



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

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

**“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES
AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E
IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS
REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE
TECNOLOGÍAS”**

AUTOR: OSCAR OMAR ROMERO MOYANO

Trabajo de Graduación para la obtención del título de:

**TECNÓLOGO EN MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
AVIONES**

AÑO 2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

CERTIFICACIÓN

Tlgo. Alejandro Proaño

Certifica

Que el trabajo titulado: "Elaboración de elementos estructurales aeronáuticos de fibra de carbono e implementación de un manual y equipos requeridos para la Unidad de Gestión de Tecnologías", realizado por el Sr. Oscar Omar Romero Moyano con C.I. 1804798773, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con las normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, en el reglamento de estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (PDF).

Se autoriza la entrega de los documentos a la Ing. Lucía Guerrero Rodríguez en calidad de Directora de la Carrera de Mecánica Aeronáutica.

Latacunga, Enero del 2015

Tlgo. Alejandro Proaño

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Oscar Omar Romero Moyano

Declaro que:

El proyecto de grado titulado: "Elaboración de elementos estructurales aeronáuticos de fibra de carbono e implementación de un manual y equipos requeridos para la Unidad de Gestión de Tecnologías", ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las paginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en 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

Latacunga, Enero del 2015

Sr. Oscar Romero
1804798773

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE
UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS**

AUTORIZACIÓN

Yo, Oscar Omar Romero Moyano

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la institución, el proyecto de grado titulado "Elaboración de elementos estructurales aeronáuticos de fibra de carbono e implementación de un manual y equipos requeridos para la Unidad de Gestión de Tecnologías" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Enero del 2015

Sr. Oscar Romero
1804798773

DEDICATORIA

La presente investigación la dedico a mi querida madre la cual ha sido para mí, incondicional y constante, con su amor y cariño ha sabido guiarme por el camino de la rectitud y la dedicación, gracias mamá por tu sacrificio hoy podemos decir que lo logramos.

Mi abuela que al no estar ya conmigo siempre supo formar mi carácter y corregir mis errores.

Mi hijo quien ha sido mi felicidad e inspiración para seguir adelante en la vida.

Mi padre que a pesar de las adversidades de la vida supo darme su amor, confianza y amistad.

Mis tíos y hermanos quienes han estado apoyándome en los malos y buenos momentos de la vida, quiero dedicar el presente trabajo de graduación principalmente a mi Dios quien supo bendecirme cada día de mi vida y la de mi familia.

Oscar Omar Romero Moyano

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios quien ha sido esa base imprescindible de mi vida y por el cual puedo seguir disfrutando del maravilloso amanecer de cada día, gracias Dios mío por haber estado en mi camino y haberme bendecido tanto.

Un agradecimiento muy especial a mi tutor de tesis Alejandro Proaño quien a más de guiarme en este largo proceso investigativo supo brindarme su amistad y apoyo para la culminación del mismo.

De igual manera agradezco a todos los docentes de la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” que supieron brindarme sus amplios conocimientos aeronáuticos los cuales serán trascendentales para mi vida profesional.

Mi familia quien ha estado conmigo en todos los altibajos de la vida y que a pesar de las dificultades ha sabido permanecer fuerte y unida.

Oscar Omar Romero Moyano

INDICE DE CONTENIDOS

Certificación.....	i
Autoría de responsabilidad.....	ii
Autorización.....	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento.....	v
Índice de contenidos.....	vi
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xiv
Resumen	xv
Summary	xvi

CAPÍTULO I

EL TEMA

1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Justificación e importancia	2
1.4 Objetivos.....	3
1.4.1 Objetivo general	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 alcance	4

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales compuestos.....	5
2.1.2 Materiales compuestos más usados en aviación.....	5
2.2 El uso de la fibra de carbono.....	6
2.3 La fibra de carbono en aviación	7
2.4 Estructuras principales del avión.....	9
2.4.1 Fuselaje	9

2.4.2 Tipos de construcción.....	9
2.4.3 Alas.....	9
2.5 Esfuerzos.....	10
2.6 Los moldes	14
2.6.1 Aspectos fundamentales previos	14
2.6.2 Etapa de diseño del molde.....	15
2.6.2.1 Selección del material del molde.....	15
2.6.2.2 Espesores de molde recomendados	16
2.6.2.3 Consideraciones sobre pliegues	17
2.6.2.4 Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos.	18
2.6.2.5 Gradientes de desmoldeo	18
2.6.2.6 Consideraciones sobre grandes superficies planas	19
2.6.2.7 Rigidización del molde	20
2.6.2.8 Posibilidad de retoques	23
2.6.2.9 Color de los moldes.....	23
2.6.2.10 Particiones de moldes	24
2.6.2.11 Mecanismos de desmoldeo.....	25
2.6.3 Clases de moldes	25
2.6.4 Etapa de producción	27
2.6.4.1 Rodaje del molde.....	27
2.6.4.2 Encerado del molde	28
2.6.4.3 Marcas y deformaciones	29
2.6.4.4 Reacondicionado del molde	29
2.6.4.5 Mantenimiento.....	30
2.6.5 Tolerancias	30
2.7 Prueba rockwell	31
2.7.1 Procedimiento.....	34
2.8 Equipo básico para realizar moldes epóxicos	35
2.9 Normas de seguridad para trabajar con materiales compuestos.....	39
2.9.1 Seguridad individual personal	40
2.9.1.1 Seguridad en ojos y cara.....	40
2.9.1.2 Seguridad en la piel.....	41

2.9.1.3 Respiración e ingestión.....	42
2.9.1.4 Solventes, utilización y seguridad.....	43
2.9.1.4.1 Acetona.....	44
2.9.1.5 Seguridad con el uso de herramientas.	45

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares.....	46
3.2 Análisis de alternativas.....	46
3.2.1 Tablas comparativas.....	46
3.2.2 Análisis de factibilidad para kits.....	47
3.2.3 Evaluación de parámetros.....	51
3.3 Adquisición.....	52
3.4 Implementación.....	53
3.4.1 Selección de fairing.....	53
3.4.2 Proceso para realizar un molde epóxico mediante el fairing extraído .	54
3.4.2.1 Materiales necesarios.....	54
3.4.2.1.1 Materiales primarios.....	54
3.4.2.1.2 Materiales secundarios.....	55
3.4.2.2 Equipo de protección personal.....	55
3.4.2.3 Descripción del proceso de moldeado.....	56
3.4.3 Proceso para realizar un fairing nuevo de fibra de carbono mediante el molde realizado.....	66
3.4.3.1 Materiales necesarios.....	66
3.4.3.1.1 Materiales primarios.....	66
3.4.3.1.2 Materiales secundarios.....	67
3.4.3.2 Equipo de protección personal.....	67
3.4.3.3 Descripción del proceso de moldeado.....	68
3.5 Pruebas y resultados del análisis estructural.....	80
3.5.1 Peso y espesor.....	80
3.5.1.1 Peso y espesor del fairing antiguo.....	81
3.5.1.2 Peso y espesor del fairing nuevo.....	82

3.5.2 Resistencia estructural	83
3.5.2.1 Prueba rockwell	83
3.5.2.1.1 Prueba rockwell del fairing de fibra de vidrio.....	85
3.5.2.1.2 Prueba rockwell del fairing de fibra de carbono	85
3.5.2.1.3 Resultados de los ensayos rockwell.....	86
3.5.2.2 Prueba de compresión	87
3.5.2.2.1 Prueba de compresión del fairing de fibra de vidrio	89
3.5.2.2.2 Prueba compresión del fairing de fibra de carbono.....	90
3.5.2.2.3 Resultados de la prueba de compresión	91
3.6 Manuales	94
3.6.1 Manual para fabricación de moldes epóxicos	94
3.6.2 Manual para realizar elementos en fibra de carbono al vacío	104
3.7 Estudio económico	116
3.7.1 Presupuesto	116
3.7.2 Análisis de costos.....	116
3.7.2.1 Costos primarios.....	117
3.7.2.2 Costos secundarios.....	121
3.7.2.3 Costo total del proyecto.....	121

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones	122
4.2 Recomendaciones.....	123
Glosario de términos	124
Siglas.....	126
Bibliografía.....	127
Anexos.....	129

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Fig. 2.1 Tejido de fibra de carbono	7
Fig. 2.2 Componentes estructurales de aviones militares	8
Fig. 2.3 Componentes estructurales del avión A 380 - 800	8
Fig. 2.4 Tipos de esfuerzos	10
Fig. 2.5 Tabla de peso vs rigidez	10
Fig. 2.6 Tablas de esfuerzos de fibra de carbono y otros materiales.....	11
Fig 2.7 Curvas tensión deformación de fibras. las flechas verticales indican rotura completa.....	14
Fig. 2.8 Consideraciones sobre pliegues	17
Fig. 2.9 Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos.....	18
Fig. 2.10 Gradientes recomendados.....	19
Fig. 2.11 Rigidez de una superficie.....	20
Fig. 2.12 Estructura metálica con ruedas.....	21
Fig. 2.13 Estructura metálica pivotante.....	21
Fig. 2.14 Estructura de madera clásica.....	22
Fig. 2.15 Estructura combinada facetada	22
FIG. 2.16 Particiones de moldes	24
Fig. 2.17 Clases de moldes.....	26
Fig. 2.18 Modelo de yeso.....	27
Fig.2.19 Esquema de medición de la dureza rockwell.....	32
Fig. 2.20 Kit para fabricación de moldes (portada)	35
Fig. 2.21 Masilla epóxica.....	36
Fig. 2.22 Endurecedor (para masilla epóxica)	36
Fig. 2.23 Cera desmoldante.....	37
Fig. 2.24 Agente desmoldante PVA.....	37
Fig. 2.24 Endurecedor para Gelcoat.....	38
Fig. 2.26 Gelcoat epóxico color naranja.....	39
Fig. 2.27 Gafas para trabajar con materiales compuestos	40

Fig.2.28 Máquina para lavado de ojos aprobado por la osha (occupational safety and health administration).....	41
Fig. 2.29 Uso de trajes para trabajos en materiales compuestos	42
Fig. 2.30 Uso de mascarillas para evitar la respiración e ingestión de componentes de materiales compuestos	43
Fig. 2.31 Kit para hacer moldes epóxicos	45

CAPÍTULO III

Fig. 3.1 Kitmould.....	47
Fig. 3.2 Carbokit composites	48
Fig. 3.3 Carbonlabstore	49
Fig. 3.4 Feroxa	50
Fig. 3.5 Kit carbonlabstore.....	52
Fig. 3.6 Extracción del fairing	54
Fig. 3.7 Fairing original	56
Fig. 3.8 Límites para el moldeado	56
Fig. 3.9 Tapado de orificios de fuga	57
Fig. 3.10 Aplicación de cera desmoldante.....	57
Fig. 3.11 Remoción la de cera desmoldante	58
Fig. 3.12 Aplicación del desmoldante pva	58
Fig. 3.13 Preparación del gelcoat.....	59
Fig. 3.14 Aplicación del gelcoat.....	59
Fig. 3.15 Secado del gelcoat.....	60
Fig. 3.16 Segunda aplicación del gelcoat.....	60
Fig. 3.17 Preparación de la pasta putty.....	61
Fig. 3.18 Mezcla de la pasta putty.....	61
Fig. 3.19 Aplicación de la masilla	62
Fig. 3.20 Distribución de la masilla.....	62
Fig. 3.21 Unificación de la pasta masilla	63
Fig. 3.22 Proceso de pulido de la masilla.....	63
Fig. 3.23 Corte del cartón protector	64
Fig. 3.24 Sustracción del cartón protector.....	64

Fig. 3.25 Lijado del exceso del borde	65
Fig. 3.26 Extracción del molde	65
Fig. 3.27 Molde terminado	67
Fig. 3.28 Limpieza de la superficie.....	68
Fig. 3.29 Delimitación del material	69
Fig. 3.30 Verificación longitudinal de la fibra de carbono.....	69
Fig. 3.31 Corte de fibra de carbono	70
Fig. 3.32 Aplicación del desmoldante pva.....	70
Fig. 3.33 Proceso de pesado de fibra de carbono	71
Fig. 3.34 Aplicación de la resina	72
Fig. 3.35 Aplicación del endurecedor.....	72
Fig. 3.36 Mezcla de la resina preparada.....	73
Fig. 3.37 Aplicación de la primera capa de fibra de carbono.....	73
Fig. 3.38 Aplicación de la segunda capa de fibra de carbono	74
Fig. 3.39 Aplicación de la tela pelable.....	74
Fig. 3.40 Aplicación del plástico poroso de vacío	75
Fig. 3.41 Aplicación del plástico perforable de vacío	75
Fig. 3.42 Ubicación de la toma de vacío y vacuometro	76
Fig. 3.43 Ubicación vacuum tape.....	76
Fig. 3.44 Ubicación de la toma de vacío	77
Fig. 3.45 Encendido de la bomba de vacío.....	77
Fig. 3.46 Apagado de la bomba de vacío	78
Fig. 3.47 Corte de excesos en el nuevo fairing.....	78
Fig. 3.48 Comparación entre fairing antiguo y nuevo	79
Fig. 3.49 Limpieza con acetona del nuevo fairing.....	79
Fig. 3.50 Fairing en fibra de carbono construido.....	80
Fig. 3.51 Medición del peso del fairing de fibra de vidrio.....	81
Fig. 3.52 Medición del espesor del fairing de fibra de vidrio	81
Fig. 3.53 Medición del peso del fairing de fibra de carbono	77
Fig. 3.54 Medición del espesor del fairing de fibra de carbono.....	82
Fig. 3.55 Máquina para realizar ensayos rockwell.....	84
Fig. 3.56 Pantalla de medición de datos rockwell.....	84

Fig. 3.57 Ensayo rockwell para fibra de vidrio	85
Fig. 3.58 Ensayo rockwell para fibra de carbono	86
Fig. 3.59 Prensa hidráulica con capacidad de dos toneladas	88
Fig. 3.60 Manómetro de prensa hidráulica	88
Fig. 3.61 Cilindro neumático manual de prensa hidráulica.....	89
Fig. 3.62 Empotrado en madera del fairing fibra de vidrio.....	89
Fig. 3.63 Compresión del fairing de fibra de vidrio	90
Fig. 3.64 Empotrado en madera del fairing fibra de vidrio.....	90
Fig. 3.65 Compresión del fairing de fibra de carbono.....	91
Fig. 3.66 Gráfica comparativa de parámetros del material.....	92
Fig. 3.67 Kit para fabricar moldes.....	98
Fig. 3.68 Plastilina	99
Fig. 3.69 Cera desmoldante para moldes epóxicos	99
Fig. 3.70 Desmoldante PVA para moldes epóxicos	100
Fig. 3.71 Preparación del gelco epóxico	100
Fig. 3.72 Hilos de fibra de vidrio	101
Fig. 3.73 Preparación de la masilla	102
Fig. 3.74 Kit para fabricar elementos en fibra de carbono al vacío	108
Fig. 3.75 Kit de resina, catalizador, desmoldante PVA	110
Fig. 3.76 Tela de fibra de carbono plana, 3k	111
Fig. 3.77 Tela absorbente.....	111
Fig. 3.78 Plástico poroso de vacío	112
Fig. 3.79 Plástico perforable de vacío	112
Fig. 3.80 Vacuometro y toma de vacío	113
Fig. 3.81 Verificación de presión de vacío.....	114
Fig. 3.82 Bomba de vacío.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Valores típicos de las propiedades de resistencia de las láminas unidireccionales	11
Tabla 2.2 Propiedades de diferentes fibras utilizadas como refuerzo	12
Tabla 2.3 Propiedades de las fibras de carbono, vidrio y kevlar a 20 °c	13
Tabla 2.4 Escalas de dureza rockwell (tomado de astm e 18- 03)	33
Tabla 3.1 Tabla de alternativas y estudio técnico	46
Tabla 3.2 Evaluación de parámetros	51
Tabla 3.3 Ponderación	52
Tabla 3.4 Contenido y características técnicas del kit carbonlabstore	53
Tabla 3.5 Peso y espesor del fairing de fibra de vidrio	81
Tabla 3.6 Peso y espesor del fairing de fibra de carbono..	82
Tabla 3.7 Especificaciones para prueba rockwell	83
Tabla 3.8 Resultados de la prueba rockwell para fibra de vidrio y fibra de carbono	86
Tabla 3.9 Especificaciones para prueba de compresión	87
Tabla 3.10 Resultados de la prueba de compresión para fibra de vidrio y fibra de carbono	91
Tabla 3.11 Grafica comparativa de parámetros de material	93
Tabla 3.12 Costos de materiales	117
Tabla 3.13 Costos de herramientas y equipos.....	118
Tabla 3.14 Costos de mano de obra.....	120
Tabla 3.15 Total de costos primarios	120
Tabla 3.16 Total de costos secundarios	121
Tabla 3.17 Costo total del proyecto	121

RESUMEN

La presente Investigación tiene como objetivo primordial la implementación de un manual para realizar un modelado exacto de elementos de **fibra de carbono**, en dicho manual se especificara los diferentes parámetros dimensionales y de resistencia que el componente a ser fabricado debe tener. En el presente proyecto de grado se realiza como ejemplo un molde de un **Fairing** de fibra de vidrio del alerón izquierdo del avión Fairchild, con el objetivo de construir un Fairing nuevo de fibra de carbono, para así poder comprobar la efectividad y optimización de dicho material ante otros, mediante pruebas estructurales que se realizan en los dos Fairing, dichas pruebas son de compresión y Rockwell ,las mismas que comprueban puntos de quiebre y penetración respectivamente en los dos materiales lo que permite asegurar que los elementos análogos de carbono son capaces de mejorar las características de los antiguos elementos modelados en otros materiales, de igual forma se realizan mediciones de peso y espesor de los fairings para así poder realizar una gráfica comparativa de todos estos parámetros. La implementación de un kit para la realización de moldes epóxicos juega un papel muy importante en esta investigación ya que el mismo ha sido referencia basta para tener proporciones de los diferentes componentes a ser utilizados en la realización del **modelado de las partes estructurales** de una **aeronave**. Además se suministra diferentes implementos de utilización necesaria para trabajos en materiales compuestos, como lo son para **trabajos al vacío**, ya que es muy importante para la construcción y el acabado final del componente en fibra de carbono.

PALABRAS CLAVES:

- Fairing
- Fibra de carbono
- Aeronave
- Modelado de las partes estructurales
- Trabajos al vacío

SUMMARY

This research has as a final goal the execution of a manual to realize an exactly model of **carbon fiber** estructural parts, this manual will especify different dimensional and resistance parameters that the part will have. In the present workshop determines a glass fiber **fairing** model of the left aileron fairchild aircraft with a final goal to build a carbon fiber new fairing to demonstrate the effectiveness and optimization of this material, by compresion and rockwell estructural testing in both fairings to search breaking and penetration points in those materials that testify that carbon analog elements are able to improve old model elements characteristics in other materials, at the same way it execute weight and volume testings of fairings to get done a comparative grafic of all this parameters. The adding of an epoxic model kit gets an important interest of this research because it has been enough reference to get proportions of different components to be used on an **aircraft estructural parts modeling**. Besides it provides different usefull components to compossed materials works, as **vacuum works**, as an important part to the construction and final finish of the carbon fiber component.

Keywords:

- Fairing
- Carbon fiber
- Aircraft
- estructural parts modeling
- Vacuum works

CAPÍTULO I

TEMA

"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS"

1.1 Antecedentes

El mantenimiento de aviación es uno de los procesos más críticos y exactos que se deben llevar a cabo, con la finalidad de dar el apoyo a todas las actividades de aeronáutica, la Unidad de Gestión de Tecnologías "ESPE" ubicado en la Ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, mediante la Carrera de Mecánica Aeronáutica Mención Aviones, imparte la cátedra de materiales compuestos en el bloque 42 ubicado en la misma escuela , la misma que encamina y forma profesionales capaces de resolver problemas técnicos estructurales de cualquier índole.

El campo profesional cada día avanza a pasos agigantados así obligando a las diferentes universidades formar profesionales mucho más capaces , con pensamiento crítico que puedan competir con las diferentes adversidades laborales que se presentan.

El estudio de la fibra de carbono es concebido como una investigación explicativa y de tipo descriptiva, se concentró en mayor medida en el modelado de elementos estructurales de aeronaves ya que dicho material tiene propiedades similares al acero y que al mismo tiempo es tan ligera

como la madera o el plástico. además, por su dureza presenta mayor resistencia al impacto que el acero. se trata de una técnica de refuerzo especialmente indicada cuando se considere prioritario no aumentar la sección del elemento estructural a reforzar.

Esta investigación ayudará a mejorar los conocimientos referentes a la utilización de fibra de carbono mediante pruebas estructurales e implementación de manuales, con la finalidad de dar el apoyo didáctico, práctico a las futuras generaciones de técnicos aeronáuticos orientándolos para el aprovechamiento máximo de los recursos que se dispone para los diferentes trabajos en aviación.

1.2 Planteamiento del problema

El estudio de la fibra de carbono debe ser muy comprensible y detallado ya que es conocido como el material del futuro por sus principales propiedades de dureza y ligereza. Esta investigación ayudara a mejorar la técnica para el modelado de elementos de fibra de carbono, ya que muchas partes de los diferentes manuales estructurales de la aeronaves se restringen en reparaciones y modelados de componentes fabricados de dicho material.

1.3 Justificación e importancia

El desarrollo de esta investigación permite al alumno aplicar los conocimientos teóricos aprendidos en el transcurso de la carrera de mecánica aeronáutica mención aviones, ya que la misma se centra en los diferentes sistemas de la aeronave así como de su estructura y sus diferentes reparaciones.

