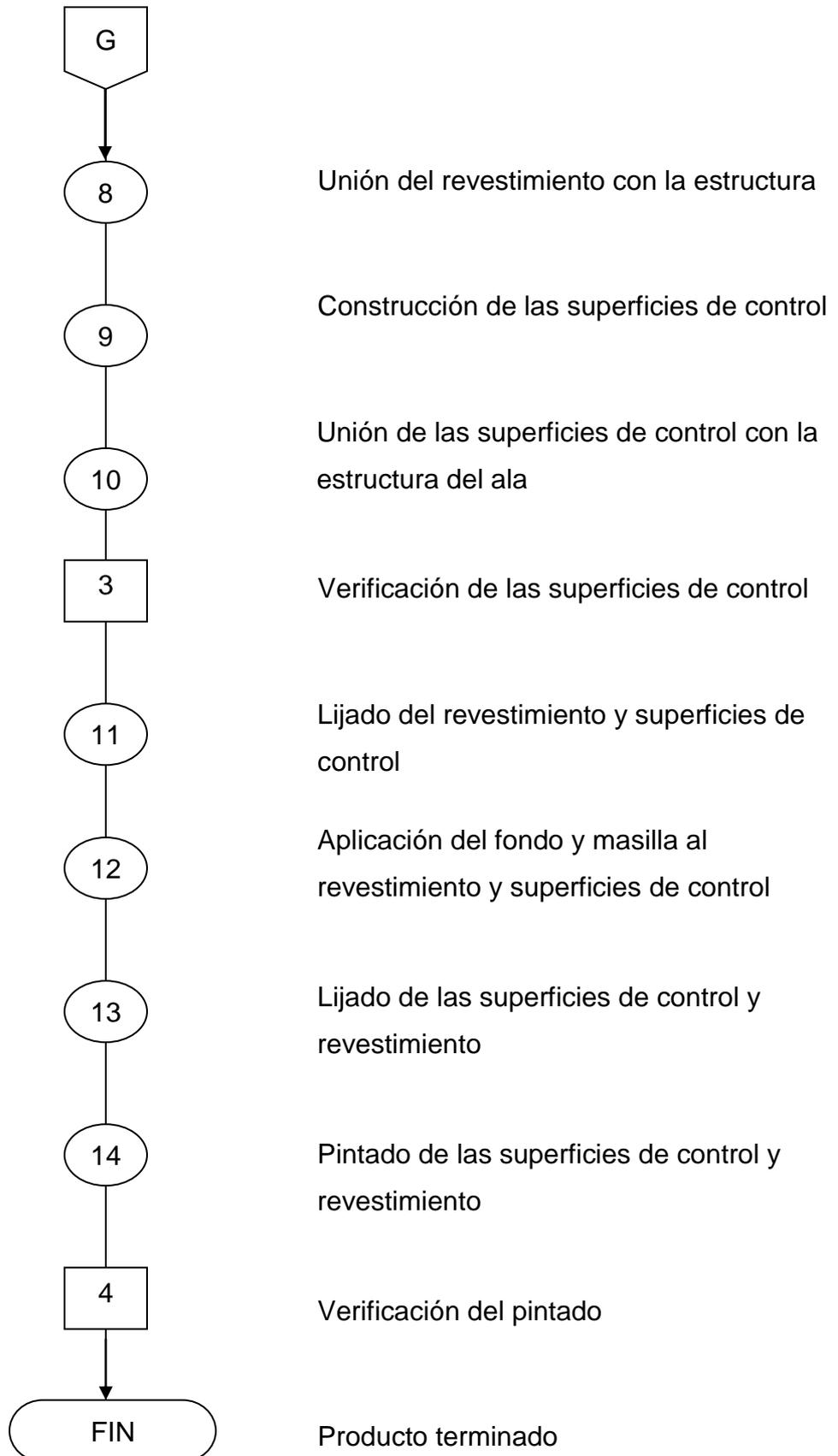
Simbología	Actividad
	Iniciador Terminador
	Inspección
	Proceso
	Referencia otra pagina
	Conector

3.3. Diagrama de proceso

Construcción de la maqueta didáctica

En la construcción de las costillas se utilizó moldes de madera como materia prima.





