

Universidad de **Cádiz**

Proyectos de fin de carrera de **Ingeniería Química**

Facultad: CIENCIAS

Titulación: INGENIERÍA QUÍMICA

Título: Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave

Autor: Daniel BEY RUIZ

Fecha: Junio 2006





RESÚMEN

El objeto de este proyecto Fin de Carrera es el diseño de un compensador de giro de una aeronave. La aeronave en cuestión, que actualmente realiza vuelos comerciales, porta dos compensadores de giro o “tabs” en el timón de dirección que están constituidos de dos revestimientos de aluminio 2024 T3 y un núcleo de aramida o nido de abeja que le confieren resistencia mecánica a la pieza. Uno de estos revestimientos tiene forma de “V” con un ángulo de 12° , el otro, en forma de “C” sirve de ensamblaje al resto de la estructura del avión. El hueco interior que forman ambos revestimientos es rellenado por el núcleo de abeja o también llamado “honeycomb”.

Este compensador de giro que se encuentra ubicado en un tipo concreto de avión da problemas en vuelo, debido a un mal diseño de fabricación que conlleva un desplazamiento del núcleo por falta de material en el vértice y un hundimiento en el revestimiento de aluminio que se produce durante el proceso de curado. La falta de núcleo se debe a la dificultad para conseguir un buen mecanizado justo en el vértice, con lo que existe un hueco en los últimos 15 milímetros, aproximadamente. A este hecho hay que sumarle un hundimiento o pandeo del revestimiento principal de la pieza ya que tiene un espesor insuficiente para soportar las condiciones de presión a las que se somete en el proceso de curado. La combinación de estos dos factores lleva asociada una pérdida de estabilidad aerodinámica y problemas en vuelo de la aeronave que porta estas dos piezas. Por ello, la industria aeronáutica requiere un rediseño de este compensador de giro, una nueva configuración, que utilizando otros materiales y otra tecnología, respete las dimensiones actuales de la pieza. Este nuevo diseño también demanda una disminución en el peso final de la pieza, tan deseada en la industria aeronáutica.

La memoria descriptiva de este proyecto define como ha sido la nueva propuesta, que ha consistido en la sustitución de los dos revestimientos de aluminio 2024 por otros dos fabricados en fibra de carbono preimpregnado en una resina tipo “epoxi”. Esta fabricación se ha llevado a cabo utilizando una tecnología denominada HLU o “Hand Lay-Up” consistente en ir apilando sucesivas telas de este material hasta conseguir el espesor deseado. Este apilamiento se realiza sobre unos útiles diseñados para tal fin y con una orientación de telas predeterminada que confieren a la pieza las propiedades finales de resistencia mecánica. El núcleo de nido de abeja ha sido sustituido por otro núcleo de características similares pero con una densidad menor que contribuye a disminuir el peso de la pieza. El hueco que forma la falta de núcleo en el vértice y el revestimiento, se ha completado con un núcleo rígido llamado “foam”, es una espuma rígida que sí es fácilmente mecanizable. Todas estas piezas han sido pegadas y curadas en un autoclave en unas condiciones de presión y temperatura que le confieren a la pieza las características finales. Tras el proceso de fabricación, la pieza deberá ser sometida a rigurosos ensayos de control que verifiquen el correcto acabado de la misma.

Todos los materiales empleados en este proceso de fabricación, tanto materia prima como materia auxiliar, así como el ciclo de curado empleado, están recogidos en estrictas normas aeronáuticas.

Esta nueva configuración que se ha propuesto, consigue eliminar los problemas de desplazamiento y falta de núcleo en el vértice. Al mismo tiempo se evita el hundimiento del revestimiento ya que el revestimiento diseñado tiene un espesor de 2 mm en lugar de 1 mm del actual de aluminio. El nuevo diseño ha conseguido también disminuir el peso total de la pieza.

Este proyecto fin de carrera incluye un presupuesto general así como un estudio de viabilidad financiera donde se observa cual es la rentabilidad de la fabricación de estas piezas e indicando los beneficios totales derivados de este proceso productivo. La fabricación en serie de este compensador se ha propuesto para un período de 7 años en función de la cadencia de fabricación de este avión que es de 180-200 aviones/año.

También se incluyen planos de las piezas y de los útiles de fabricación necesarios para el apilamiento de telas y curado final de la pieza. El pliego de condiciones y un apartado de anexos también son incluidos en este Proyecto Fin de Carrera.