Dentro del mantenimiento aeronáutico es muy importante que el técnico esté al tanto de la diferencia de los sistemas y saber la utilización de los

manuales de aviación y como punto principal el manual de reparaciones estructurales ya que dicha investigación se basa en el modelado de elementos de fibra de carbono.

Del mismo modo el presente trabajo de investigación tiene como objetivo también el mejoramiento de la cátedra de Materiales Compuestos de aviación para los estudiantes de Mecánica Aeronáutica Mención Aviones, así como el desarrollo diario de la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” en su formación de Tecnólogos Aeronáuticos para la patria.

Por las razones anteriores se estima justificable la realización de esta investigación que sería de apoyo al desarrollo aeronáutico civil.

1.4 Objetivos: Generales y específicos

1.4.1 Objetivo general

- Elaborar elementos estructurales aeronáuticos de fibra de carbono e implementar manuales y equipos requeridos para la unidad de gestión de tecnologías

1.4.2 Objetivos específicos

- Recopilar información necesaria de manuales estructurales de aviación para compaginarlos en dicha investigación.
- Elaborar el modelado y construcción de un Fairing de fibra de carbono.
- Realizar pruebas estructurales debidamente necesarias.
- Implementar manuales de modelado y fabricación de elementos estructurales en fibra de carbono.

1.5 Alcance

El objetivo del siguiente proyecto es mejorar el aprendizaje de las materias de prácticas estructurales de aeronaves y materiales compuestos de aviación impartidas en la Unidad de Gestión de Tecnologías “ESPE” ubicado en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi y así poder perfeccionar la enseñanza a las futuras generaciones de Técnicos Aeronáuticos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Materiales compuestos

Dos o más sustancias al ser combinadas producen un material con propiedades diferentes y mejoradas las cuales no tendrían si dichas sustancias se utilizaren por separado. El producto final obtenido es llamado material compuesto.

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). Si bien algunos materiales compuestos son naturales (como la madera o el hueso), la gran mayoría de los materiales compuestos utilizados en la actualidad son diseñados y “fabricados” por el hombre.¹

2.1.2 Materiales compuestos más usados en aviación

Los materiales compuestos usados para estructuras aeronáuticas pertenecen a la clase conocidas como “fibras compuestas” comprendidas de fibras continuas unidas en una matriz de resina o plástico. Aquí, las fibras proveen al compuesto de las propiedades estructurales, mientras que la matriz sirve principalmente para enlazar las fibras dentro de una entidad estructural, siendo la principal razón, su mayor relación esfuerzo/peso y

¹ <http://worldwidescience.org/topicpages/l/las+caracteristicas+estructurales.html>

dureza/peso, comparada con los materiales convencionales de construcción aeronáutica como son las aleaciones de aluminio.

Las disminuciones de peso de alrededor del 25% son consideradas para aprovechar el uso de materiales compuestos en lugar de metales.²

2.2 El uso de la fibra de carbono

La estructura atómica de la fibra de carbono es similar a la del grafito, consiste en láminas de átomos de carbono arreglados en un patrón regular hexagonal. El grafito es el material de las minas de lápiz negro. De la misma manera que cuando se piensa en la fibra de vidrio. La diferencia recae en la manera en que las láminas hexagonales que forman el grafito se entrelazan.

El grafito es un material cristalino en donde las hojas se sitúan paralelamente unas a otras regularmente. Cuando uno escribe, mayormente lo que pasa es que las hojas se deslizan fácilmente unas sobre otras, transfiriéndose al papel. Las uniones químicas entre las hojas son relativamente débiles, dándoles al grafito su blandura y brillo característicos.

La fibra de carbono es una forma de grafito en la cual estas láminas son largas y delgadas. Los manojos de estas cintas se empaquetan entre sí para formar fibras, de ahí el nombre fibra de carbono. La fibra de carbono es un material amorfo: las cintas de átomos de carbono están aleatoriamente empaquetadas o apretadas, juntas. Esto hace que ante una tensión de tracción, las hojas se “traben” unas con otras, previniendo su deslizamiento entre capas e incrementando, grandemente, su resistencia.³

² <http://es.scribd.com/doc/211513361/Guia-Materiales-Compuestos>

³ <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf>

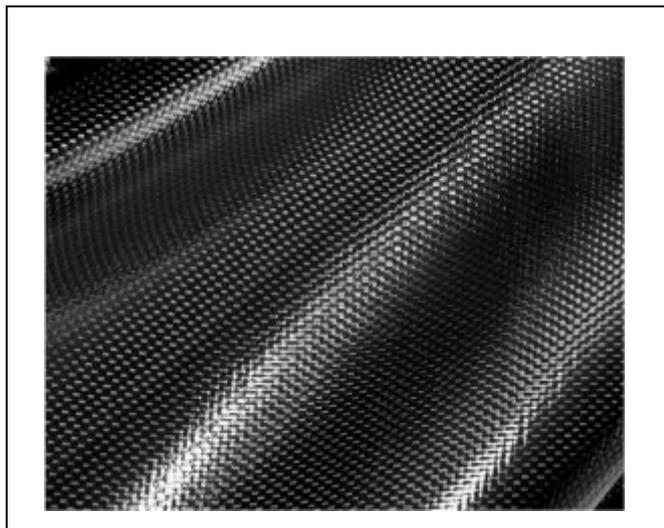


Figura. 2.1 Tejido de Fibra de carbono

Fuente: <http://aerotecnologia.blogspot.com/2010/06/materiales>

2.3 La fibra de carbono en aviación

El uso de la fibra de carbono también se extiende a los turborreactores. Todos los componentes resaltados están fabricados con materiales compuestos. El cárter (cubierta que protege un depósito) de electrónica está hecho por ejemplo usando la estructura sándwich, mientras que las paletas de guía están fabricadas con fibra de carbono y aleaciones de Titanio; y las de entrada de fibra de carbono aglomerada con epoxy. La bomba principal de combustible del motor también está construida en fibra de carbono.

En la imagen de la siguiente página aparecen también componentes típicamente fabricados con “materiales compuestos” en cazas militares. El arco del canopy y el asiento eyectable están hechos de fibra de vidrio con epoxy; el borde de ataque se ha fabricado usando una construcción de sándwich, con núcleo de panel de abeja; y la caja que contiene el tren de aterrizaje es de fibra de carbono. Las fibras pueden presentarse en forma de tejido, de fieltro, de bandas. Ejemplo: fibra de carbono. módulo de Young hasta 400000 N/mm² y resistencia a tracción última hasta 2800 N/mm⁴

⁴ <http://www.ivao.es/uploads/8697689eec233abb95cd0b31ab6e8dec.pdf>

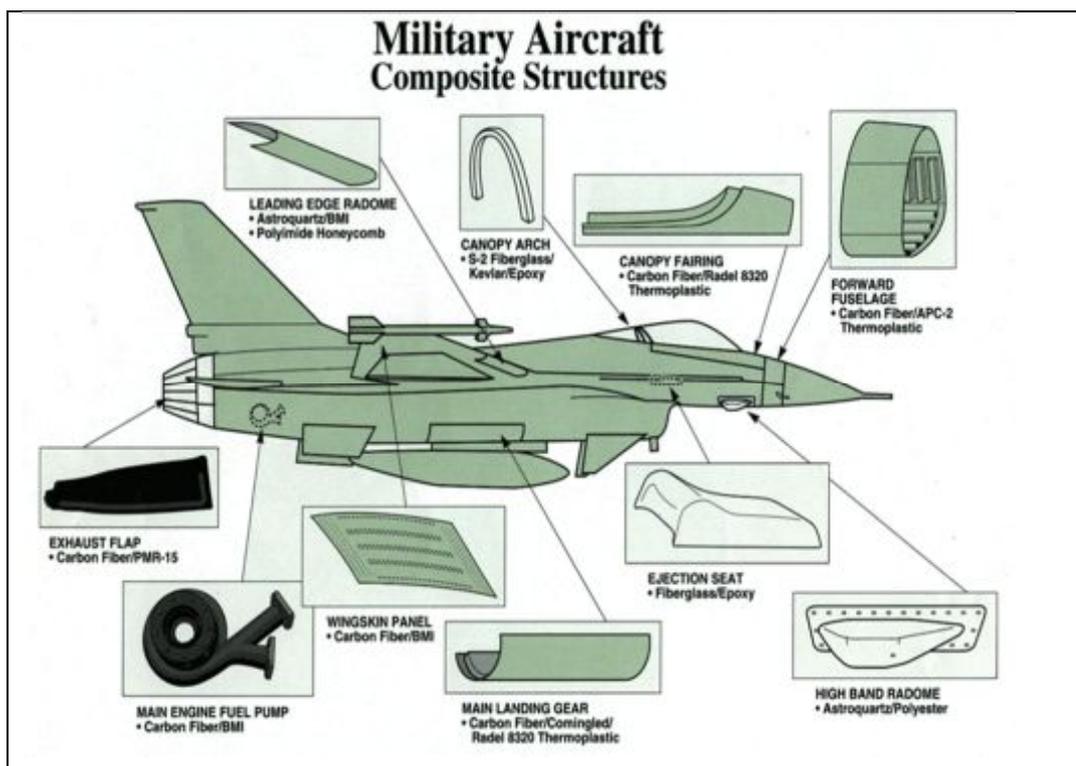


Figura. 2.2 Componentes Estructurales de aviones militares

Fuente: <http://www.ivao.es/uploads/8697689eec233abb95cd0b31ab6e8dec.pdf>



Figura. 2.3 Componentes Estructurales del avión A380 – 800

Fuente: <http://www.flightglobal.com/news/articles/creating-a-titan-199071/>

2.4 Estructuras principales del avión

2.4.1 Fuselaje

El fuselaje es el cuerpo estructural del avión, de figura fusiforme, que aloja a los posibles pasajeros y carga, junto con los sistemas y equipos que dirigen el avión. Se considera la parte central por que a ella se acoplan directamente o indirectamente el resto de partes como las superficies aerodinámicas, el tren de aterrizaje y el grupo moto propulsor. En aviones monomotores el fuselaje contiene al grupo motopropulsor y la cabina del piloto; sirve también de soporte a las alas y estabilizadores; y lleva el tren de aterrizaje. En aviones multimotores no contiene al grupo motopropulsor: los motores van dispuestos en barquillas o mástiles, sobre o bajo las alas, o en la cola.

2.4.2 Tipos de construcción

Los fuselajes se han ido construyendo de diversas maneras a lo largo de la historia dependiendo de la función de la aeronave y de los medios técnicos de los que se disponía. El primer tipo de fuselaje consistía en un entramado de varillas metálicas que conformaban la estructura principal del avión, la cual era cubierta posteriormente con planchas de madera o lona. Era el fuselaje tubular o reticular, el primero en usarse; consecutivamente fueron apareciendo otras formas de concebir el cuerpo del avión según las necesidades de la época, el fuselaje monocasco y el semimonocasco.

2.4.3 Alas

El ala soporta esfuerzos de flexión, cargas de tracción y giroscópicas del motor y cargas aerodinámicas (ráfagas, turbulencias, flameo...). Los materiales empleados en la construcción de alas suelen ser metales, más concretamente aleaciones de aluminio, resistentes y ligeras y materiales compuestos.

2.5 Esfuerzos

En la fabricación del fuselaje se debe tener en cuenta estos esfuerzos y diseñarlo de tal forma que los aguante. El piloto debe conocer esos límites estructurales y a qué esfuerzos puede estar sometido nuestro avión.

Los tres esfuerzos básicos son la tracción, compresión y esfuerzos cortantes. Y sus combinaciones son: flexión, torsión y esfuerzos de contacto.⁵

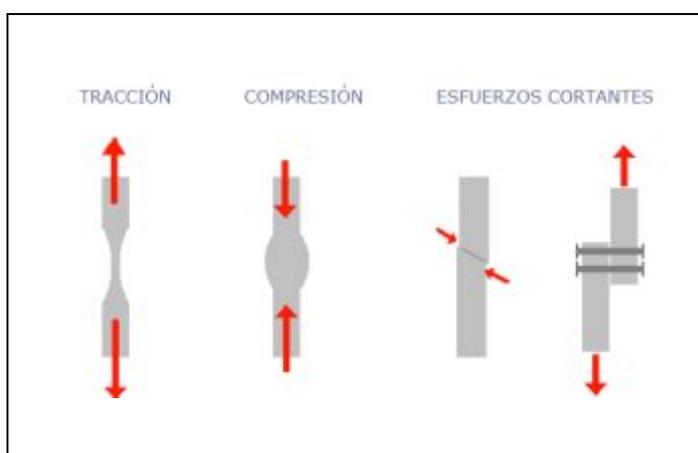


Figura. 2.4 Tipos de esfuerzos

Fuente: <http://www.ivao.es/uploads/8697689eec233abb95cd0b31ab6e8dec.pdf>

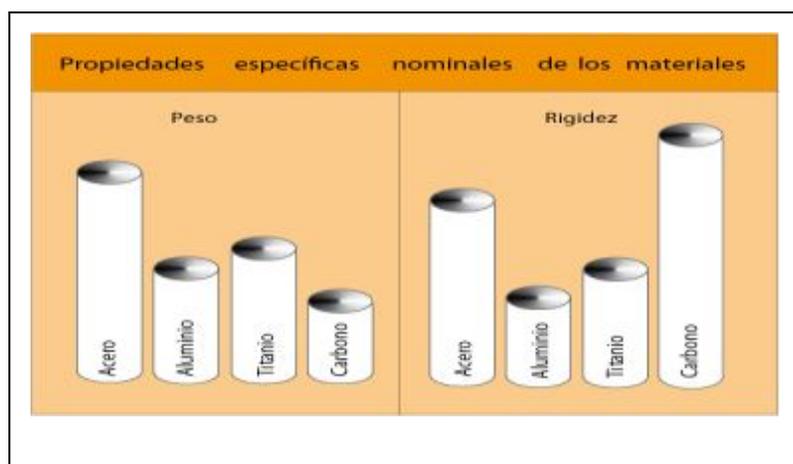


Figura. 2.5 Tabla de peso vs rigidez

Fuente: <http://olias-a-plato.blogspot.com/2008/01/carbono-vs-titanio-vs-aluminio-vs-acero.html>

⁵ <http://www.ivao.es/uploads/8697689eec233abb95cd0b31ab6e8dec.pdf>

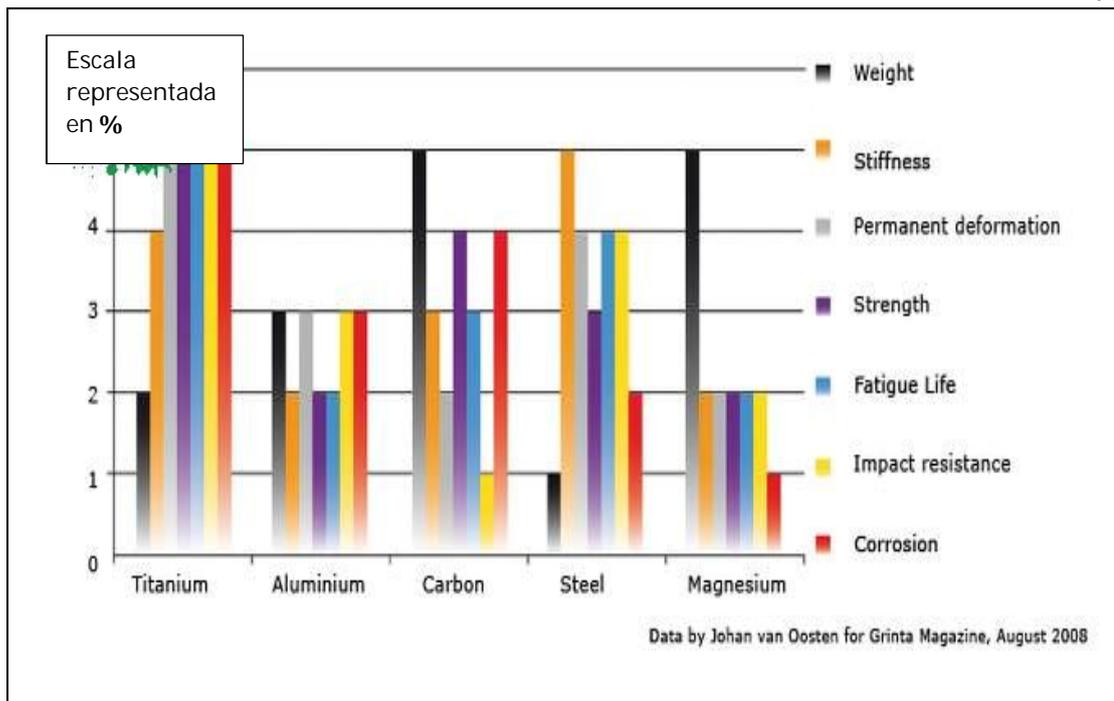


Figura. 2.6 Tablas de esfuerzos de fibra de carbono y otros materiales

Fuente: <http://www.btt.com.ar/mtb/497657-vs-titanio-fibra-carbono-aluminio>

Tabla 2.1

Valores típicos de las propiedades de resistencia de las láminas unidireccionales

Material	Tracción paralela Mpa	Compresión paralela Mpa	Tracción perpendicular Mpa	Compresión perpendicular Mpa	Cortante Mpa
Poliéster - Fibra de vidrio	650 - 750	600 - 900	20 - 25	90 - 120	45 - 69
Carbono tipo 1-epoxi	850 - 1100	700 - 900	35 - 40	130 - 190	60 - 75
Kevlar 49 - epoxi	1100 - 1250	240 - 290	20 - 30	110 - 140	40 - 60

Fuente:

<http://www.carbonconcrete.es/HTLM/es/Material%20Compuesto.html>

Tabla 2.2

Propiedades de diferentes fibras utilizadas como refuerzo

	Densidad (Mg/m ³)	Carga rotura (Mpa)	Módulo elasticidad (Gpa)	Temp. Fusión (°C)	Módulo especifico (x10 ⁶ m ² / ms ²)	Resistencia Especifica (x10 ⁶ m ² / ms ²)
Vidrio E	2.55	3448	72.4	<1725	28	1.35
Vidrios	2.50	4483	86.9	<1725	35	1.79
SiO₂	2.19	5862	72.4	1728	33	2.68
Al₂O₃	3.95	2068	172	2015	55	0.66
ZrO₂	4.84	2068	345	2677	71	0.43
Carbono (alta resistencia)	1.50	2759	276	3700	184	1.84
Carbono (alto Módulo)	1.50	1862	531	3700	354	1.24
Boro	2.36	3448	379	2030	161	1.46
B₄C	2.36	2276	482	2450	204	0.96
SiC	4.09	2068	482	2700	118	0.51
Ti B₂	4.48	103	510	2980	114	0.002
Be	1.83	1276	303	1277	166	0.70
W	19.40	400	407	3410	21	0.021
Polietileno	0.97	2586	119	147	122	2.67
Poliamida	1.14	828	2.8	249	2.46	0.726
Poliamida	1.44	3620	124	500	86	2.51
Monocristales Al₂O₃	3.96	20690	428	1982	108	5.22
Monocristales BeO	2.85	13103	345	2550	121	4.60
Monocristales B₄C	2.52	13793	482	2450	191	5.47
Monocristales SiC	3.18	20690	482	2700	151	6.51
Monocristales de grafito	1.66	20690	703	3700	423	12.46
Monocristales Cr	7.20	3021	241	1890	33	0.42

Fuente: http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/pfcm15_9_2.html

Tabla 2.3

Propiedades de las fibras de carbono, vidrio y kevlar a 20°C

PROPIEDADES	UNIDADES	CARBONO TIPO PAN I	CARBONO TIPO PAN II	VIDRIO E	KEVLAR 49 POLIAMIDA AROMÁTICAS
Diámetro	μm	7.0 - 7.9	7.6 - 8.6	8.14	11.9
Densidad	10 ³ kgm ⁻³	1.95	1.75	2.56	1.45
Módulo de Young	Gpa	390	250	76	125
Módulo (perpendicular al eje de la fibra)	Gpa	12	20	76	
Resistencia a tracción	Gpa	2.2	2.7	1.4 - 2.5 (típica) 3.5 (estirado recientemente)	2.8 - 3.6
Alargamiento en rotura	%	0.5	1.0	1.8 - 3.2	2.2 - 2.8

Fuente: <http://www.aireyespacio.com/2009/07/la-fibra-de-vidrio.html>

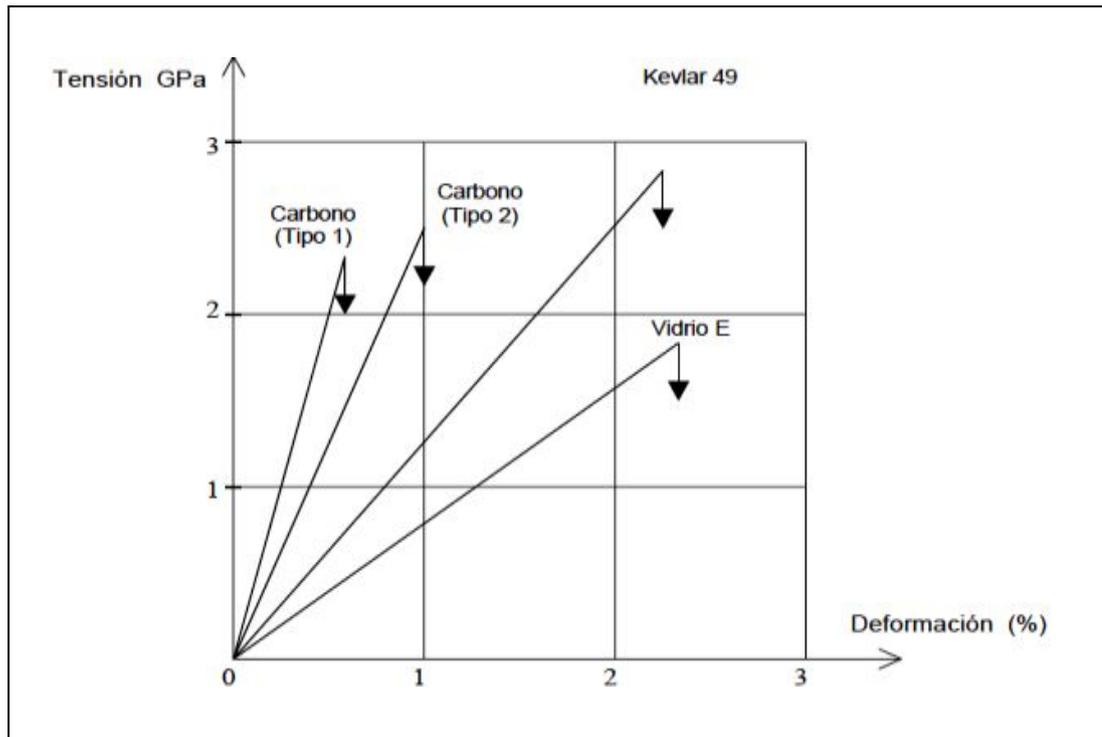


Figura. 2.7 Curvas tensión deformación de fibras. las flechas verticales indican rotura completa

Fuente: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612012000200012&script=sci_arttext

2.6 Los moldes

Cuando se trabaja con fibra de carbono, la etapa del diseño del molde adquiere una relevancia especial debido a que existe una multitud de factores a considerar, que influye de forma directa en la viabilidad técnica y económica del proyecto.