3.4. Tiempo de construcción

Para la construcción y exitosa culminación del presente proyecto se ha requirió de 173 horas/hombres, el mismo que es detallado en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Tiempo de manufactura de los diferentes elementos

ELEMENTOS	OPERACIÓN (horas)							Tiempo
	Actividades							Horas
	A	B	C	D	E	F	G	
Largueros	1	1	4	N/A	4	N/A	N/A	10
Larguerillos	2	3	N/A	N/A	6	N/A	N/A	11
Costillas	4	2	N/A	2	12	10	N/A	30
Revestimiento	6	4	N/A	2	16	14	25	67
Alerón y flaps	4	6	N/A	2	16	12	15	55
Total	17	16	4	6	54	36	40	173

Para la interpretación del cuadro, es necesario aplicar la siguiente simbología:

- A. Medición y rayado
- B. Corte
- C. Doblado
- D. Aplicación de fibras
- E. Ensamblado
- F. Lijado
- G. Pintura

3.5. Construcción de las costillas

3.5.1. Aluminio puro.

- **Moldes y fabricación**

El primer paso para la elaboración, fue la selección de la maderas, obteniendo en el bálsamo y guayacán, por sus características de dureza, el material idóneo para forjar el metal en la fabricación de costillas metálicas y además se ha utilizado como moldes para formación de costillas en materiales compuestos que en adelante forman el armazón del ala así como muestra la figura 3.2 (a,b).



Figura (a) Costilla de aluminio puro forjado



Figura (b) costilla en materiales compuestos (fibra de vidrio)

Fig. 3.2. (a y b) Muestran los diferentes terminados de las costillas después de haberlas procesado.

El metal de aluminio puro es un elemento maleable que por sus características facilitó la construcción de esta maqueta, por tanto se ha considerado propicio la aplicación de este metal y obtener la forma adecuada de la costilla al momento de forjarlo.

El metal al momento de ser forjado tiende a deformarse elongando sus dimensiones, por tal motivo se ha realizado orificios. Luego de realizar el proceso de formación de una sola pieza de metal se va obtener el producto final figura 3.3. (a y b).



Fig. (a). Forjado de la costilla por medio moldes



Fig. (b). Producto terminado después de haber sido forjado

Fig. 3.3. Fabricación de la costilla de aluminio puro

3.5.2. Materiales compuestos

Al momento de trabajar con materiales compuestos se debe tener mucho cuidado en la protección personal ya que son elementos químicos volátiles que perjudican la salud de la persona.

El trabajo en fibras y resinas es más fácil de realizarlo, pero se necesita tener la capacitación adecuada, experiencia de haber practicado con estos materiales, y por sobre todo conocimiento previo, pues estos elementos químicos vienen proporcionalmente y la combinación de las resinas vienen dadas en los envases de acuerdo a la casa fabricante de estos materiales. Para la construcción de la costilla en fibra de vidrio se ha considerado los siguientes pasos:

- **Rayado y corte del material**

En este proceso el rayado a través de la utilización de un lápiz dermatográfico, en la fibra de vidrio de acuerdo al molde de la costilla. Luego se realizó el corte de la fibra de vidrio utilizando tijeras especiales, además es importante mencionar que para cada tipo de fibras existen tijeras adecuadas; el corte se efectuó con el acertado asesoramiento de los técnicos de estructuras, ver en la figura 3.4.



(a) Rayado de la tela de vidrio



(b) Cortado de la tela de vidrio

Fig. 3.4. (a y b). Rayado y cortado de las fibras de vidrio

- **Aplicación de resinas y fibras**

Para la construcción de las costillas (observar la figura 3.6.) se utilizaron resinas especiales de aviación EPON 828, la misma que fue pesada y mezclada con su respectivo catalizador (DTA) en una relación de 100 partes de resina por 10 partes de catalizador. El tiempo de vida útil de esta mezcla es aproximadamente de 15 a 30 minutos, tiempo necesario para la construcción de la costilla. Al momento de proceder a colocar el trozo de la fibra de vidrio y ser impregnado con resina se tomo en cuenta la superficie de la costilla para ubicar cuidadosamente el sentido de la orientación de cero grados y la dirección de las fibras en sentido paralelo a la fuerza que va ser sometido.