INDICE GENERAL DEL PROYECTO

Documento n°1: MEMORIA DESCRIPTIVA

	Página
CAPITULO 1: INTRODUCCION	1
1.1. PETICIONARIO	1
1.2. PROPUESTA DEL PROYECTO FIN DE CARRERA	2
CAPITULO 2: OBJETO DEL PROYECTO	4
2.1. OBJETO DEL PROYECTO	4
2.2. JUSTIFICACION	6
CAPITULO 3: VIABILIDAD DEL PROYECTO	8
3.1. VIABILIDAD TECNOLÓGICA	8
3.2. VIABILIDAD LEGAL	8
3.3. VIABILIDAD ECONÓMICA	14
CAPITULO 4: ANTECEDENTES	15
4.1. COMPENSADOR DE GIRO	15
4.1.1. Superficies de mando y control de un avión	15
4.1.2. Funcionalidad y accionamiento de un compensador	20
4.1.3. Localización	24

	Página
4.2. INTRODUCCIÓN A LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL COMPENSADOR DE GIRO	26
4.2.1. Introducción	26
4.2.2. Actual configuración	28
4.2.3. Estructura sándwich	31
4.2.3.1 Aluminio 2024 T3	35
4.2.3.2. Honeycomb	39
CAPITULO 5: NUEVA PROPUESTA	46
5.1. USO DE COMPOSITES	46
5.2. SOLUCIÓN FINAL	50
CAPITULO 6: MATERIALES COMPUESTOS	51
6.1. MATERIALES COMPUESTOS EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA	51
6.1.1. Materiales compuestos: Definición, origen y evolución	51
6.1.2. Ventajas e inconvenientes	57
6.1.3. Comportamiento de los materiales compuestos	60
6.1.4. Uso de los materiales compuestos en la industria	61
6.1.5. Diseño de elementos con materiales compuestos	66
6.2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE FABRICACIÓN	68
6.2.1. Materia Prima	68
6.2.2.1. Material avionable	69
6.2.2.2. Material no avionable	71
6.2.2. Materiales preimpregnados	72
6.2.2.1. Función de los componentes en el material compuesto	74
6.2.2.2. Parámetros que definen a un material preimpregnado	76
6.2.2.3. Tipos de presentaciones de materiales compuestos	77

	Página
6.2.2.4. Fibras	81
6.2.2.5. Matrices	88
6.3. TECNICAS DE FABRICACION EN FIBRA DE CARBONO	99
6.3.1. RTM	100
6.3.2. VARTM	107
6.3.3. LAY-UP	111
6.3.4. Justificación uso de LAY-UP	113
CAPITULO 7: PROCESO DE FABRICACIÓN DEL COMPENSADOR MEDIANTE TECNOLOGÍA HLU	117
7.1. DISEÑO DEL COMPENSADOR	117
7.2. PROCESO DE PREPARACIÓN DEL NÚCLEO	122
7.3. FABRICACIÓN DE REVESTIMIENTOS	128
7.3.1. Corte y preparación del material preimpregnado	129
7.3.2. Preparación del utillaje	133
7.3.3. LAY-UP	135
7.3.4. Fabricación de bolsa de curado	141
7.3.5. Precurado en autoclave	148
7.3.6. Desmoldeo	167
7.4. COENCOLADO Y CIERRE	168
7.4.1. Coencolado	168
7.4.2. Desmoldeo	170
7.4.3. Mecanizado de la pieza	171
7.4.4. Ensayos de control	174
7.4.4.1. Ensayo de cortadura interlaminar	175

	Página
7.4.4.2. Ensayo de cortadura a tracción en sentido plano	176
7.4.4.3. Ensayo de estanqueidad en estructuras sándwich	178
7.4.4.4. Ensayo de inspección ultrasónica por transmisión	180
7.4.4.5. Ensayo de inspección ultrasónica por eco-pulso	182
7.5. REQUISITOS DE CALIDAD	184
7.6. DIAGRAMA DE FLUJOS DE PROCESO	188
7.7. JUSTIFICACIÓN DE LA CONFIGURACIÓN DE LA PROPUESTA	190
7.7.1. Justificación del peso	190
7.7.2. Justificación de orientación de telas	196