Es indispensable entonces, reunir en esta primera etapa del proyecto a las diferentes partes implicadas y discutir las ventajas e inconvenientes del diseño del componente.

2.6.1 Aspectos fundamentales previos

Los aspectos fundamentales previos a considerar en el diseño de un molde son normalmente requeridos estéticos, económicos y de formas del elemento estructural que se intenta fabricar.

Así, se puede distinguir:

- Método de producción seleccionado
- Tamaño y complejidad del diseño del elemento estructural
- Requerimientos de acabado superficial del elemento
- Costo de producción (Cantidad de unidades a producir)

2.6.2 Etapa de diseño del molde

El diseño de moldes es una tarea sumamente especializada, para su realización suelen utilizar una terminología y metodología específica de trabajo.

Esto supone acciones muy variadas a realizar durante esta etapa y que se puede resumir en:

- Selección del material del molde
- Espesores de molde recomendados
- Consideraciones sobre pliegues del molde
- Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos
- Gradiente de desmoldeo
- Consideraciones sobre grandes superficies planas
- Rigidización del molde
- Posibilidad de retoques
- Color de los moldes
- Particiones de moldes
- Mecanismos de desmoldeo

2.6.2.1 Selección del material del molde

Los materiales con los que se pueden construir los moldes son múltiples y diversos derivados (poliuretano, aglomerados, aglomerados contrachapados, maderas contrachapadas ,etc.)

Los aspectos que definen la selección del material de construcción del molde son el número de unidades a producir, la geometría del componente estructural y el costo de los materiales.

Si existe la necesidad de producir series en una cantidad elevada de unidades, normalmente los moldes se realizan en los mismos materiales compuestos que se utilizarán en la construcción de los elementos estructurales. Las ventajas son muchas, ya que no le afectan la temperatura ni la humedad en un amplio rango de temperaturas de trabajo, son más estables dimensionalmente y el degrado por su propio uso es menor que cuando se construyen en otros materiales. En contrapartida, suelen ser moldes más caros debido al coste de dichos materiales.

Si en cambio, se quiere hacer series de producciones bajas o inclusive construir solo una unidad, los moldes se pueden hacer en madera. Este material es mucho más económico pero más susceptible a ser atacado por agentes atmosféricos.

Mención especial merecen los moldes metálicos que ocupan un lugar importante en producción de componentes pequeños pero que resultan extremadamente costosos.

2.6.2.2 Espesores de molde recomendados

Los espesores de pared de los moldes deben ser los más reducidos posibles, ya que repercuten en la cantidad de material a utilizar y en el tiempo de fabricación, es decir en los costos. No obstante, deben asegurar una cierta rigidez del molde que evite deformaciones en los elementos.

Excesivos espesores en los moldes de materiales compuestos pueden provocar un enfriamiento irregular de la pieza, debido a la baja conductividad térmica de los mismos, dando lugar a las temidas distorsiones y alabeos.

También se debe considerar la uniformidad de los espesores del molde, ya que los espesores no uniformes pueden generar marcas de contracción en los componentes o generar tensiones internas debido a la diferencia en los tiempos de enfriamiento en diferentes sectores del molde.

Solo a título orientativo, se podría decir que un espesor recomendable de molde (para moldes simples, relativamente planos y suficientemente rigidizados) sería entre una vez y una vez y media el espesor del componente, dependiendo del material del molde.

2.6.2.3 Consideraciones sobre pliegues

Los pliegues presentes en los elementos deberían ser transformados en radios lo más amplios posibles, siempre y cuando no modifiquen la geometría de los componentes.

Esto es debido a que en dichas zonas se producen concentraciones de tensiones y pueden provocar la rotura del componente. Otro aspecto interesante de destacar es que en los pliegues, la distribución del laminado suele ser desigual entre fibra y matriz, debido a que la rigidez de la fibra no le permite adaptarse a zonas de curvatura tan brusca.

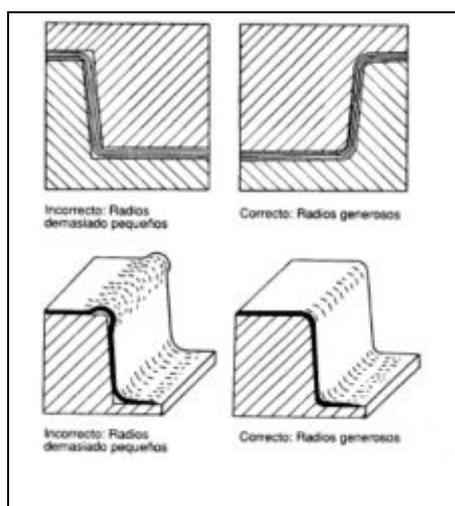


Figura. 2.8 Consideraciones sobre Pliegues.

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

2.6.2.4 Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos.

La distribución del laminado, en el caso de los moldes de materiales compuestos, debe hacerse de manera simétrica, ya que así se obtiene una buena estabilidad dimensional del mismo y se evita deformaciones que se puedan transmitir al componente de forma definitiva.

Esta simetría debe intentar respetarse en los tres planos del estratificado que se detallan a continuación:

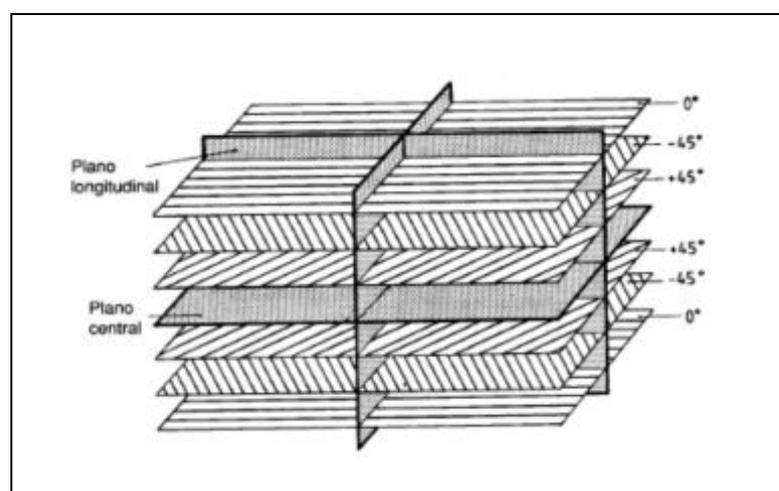


Figura. 2.9 Simetría del laminado en moldes de materiales compuestos

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

2.6.2.5 Gradientes de desmolde

Las contracciones que se producen en los elementos estructurales dentro de los moldes suelen ser diferentes de las que sufre el molde. Para evitar que las componentes queden aprisionados dentro de los moldes, estos deben dotarse con pendientes y conicidades que permitan un desmoldeo simple, sin excesiva fuerza. Dichas conicidades dependerán de la longitud de la pendiente.

También se pueden dotar los moldes de contra moldes o reservas.

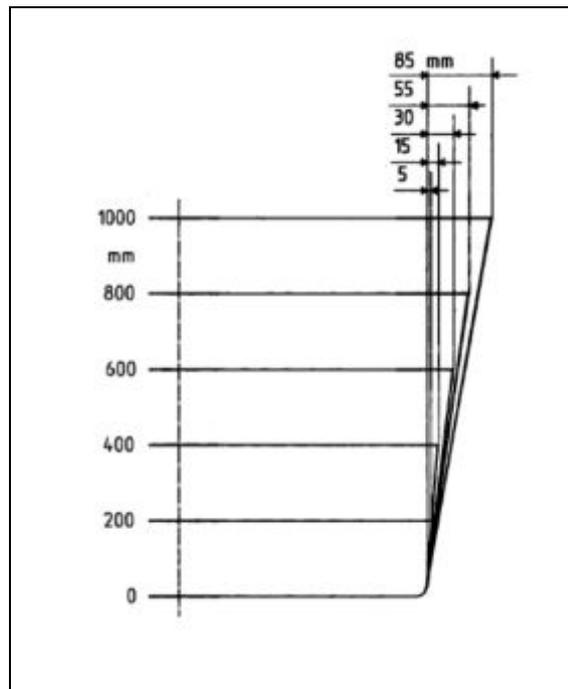


Figura. 2.10 Gradientes Recomendados

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

2.6.2.6 Consideraciones sobre grandes superficies planas

Las grandes superficies planas presentan muchos problemas a la hora de su ejecución. Debido a las características del laminado, suelen abombarse o curvarse y distorsionarse. Esto afecta a la estética del elemento estructural, provocando aguas, ráfagas y cambios de brillo.

Una solución práctica es introducir líneas de corte, cambios de planos, resaltes, agujeros y ranuras o hacer dichas superficies ligeramente curvadas, aunque esto eleva el costo de fabricación. Otra solución es introducir nervios o refuerzos aumentando así también la resistencia a la torsión y la rigidez del elemento a realizarse. También la utilización de grabados (Técnica de estampación superficial de un texto o imagen) puede resultar beneficiosa para evitar estos defectos tan comunes en las grandes superficies planas.

Todas estas soluciones podrán ser aplicadas siempre y cuando no se encuentre con las limitaciones que impone la estética del elemento.

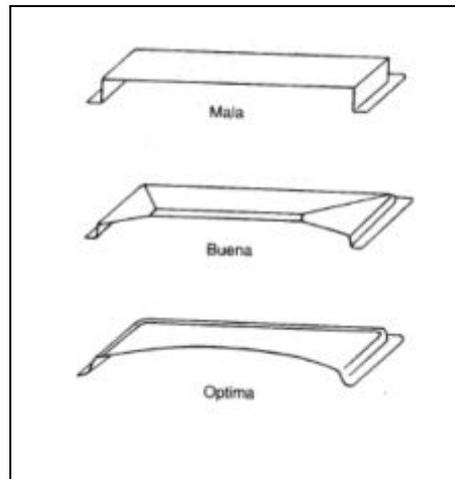


Figura. 2.11 Rigidez de una superficie

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

2.6.2.7 Rigidización del molde

Para evitar deformaciones de los moldes, estos deben ser suficientemente reforzados y estructurados. Un molde que permita excesivas deflexiones producirá un componente con defectos importantes como alabeos, cambios de brillos, y defectos superficiales como grietas en el gelcoat.

Los sistemas que permiten rigidizar un molde son varios, y de diferentes materiales, siendo uno de los más aceptados el sistema tubular metálico.

Dependiendo del tamaño del componente, se pueden disponer de estructuras de moldes fijas, móviles (con ruedas) y que puedan girarse para realizar una mejor labor de laminación.

La estructura metálica suele ser soldada entre sí y unida a un laminado al molde dando así a todo el conjunto una elevada rigidez.

El espaciado entre refuerzos varía en función del tamaño y complejidad del elemento, pero para grandes superficies y zonas con cierta planitud, una medida recomendable puede ser colocar refuerzos cada 500 mm.

También existen estructuras rigidizadoras de materiales compuestos. Consisten en preformas (generalmente medios tubos U omegas que pueden ser de cartón, plástico o espuma de poliuretano) laminadas con refuerzos de fibras, otorgando máxima rigidez al molde con menor peso que las estructuras metálicas.

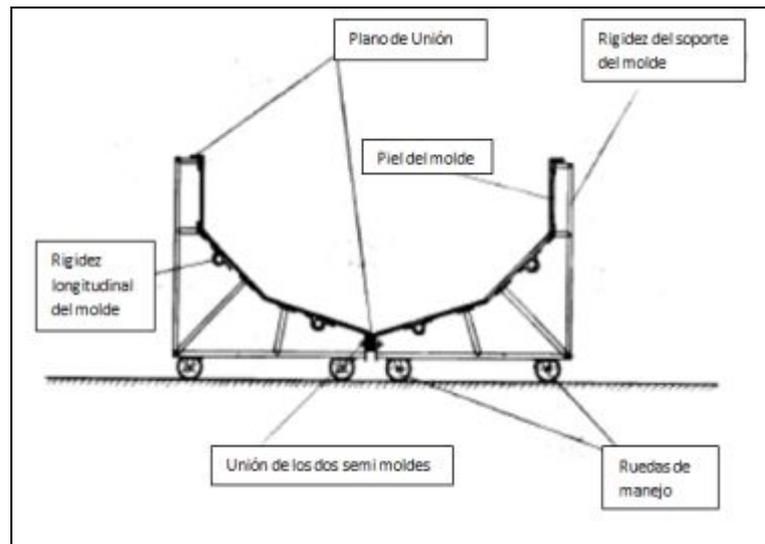


Figura. 2.12 Estructura metálica con ruedas

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

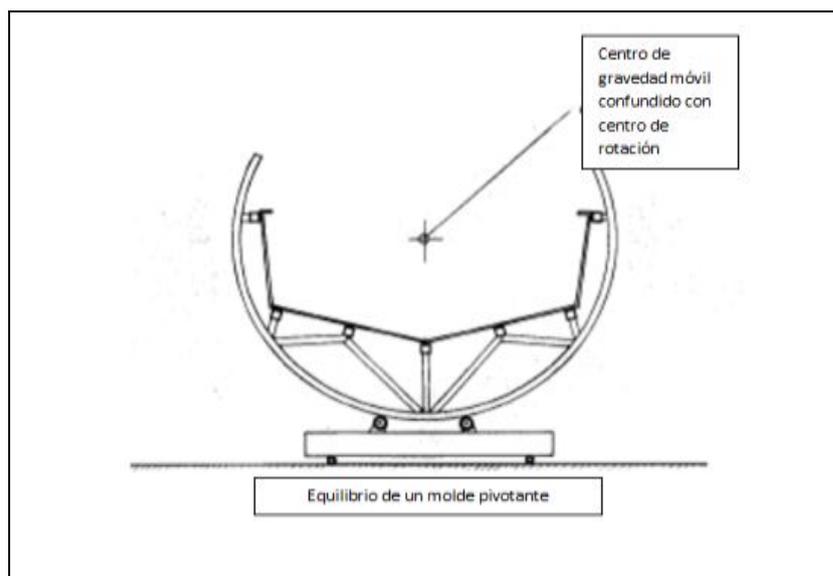


Figura. 2.13 Estructura metálica pivotante

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

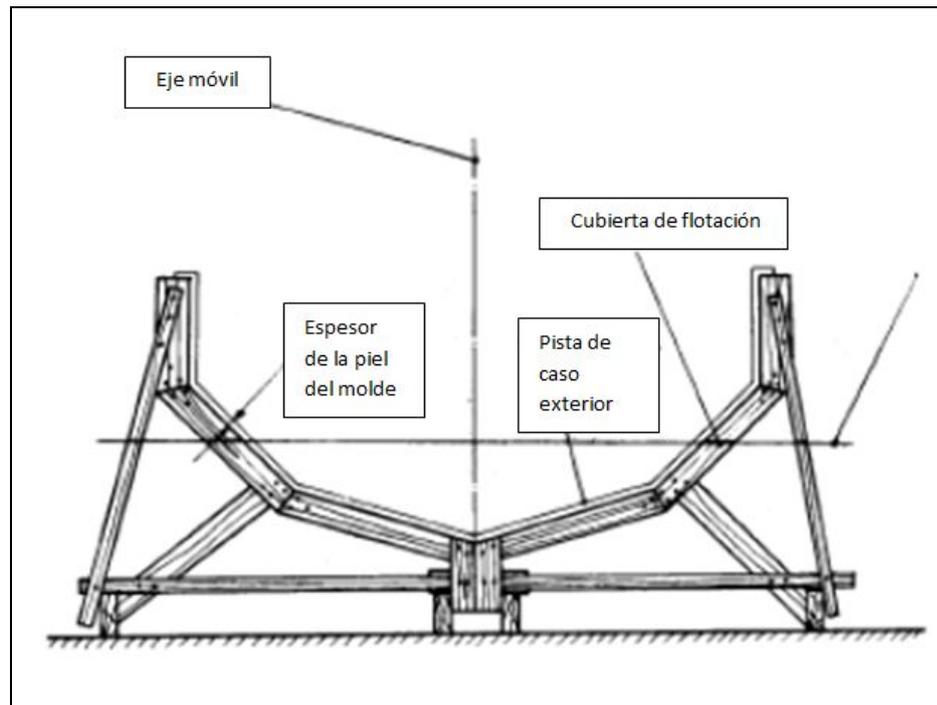


Figura. 2.14 Estructura de Madera Clásica

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

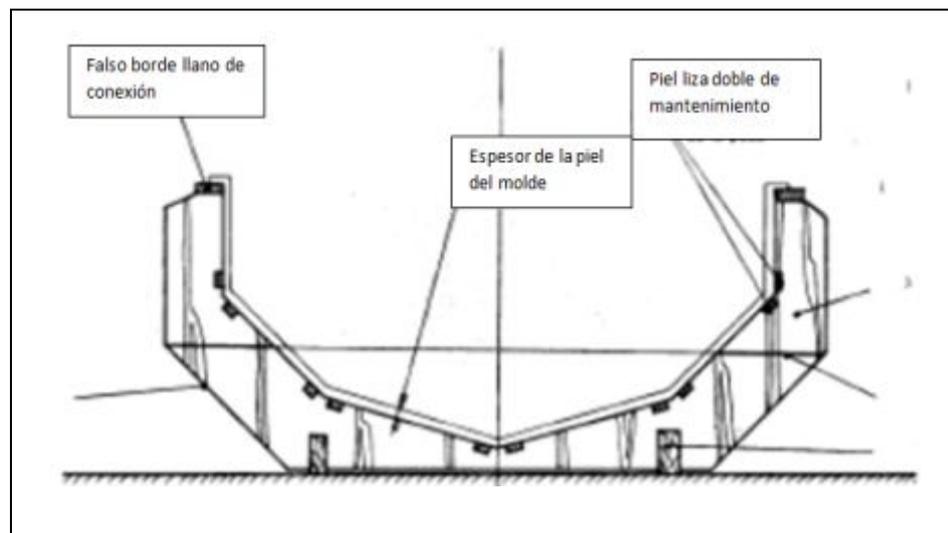


Figura. 2.15 Estructura combinada facetada

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

2.6.2.8 Posibilidad de Retoques

Dependiendo del método de producción seleccionado y de la geometría del componente, debe tenderse a eliminar al máximo las operaciones de mecanizado y retoques del componente estructural, ya que constituyen un factor clave en el costo de la misma en algunos métodos de moldeo como el prensado es casi imposible evitar dichos retoques.

Por todo esto, debe preverse con antelación en el diseño del elemento estructural y en el diseño del molde estos factores disponiendo las aristas del mismo, de manera que se pueda realizar solo simples retoques o posicionando tales defectos del componente en zonas que sean ocultas una vez montado el elemento estructural.

2.6.2.9 Color de los Moldes

Uno de los fallos más habituales de un elemento estructural de materiales compuestos es el agrietamiento superficial del gelcoat debido a su excesivo espesor durante la aplicación del mismo. Este fallo se produce porque el operario quiere garantizarse que la película del gelcoat “cubra bien” toda la superficie, cargando en sobremanera el molde de gelcoat. Esta acción puede ser evitada por dos medios: primero, utilizando un sistema de pintura que le permita realizar una capa uniforme de gelcoat sobre la superficie (por ejemplo a pistola) con sus correspondientes mediciones de espesores en húmedo; y segundo, teniendo un buen contraste sobre la superficie que se está proyectando el gelcoat.

Por esta segunda razón la mayoría de los moldes son tonalizados con colores oscuros como negro, azul, o bien colores que transmiten mayor contraste, como naranja o amarillo.

2.6.2.10 Particiones de moldes

Cuando la geometría del componente estructural que se intenta reproducir impide realizar el molde en una sola entidad, se recurre a realizar un molde en varias partes, que una vez acabado el proceso de laminado, se desmonta para permitir la extracción del elemento estructural.

El diseño de los puntos de partición del molde es una etapa delicada del proceso de diseño del molde, pero conviene dedicar mayor tiempo de análisis en este periodo que realizar múltiples modificaciones posteriores en el molde. La presencia de particiones en los moldes generaran en los componentes zonas de rebabas o zonas a mecanizar posteriormente, por lo que deben ser reducidos dichas particiones al máximo. También pueden generar desalineaciones o desajustes entre las partes, por lo que se deben situar dichas particiones en zonas de menor importancia o visibilidad, beneficiando la calidad final del elemento estructural.