Figura 3.5. Proceso de secado al ambiente de la costilla elaborada en materiales compuestos

- **Producto terminado**

Durante el proceso de fabricación de las costillas, el tiempo de curado es el elemento primordial para obtener un material compuesto de excelentes características y propiedades como se muestra en la figura 3.6., la costilla se encuentra totalmente curada, después de haber transcurrido el tiempo determinado por el fabricante de resinas, el tiempo aproximado fue de tres horas con una temperatura de 18°C .



Figura 3.6. Costilla terminada en material compuesto

En las costillas se realizó orificios de alivio que facilitan el paso de cañerías hidráulicas, combustible y alambre eléctrico. Las costillas construidas en materiales compuestos y dependiendo del tipo de fibras, soportan mejor que el metal tradicional, además estos materiales reducen peso y permitan eficiencia al obtener una superficie aerodinámica.

En la elaboración de las costillas se utilizó fibras de vidrio, resinas y aluminio puro, además se ha utilizado fibras de Kevlar como fines didácticos en las siguientes proporciones.

Tabla 3.4. Materiales utilizados en la costilla

Materiales	Cantidad
Fibra de vidrio	½ kg
Resinas	¼ GL
Aluminio puro	0.36 m
Molde de madera	1.557 m ³

Tabla 3.5 Herramientas utilizadas en la construcción de costillas.

Herramientas	Cantidad
Martillo o maceta plástica	1
Entenalla	1
Lápiz	1
Cierra circular	1
Brocha ½"	2
Tijera	1
Lijas N° 60, 180	2

3.6. Construcción de largueros y larguerillos

Para la realización de los largueros y larguerillos (ver figura 3.7.), no fueron necesario construirlos o fabricarlos ya que se encontró en el mercado nacional ángulos de aluminio puro (1" y ½") pulgada que facilitaron la construcción de la maqueta que no esta sometida a esfuerzos o cargas, como son sometidos las alas de una aeronave en vuelo.

Tabla 3.6. Material utilizado en los largueros y larguerillos

Material	Cantidad
Ángulos de 1"	3.5 m
Ángulos de ½"	6.80 m

Tabla 3.7. Herramientas utilizadas para la unión de costillas largueros y larguerillos.

Herramientas	Cantidad
Sierra de cortar metal	1
Dobladora de cornisa	1
Remachadora	1
Taladro manual	1
Limas rectas	2

3.7. Construcción del revestimiento

Para la construcción de la piel se consideró los mismos pasos que se realizó al fabricar las costillas utilizando materiales compuestos, pero fue necesario la utilización de moldes como se puede apreciar en la (ver figura a 3.8.), donde fueron utilizadas láminas de aluminio puro.

Tabla 3.8. Material utilizado en la construcción del revestimiento

Material	Cantidad
Fibra de vidrio	2 M ² .
Esterilla de vidrio	1 Kg.
Resinas	1 ½ Gl.

Para la fabricación del revestimiento no fue necesario la utilización de herramienta especial, porque se realizó aplicando las fibras sobre el molde manualmente (ver figura b. 3.8.).

3.8. Construcción de los elementos que actúan en el ala principal.

En la construcción de los flaps y alerón, se utilizó espuma - flex o foams. El mismo que por ser liviano facilita el relleno de estos elementos, para posteriormente recubrirlos con fibras de vidrio y resina o matrix, dándonos las características del ala planteada, como se puede apreciar (ver figura 3.9.).

Tabla 3.9. Materiales utilizados

Materiales	Cantidad
Espuma flex	0.051 M ³
Fibra de vidrio	½ M ²
Resinas	¼ Gl

3.9. Proceso del pintado de la maqueta

Para el acabado de la maqueta didáctica se puso en consideración el color adecuado en la culminación de este proyecto (ver figura 3.10.).

El acabado de la maqueta, demuestra los puntos de abastecimiento y drenado de combustible, además incluye una tapa de inspección que, facilita el adiestramiento con este material didáctico, la observación de los elementos que intervienen en el ala.

3.10. Fabricación del soporte

La fabricación del soporte se realiza tomando en consideración el peso liviano y cargas que no va ser sometida, para lo cual se ha seleccionado tubo estructural cuadrado de 3/8" pulg., ruedas, que facilite transportar al sitio de instrucción.