Documento n°2: PLIEGO DE CONDICIONES

	Página
1. OBJETIVO	1
2. DISPOSICIONES GENERALES	2
2.1. Contradicciones, omisiones o errores	2
2.2. Trabajos preparatorios	2
2.2.1. Comprobación del replanteo	2
2.2.2. Fijación de los puntos de replanteo	3
2.2.3. Programación de los trabajos	4
2.3. Plazos de ejecución	4
2.4. Desarrollo y control de los trabajos	5
2.4.1. Equipos de maquinaria	5
2.4.2. Ensayos	5
2.4.3. Materiales	6
2.4.3.1. Manipulación de materiales	7
2.4.3.2. Inspección en planta	7
2.4.3.3. Inspección de los materiales	7
2.4.3.4. Materiales defectuosos	7
2.4.4. Acopios	8
2.4.5. Trabajos nocturnos	9
2.4.6. Accidentes de trabajo	9
2.4.7. Descanso en días festivos	10
2.4.8. Trabajos defectuosos o no autorizados	10
2.4.9. Señalización de las obras	11
2.4.10. Precauciones especiales	11
2.4.10.1. Lluvias	11
2.4.10.2. Incendios	12
2.4.11. Personal técnico	12
2.5. Medición de obras	13

	Página
2.6. Certificaciones	14
2.6.1. Precio unitario	14
2.6.2. Partidas alzadas	14
2.6.3. Instalaciones y equipos de maquinaria	14
2.7. Legislación social	15
2.8. Gastos de cuenta del contratista	15
2.9. Ingeniero director de obras. Funciones	16
2.10. Recepciones, garantías y obligaciones del contratista	17
2.10.1. Recepción provisional	18
2.10.2 Plazo de garantía	19
2.10.3 Recepción definitiva	20
2.10.4 Prescripciones particulares	20
3. CONDICIONES DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS	21
3.1. Referencias y normativas	21
3.2. Condiciones para los materiales	23
3.2.1. Condiciones generales para los materiales	23
3.2.2. Condiciones para las tuberías y tubos del circuito refrigerante de la instalación	23
3.2.3. Condiciones para las conexiones eléctricas	24
3.2.4. Condiciones para el aislamiento eléctrico	24
3.2.5. Condiciones para las válvulas	25
3.2.6. Condiciones para las juntas	25
3.2.7. Condiciones para las soldaduras	25
3.3. Condiciones para los equipos	26
3.3.1. Condiciones para el autoclave y el sistema de refrigeración del mismo	26
3.3.2. Condiciones para las bombas	27
3.3.3. Condiciones para los equipos reutilizados	28
3.4. Condiciones sobre instalaciones auxiliares	28
3.4.1. Condiciones para los conductores de la instalación	28
3.4.2. Condiciones para los conductores de protección	29

	Página
3.4.3. Condiciones para el equilibrado de cargas	30
3.4.4. Condiciones para la instrumentación	31
4. EQUIPOS A PRESIÓN. DISPOSICIONES GENERALES	33
4.1 Referencias y normativas	33
4.2. Definiciones generales	35
4.2.1. Aparato sometido a presión	34
4.2.2. Tuberías	34
4.2.3. Sistemas	35
4.2.4. Diseño mecánico	35
4.2.5. Ingeniería	35
4.2.6. Fabricante	36
4.2.7. Reparador	36
4.2.8. Instalador	36
4.2.9. Usuario	37
4.2.10. Inspector propio	37
4.2.11. Inspecciones y pruebas previas	37
4.2.12. Inspecciones y pruebas periódicas	37
4.2.13. Control de calidad	38
4.3. Definiciones de ámbito técnico	39
4.3.1. Presión de vacío de diseño (Pv)	39
4.3.2. Presión de autoclave (Pa)	39
4.3.3. Presión de servicio (Ps)	38
4.3.4. Presión de prueba (Pp)	38
4.3.5. Temperatura de curado de diseño (Tc)	38
4.3.6. Temperatura máxima de curado de servicio (Tmc)	39
4.3.7. Temperatura de servicio (Ts)	39
4.4. Condiciones generales para todos los aparatos	40
4.4.1. Manual de diseño	40

	Página
4.4.2. Certificados	41
4.4.3. Proceso de fabricación	41
4.4.4. Legalización de aparatos a presión	41
4.4.5. Instalación	43
4.4.6. Inspecciones y pruebas	43
4.4.6.1. Inspecciones y pruebas oficiales	43
4.4.6.2. Inspecciones y pruebas en el taller del fabricante	44
4.4.6.3. Inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del equipo	44
4.4.7. Placas	46
4.4.8. Elementos de seguridad	47
4.5. Pruebas para las tuberías	48
4.6. Prueba de los sistemas antes de la puesta en marcha	48
4.6.1 Prueba hidrostática	48
4.6.2 Comprobación de servicios auxiliares	48
4.6.2.1 Equipo eléctrico	49
4.6.2.2 Agua de refrigeración	49
4.6.2.3 Aire de instrumentos	49
4.6.2.4 Red contra incendios	49
4.6.2.5 Sistema de drenaje	49
4.6.2.6 Seguridad	50
5. MEDICIÓN Y ABONO DE LAS OBRAS	52
5.1. Mediciones y valoraciones	51
5.2. Condiciones económicas	51
5.3. Condiciones de índole legal	51
6. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS	52
6.1. Ejecución en general	52
6.2. Replanteo	52