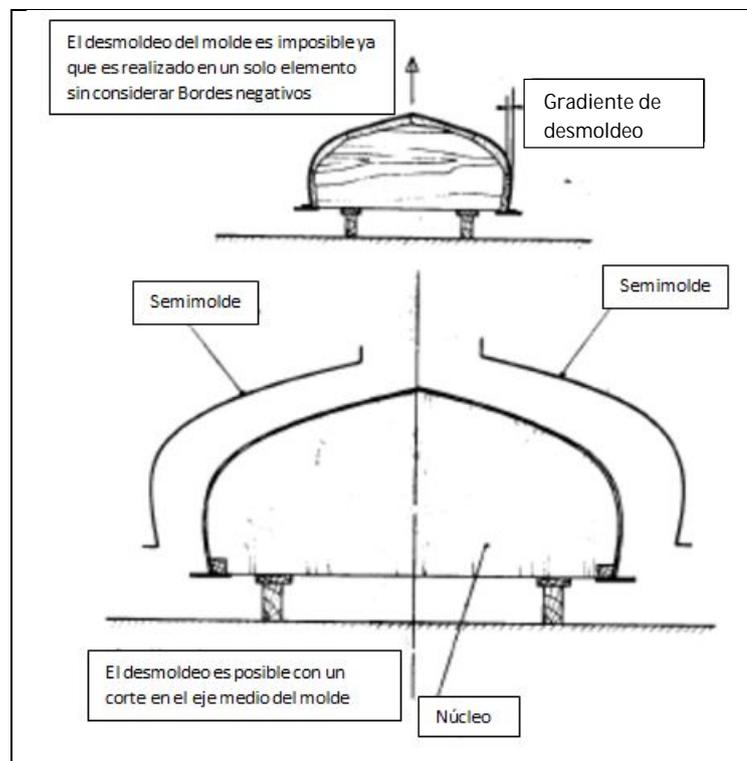


Figura. 2.16 Particiones de moldes

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638->

2.6.2.11 Mecanismos de desmolde

Otro aspecto a tener en cuenta en el diseño del molde es conocer cómo se efectuara el mecanismo de desmoldeo de la misma una vez acabada su construcción.

Si bien en la construcción de embarcaciones los elementos estructurales suelen ser extraídos por apertura de los moldes, existen otros métodos más apropiados para componentes de pequeñas dimensiones como mecanismos de expulsión mecánicos, hidráulicos y neumáticos.

Dichos métodos producen una alta velocidad de expulsión lo que permite aumentar el ritmo de producción.

Las operaciones de desmoldeo suelen generar marcas y hasta defectos, sobre todo si el molde no se encuentra bien planteado. Es importante indicar en los planos del elemento estructural las zonas donde esos fallos son menos propensos, para así poder tenerlos en cuenta a la hora de diseñar los moldes.

2.6.3 Clases de moldes

Para la obtención de elementos de plástico reforzado se necesita disponer de un molde. Un molde que dependiendo de lo complejo del componente puede ser simple o sofisticado, construido por varios pequeños moldes.

Atendiendo a una clasificación acerca de cuál superficie debe ser la de acabado superficial, los moldes para materiales compuestos se dividen en dos grandes grupos, independientes del número de unidades a producir.

- Moldes Machos
- Moldes Hembras

La elección del tipo de molde dependerá de que zona del componente sea la que debe recibir buen acabado. Así los moldes Machos se distinguen por reproducir superficies lisas en su cara interior, en tanto los moldes hembras, producen superficies pulidas en la cara exterior. Desde el punto de vista económico, los moldes machos resultan más económicos ya que el molde natural se utiliza como molde.

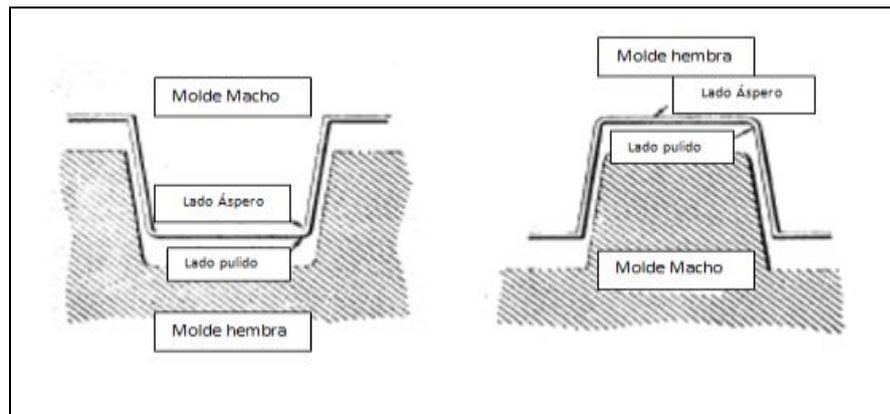


Figura. 2.17 Clases de Moldes

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

Atendiendo a una clasificación acerca de números de unidades a producir, se puede clasificar a los moldes en:

- Moldes para una sola unidad (One-off)
- Moldes para bajas y medias producciones
- Moldes para altas producciones

No se debe dejar de mencionar en este apartado los modelos, indispensables para la construcción de los moldes. Los modelos a escala natural, tanto si se los utilizan como modelo o molde, deben presentar superficies lisas y con todos los detalles de acabado del componente, reproduciendo con fidelidad el elemento estructural que se desea obtener.

Los materiales de construcción son los más diversos como el poliuretano, madera, plastilina, yeso, arcilla, metal, etc. Y se seleccionan de acuerdo a un criterio económico y de rapidez de construcción.

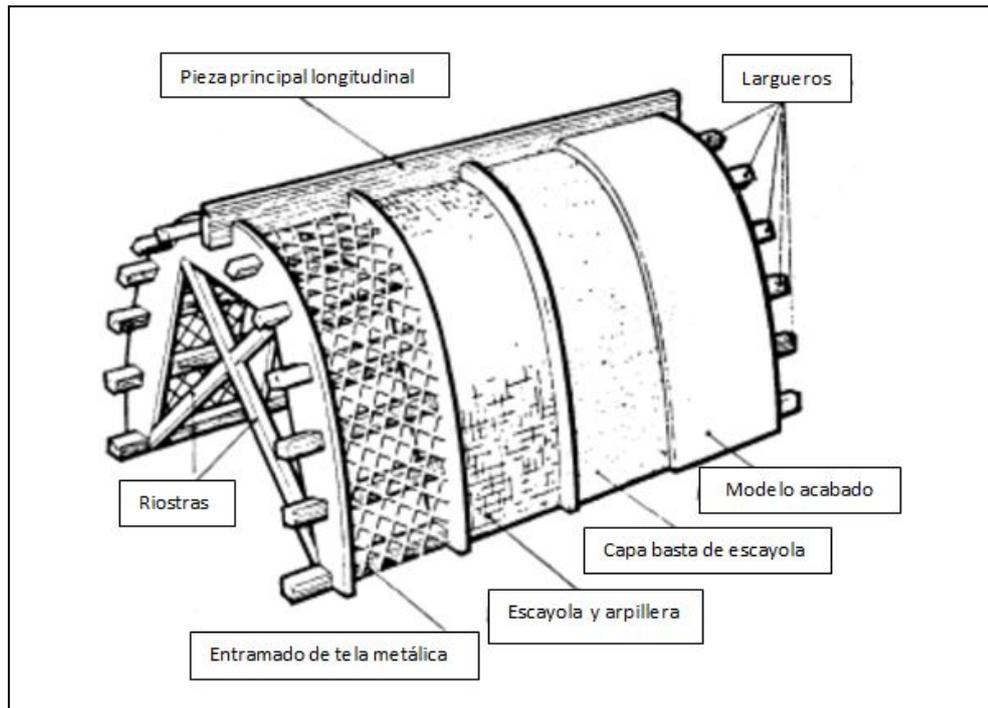


Figura. 2.18 Modelo de yeso

Fuente: <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

2.6.4 Etapa de producción

Una vez diseñado y construido el molde, y antes de empezar la producción de unidades, existen una serie de consejos que deberían ser conocidos y puestos en práctica por el constructor:

- Rodaje del molde
- Encerado del molde
- Marcas y deformaciones
- Reacondicionado del molde
- Mantenimiento

2.6.4.1 Rodaje del molde

Para garantizar el brillo de un elemento estructural, reducir el marcado de fibra y garantizar una vida prolongada de los moldes, es necesario realizarles un rodaje previo a la fabricación del componente estructural.

Un molde nuevo tiene mayor tendencia a adherir elementos que uno que ya está rodado.

El procedimiento de rodaje consiste en los siguientes pasos:

- (1) Se aplicara al molde nuevo algún agente desmoldante, como barreras filmogenas (PVA), un sistema polímero o las ceras clásicas de desmoldeo (mínimo 6 capas de cera).
- (2) Se proyecta sobre el molde nuevo gelcoat de producción con una pistola gravitatoria (en esta fase una bomba o equipo de inyección puede acarrear problemas de catalización).
- (3) Se despega el gelcoat en estado de gel firme. Si no hay adherencia, el molde está listo para utilizar. Si hay adherencia, el molde debe ser reparado y todo el proceso de rodaje debe ser repetido.
- (4) Se aplica, una vez desmoldado el gelcoat de producción, dos capas más de cera u otro agente desmoldante.
- (5) Se procede a poner dicho molde en producción.

La etapa de rodaje ha concluido.

2.6.4.2 Encerado del molde

Del correcto encerado del molde dependerá en buena medida de la calidad superficial del elemento acabado. El proceso de encerado es fundamental para evitar posibles adherencias a la hora del desmoldeo. Las ceras desmoldantes son una composición variable de carnauba, silicona y parafina. La carnauba es el agente desmoldante, la parafina se utiliza para reblandecer la carnauba y la silicona hace de lubricante para que se pueda aplicar la mezcla con mayor facilidad.

La aplicación de la cera debe hacerse en suaves movimientos circulares con trapos de muselina, limpios y suaves. Se utilizaran dos trapos para pulir la cera; Uno para quitar el exceso y el otro para dar brillo. Debe evitarse aplicar demasiada cera, ya que si no se quita y pule el exceso producirá

cambios de brillo en el componente estructural acabado. Respetar siempre las recomendaciones del fabricante de la cera acerca del plazo de espera entre sucesivas capas.

2.6.4.3 Marcas y deformaciones

El marcado es cuando se aprecian hilos de fibra de carbono a través de la película del gelcoat. Las deformaciones, también llamadas ondulaciones, son distorsiones visibles sobre la superficie de un molde.

Tanto el marcado como las deformaciones son producidas por la presencia de fibra de carbono en el molde, ya que la fibra aisladamente no marcan ni deforman.

La causa que provoca estos dos fallos es la diferencia de contracción entre el gelcoat, refuerzos y matrices. La contracción de las resinas de poliéster no puede evitarse por lo cual los moldes se retraen durante su fabricación, apareciendo el marcado y la distorsión.

También puede ser provocado por un efecto de pos polimerización anterior; Esta es la razón fundamental por la cual los moldes deben ser nuevamente curados a temperaturas ligeramente superiores a las temperaturas previstas de utilización, aproximadamente 25 °C. Una vez postcurados, el marcado se elimina por un lijado manual y no volverá a presentarse si no se sobrepasa esta temperatura de curado.

2.6.4.4 Reacondicionado del molde

Los defectos que pueda presentar un molde deben servir para hacer una evaluación previa a efectos de tomar una decisión. Si los defectos son el estratificado, quizás sería conveniente plantearse construir un molde nuevo. Si los defectos son en la película de gelcoat, quizás se podría realizar un

refrentado del molde. El refrentado consiste en limpiar el molde de agentes desmoldantes, lijarlo para que adquiera mordiente superficial, repintarlo y pulirlo nuevamente. Los siguientes pasos son entonces similares a los de rodaje de un molde nuevo.

2.6.4.5 Mantenimiento

Siguiendo un programa de mantenimiento preventivo de moldes se consigue producir numerosos elementos con un elevado rendimiento, brillos óptimos y se aumentará la vida útil del molde.

Los programas preventivos se basan fundamentalmente en las experiencias particulares de los fabricantes, pero como lineamientos generales se podría decir que consisten en establecer el número de elementos estructurales a ser realizados antes de que aparezcan los defectos (falta de brillo, adherencia del componente con el molde), y un número inmediatamente inferior para aplicar acciones de prevención como pequeñas reparaciones y nuevos encerados.

Los gelcoats de colores normalmente tienden a empañar los moldes. El brillo se puede recuperar con una limpieza del molde o un pulido mecánico. Por último, cuando los moldes son puestos fuera de producción una manera de protegerlos es aplicando una capa de gelcoat (de producción) sin estratificado, quitándosela antes de empezar un nuevo elemento.

2.6.5 Tolerancias

Trabajando con materiales compuestos, las tolerancias son siempre fuente de problemas, ya que múltiples factores interactúan y afectan al componente estructural y que se podría resumir en:

- Dimensiones del molde
- Contracciones del moldeo

- Postcontracción
- Dilatación térmica del molde
- Variación por humedad
- Variaciones por temperatura
- Deformaciones por cargas

Desde la óptica del constructor quizás lo más sensato sea diferenciar si las tolerancias son puramente dimensionales o son tolerancias funcionales.

Si las tolerancias son dimensionales, será más conveniente trasladarlas a elementos o materiales menos problemáticos, en cambio sí son del tipo funcional, se pueden resolver aportando diferentes soluciones en cuanto a diseño.⁶

2.7 Prueba Rockwell

El estándar ASTM E 18-03 (American Society for Testing and Materials) define la dureza Rockwell como un método de ensayo por indentación por el cual, con el uso de una máquina calibrada, se fuerza un indentador cónico esferoidal de diamante (penetrador de diamante), o una bola de acero endurecido (acero o carburo de tungsteno), bajo condiciones específicas contra la superficie del material a ser ensayado, en dos operaciones, y se mide la profundidad permanente de la impresión bajo condiciones específicas de carga.

El estándar ASTM E18-03 define el número de dureza Rockwell como un número derivado del incremento neto en la profundidad del indentador cuando la fuerza en el indentador es incrementada desde una fuerza previa (preliminar específica) hasta una fuerza total (específica) y luego retornada al valor de fuerza previa.

⁶ <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/22638-3142.pdf>

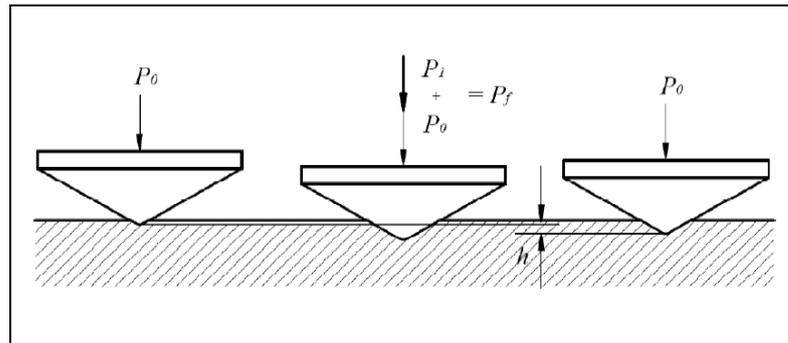


Figura. 2.19 Esquema de medición de la dureza Rockwell

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~gcalles/DUREZAROCKWELL.pdf>

Al comienzo el indentador penetra un poco en la superficie de la muestra bajo la acción de la carga previa **P0**, la cual se mantiene hasta el final del ensayo.

Esto garantiza una mayor exactitud del ensayo ya que excluye la influencia de las vibraciones y de las irregularidades de la delgada capa superficial. Después se expone la probeta a la acción de la carga total **Pf = P0 + P1**, y la profundidad de penetración aumenta. Luego de retirada la carga principal **P1**, en el sistema probeta-indentador ocurre una recuperación elástica, ya que sobre ella actúa sólo la carga previa **P0**, siendo posible la medición de la profundidad de penetración **h**, la cual determina el número de dureza Rockwell (HR).

Para determinar la dureza Rockwell se utilizan dos tipos de indentadores: el cónico-esferoidal de diamante y el de bola (acero o carbono de tungsteno) de varios diámetros. Entre el número de Rockwell y la profundidad de la impronta **h** existe la siguiente dependencia:

Para el cono de diamante
$$HR = 100 - \frac{h}{0,002}$$

Para las bolas de acero
$$HR = 130 - \frac{h}{0,002}$$

De estas fórmulas se deduce que cada unidad de dureza Rockwell corresponde a una penetración de 0,002 mm y que el valor de dichas unidades debe ser restado de cierto "tope" para que haya coherencia: a

menor profundidad de penetración mayor será el número de Rockwell y viceversa.

En la práctica no hay necesidad de usar estas fórmulas, ya que los indicadores de las máquinas de Rockwell de manera automática realizan estas operaciones mostrando directamente el número de dureza en sus diales. Esta característica granjeó para este método una gran popularidad.

A partir de las combinaciones posibles de distintos indentadores y cargas, el estándar ASTM E18 define 15 escalas diferentes de durezas Rockwell. Se muestra la tabla que las define, tomada directamente de dicho estándar. En esta tabla se muestra también la aplicabilidad de cada tipo de prueba.

Tabla 2.4

Escalas de dureza Rockwell (Tomado de ASTM E 18 – 03)

Escala	Indentador	Carga Total	Color de escala	Aplicaciones
A	Cono diamante	60	Negro	Metales duros, Superficies templadas, chapa fina (<0.4 mm)
D	Cono diamante	100	Negro	Elementos con superficies templadas de dureza media, chapas
C	Cono diamante	150	Negro	Aceros templados
F	Bola de Ø 1/16"	60	Rojo	Aleaciones cobre recocido. Chapa fina metálica (>0.6 mm)
B	Bola de Ø 1/16"	100	Rojo	Aceros blandos, de construcción, metales no ferrosos
G	Bola de Ø 1/16"	150	Rojo	Bronce, cobre - berilio, cobre - níquel, fundición maleable
H	Bola de Ø 1/8"	60	Rojo	Aluminio, zinc, plomo
E	Bola de Ø 1/8"	100	Rojo	Fundición, aleaciones Al-Mg, metales antifricción o sintéticos

Continúa



K	Bola de Ø 1/8"	150	Rojo	Metales antifricción o de dureza muy baja, (ASTM D530 - 59T), Madera laminada (ASTM D 805 - 52), Materiales sintéticos (ASTM D- 785-60T), otros materiales muy blandos o muy finos
L	Bola de Ø 1/4"	60	Rojo	
M	Bola de Ø 1/4"	100	Rojo	
P	Bola de Ø 1/4"	150	Rojo	
R	Bola de Ø 1/2"	60	Rojo	
S	Bola de Ø 1/2"	100	Rojo	
V	Bola de Ø 1/2"	150	Rojo	

Fuente: <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAROCKWELL.pdf>

2.7.1 Procedimiento

Para obtener la dureza Rockwell de la superficie de un material se indentador (cónico-esferoidal o esférico, según el caso) con una carga previa, luego se aplica la carga principal para sostener la carga total durante algún tiempo.

Luego de retirada la carga principal y mantenido la previa, se observa en la escala correspondiente al tipo de indentador, el valor de la dureza Rockwell, calculado automáticamente por la máquina. En las mismas condiciones se realizan diferentes indentaciones posteriores.⁷

⁷ <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAROCKWELL.pdf>

2.8 Equipo básico para realizar moldes epóxicos



Figura. 2.20 Kit para fabricación de moldes (Portada)

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

El proceso para la realización de un molde epóxico es estándar para cualquier elemento estructural aeronáutico, seguidamente se indicara los elementos básicos para la realización del trabajo de moldeado.

a. Pasta putty para moldeo (Masilla epóxica)

Masa moldeable de rápido endurecimiento y base epóxica para moldeado, utilizada para dar refuerzo consistente al gelcoat y para aumentar el gradiente de desmoldeo ⁸



Figura. 2.21 Masilla epóxica

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

b. Endurecedor (para masilla epóxica)

Un endurecedor o agente de curado, es un producto químico puro o mezclado, que cuando se añade a una sustancia, reacciona con ella, y la convierte en un polímero con nuevas características. ⁹



Figura. 2.22 Endurecedor (para masilla epóxica)

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

⁸ <http://www.weicon.com/pages/es/products/adhesives.php>

⁹ <http://www.jmcprl.net/glosario/endurecedores.htm>

c. Cera desmoldante carnauba

Es una pasta desmoldante con excelente deslizamiento para dar una cobertura separadora entre el molde y el elemento estructural.¹⁰



Figura. 2.23 Cera desmoldante

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

d. Agente desmoldante PVA

Solución que otorga doble protección desmoldante y crea una superficie separadora entre el molde y el elemento estructural.¹¹



Figura. 2.24 Agente Desmoldante PVA

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

¹⁰ http://www.fabricamx.com/PDF/BASF/BASF_MANUAL.pdf

¹¹ <http://www.neumaltda.cl/images/documentos/HDSMEL/HDS%202245/1087.pdf>

e. Endurecedor (Para el gelcoat)

Solución de peróxido de MEK que provoca endurecimiento progresivo en el gelcoat del molde a realizar.¹²



Figura. 2.25 Endurecedor para el Gelcoat

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

f. Gelcoat epóxico color naranja

Es un material creado para conferir un acabado de alta calidad en la superficie visible. Los gelcoats más comunes tienen como base resinas epóxicas o de poliéster insaturado. Los Gelcoats son resinas modificadas que se aplican en el vaciado de moldes en estado líquido. Al curarse, forman polímeros reticulados y posteriormente se cubren con matrices de polímero compuesto.¹³

¹² http://mohikans.net/index.php?id_product=2102&controller=product&id_lang=3

¹³ <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/gelcoat.html>



Fig. 2.26 Gelcoat epóxico color naranja

Fuente: <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>

2.9 Normas de seguridad para trabajar con materiales compuestos

Debido a las características del trabajo que se realiza con materiales compuestos se pueden provocar accidentes de diversa consideración, como incendios, explosiones, desmembraciones, intoxicaciones y quemaduras. Debe disponerse, por tanto, de elementos de actuación adecuados para que estos efectos puedan ser controlados.¹⁴

Siempre se debe tener a la mano la “Hoja de Datos de Seguridad del Material” (MSDS, de sus siglas en inglés: Material Safety Data Sheet), cuando se trabaje con cualquier tipo de resina o solvente. La MSDS contiene información vital acerca de precauciones de salud, flamabilidad del material, e información para los asistentes de salud en caso de accidente. Las hojas MSDS deben ser almacenadas en un lugar seguro y de fácil acceso para todo el personal de trabajo. Las resinas a emplearse vienen con sus respectivas instrucciones de mezcla y sus hojas MSDS.¹⁵

¹⁴<http://www.uv.es/gammm/Subsitio%20Operaciones/7%20normas%20de%20seguridad.htm#Normas%20para%20productos%20quimicos>

¹⁵<https://www.caib.es/sacmicrofront/archivopub.do?ctrl=MCRST350ZI131693&id=131693>

2.9.1 Seguridad individual personal

2.9.1.1 Seguridad en ojos y cara

La protección de los ojos y la cara de peligros es extremadamente importante si se tiene en cuenta todos los órganos y el tejido blando en esta zona del cuerpo. Por ejemplo, un proyectil que se inserta en el ojo, no sólo daña la vista sino también los ligamentos y los músculos que permiten su movimiento y, en algunos casos, también puede dañar el cerebro.