Tendrá la forma adecuada para alcanzar mayor rigidez y seguridad de sujeción de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter, que desestabilicen el soporte en la sujeción de la maqueta (ver figura 3.11.).

Fotos de la construcción de la maqueta didáctica del ala izquierda del avión Pilatus Porter



Fig. 3.7. Unión de las costillas con los largueros y larguerillos



Fig. (a) Rayado y cortado de la tela de vidrio para la fabricación del revestimiento por medio de molde



Fig. (b) Construcción del revestimiento aplicando fibras de vidrio y resinas

Fig. 3.8. Construcción del revestimiento



(a). Construcción del alerón y flap



(b). Verificación de la unión del alerón y flap

Fig. 3.9. (a,b). Construcción y unión del alerón y flap



Acabado extradós del ala izquierda



Acabado intrados del ala izquierda



Punta del ala izquierda



Raíz del ala izquierda

Fig. 3.10. Acabado de la maqueta del ala

Foto del soporte de la maqueta didáctica del ala Pilatus Porter



Vista lateral



Vista frontal

Fig. 3.11. Soporte de la maqueta

CAPÍTULO IV

4.1. MANUAL DE MANTENIMIENTO

El manual presentado en este capítulo está basado en procedimientos de mantenimiento, reparación, guías y hojas de registro, para un correcto manejo y conservación de esta maqueta didáctica.

El mantenimiento se deberá realizar de acuerdo a lo establecido en este manual, pero si amerita una reparación será tomado en cuenta por la decisión de un técnico especializado para reparar o desecharla.

Tabla 4.1. Codificación de los procedimientos de la construcción de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter.

Procedimientos
Mantenimiento
Reparación
Guía practica
Hoja de registro

4.1.1 Manual de mantenimiento

<p style="text-align: center;">ITSA</p> 	MANUAL DE MANTENIMIENTO		Pág. 1 de 2
	GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN MIXTA DEL ALA DEL AVIÓN PILATUS PORTER EN BASE A MATERIALES COMPUESTOS		Código:
	Elaborado por: Cbos. Guzmán Jesús		Revisión N°: 01
	Aprobado por: Mayo Ing. Naranjo Fernando	Fecha: 2004/11/ 08	Fecha:
<p>1. OBJETIVO:</p> <ul style="list-style-type: none"> Definir los procedimientos de mantenimiento para la maqueta del ala Pilatus Porter <p>2. ALCANCE:</p> <ul style="list-style-type: none"> Las prácticas estándar consideradas en el presente manual, de materiales compuestos comprende el mantenimiento preventivo y correctivo aplicando a la estructura de la maqueta del ala. <p>3. PRECAUCIONES:</p> <ul style="list-style-type: none"> Al utilizar materiales compuestos en pequeñas y grandes partes se va a tener ciertas dificultades, al momento de cortar, lijar o realizar otras actividades, se debe utilizar el equipo de protección personal necesario como son: gafas, tapa orejeras, mascarillas especiales de carbono, guantes, overol de trabajo y el área adecuada. Las resinas, pinturas, etc., emiten vapores tóxicos nocivos para la salud, perjudiciales al momento de ser aspiradas. Use siempre el equipo de protección personal adecuado y el área de trabajo debe tener suficiente ventilación. <p>4. PROCEDIMIENTOS:</p> <p>4.1. Almacenamiento</p> <ul style="list-style-type: none"> Conservar la maqueta del ala cubierta, con un protector plástico o tela para evitar el polvo y humedad, cuando no sea utilizada. No permitir que el presente material didáctico se encuentre en contacto directo con ácidos o sustancias corrosivas. 			

<p style="text-align: center;">ITSA</p> 	MANUAL DE MANTENIMIENTO		Pág. 2 de 2
	GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN MIXTA DEL ALA DEL AVIÓN PILATUS PORTER EN BASE A MATERIALES COMPUESTOS		Código:
	Elaborado por: Cbos. Guzmán Jesús		Revisión N°: 1
	Aprobado por: Mayo Ing. Naranjo Fernando	Fecha: 200/01/08	Fecha:

4.2. Limpieza

La limpieza de la maqueta del ala será efectuada de acuerdo al criterio del técnico, para evitar que las partículas de polvo deterioren su apariencia y la integridad del material expuesto al medio ambiente

- Limpiar la sección pintada utilizando un pedazo de tela húmeda y seguidamente una tela seca que no raye la pintura, retirando de esta manera cualquier agente contaminante.
- La sección del material compuesto que no se encuentra pintada se debe limpiar con un aspersor de aire a presión (preferencia aire seco).

4.3. Lubricación

Las partes móviles (alerón y flaps) deberán ser lubricadas después de realizado la limpieza de acuerdo al criterio del mecánico de mantenimiento para mantener en buen estado estos elementos.

- Utilizando un gotero lubrique el pasador que une los elementos compensadores, de acuerdo al criterio del técnico que realice la inspección.

4.4. Pintura

En caso de ser necesario o cuando la apariencia así lo amerite la maqueta didáctica del ala deberá ser pintada siguiendo los pasos de acuerdo al manual de mantenimiento:

- Cubrir el área del material que no esté afectado, para proceder al proceso de pintado.
- Lije la parte a ser repintada utilizando lija N° 220 para evitar rayones, nunca utilice elementos químicos para extraer la pintura deteriorada.
- Retire el polvo con una tela seca o con aire seco.
- Aplique la pintura con soplete.

4.1.2 Manual de reparación

	MANUAL DE REPARACIÓN		Pág. 1 de 2
	GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN MIXTA DEL ALA DEL AVIÓN PILATUS PORTER EN BASE A MATERIALES COMPUESTOS		Código:
	Elaborado por: Cbos. Guzmán Jesús		Revisión N°: 1
	Aprobado por: Mayo Ing. Naranjo Fernando	Fecha: 21/11/04	Fecha:
<p>1. OBJETIVO:</p> <p>Reparar lo daño y dejar igual a lo existió originalmente.</p> <p>2. ALCANCE:</p> <p>Para la reparación en materiales compuestos se debe evaluar el daño permisible y realizar el correctivo inmediato.</p> <p>3. PRECAUCIONES:</p> <p>Tener la capacitación necesaria para evaluar el daño del material compuesto, además utilizar la herramienta adecuada y el material adecuado y necesario.</p> <p>4. PROCEDIMIENTOS:</p> <p>4.1.2 Limpiar</p> <p>Para retirar la pintura o resina que se encuentre en el aérea del daño permisible se debe utilizar material abrasivo, nunca útlese elementos químicos para retirar la pintura o resina, porque esto debilita al compuesto que ha sido empleado, para el daño se debe tener encuesta los limites de la falla y ampliar 1” alrededor de la falla.</p> <p>4.1.3 Aplicación de las fibras</p> <p>Para la aplicación de las fibras se debe observar las diferentes capas aplicadas de material compuesto. Esta maqueta fue realizada tipo sanduche la primera capa es de tela de vidrio la segunda capa de esterilla de vidrio y la tercera capa de tela de vidrio. Se debe tener encuesta la dirección de las fibras y aplicar una capa adicional cubriendo a las demás capas. Las fibras deben ser cubiertas totalmente de resina para obtener un mejor acabado.</p>			

<p style="text-align: center;">ITSA</p> 	MANUAL DE REPARACIÓN		Pág. 2 de 2
	GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN MIXTA DEL ALA DEL AVIÓN PILATUS PORTER EN BASE A MATERIALES COMPUESTOS		Código:
	Elaborado por: Cbos. Guzmán Jesús		Revisión N°: 1
	Aprobado por: Mayo Ing. Naranjo Fernando	Fecha: 21/11/04	Fecha:

4.1.4 Curado

Se debe tener en cuenta el tipo de resina a utilizar, el tiempo de curado y la cantidad específica de mezclado que lo indica el fabricante del producto. La resina nacional que se emplea más frecuentemente tiene un tiempo de curado de tres horas, todo depende de la cantidad del acelerante aplicado.

4.1.5 Pintado

Lo importante de mantener protegido al material compuesto, es el acabado. Porque de esto protege las fibras, a que no se dañen fácilmente con la humedad y polvo que se encuentra en el medio ambiente.

Para lijar estas fibras se debe tener el equipo especial de protección personal, este material es altamente peligroso por tal motivo se debe trabajar con seguridad y el espacio adecuado.