Además, las laceraciones en la cara pueden dañar el tejido muscular y dejar cicatrices de por vida. Pueden producirse lesiones graves con gran rapidez y, por lo tanto, es importante seleccionar el equipo de protección personal adecuado para cada tarea. Asegúrese siempre de que el equipo de protección personal esté adecuadamente clasificado, que calce correctamente y que no obstruya la visión.¹⁶

Los anteojos utilizados en materiales compuestos son los Contra líquidos, vapores, humos y gases: Estos anteojos deben proporcionar un cierre hermético para los ojos, evitando así el contacto con estos elementos.¹⁷



Figura. 2.27 Gafas para trabajar con materiales compuestos

Fuente: es.slideshare.net/.../equipos-de-proteccion-personal-ojos-y-cara-i-t-s-i

¹⁶ https://safety.cat.com/cda/files/673689/9/Microsoft%20Word%20-%20Eye%20and%20face%20protection_V1010.1%20Spanish.pdf

¹⁷ https://safety.cat.com/cda/files/673689/9/Microsoft%20Word%20-%20Eye%20and%20face%20protection_V1010.1%20Spanish.pdf



Figura. 2.28 Máquina para lavado de ojos aprobado por la OSHA (Occupational Safety and Health Administration)

Fuente: https://www.masterdirect.com/store/product_details.php?item_id=49368

2.9.1.2 Seguridad en la piel

El uso de overoles, mandiles o cualquier tipo de traje enterizo es recomendado para prevenir la contaminación de la ropa y el eventual contacto posterior con la piel. La ropa manchada en gran proporción con resinas epóxicas, debe ser desechada. Puede resultar muy irritante para la piel el que ropa manchada de resinas epóxicas se encuentren cerca de la misma.

Algunos materiales pueden causar reacciones alérgicas cuando tienen contacto con la piel. Algunas personas son más sensibles a estos materiales que otras. La manera más eficaz de proporcionar protección superficial con estos químicos es a través del uso de guantes de caucho. Estos guantes deben reemplazarse después de usados.

Asegúrese que cualquier salpicadura de resina inmediatamente de su piel sea retirada. Debe lavarse muy bien las manos antes y después del trabajo,

antes de comer o fumar y antes de ponerse los guantes.

Siempre lave sus manos antes de usar el baño. Muchos de los químicos son cancerígenos potenciales y pueden causar una irritación seria en la piel.

Hay tipos especiales de limpiadores de la resina epóxica disponibles que eliminarán la resina de la piel. No use solventes excesivamente fuertes para limpiar la piel, ya que estos pueden reseca-la excesivamente y causarán reacciones alérgicas que pueden causar el descascaramiento de la piel.(una forma de dermatitis).¹⁸



Figura. 2.29 Uso de trajes para trabajos en materiales compuestos

Fuente: <http://www.diaf-ecu.gob.ec>

2.9.1.3 Respiración e ingestión

En trabajos que se utilizan cualquier tipo de resinas o solventes, se debe contar con una ventilación adecuada. Algunas resinas son altamente tóxicas, por lo que en la mayoría de trabajos en materiales compuestos se requieren que se trabaje con mascarillas protectoras.

Sin embargo, una vez que los químicos han sido mezclados, es a menudo necesario aplicar la resina en una área sin ventilación, o en sitios en los que el operario se expone a los humos químicos. En tales casos, es importante que se utilicen mascarillas protectoras que filtren el aire que se respira.

¹⁸ <http://charlasdeseguridad.com.ar/2011/05/cuidado-de-la-piel/>

Una vez terminado el trabajo, el técnico debe mantener los guantes, ropa o material que esté contaminado lejos de manos y/o boca. Algunos de estos materiales no tienen ningún antídoto conocido, y en caso de ser ingeridos, éstos pueden causar la muerte.¹⁹



Figura. 2.30 Uso de mascarillas para evitar la respiración e ingestión de componentes de materiales compuestos

Fuente: <http://bloganvela.com/2007/09/>

2.9.1.4 Solventes, utilización y seguridad

Una gran parte de solventes se usan cuando se trabaja con materiales compuestos, o en el momento que se los está reparando. Muchos de los solventes más comunes usados con los materiales compuestos incluyen: MEK o Methyl – Ethyl – Keytone

Son usado para limpiar polvo, grasa y los moldes de los materiales compuestos.²⁰

¹⁹ http://www.paritarios.cl/especial_riesgo_uso_productos_quimicos.htm

²⁰ <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n59/n59a13.pdf>

2.9.1.4.1 Acetona

Generalmente es usado para la limpieza de herramientas, equipo, y finalmente para limpiar los materiales compuestos después de lijarlos. Las siguientes recomendaciones de seguridad deberían seguirse con el uso de todo tipo de solventes y matrices:

- Todos los solventes son inflamables. No se debe fumar cuando los solventes están siendo utilizados. No use solventes en los sitios de lijado o esmerilado, las chispas podrían crear un riesgo potencial de fuego. No se debe tener solventes cerca, cuando se desenrollan rollos de materiales plásticos, ya que éstos pueden crear cargas eléctricas estáticas, generando chispas que pueden provocar un eventual incendio.
- Use los solventes mesuradamente, no lo vierta hacia la parte en la que lo va a utilizar. Una tela suave humedecida con el solvente es normalmente lo adecuado.
- Use los solventes en un área con una buena ventilación y evite la aspiración prolongada de los vapores que éstos emanan.
- Use guantes cuando esté trabajando con los solventes, para protegerla piel de las manos
- Nunca use solventes para limpiar la piel. Existen limpiadores de materiales epóxicos que son mucho menos nocivos para la salud que los solventes comunes.
- Use gafas protectoras cuando se estén vertiendo solventes.
- Los solventes deben ser guardados en sus envases originales.²¹

²¹ <http://www.servindustria.com.co/publicaciones/9.pdf>

2.9.1.5 Seguridad con el uso de herramientas.

Todas las herramientas neumáticas deben ser desconectadas del suministro de aire antes cambiar los cortadores(Rápidas). Nunca debe sostener partes pequeñas de material en sus manos mientras taladra, siempre debe usar un apoyo.

Siempre para descargar las herramientas neumáticas se lo debe hacer en un sitio donde no se encuentre ninguna persona. El uso de gafas de seguridad es necesario en el momento de lijar, taladrar o cortar.

Nunca use el aire comprimido para quitar el polvo de una parte que se ha sido lijada. La presión excesiva del aire excesiva podría causar que un área del laminado sufra una desunión, lo que podría ocasionar un mayor daño posterior en el elemento estructural. Para quitar el polvo, debe usarse una aspiradora, seguido por un lavado con solvente.²²



Figura. 2.31 Kit para hacer moldes epóxicos

Fuente: http://carbonlabstore.com/?product_cat=kits

²² <http://es.scribd.com/doc/113542774/norma-estandar-operacional-uso-de-Herramientas-Neumaticas-o-Accionadas-Por-Aire-Comprimido-herramientas-Portátiles>

CAPÍTULO III DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Preliminares

Para la realización del presente proyecto de grado se realizó un minucioso análisis de alternativas, en los cuales se toman en cuenta varios parámetros de selección. Los mismos que aportaron de manera significativa para la fabricación de elementos estructurales en fibra de carbono.

3.2 Análisis de alternativas

3.2.1 Tablas comparativas

Tabla 3.1

Tabla de alternativas y estudio técnico

Kits	Contenido de fibra de vidrio para refuerzo	Tiempo de fabricación total	Cantidad de pasta de putty para moldeo	Costo
kitmould	No	3 – 4 horas	500 gr	300 - 350 USD
Carbokit composites	No	4 – 5 horas	500 gr	280 - 330 USD
Carbonlabstore	Si	3 – 4 horas	750 gr	250 - 300 USD
Feroqa	No	5 – 6 horas	1000 gr	600 - 700 USD

3.2.2 Análisis de factibilidad para kits

Mediante la realización de este análisis de factibilidad se conoció las ventajas y desventajas de los diferentes kits para la realización de moldes epóxicos.

a.- Kitmould



Figura. 3.1 Kitmould

Fuente: <http://www.kitcarbono.com/productos/view/KITMOL-KITMOULD>

Ventajas

- Cuenta con pulimento final
- Contiene depresores para mezclar

Desventajas

- No cuenta con ningún tipo de refuerzo para el molde
- Sirve solo para componentes pequeños
- Envió desde Inglaterra
- No cuenta con cd ilustrativo

b.- Carbokit composites



Figura. 3.2 Carbokit Composites

Fuente: <http://carbokit.cl/index.php/kits>

Ventajas

- Incluye Guantes de nitrilo
- Fabrica moldes con el mínimo de resina residual

Desventajas

- Alto costo
- Envió desde EE.UU
- Poca cantidad de gelcoat

c.- Carbonlabstore



Figura. 3.3 Carbonlabstore

Fuente: http://carbonlabstore.com/?product_cat=kits

Ventajas

- Útil para realizar componentes grandes
- Bajo costo
- Importación desde Colombia
- Contiene desmoldante PVA
- Incluye Equipo de protección personal
- Cd de ilustración

Desventajas

- No contiene Gramera

d.- FeroCa



Figura. 3.4 FeroCa

Fuente: <http://www.feroca.com/es/76-kit-moldeo-silicona-resina-poliuretano.html>

Ventajas

- Mayor cantidad de masilla
- Mayor cantidad de desmoldante

Desventajas

- Alto costo
- Envió desde Madrid
- Carencia de gelcoat
- Carencia de gelcoat
- Carencia de equipo de protección personal

3.2.3 Evaluación de parámetros

Tomando en cuenta las diferentes características de los kits , se tomara en cuenta un valor de 0.1 a 1 para su calificación y de esta manera poder seleccionar el kit adecuado para el proyecto.

- a) Contenido de fibra de vidrio para refuerzo
- b) Tiempo de fabricación total
- c) Cantidad de pasta putty para moldeo
- d) Costo

Para decidir cuál es el kit más recomendable que se puede usar, se procede a realizar el cuadro de evaluaciones de parámetros y de ponderación

Tabla 3.2

Evaluación de parámetros

Parámetros de evaluación	Alternativas			
	A	B	C	D
Contenido de fibra de vidrio para refuerzo	0.1	0.1	1	0.1
Tiempo de fabricación total	0.9	0.7	0.9	0.5
Cantidad de pasta putty para moldeo	0.5	0.5	0.75	0.9
Costo	0.5	0.7	0.9	0.3

Tabla 3.3

Ponderación

Parámetros de evaluación	Factor		Alternativas		
	X	AX	BX	CX	DX
Contenido de fibra de vidrio para refuerzo	0.25	0.025	0.025	0.25	0.025
Tiempo de fabricación total	0.25	0.225	0.175	0.225	0.125
Cantidad de pasta putty para moldeo	0.25	0.125	0.125	0.1875	0.225
Costo	0.25	0.125	0.175	0.225	0.075
Total	1	0.5	0.5	0.8875	0.45

3.3 Adquisición

El kit adquirido es el KIT CARBONLABSTORE hecho especialmente para realizar moldes epóxicos de cualquier clase, ya que cuenta con refuerzo de fibra de vidrio para la realización del molde y equipo de protección personal, además el precio de dicho kit es mucho más bajo al de los demás y su importación es mucho más fácil ya que dicha empresa radica en Medellín – Colombia.



Figura. 3.5 Kit Carbonlabstore

Fuente: http://carbonlabstore.com/?product_cat=kits

Se muestra a continuación el contenido y las características técnicas del kit seleccionado.

Tabla 3.4

Contenido y características técnicas del kit Carbonlabstore

MODELO	KIT para realizar moldes epóxicos
Pasta putty para moldeo	750 g
Endurecedor para pasta putty	25 g
Base gelcoat naranja epóxica	200 g
Endurecedor para base gelcoat	40 g
Cera desmoldante carnauba	15 g
Agente desmoldante PVA	35 ml
1 brocha	1"
Vasos para mezcla	2
Paletas para mezcla	2
Guantes de látex	1 par
Libro tutorial	1
Cd tutorial	1

Fuente: http://carbonlabstore.com/?product_cat=kits

3.4 Implementación

3.4.1 Selección de Fairing

Se toma como ejemplo un Fairing de fabricación de fibra de vidrio del alerón izquierdo del avión Fairchild ubicado en el bloque 42 de la Unidad de Gestión de Tecnologías perteneciente a la Universidad de la Fuerzas Armadas – ESPE.



Figura. 3.6 Extracción del fairing

3.4.2 Proceso para realizar un molde epóxico mediante el fairing extraído

Los pasos a seguir para la fabricación de moldes son ilustrativos. Sin embargo se debe tomar en cuenta que es indispensable remitirse al manual a la hora de empezar a trabajar.

3.4.2.1 Materiales necesarios

3.4.2.1.1 Materiales Primarios

- Pasta putty para moldeado (Masilla epóxica)
- Endurecedor (para masilla epóxica)
- Cera desmoldante
- Agente desmoldante PVA
- Endurecedor (Para el gelcoat)
- Gelcoat epóxico color naranja
- Hilos de fibra de vidrio (opcional)

3.4.2.1.2 Materiales secundarios

- Espátulas
- Paletas
- Vaso para mezcla
- Tijera
- Bisturí
- brocha
- Marcadores y lápices
- Gramera
- Cintas de papel
- Plástico
- Tela trapo
- Motor tool

3.4.2.2 Equipo de protección personal

- Gafas para protección visual
- Mascarilla
- Overol
- Guantes de látex
- Zapatos con punta de acero
- Tapa oídos

Es importante tener claro y planificar el molde del elemento que se va a realizar antes de comenzar. Se debe tomar en cuenta los ángulos negativos de los componentes estructurales para evitar daños en los moldes.

Se procede a lijar y pintar de negro mate el Fairing para ver imperfecciones en la contextura y se procede a realizar el moldeado del mismo.

3.4.2.3 Descripción del proceso de moldeado

Paso 1

Se recubre el elemento a moldear con cinta adhesiva y cartón para evitar fuga de masilla, aumentar la rigidez y dejar los límites del molde bien definidos.



Figura. 3.7 Fairing original

Paso 2

Se procede a realizar una raya de borde a aproximadamente 1 cm del elemento a moldear, con el fin de aplicar la masilla de una manera uniforme y no desperdiciarla.

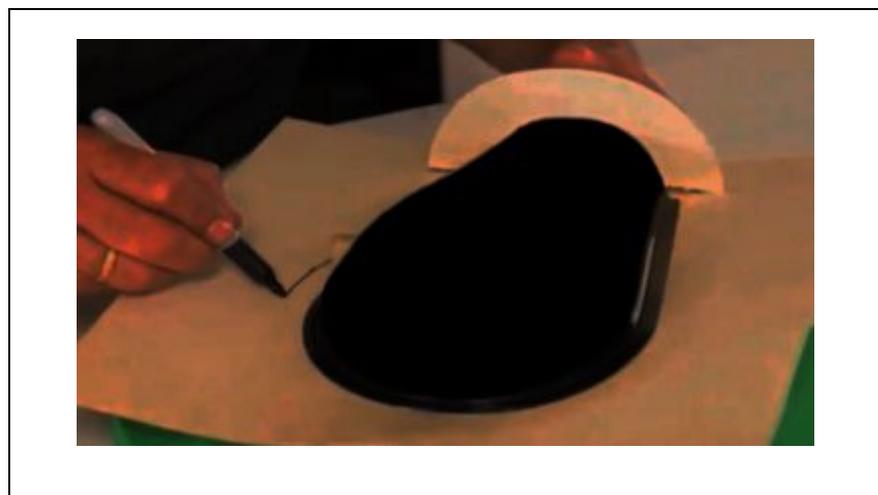


Figura. 3.8 Límites para el moldeado

Paso 3

Se debe tapar cualquier abertuta con plastilina para que la resina no se introduzca en lugares indebidos.

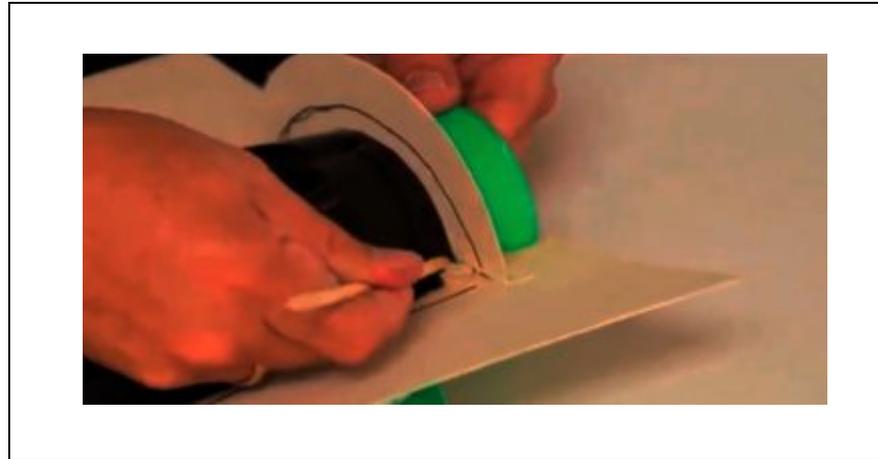


Figura. 3.9 Tapado de orificios de fuga

Paso 4

Aplicar la cera desmoldante de 3 a 4 capas con el objetivo de que no se pegue la resina, dejar secar en cada ciclo por 5 minutos.

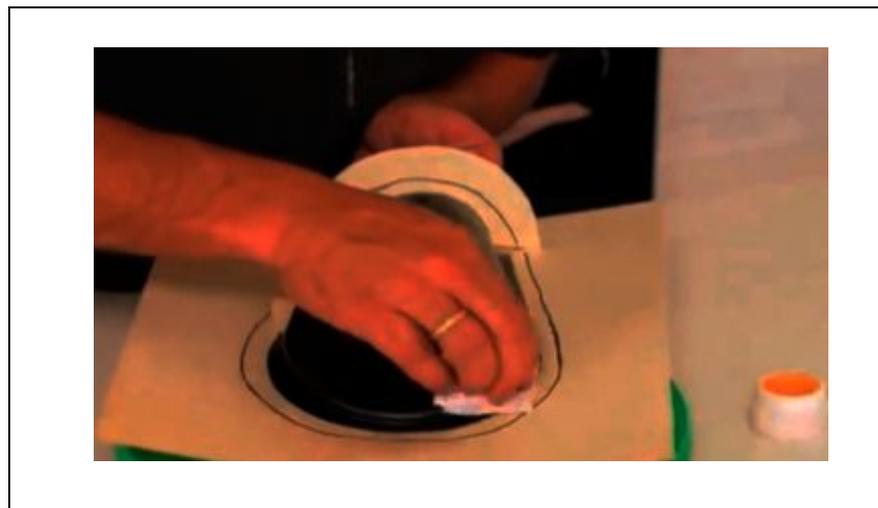


Figura. 3.10 Aplicación de cera desmoldante

Paso 5

Una vez que se ha secado la cera desmoldante se procede a removerla.



Figura. 3.11 Remoción la de cera desmoldante

Paso 6

Una vez retirada la cera desmoldante, se procede a aplicar el desmoldante PVA al elemento y al cartón como doble protección para que no se pegue la resina y se deja secar por 25 minutos.



Figura. 3.12 Aplicación del desmoldante PVA

Paso 7

Se procede a hacer la mezcla de la resina gelcoat mediante 2 componentes principales: Gelcoat epóxico color naranja y el Endurecedor (Para el gelcoat) en proporciones de diez a dos respectivamente por 3 min.



Figura. 3.13 Preparación del gelcoat

Paso 8

Cuando ya se encuentre lista la mezcla de la resina gelcoat se procede a ponerla con una brocha en los bordes del elemento y luego se aplica capas generosas por toda la superficie.