Pasos para realizar el pintado:

- Saque el brillo de la resina.
- Aplique la pintura de fondo ó emporador
- Lije con una lija fina para dar el pintado final
- Aplique la pintura para el terminado de la reparación.

4.1.3 Guía practica

 <p>ITSA</p>	MANUAL DE MATENIMIENTO		Pág. 1 de 1
	GUÍAS DE CONSTRUCCIÓN MIXTA DEL ALA DEL AVIÓN PILATUS PORTER EN BASE A MATERIALES COMPUESTOS		Código:
	Elaborado por: Cbos. Guzmán Jesús		Revisión No: 1
	Aprobado por: Mayo Ing. Naranjo Fernando	Fecha: 2005/01/12	Fecha:

1. DEMOSTRACIONES DIDÁCTICAS

En este manual se describen las principales practicas didácticas que pueden ser impartidas con está maqueta de ala.

1.1. Demostración de las diversas capas del material compuesto

Las capas de fibras y la aplicación de resinas son las que dan mayor resistencia y rigidez al material compuesto, estos son utilizados de acuerdo al tipo de elemento, las cargas y fuerzas que van ha soportar.

El instructor podrá de esta manera demostrar varios aspectos de la utilización de los materiales compuestos como son:

- Orientación de las fibras
- Configuración de las fibras (capas sobrepuestas o delaminado)
- Diferencia entre fibras sin resinas y el material compuesto.
- La diferencia entre el material en bruto y el material terminado.

1.2. Demostración de los elementos que actúan en el ala de bajo performance

En esta maqueta se va a observar como actúan los elementos del ala y los movimiento que realizan el flap y alerones en forma simétrica y asimétrica. Además se podrá observar las parteas constitutivas de un ala como son los largueros, larguerillos, costillas, etc..

	REGISTRO	Código:
	PRÁCTICAS DIDÁCTICAS	Registro N°: 1

Solicitado por:

Hoja: de

Fecha de inicio:/...../.....

Equipo utilizado:

Fecha de finalización:...../...../.....

Total de horas de instrucción

Descripción de la práctica:

No.	TEMA	OBSERVACIONES

Responsable

ITSA 	REGISTRO	Código:
	LIBRO DE MANTENIMIENTO	Registro No: 2

Hoja: de

No.	FECHA		TRABAJO REALIZADO	MATERIAL Y/O REPUESTO UTILIZADO	RESPONSABLE	OBSERVACIONES
	INICIO	FINAL				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				
	/ /	/ /				

Responsable

	REGISTRO	Código:
	LIBRO DE VIDA - DAÑOS	Registro N°: 3

Hoja: de

No.	FECHA	DAÑO PRODUCIDO	CAUSA DEL DAÑO	ACCIÓN CORRECTIVA	OBSERVACIONES

Responsable

CAPÍTULO V

ESTUDIO ECONÓMICO

5. GASTOS

Este capítulo permite conocer el monto de inversión realizado para la adquisición de los materiales y la construcción de la maqueta didáctica de ala del avión Pilatus Porter.

5.1. Presupuesto

Los costos de este proyecto se justifican en la necesidad de crear un material didáctico inexistente en la Escuela Técnica de Aviación del Ejército y que posea una vida útil prolongada.

Al realizar un estudio antes de ejecutar este proyecto, se determinó que la construcción de la maqueta de ala del avión Pilatus Porter tendrá un valor estimado de \$ 550 USD.

5.2. Estudio económico

Para la construcción de la maqueta se consideran los siguientes puntos:

- Materiales estructurales
- Maquinaria - Herramienta

- Materiales fungibles
- Mano de obra
- Otros

Materiales estructurales.- Este rubro comprende todos los materiales utilizados para la utilización de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter.

Tabla 5.1. Lista de costo de materiales

MATERIALES ESTRUCTURALES		
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR (USD)
Lamina de aluminio 3.2 mm	1.80 M ²	8.00
Resina EPON 828	1 GL	40.00
Fibra de vidrio	2 KG	4.00
Tela de vidrio P/N MIL – C – 9084	6 M ²	60.00
Ángulo de aluminio 1" y 1/8	3	10.00
Tubo cuadrado de 1/2"	1	8.00
Ruedas de caucho	4	8.00
Pintura Poliuretano	1 GL	40.00
Remaches	200 UND	3.00
Espuma - flex	0.30 M ³	5.00
Total		186.00

Maquinaria – Herramienta.- Para la construcción de la maqueta didáctica de ala del avión Pilatus Porter, principalmente se utilizó las máquinas – herramientas existentes en los talleres de estructuras del Ala de Investigación y Desarrollo No. 12 de la Fuerza Aérea Ecuatoriana en la ciudad de Latacunga.

Nota: El valor no se puede indicar detalladamente, porque fueron utilizadas muy poco tiempo algunas de estas máquinas – herramientas. El valor es de **30.00 USD.**

Materiales fungibles.- Lista donde se detalla los materiales que intervienen en el proceso pero que no son parte constitutiva de la maqueta didáctica del ala.

Tabla 5.2. Materiales fungibles

MATERIALES FUNGIBLES		
MATERIAL	CANTIDAD	VALOR (USD)
Lijas	8	8.00
Masking	1	1.00
Guantes de caucho	2	2.00
Brocas 1/8", 3/16"	2	1.00
Mascarilla desechable	2	3.00
M.e.k	1 1/2 lt.	20.00
Total		35.00

Mano de obra.- Los costos de mano de obra están comprendidos principalmente por la fabricación, pintura, etc.

Tabla 5.3. Mano de obra.

Mano de obra	
Detalle	Valor (USD)
Fabricación	180.00
Pintura	40.00
Total	220.00

Otros..

Tabla 5.4. Otros.

Otros	
Detalle	Valor (USD)
Otros	110.00
Total	110.00

Por lo tanto el costo total para la construcción de la maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter en base de materiales compuestos es de:

Tabla 5.5. Costo total.

Costo Total	
Detalle	Valor (USD)
Materiales estructurales	186.00
Máquinas – Herramientas	30.00
Material fungible	35.00
Mano de obra	220.00
Otros	110.00
Total	571.00

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones.

- Una vez finalizada la investigación sobre materiales compuestos puede concluirse que la utilización de dichos materiales en diferentes campos y sobre todo en la aviación presenta grandes ventajas, respecto a los materiales convencionales.
- La maqueta didáctica del ala de avión Pilatus Porter, está constituido en su totalidad por materiales compuestos, además permite observar en forma clara los elementos que actúan en el ala, constituyendo un aporte en la formación académica de los futuros técnicos.
- El funcionamiento del alerón y flap es sencillo y seguro, el mismo que es operado manualmente.

6.2. Recomendaciones

- Debe realizarse el mantenimiento requerido con el fin de evitar un pronto deterioro de la maqueta didáctica construida en materiales compuestos.
- La importancia de conocer acerca de los materiales compuestos, y la aplicación de los conocimientos teóricos en la práctica diaria, esto permite desarrollar la creatividad, facilitándonos de esta manera no solo elaborar alas sino múltiples elementos que forman parte de una aeronave.
- Para la realización de futuros proyectos es necesario dotar a parte de la formación curricular, un soporte técnico de cursos y textos emitidos por personal calificado.
- Para trabajar con estos materiales se debe tener el equipo necesario de protección personal y el área de trabajo adecuado.
- Es necesario la utilización de máquinas y herramientas especiales para trabajar con estos materiales.

BIBLIOGRAFÍA

- PRSEMIENIECKI / Series Composite Materials for Aircraft Structures AIAA
Education series J.S.
- S.H. Lee. (1990), International Encyclopedia of Composites, VCH, New York.
- Antonio Esteban Oñate Conocimiento del avión 4° Edición Paraninfo
- Antonio Esteban Oñate Aerodinámica practica Paraninfo
- AGARD, (1977). Certification Procedures for Composites Structures Rept. 660
- ASTM STP 497 Composite Materials Testing and Design (Second Conference)
- Manual de Mantenimiento del avión Pilatus Porter (I.P.C.) Tomo 53
- ASTM STP 460(1980) Composite Materials, Testing and Desing
- F.W. Billmeyer, Jr. Ed Wiley-Interscience. La Ciencia de las Macromoléculas
- <http://www.come.to/divulgacioncientifica.com>
- <http://www.math.gatech.edu/~villegas/tesis/es/glosario.html>
- <http://www.apauca.com.ar/notas/alas-de-foam-2htm>