Figura. 3.14 Aplicación del gelcoat

Paso 9

Con un secador se eliminaran burbujas de aire que quedan atrapadas en la mezcla, se deja secar 1 hora a aproximadamente 25 grados centígrados con pistola.



Figura. 3.15 Secado del gelcoat

Paso 10

Una vez que la primera capa de gelcoat esté seca se aplica una segunda capa para emparejar la superficie, se deja secar 1 hora el gelcoat entre capa y capa a aproximadamente 25 grados centígrados.



Figura. 3.16 Segunda aplicación del gelcoat

Paso 11

Se procede a preparar la masilla con 2 componentes principales: Pasta putty para moldeo (Masilla epóxica) y el Endurecedor (para masilla epóxica). Por cada 100 gramos de pasta se debe aplicar 4 gramos de endurecedor.



Figura. 3.17 Preparación de la pasta putty

Paso 12

Mediante una paleta y con movimiento hacia el centro se comienza a mezclar la pasta putty con el endurecedor, Si se necesita más rigidez para el molde se recomienda añadir hilos de Fibra de vidrio.



Figura. 3.18 Mezcla de la pasta putty

Paso 13

Una vez mezclada la masilla se comienza a aplicarla en el molde primeramente en esquinas y bordes realizando una ligera presión .



Figura. 3.19 Aplicación de la masilla

Paso 14

Se procede a ubicar la masilla en la parte superior tratando de ubicar capas parejas hasta alcanzar un espesor de $\pm 1/2$ ".

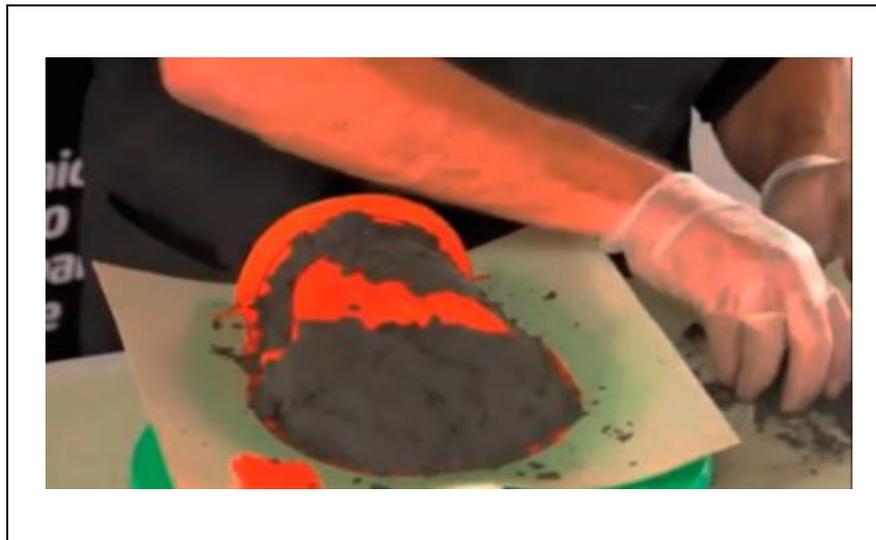


Figura. 3.20 Distribución de la masilla

Paso 15

Con una paleta se realizan movimientos hacia el centro para evitar fuga de masilla y para comprimir la misma, se deja secar por 3 horas a 25 °C.



Figura. 3.21 Unificación de la pasta masilla

Paso 16

Una vez ya seca la masilla y se procede a pulirla para dejarla uniforme.



Figura. 3.22 Proceso de pulido de la masilla

Paso 17

Se procede a retirar con un motor tool los excesos de cartón.

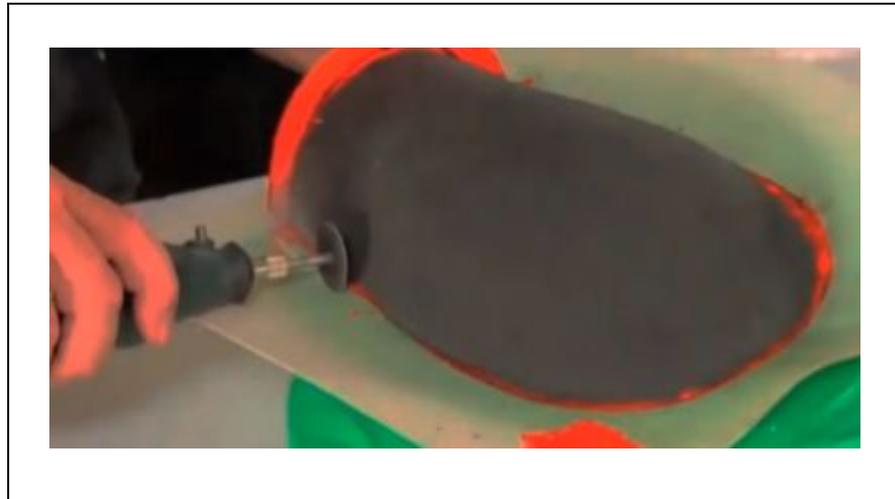


Figura. 3.23 Corte del cartón protector

Paso 18

Se debe remojar el elemento para que se humedezca el cartón y así poder removerlo con mayor facilidad.

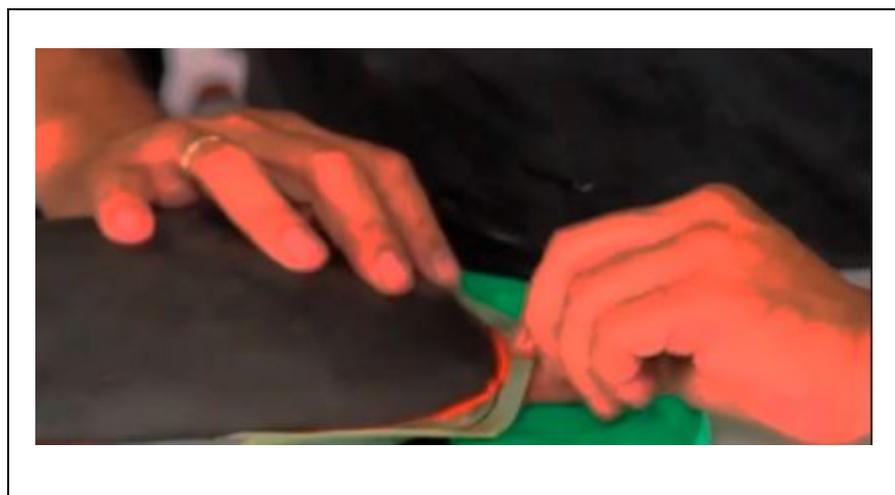


Figura. 3.24 Sustracción del cartón protector

Paso 19

Una vez retirado el cartón se debe tener cuidado con los bordes y se procede a lijarlos para que el molde quede uniforme.

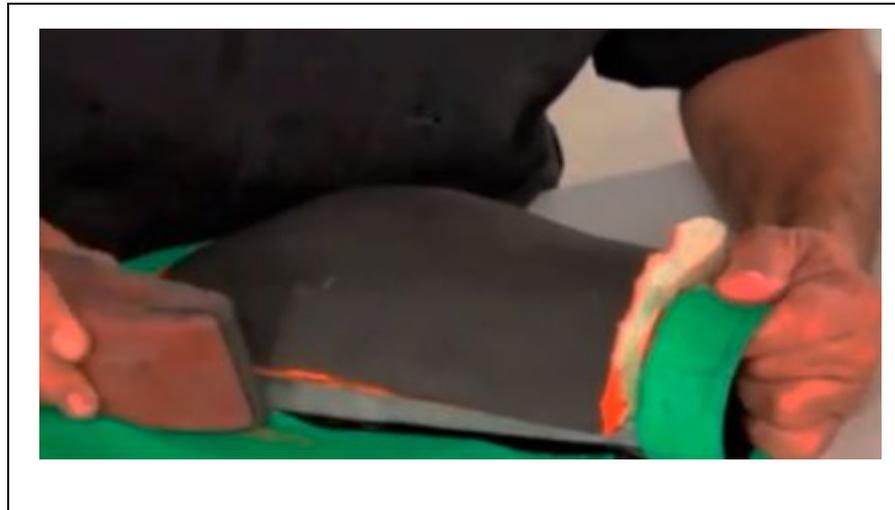


Figura. 3.25 Lijado del exceso del borde

Paso 20

Una vez ya lijado se procede a retirar el molde del elemento con un ligero golpe.

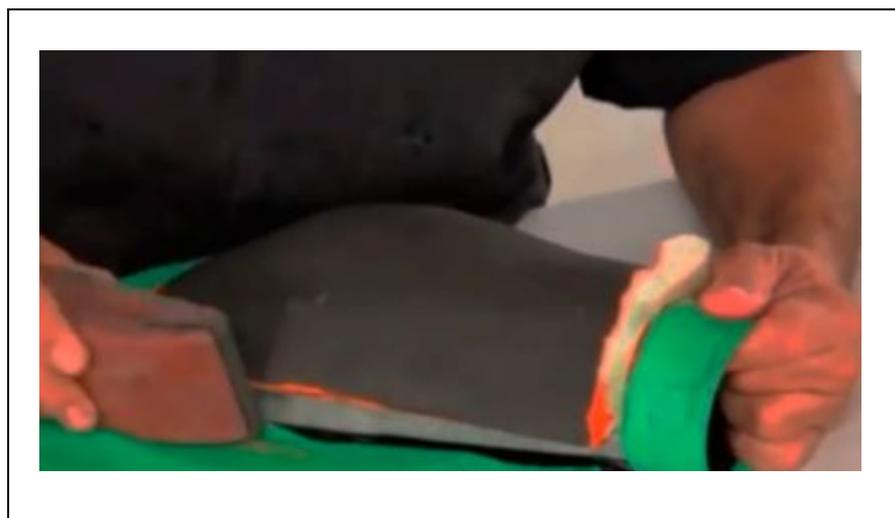


Figura. 3.26 Extracción del molde

Paso 21

Después de retirar el molde del elemento se debe lavar con agua y un cepillo para retirar excesos de plastilina y desmoldante PVA, y pulirlo para retirar cualquier tipo de impureza y dejarlo totalmente lizo.



Figura. 3.27 Molde terminado

3.4.3 Proceso para realizar un Fairing nuevo de fibra de carbono mediante el molde realizado

Los pasos a seguir para la fabricación de un elemento en fibra de carbono son ilustrativos. Sin embargo se debe tomar en cuenta que es indispensable remitirse al manual a la hora de empezar a trabajar.

3.4.3.1 Materiales necesarios

3.4.3.1.1 Materiales Primarios

- Superficie de trabajo
- Molde epóxico
- 30 cm x 100 cm de tela seca de fibra de carbón 2/2 plana, 3K
- Resina epóxica transparente

- Endurecedor epóxico
- Desmoldante PVA
- Tela pelable
- Plástico perforable
- Plástico poroso de vacío
- Vacuum tape
- Toma de vacío
- Vacuometro
- Bomba de vacío

3.4.3.1.2 Materiales secundarios

- Vaso para mezcla
- Paleta
- Espátula
- Acetona
- Tijera
- Marcadores y lápices
- Gramera
- Tela trapo
- Brocha

3.4.3.2 Equipo de protección personal

- Gafas para protección visual
- Mascarilla
- Overol
- Guantes de látex o nitrilo
- Zapatos con punta de acero
- Tapa oídos

Es importante tener claro y planificar el elemento en fibra de carbono que se va a realizar antes de comenzar. Se debe tomar en cuenta los ángulos negativos de los componentes y siempre trabajar en zonas de libre Ventilación.

Se procede a realizar el nuevo Fairing de fibra de carbono puntualizando que este material es sumamente nocivo para el ser humano y se lo debe manipular solo con guantes de látex o nitrilo.

3.4.3.3 Descripción del proceso de moldeado

Paso 1

Se prepara la superficie limpiándola con acetona para proceder luego a realizar el elemento de fibra de carbono al vacío.

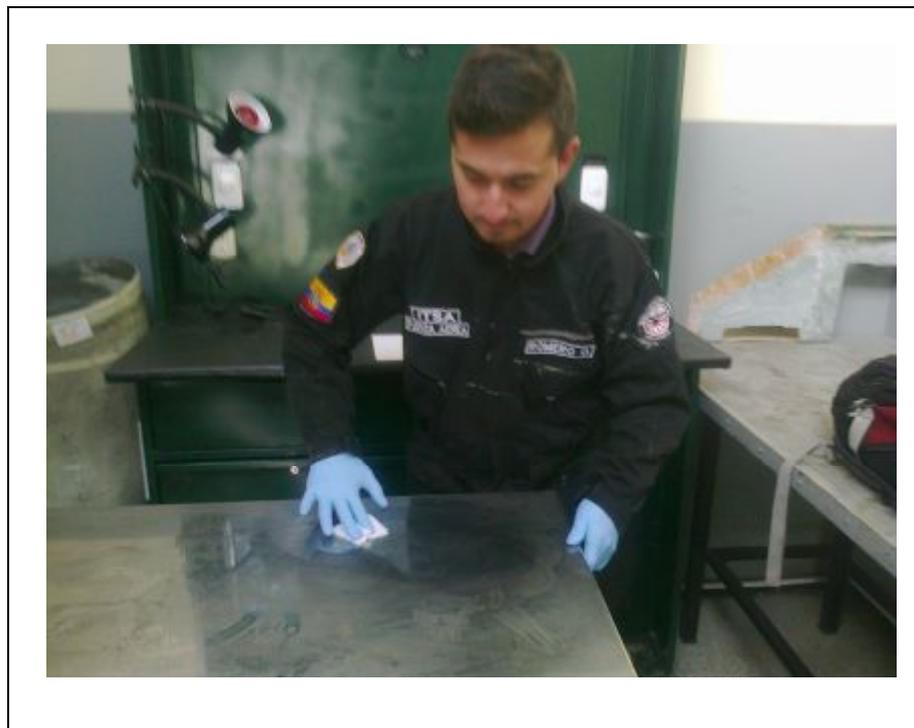


Figura. 3.28 Limpieza de la superficie

Paso 2

Se delimita el material utilizando papel sobre el molde para optimizar la fibra de carbono y no desperdiciarla.

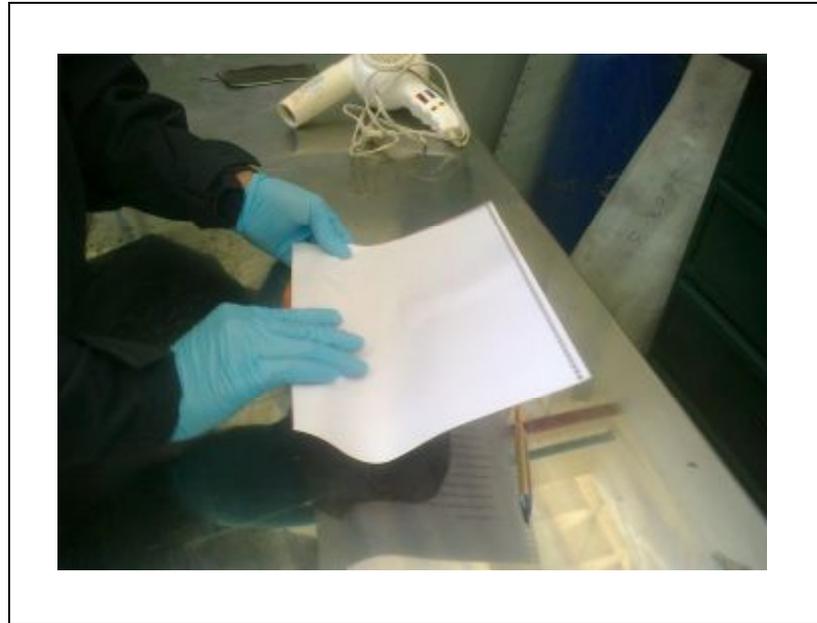


Figura. 3.29 Delimitación del material

Paso 3

Con el molde de papel delimitado se procede a verificar la longitud exacta de cada capa de fibra de carbono a ser utilizada.



Figura. 3.30 Verificación longitudinal de la fibra de carbono

Paso 4

Una vez delimitada la fibra de carbono se procede a cortarla (2 capas de fibra de carbono).

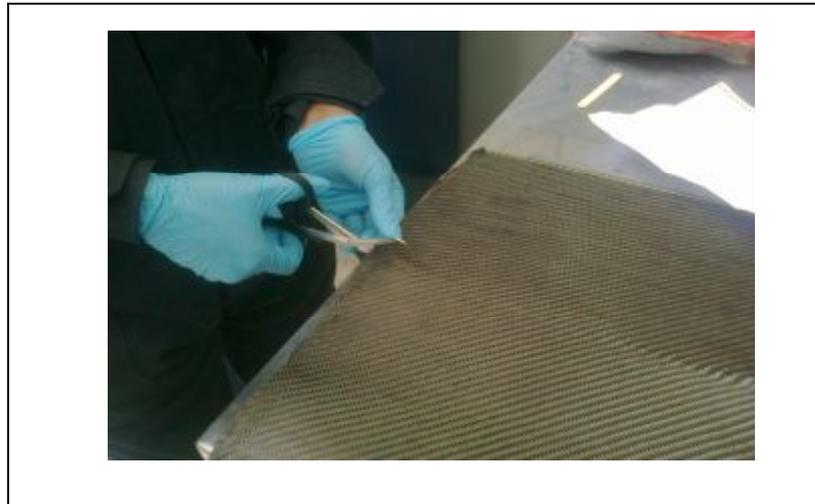


Figura. 3.31 Corte de fibra de carbono

Paso 5

Se procede a ubicar desmoldante PVA sobre todo el molde en una forma unidireccional con capas generosas evitando los grumos y dejándola secar por 10 minutos.



Figura. 3.32 Aplicación del desmoldante PVA

Paso 6

Se calcula el peso de las 2 telas de fibra de carbono mediante la gramera.

$$P_{F/C} = 26.51 \text{ g}$$



Figura. 3.33 Proceso de pesado de fibra de carbono

Paso 7

Se procede a calcular cual es la media exacta de la resina y el endurecedor a ser utilizados mediante el peso de la fibra de carbono.

$$\text{Resina} = \frac{(P_{F/C}) (100)}{127}$$

$$\text{Endurecedor} = \frac{(P_{F/C}) (27)}{127}$$

$$\text{Resina} = \frac{(26.51 \text{ g}) (100)}{127}$$

$$\text{Endurecedor} = \frac{(26.51 \text{ g}) (27)}{127}$$

$$\text{Resina} = 20.59 \text{ g}$$

$$\text{Endurecedor} = 5.56 \text{ g}$$

Paso 8

Una vez ya calculadas las cantidades exactas se procede a realizar la mezcla de la resina con el endurecedor utilizando la gramera.



Figura. 3.34 Aplicación de la resina



Figura. 3.35 Aplicación del endurecedor

Paso 9

Se mezcla la resina con el endurecedor con una paleta durante 3 minutos.



Figura. 3.36 Mezcla de la resina preparada

Paso 10

Una vez seco el desmoldante PVA, se aplica la primera capa de fibra de carbono sobre el molde y se la humedece por completo con la resina preparada.



Figura. 3.37 Aplicación de la primera capa de fibra de carbono

Paso 11

Se aplica la segunda capa de fibra de carbono inmediatamente con suficiente resina preparada en forma unidireccional y evitando los grumos excesivos.

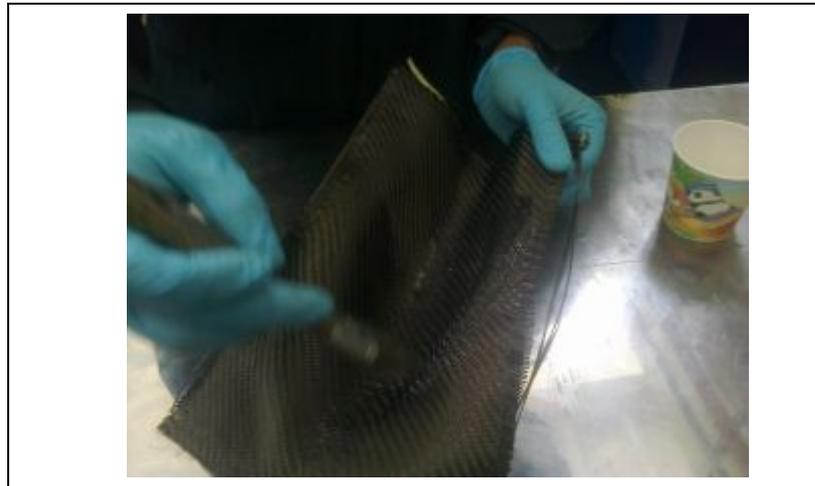


Figura. 3.38 Aplicación de la segunda capa de fibra de carbono

Paso 12

Inmediatamente se procede a ubicar la tela pelable (tela absorbente).

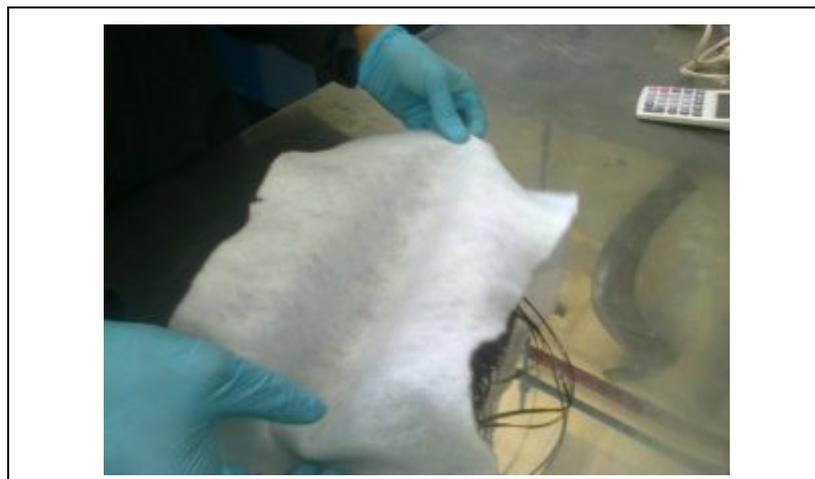


Figura. 3.39 Aplicación de la tela pelable

Paso 13

Se procede a ubicar el plástico poroso de vacío.

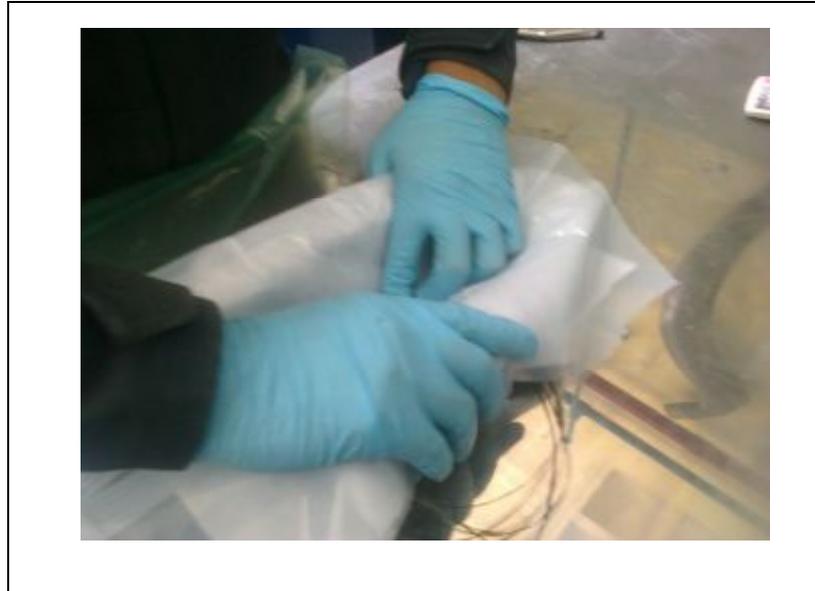


Figura. 3.40 Aplicación del plástico poroso de vacío

Paso 14

Se procede a aplicar el plástico perforable de vacío tomando en cuenta que la dimensión de este debe ser más grande que los anteriores.



Figura. 3.41 Aplicación del plástico perforable de vacío

Paso 15

Se realiza dos orificios en forma de X en el plástico de vacío para ubicar la toma de vacío y el vacuometro.



Figura. 3.42 Ubicación de la toma de vacío y Vacuometro

Paso 16

Se aplica el Vacuum tape en todo el contorno del plástico poroso de vacío para sellar completamente el mismo contra la superficie de trabajo.



Figura. 3.43 Ubicación Vacuum tape

Paso 17

Se conecta la toma hacia la bomba de vacío.



Figura. 3.44 Ubicación de la toma de vacío

Paso 18

Se procede a encender la bomba de vacío, consecuentemente en el vacuometro debe marcar una presión negativa mínima de - 20 PSI. Se mantiene dicho proceso por treinta minutos.



Figura. 3.45 Encendido de la bomba de vacío

Paso 19

Luego de los treinta minutos se procede a apagar la bomba de vacío y a desconectar la toma para así dejar secar al ambiente el nuevo componente por tres horas aproximadamente.



Figura. 3.46 Apagado de la bomba de vacío

Paso 20

Se procede a desmoldar el nuevo Fairing de fibra de carbono y en una área libre a cortar los excesos para dejarlo igual al anterior.



Figura. 3.47 Corte de excesos en el nuevo Fairing

Paso 21

Una vez cortado el Fairing de fibra de carbono se los compara para ver imperfecciones.



Figura. 3.48 Comparación entre Fairing antiguo y nuevo

Paso 22

Se procede a limpiar el Fairing de fibra de carbono con acetona para retirar restos de gelcoat y restos de tela pelable (absorbente).



Figura. 3.49 Limpieza con acetona del nuevo Fairing

Paso 23

Se deja secar el Fairing nuevo de fibra de carbono y se lo tiene listo para la respectiva utilización en aviación.



Figura. 3.50 Fairing en fibra de carbono construido

3.5 Pruebas y Resultados del análisis Estructural

3.5.1 Peso y espesor

Se procede a realizar las siguientes mediciones con una gramera y un micrómetro, para medir el peso y espesor del Fairing de fibra de vidrio y de fibra de carbono para así poder diferenciar de mejor manera las diferentes cualidades de estos dos materiales.

3.5.1.1 Peso y espesor del Fairing antiguo



Figura. 3.51 Medición del peso del Fairing de fibra de vidrio



Figura. 3.52 Medición del Espesor del Fairing de fibra de vidrio

Tabla 3.5

Peso y espesor del Fairing de fibra de vidrio.

Peso	65.52 g
Espesor	1.30 mm 0.051"

3.5.1.2 Peso y espesor del Fairing nuevo



Figura. 3.53 Medición del peso del Fairing de fibra de Carbono



Figura. 3.54 Medición del espesor del Fairing de fibra de Carbono

Tabla 3.6

Peso y espesor del Fairing de fibra de Carbono.

Peso	22.56 g
Espesor	1.15 mm 0.045"

3.5.2 Resistencia estructural

3.5.2.1 Prueba Rockwell

En este capítulo se procede a realizar la respectiva prueba Rockwell al Fairing de fibra de vidrio y al Fairing de fibra de carbono, para así poder determinar el factor de penetración de material.

La Prueba se realiza en la Universidad Técnica de Ambato en los laboratorios de Ingeniería Mecánica previa autorización del Sr. Decano de dicha facultad. En la máquina de ensayos "Rockwell" se presentan los siguientes parámetros según la norma ASTM E 18 – 03 para la realización de dicha prueba.

Tabla 3.7

Especificaciones para Prueba Rockwell

Máquina Rockwell	Características
Tipo de indentador	Cono Diamante
Carga Aplicada en la prueba de penetración	588 N (Newtons)
Medida de comprobación Rockwell	HRA (Rockwell A) Tomado según el tipo de Indentador
Medida de aplicación a probeta	Manual hasta Precarga de 588 N
Superficie de Probeta	Plana en Fairing



Figura. 3.55 Máquina para realizar ensayos Rockwell



Figura. 3.56 Pantalla de medición de datos Rockwell

3.5.2.1.1 Prueba Rockwell del Fairing de fibra de vidrio

Se procede a realizar el ensayo Rockwell del Fairing de fibra de vidrio, tomando en cuenta la superficie más plana del mismo según la norma ASTM E , especificada para materiales compuestos.



Figura. 3.57 Ensayo Rockwell para fibra de vidrio

3.5.2.1.2 Prueba Rockwell del Fairing de fibra de carbono

Se procede a realizar el ensayo Rockwell del Fairing de fibra de carbono, tomando en cuenta la superficie más plana del mismo según la norma ASTM E , especificada para materiales compuestos.



Figura. 3.58 Ensayo Rockwell para fibra de carbono

3.5.2.1.3 Resultados de los Ensayos Rockwell

Tabla 3.8

Resultados de la prueba Rockwell para fibra de vidrio y fibra carbono

Ensayo Rockwell según tipo de material	Medición según el indentador en HRA (rockwell A)
Fibra de carbono	7.5 HRA
Fibra de vidrio	2 HRA

Finalizando que el número mayor Rockwell 7.5 HRA de la fibra de carbono indica que es menos penetrable en relación al 2 HRA de la fibra de vidrio.

3.5.2.2 Prueba de compresión

En este capítulo se procede a realizar la respectiva prueba de compresión al Fairing de fibra de vidrio y al Fairing de fibra de carbono, para así poder determinar el factor de quiebre del material.

La Prueba se realiza en los laboratorios del bloque 42 perteneciente a la unidad de gestión de tecnologías ESPE, previa autorización del encargado de dicha sección.

En la máquina de ensayos llamada “Prensa Hidráulica con capacidad de dos toneladas”, se presentan los siguientes parámetros según la ficha técnica, para la realización de dicha prueba.

Tabla 3.9

Especificaciones para Prueba de Compresión

Máquina de Prensa Hidráulica	Características
Medida máxima de manómetro	36 x10 ² PSI 25 Mpa
Capacidad máxima de operación	3000 PSI
Presión aplicada	Cilindro neumático Manual
Presión máxima del Cilindro Neumático	10 toneladas
Superficie de ensayo	Empotrado en madera



Figura. 3.59 Prensa Hidráulica con capacidad de dos toneladas



Figura. 3.60 Manómetro de prensa Hidráulica



Figura. 3.61 Cilindro neumático manual de prensa Hidráulica

3.5.2.2.1 Prueba de compresión del Fairing de fibra de vidrio

Se procede a realizar el ensayo de compresión del Fairing de fibra de vidrio, tomando en cuenta la superficie convexa, el Fairing debe ser empotrado en madera para que la misma no sufra demasiada flexión y pueda llegar al punto de quiebre.

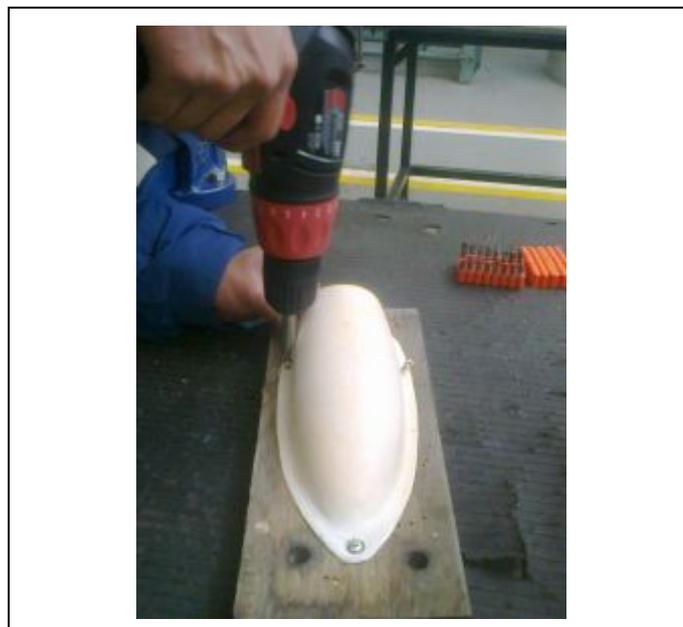


Figura. 3.62 Empotrado en madera del Fairing fibra de vidrio



Figura. 3.63 Compresión del Fairing de fibra de vidrio

3.5.2.2.2 Prueba compresión del Fairing de fibra de carbono

Se procede a realizar el ensayo de compresión del Fairing de fibra de carbono, tomando en cuenta la superficie convexa, el Fairing debe ser empotrado en madera para que la misma no sufra demasiada flexión y pueda llegar al punto de quiebre.



Figura. 3.64 Empotrado en madera del Fairing fibra de carbono



Figura. 3.65 Compresión del Fairing de fibra de carbono

3.5.2.2.3 Resultados de la Prueba de Compresión

Tabla 3.10

Resultados de la prueba de Compresión para fibra de vidrio y fibra carbono

Ensayo de Compresión según tipo de material	Medición de punto de quiebre en PSI
Fibra de carbono	40 ± 5 PSI
Fibra de vidrio	150 ± 5 PSI

Finiquitando con una resistencia mayor de $\frac{3.75}{1}$ de la fibra de carbono, referente a la fibra de vidrio.

A continuación se procede a detallar la figura en donde se muestra todos los parámetros de Pruebas y resultados:

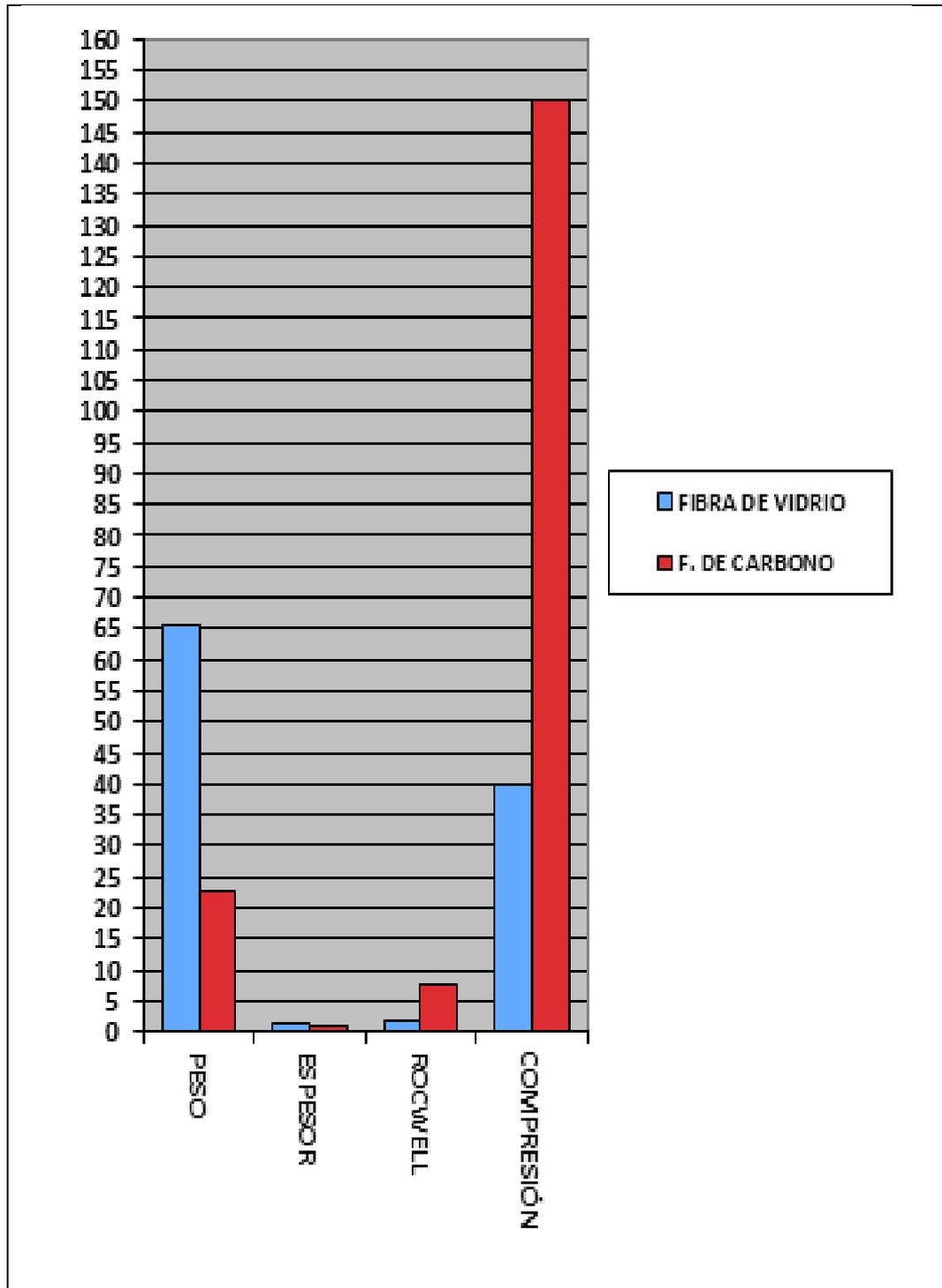


Figura. 3.66 Gráfica comparativa de parámetros de material

Tabla 3.11

Tabla comparativa de parámetros de material

MATERIAL DEL FAIRING	PESO	ESPEJOR	ROCWELL	COMPRESIÓN
FIBRA DE VIDRIO	65,52 g	1,3 mm	2 HRA	40 Psi
FIBRA DE CARBONO	22,56 g	1,15 mm	7,5 HRA	150 Psi

A continuación se procede a detallar manuales generalizados de elaboración para moldes epóxicos y para elementos en fibra de carbono.

3.6 Manuales

3.6.1 Manual para fabricación de moldes epóxicos

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 1 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>1.-Objetivo</p> <p>Detallar el procedimiento generalizado para la fabricación de cualquier tipo de molde epóxico mediante el kit adquirido, tomando como referencia un elemento estructural ya fabricado.</p> <p>2.- Alcance</p> <p>Contribuir con el estudio y aprendizaje de la fabricación de nuevos elementos estructurales mediante moldes fabricados, para los estudiantes de la Unidad de Gestión de Tecnologías "ESPE". Así como también instruir al alumnado sobre la importancia del equipo de protección personal para cualquier trabajo en materiales compuestos.</p> <p>3.- Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Pasta putty parta moldeo (Masilla epóxica) • Endurecedor (para masilla epóxica) • Cera desmoldante 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 2 de 10
	<p>“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ”</p>	<p>Código: LENM-MF-01</p>
	<p>Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano</p>	<p>Revisión N°: 01</p>
	<p>Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño</p>	<p>Fecha: Enero 2015</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Agente desmoldante PVA • Endurecedor (Para el gelcoat) • Gelcoat epóxico color naranja • Hilos de fibra de vidrio (opcional) <p>4.- Equipo y herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Paletas • Vaso para mezcla • Tijera • Bisturí • brocha • Marcadores y lápices • Pistola de Calor • Cintas de papel • Acetona o Thinner • Tela trapo • Motor tool • Plastilina (opcional) 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 3 de 10
	<p>“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ”</p>	<p>Código: LENM-MF-01</p>
	<p>Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano</p>	<p>Revisión N°: 01</p>
	<p>Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño</p>	<p>Fecha: Enero 2015</p>
<p>5.- Equipo de protección personal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Overol • Gafas para protección visual • Mascarilla • Guantes de látex • Zapatos con punta de acero • Tapa oídos <p>6.- Procedimiento</p> <p>Existe un amplia gama de elementos estructurales en el campo de la aviación, dependiendo del diseño de cada una de ellos, se tomaran diferentes parámetros de moldeado.</p> <p>Consideraciones :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Siempre tomar en cuenta los ángulos negativos en los elementos a ser moldeados, de lo contrario el componente quedara comprimido en el molde sin poder desprenderlo. 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 4 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<ul style="list-style-type: none"> • Tomar en cuenta los orificios de sujeción del elemento a ser moldeado. Siempre taparlos con plastilina para evitar fugas de material epóxico. • Respetar siempre los tiempos estimados en el manual para evitar imperfecciones en el molde. • Asegúrese de limpiar muy bien el elemento a ser moldeado ya que cualquier agente extraño será impregnado en el molde si no se toma dicha consideración. • Siempre ubique bordes de limitación de material epóxico, ya que estos reducen la mala distribución del mismo. • Asegúrese de trabajar en un ambiente cerrado para evitar cualquier tipo de contaminación en el molde epóxico. • Asegúrese de trabajar en una temperatura ambiente de 25 grados centígrados, ya que las resinas epóxicas se endurecen en condiciones de altas temperaturas, si no fuese este el caso se debe utilizar una pistola de calor, • En el caso de utilizar una pistola de calor, tener mucho cuidado con el exceso de calor ya que el mismo deforma el elemento original. 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 5 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015



Figura. 3.67 Kit para fabricar moldes

Proceso de moldeado:

- 1.- Colóquese los distintos EPP (Equipo de Protección Personal) antes de empezar con el proceso de moldeado.
- 2.- Asegúrese de tener un amplio espacio de trabajo y los materiales ya mencionados.
- 3.- Se recubre el elemento a moldear con cinta adhesiva y cartón en los bordes para definirlos.

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 6 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>4.- Se procede a realizar una línea de borde en el extremo del carton a aproximadamente 1 cm del componente a moldear.</p> <p>5.- Se debe tapar cualquier abertuta con plastilina.</p> <div data-bbox="746 1070 1082 1346" style="text-align: center;">  </div> <p>Figura. 3.68 Plastilina</p> <p>6.- Se aplica la cera desmoldante de 3 a 4 capas esperando 5 minutos por cada ciclo para removerla con un trapo libre de pelusas.</p> <div data-bbox="762 1563 1066 1839" style="text-align: center;">  </div> <p>Figura. 3.69 Cera desmoldante para moldes epóxicos</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 7 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>7.- Se procede a aplicar el desmoldante PVA al elemento estructural y al cartón, dejar secar por 25 minutos</p> <div data-bbox="759 1050 951 1386" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Figura. 3.70 Desmoldante PVA para moldes epóxicos</p> <p>8.- Se mezcla el gelcoat y el endurecedor en proporciones de diez a dos respectivamente por 3 min.</p> <div data-bbox="550 1608 1120 1832" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Figura. 3.71 Preparación del gelco epóxico</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 8 de 10
	<p>“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ”</p>	<p>Código: LENM-MF-01</p>
	<p>Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano</p>	<p>Revisión N°: 01</p>
	<p>Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño</p>	<p>Fecha: Enero 2015</p>
<p>9.- Una vez listo el gelco epóxico se aplican capas generosas con una brocha en la superficie del elemento a moldear.</p> <p>10.- Con una pistola de calor se elimina burbujas que sobresalen en la superficie del gelco epóxico, se aplica por 1 hora para el secado.</p> <p>11.- Una vez seca la primera capa de gelcoat se aplica una segunda para emparejarla y se repite el paso 10 (opcional).</p> <p>12.- Se puede aplicar hilos de fibra de vidrio para endurecer más el molde en el siguiente paso (opcional).</p> <div data-bbox="663 1346 1026 1648" style="text-align: center;">  </div> <p>Figura. 3.72 Hilos de fibra de vidrio</p> <p>13.- Se prepara la masilla con la pasta putty para moldear y el Endurecedor (para masilla epóxica). Por cada 100 gramos de pasta se debe aplicar 4 gramos de endurecedor. Se lo mezcla hasta formar una masilla obscura.</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 9 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015



Figura. 3.73 Preparación de la masilla

- 14.- Una vez mezclada la masilla se aplica la misma sobre la superficie del gelcoat seco con un poco de presión hasta alcanzar un espesor de $\pm 1/2$ ", dejar secar por 3 horas a 25 grados centígrados.
- 15.- Una vez ya seca la masilla y se procede a pulirla para dejarla uniforme.
- 16.- Se procede a retirar con un motor tool los excesos de cartón.
- 17.- Se aconseja remojar el componente para poder retirar el exceso de cartón que se utilizó para delimitar el componente estructural.
- 18.- Una vez retirado el cartón se procede a lijar los bordes del molde para quitar excesos (opcional).

UGT - ESPE	MANUAL PARA FABRICACIÓN DE MOLDES EPÓXICOS	Pag. 10 de 10
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MF-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>19.- Se procede a desmoldar con un ligero golpe si el elemento estructural es de pequeñas dimensiones, o mediante acción neumática o mecánica si es un elemento estructural de grandes proporciones.</p> <p>20.- Luego de retirar el molde del componente estructural se debe lavarlo con agua y un cepillo para retirar excesos de plastilina y desmoldante PVA, se aconseja pulirlo para dejarlo totalmente lizo.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">Sr. Oscar Romero Responsable</p>		

3.6.2 Manual para realizar elementos en fibra de carbono al vacío

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 1 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>1.-Objetivo</p> <p>Describir de manera detallada el procedimiento generalizado para la fabricación de cualquier tipo de elemento en fibra de carbono al vacío.</p> <p>2.- Alcance</p> <p>Instruir al personal técnico de la Unidad de Gestión de Tecnologías "ESPE" sobre la importancia de la fibra de carbono en aviación, referente a la asignatura de materiales compuestos que se imparte en dicha Universidad.</p> <p>3.- Materiales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Molde epóxico • 30 cm x 100 cm de tela seca de fibra de carbón 2/2 plana, 3K • Resina epóxica transparente • Endurecedor epóxico • Desmoldante PVA • Tela pelable • Plástico perforable de vacío 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 2 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<ul style="list-style-type: none"> • Plástico poroso de vacío • Vacuum tape • Toma de vacío • Vacuometro • Bomba de vacío <p>4.- Equipo y herramientas</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vaso para mezcla • Paleta • Espátula • Acetona • Tijera • Marcadores y lápices • Gramera • Tela trapo • Brocha • Motor tool 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 3 de 12
	<p>“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ”</p>	<p>Código: LENM-MM-01</p>
	<p>Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano</p>	<p>Revisión N°: 01</p>
	<p>Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño</p>	<p>Fecha: Enero 2015</p>
<p>5.- Equipo de protección personal</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gafas para protección visual • Mascarilla • Overol • Guantes de látex o nitrilo • Zapatos con punta de acero • Tapa oídos <p>6.- Procedimiento</p> <p>Existe un extenso numero de elementos estructurales en el campo de la aviación, dependiendo del diseño de cada una de ellos, se tomaran diferentes parámetros de fabricación de componentes en fibra de carbono al vacío.</p> <p>Consideraciones :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Al momento de realizar cualquier componente en fibra de carbono revisar muy bien las dimensiones del mismo tales como ángulos negativos, curvaturas entre otras. 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 4 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<ul style="list-style-type: none"> • Tomar en cuenta el espesor del elemento a ser fabricado, se pueden usar capas superiores de fibra de vidrio para así bajar costos y mantener el parámetro ya mencionado. • Respetar siempre los tiempos estimados en el manual para evitar imperfecciones en el componente de fibra de carbono. • Asegúrese de limpiar muy bien el molde ya que cualquier agente extraño será impregnado en el componente de fibra de carbono a ser fabricado si no se toma dicha consideración. • Dependiendo del componente se podrá aplicar una primera capa de resina protectora al componente para alargar la vida útil del mismo. • Asegúrese de trabajar en un ambiente cerrado para evitar cualquier tipo de contaminación en el nuevo componente. • Asegúrese de trabajar en una temperatura ambiente de 25 grados centígrados, ya que las resinas epóxicas se endurecen en condiciones de altas temperaturas. • Para evitar el secado de resina en algún instrumento utilizado se lo debe introducir en un congelador, ya que las bajas temperaturas impiden la solidificación. 		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 5 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015



Figura. 3.74 Kit para fabricar elementos en fibra de carbono al vacío

Proceso de fabricación:

- 1.- Colóquese los distintos EPP (Equipo de Protección Personal) antes de empezar con el proceso de elaboración.
- 2.- Asegúrese de tener un amplio espacio de trabajo y los materiales ya mencionados.
- 3- Se prepara la superficie limpiándola con acetona para retirar cualquier impureza o contaminación existente.

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 6 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>4.- Se delimita la fibra de carbono utilizando una plantilla de papel sobre el molde.</p> <p>5.- Con la plantilla se procede a verificar la longitud exacta de la fibra de carbono a ser utilizada y el número de capas necesarias.</p> <p>6.- Se corta la fibra de carbono.</p> <p>7.- Se ubica desmoldante PVA sobre el molde seleccionado y se deja secar por 25 minutos.</p> <p>8.- Se averigua el Peso de la fibra de carbono con la gramera. Peso en gramos.</p> <p>9.- Con el peso de la fibra de carbono se procede a calcular la medida exacta de resina y endurecedor a ser utilizados mediante dos fórmulas.</p> $\text{Resina} = \frac{(P_{F/C}) (100)}{127} \qquad \text{Endurecedor} = \frac{(P_{F/C}) (27)}{127}$ <p>10.- Utilizando la gramera se procede a mezclar la resina y el endurecedor mediante las dos proporciones ya calculadas, se la mescla por 3 minutos con una paleta.</p>		

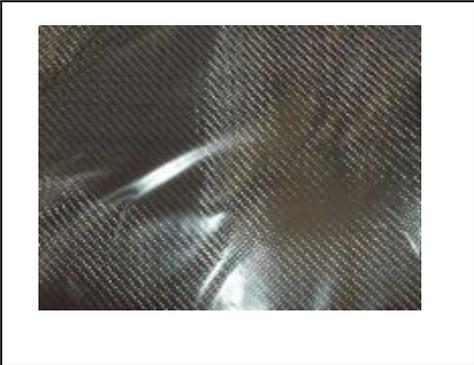
UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 7 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015



Figura. 3.75 Kit de resina, catalizador, desmoldante PVA

Nota: Dependiendo del fabricante y de las dimensiones del elemento estructural, se puede aplicar una primera capa de resina preparada sobre el molde y dejarla secar, para tener una película protectora externa del componente final en fibra de carbono.

11.- Una vez seco el desmoldante PVA se aplica la primera capa de fibra de carbono humedeciéndola totalmente con la resina preparada.

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 8 de 12
	<p>“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS ”</p>	<p>Código: LENM-MM-01</p>
	<p>Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano</p>	<p>Revisión N°: 01</p>
	<p>Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño</p>	<p>Fecha: Enero 2015</p>
<p>12.- Se repite el paso 11 las veces que sean necesarias, dependiendo del espesor del elemento estructural.</p>		
<div style="text-align: center;">  </div>		
<p style="text-align: center;">Figura. 3.76 Tela de fibra de carbono plana, 3K</p>		
<p>13.- Se procede a aplicar la tela pelable (absorbente).</p>		
<div style="text-align: center;">  </div>		
<p style="text-align: center;">Figura. 3.77 Tela absorbente</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 9 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>14.- Se procede a aplicar el plástico poroso de vacío.</p>		
<div style="text-align: center;">  </div>		
<p style="text-align: center;">Figura. 3.78 Plástico poroso de vacío</p>		
<p>15.- Se corta 10 cm más grande a cada lado de la plantilla y se procede a aplicar el plástico perforable de vacío.</p>		
<div style="text-align: center;">  </div>		
<p style="text-align: center;">Figura. 3.79 Plástico perforable de vacío</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 10 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>16.- Se realizan 2 orificios en el plástico perforable para conectar la toma de vacío y el vacuometro.</p> <div data-bbox="663 1014 1062 1283" style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Figura. 3.80 Vacuometro y toma de vacío</p> <p>17.- Se aplica el vacuum tape en todo el contorno del plástico perforable de vacío para precionarlo contra la superficie de trabajo.</p> <p>18.- Se conecta la toma a la bomba de vacío, y se enciende la misma.</p> <p>19 .- Se verifica en el vacuometro que la presión sea minima de -20 psi para que se pueda crear el vacio necesario en el interior.</p> <p>20.- Verificada la presión se mantiene encendida la bomba por 30 minutos.</p> <p>21.- Transcurridos los 30 minutos, se procede a apagar la bomba para asi dejar secar al ambiente el nuevo elemento estructural de fibra de carbono por 3 horas.</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 11 de 12
	<p>“ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS”</p>	<p>Código: LENM-MM-01</p>
	<p>Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano</p>	<p>Revisión N°: 01</p>
	<p>Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño</p>	<p>Fecha: Enero 2015</p>
<div data-bbox="667 958 1046 1379" data-label="Image">  </div> <p data-bbox="533 1379 1272 1415">Figura. 3.81 Verificación de presión en vacuometro</p> <div data-bbox="625 1435 1099 1850" data-label="Image">  </div> <p data-bbox="657 1850 1083 1886">Figura. 3.82 Bomba de vacío</p>		

UGT - ESPE	MANUAL PARA REALIZAR ELEMENTOS EN FIBRA DE CARBONO AL VACÍO	Pag. 12 de 12
	"ELABORACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES AERONÁUTICOS DE FIBRA DE CARBONO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL Y EQUIPOS REQUERIDOS PARA LA UNIDAD DE GESTIÓN DE TECNOLOGÍAS "	Código: LENM-MM-01
	Elaborado Por: Oscar Omar Romero Moyano	Revisión N°: 01
	Aprobado Por: Tlgo. Alejandro Proaño	Fecha: Enero 2015
<p>22.- Transcurridas las 3 horas se procede a desmoldar el nuevo componente en fibra de carbono retirando todos los plásticos de vacío</p> <p>23.- Se limpia el nuevo componente estructural de fibra de carbono con un poco de acetona para quitar excesos de tela absorbente.</p> <p>24.- Se realizan acabados finales como orificios y cortes dimensionales con el motor tool y se finiquita el trabajo.</p> <p style="text-align: center;">-----</p> <p style="text-align: center;">Sr. Oscar Romero Responsable</p>		

3.7 Estudio económico

3.7.1 Presupuesto

En el momento de la presentación del anteproyecto se realizó un cálculo generalizado de gastos de 1205 USD, de acuerdo a un sondeo de costos de herramientas, construcción y demás parámetros que se utilizarían en la investigación realizada.

A continuación se detalla los costos reales se los diferentes gastos que se realizó en dicha investigación.

3.7.2 Análisis de costos

costos primarios

- Materiales
- Herramientas y equipos
- Mano de obra

Costos secundarios

- Transporte y aduana
- Elaboración de textos

3.7.2.1 Costos Primarios

Tabla 3.12

Costos de materiales

Nombre	Cantidad	\$ Unidad	Total
Kit de para fabricación de moldes epóxicos	1	300 USD	300 USD
Fibra de carbono	2(30 cm x 100 cm)	115 USD	230 USD
Fibra de vidrio	30 cm x 100 cm	40 USD	40 USD
Resina epóxica transparente	1	67 USD	67 USD
Endurecedor epóxico	1	32.59 USD	32.59 USD
Desmoldante PVA	1	21.50 USD	21.50 USD
Tela pelable	1.5 m x 2 m	20 USD	20 USD
Plástico perforable	1.5 m x 2 m	25 USD	25 USD
Plástico poroso de vacío	1.5 m x 2 m	20 USD	20 USD
Tela desmoldante	1.5 m x 2 m	25 USD	25 USD

Continua



Vacuum tape	1 rollo de 7.6 m	25 USD	25 USD
Pasta putty para moldeo	1	39 USD	39 USD
Endurecedor putty	1	21 USD	21 USD
Cera desmoldante	1	12 USD	12 USD
Impresiones	5	1.50	7.50 USD
Gelcoat epóxico naranja	1	29 USD	29 USD
TOTAL	-----	-----	914.59 USD

Tabla 3.13

Costos de herramientas y equipos

Nombre	Cantidad	\$ Unidad	Total
Vaso para mezcla	2	0.20 USD	0.40 USD
Motor tool	1 hora de trabajo	5 USD	5 USD
Paleta	1	1 USD	1 USD
Espátula	1	1 USD	1 USD
Acetona	1 frasco de 500ml	2 USD	2 USD
Tijera	1	0.50 USD	0.50 USD

Continua



Marcadores y lápices	3	0.50 USD	1.50 USD
Gramera	1 hora de trabajo	5 USD	5 USD
Tela trapo	1	0.50 USD	0.50 USD
Brocha	1	1.20 USD	1.20 USD
Gafas para protección visual	1	3.50 USD	3.50 USD
Mascarilla	4	0.25 USD	1 USD
Overol	1	35 USD	35 USD
Guantes de látex	5	0.90	4.50 USD
Zapatos con punta de acero	1 par	55 USD	55 USD
Tapa oídos	1	0.50 USD	0.50 USD
Bisturí	1	1.25 USD	1.25 USD
Cintas de papel	1	2 USD	2 USD
Plástico	1 metro	1.75 USD	1.75 USD
TOTAL	-----	-----	122.60 USD

Tabla 3.14

Costos de Mano de obra

Detalle	Hrs. Empleadas	V. unitario hrs Trabajador	V. Total hrs trabajador.
Activación compresor y Bomba de vacío	1	10 USD	10 USD
Corte de excesos del molde	1	1.50 USD	1.50 USD
Capacitación y Asesoría	4	25 USD	100 USD
Construcción del taco de madera	1	2.50	2.50 USD
TOTAL	-----	-----	114 USD

Tabla 3.15

Total de Costos Primarios

Detalle	Valor en USD
Total costo de materiales	914.59 USD
Total costos de herramientas y equipos	122.60 USD
Total costo mano de obra	114 USD
Total de costos primarios	1151.19 USD

3.7.2.2 Costos secundarios

Tabla 3.16

Total de Costos secundarios

Detalle	Valor en USD
Transporte y aduana	160 USD
Elaboración de textos y cd's	150 USD
Total de costos secundarios	310 USD

3.7.2.3 Costo total del proyecto

Tabla 3.17

Costo total del proyecto

Detalle	Valor en USD
Total de Costos Primarios	1151.19 USD
Total de Costos secundarios	310 USD
Costo total del proyecto	1461.19 USD

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En la investigación se recopiló información de Manuales de Reparaciones Estructurales para así no sobrepasar los parámetros ya establecidos.
- Se realizó la construcción del modelado de un fairing, con el propósito de construir uno nuevo de fibra de carbono.
- Las pruebas estructurales realizadas verificaron la suficiente eficiencia y optimización que ofrece la fibra de carbono ante otros materiales
- Se realizó los manuales necesarios para el modelado y fabricación de elementos estructurales en fibra de carbono los mismos que serán de gran importancia para formar a las futuras generaciones de tecnólogos aeronáuticos.

4.2 Recomendaciones

- La información referente a los tipos y utilización fibra de carbono debe ser clara y concisa para así poder mejorar la enseñanza de futuras generaciones de la UGT.
- Se recomienda leer bien el manual y tenerlo a mano antes de realizar cualquier elemento estructural en fibra de carbono.
- Siempre tomar en cuenta la parte aerodinámica donde ira ubicada el elemento de fibra de carbono, ya que dependiendo de esto cambiaran varios parámetros para la fabricación del componente estructural.
- Cuando se realicen moldes para la fabricación de elementos de fibra de carbono, se debe tomar en cuenta el espesor del mismo para no dañar el molde o el nuevo elemento en el momento de desprenderla.
- Tener las medidas de seguridad necesarias para la realización de cualquier trabajo de aviación, en especial para materiales compuestos ya que estos son altamente nocivos para el ser humano.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Aeronáutica.-Ciencia y técnica que se ocupa de la construcción de vehículos capaces de volar y del estudio de los factores que favorecen el vuelo.

Barquillas.- Elemento que sirve para articular los flaps de una avión.

Compresión.-Es la resultante de las o presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizada porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección.

Convexo.-Curva cuya parte más prominente está del lado del que mira.

Epóxico.-Es un polímero termoestable que se endurece cuando se mezcla con un agente catalizador o endurecedor.

Fairing.- También se lo conoce como Carrenado, una estructura en el diseño de las aeronaves utilizadas para reducir la fricción, mejorar la apariencia y mecanismo de soporte en el ala.

Fibra.-Filamento de origen natural, artificial o sintético, apto para ser hilado y tejido, que generalmente presenta gran finura y buena flexibilidad.

Grafito.- Es una de las formas alotrópicas en las que se puede presentar el carbono junto al diamante, los fulerenos, los nanotubos y el grafeno.

Gramera.- Término utilizado en trabajos de materiales compuestos, referente y similar a la balanza de precisión.

Hidráulica.-Rama de la mecánica de fluidos y ampliamente presente en la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas de los líquidos.

Impronta.- reproducción de una imagen fotográfica, en relieve o en hueco.

Indentador.-tipo de penetrador , utilizado para medir dureza de material.

Molde.- componente, o un conjunto de elementos acoplados, interiormente huecas pero con los detalles e improntas exteriores del futuro sólido que se desea obtener.

Motor tool.-Comúnmente conocida como rápida o disco de corte

Neumática.- es la tecnología que emplea el aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos.

Nitrilo.- Compuesto químico orgánico cuya molécula se obtiene al sustituir un átomo de hidrógeno del ácido cianhídrico por un radical orgánico.

Pliegues.- Doble que resulta en cualquiera de aquellas partes en que una cosa flexible deja de estar lisa o extendida.

Doble hecho artificialmente.

Poliuretano.- es un polímero que se obtiene mediante condensación de bases hidroxílicas combinadas con isocianatos.

Pulimento.- Sustancia que cumple la operación de alisar o dar tersura y brillo a una superficie.

Thinner.-diluyente, es una mezcla de disolventes de naturaleza orgánica derivados del petróleo que ha sido diseñado para disolver, diluir o adelgazar sustancias insolubles en agua, como la pintura, los aceites y las grasas.

Vacuometro.-Instrumento medidor de presión calibrado para valores inferiores a la presión atmosférica.

SIGLAS

ASTM.- American Society for Testing and Materials

EPP.- Equipo de protección personal

ESPE.- Escuela Superior Politécnica del Ejercito

GELCO.- Cubertura de gel

HRA.- Medida Rockwell A

OSHA.- Occupational Safety and Health Administration

PVA.- Acetato de polivinilo

SRM.- Structural Repair Manual

UGT.- Unidad de gestión de tecnologías

UTA.- Universidad Técnica de Ambato

BIBLIOGRAFÍA

LIBROS Y MANUALES CONSULTADOS:

- Administration, F. A. (2012). Aviation Maintenance Technician Handbook-Airframe (Vol. 1). Oklahoma, EEUU: FAA.
- Administration, F. A. (2012). Aviation Maintenance technician handbook- Airframe (Vol. 2). Oklahoma, EEUU: FAA.
- Administration, F. A. (2012). Aviation Maintenance Technician Handbook- Powerplant (Vol. 1). Oklahoma, EEUU: FAA.
- FAE. (1990). Manual de Estructuras de la FAE 5211. Latacunga, Ecuador: FAE.
- Nautiques, L. (1980). La construccion poliester dans la pliance. Paris, Francia: Amateur/ professionnelle.
- Valley, C. (1998). Manual de aplicación del Poliester no saturado. Madrid, España: Valencia.
- Capella, M. W. (1992). Tecnologia de los composites, plasticos reforzados. Barcelona, España: Hanser .
- Soler, X. (1992). La construccion del sándwich. Barcelona, Español: Valencia.
- Warring, R. (1991). El Libro práctico del poliester y la Fibra de Carbono. Capella, Italia: Lavour.

NETGRAFÍA:

- <http://www.inet.edu.ar/wpcontent/uploads/2012/11/materiales-compuestos.pdf> [Citado el 05 - 06 - 2014]
- <http://www.sandglasspatrol.com/IIGM12oclockhigh/Materiales%20Aeronauticos.htm> [Citado el 08 - 07 - 2014]
- <http://www.ivao.es/uploads/8697689eec233abb95cd0b31ab6e8dec.pdf> [Citado el 17 - 07 - 2014]
- <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6151/06CAPITOL3.pdf?sequence=6> [Citado el 25 - 07 - 2014]

- <http://www.utp.edu.co/~gcalle/DUREZAROCKWELL.pdf>
[Citado el 10 - 08 - 2014]
- <http://carbonlabstore.com/?product=kit-para-hacer-moldes>
[Citado el 14 - 08 - 2014]
- http://carbonlabstore.com/?product_cat=kits [Citado el 25 - 08 - 2014]
- es.slideshare.net/.../equipos-de-proteccion-personal-ojos-y-cara-i-u-t-s-i
[Citado el 10 - 09 - 2014]
- <http://charlasdeseguridad.com.ar/2011/05/cuidado-de-la-piel/>
[Citado el 17 - 09 - 2014]
- <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/11/gelcoat.html>
[Citado el 17 - 10 - 2014]
- <http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012220/226383142.pdf>
[Citado el 21 - 10 - 2014]
- <http://www.woodworkforums.com/archive/index.php/t33023.html?language=es> [Citado el 25 - 10 - 2014]
- www.sigweb.cl/biblioteca/ManualEPPAchs.pdf
[Citado el 01 - 11 - 2014]
- http://www.paritarios.cl/especial_riesgo_uso_productos_quimicos.htm
[Citado el 02 - 11 - 2014]

ANEXOS