	Página
6.3. Orden de los trabajos	53
6.4. Marcha de las obras	53
6.5. Obra civil	53
6.6. Instalaciones varias	53
6.7. Responsabilidad de la contrata	54
6.8. Dirección de los trabajos	54
6.9. Legalización	55
7. SEGURIDAD E HIGIENE	56
7.1. Objeto	56
7.2. Identificación de operaciones de riesgo	56
7.2.1. Equipos de maquinaria fija y herramientas.	57
7.2.2. Manipulación y almacenamiento de productos Químicos	59
7.2.3. Maquinaria móvil y vehículos	61
7.2.4. Manipulación de cargas	63
7.2.4.1. Manipulación manual de cargas	63
7.2.4.2. Manipulación de cargas mediante medios mecánicos.	65
7.2.5. Lugares y espacios de trabajo	66
7.2.6. Agentes Físicos	67
7.2.7. Incendio y Explosión	69
7.2.8. Electricidad	70
7.2.9. Legislación Aplicable	72
7.2.10. Normativa	72

Documento nº3: PRESUPUESTO

	Página
1. ALCANCE DEL PRESUPUESTO	1
2. COSTES DE FABRICACIÓN	2
1. COSTES DEL UTILLAJE PRINCIPAL	4
1.1. Utillaje apilamiento y cierre de coencolado	4
1.1.1. Diseño	4
1.1.2. Fabricación	5
1.1.3. Materiales	6
1.1.4. Transporte	7
1.2. Utillaje cierre en C	8
1.2.1. Diseño	8
1.2.2. Fabricación	9
1.2.3. Materiales	10
1.2.4. Transporte	11
2. COSTES DE ENSAYOS Y DESARROLLO	12
2.1. Coste ensayos estanqueidad	12
2.2. Coste ensayos inspección de ultrasonidos por transmisión	13
2.3. Coste ensayos inspección de ultrasonidos por eco-pulso	14
2.4. Coste ensayos mecánicos	15
3. COSTES DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN	16
3.1. Costes eléctricos	16
3.2. Costes nitrógeno	17
3.3. Costes de mantenimiento	18

	Página
3. VIABILIDAD FINANCIERA	24
3.1. INVERSIÓN A REALIZAR	24
3.2. FUENTES DE FINANCIACIÓN	25
3.3. GASTOS	26
3.3.1. Gastos de explotación	26
3.3.2. Gastos financieros	30
3.4. INGRESOS OBTENIDOS	31
3.5. CUENTAS DE PÉRDIDAS Y GANACIASPROVISIONALES	32
3.6. VIABILIDAD ECONÓMICA FINANCIERA	34

Documento nº4: PLANOS

Plano Compensador

Plano Cierre

Plano útil coencolado

Plano útil cierre

MEMORIA DESCRIPTIVA

CAPITULO 1:

INTRODUCCION

1.1. PETICIONARIO:

La comisión de Proyectos Fin de Carrera de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz ha asignado el proyecto de título: “Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave” al alumno Daniel Bey Ruiz, siendo el tutor del mismo D. Manuel Galán Vallejo.

Este proyecto se realiza como requisito indispensable para la obtención del título de Ingeniero Químico.

1.2. PROPUESTA DEL PROYECTO FIN DE CARRERA.

El documento de propuesta de Proyecto Fin de Carrera es el siguiente:

DEPARTAMENTO: Ingeniería Química, Tecnología de los Alimentos y Tecnología del Medio Ambiente.

TÍTULO: Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave.

TUTOR: MANUEL GALÁN VALLEJO

DESCRIPCIÓN (breve información sobre el objetivo del PFC):

El objeto de este proyecto fin de carrera es el diseño de un compensador de giro de una aeronave en fibra de carbono mediante la técnica de HLU (Hand Lay-Up). Se trata de sustituir la configuración de un compensador de giro de una aeroplano que en la actualidad se compone de un revestimiento de Al 2024 T3 con un núcleo de nido de abeja. El mal diseño de la pieza trae consigo problemas en vuelo, por lo que es necesario rediseñar la estructura. El nuevo elemento estaría formado por 3 piezas que se fabricarían por separado, para posteriormente proceder al pegado de todas ellas mediante adhesivo y cocurado del conjunto en autoclave. A grandes rasgos, la nueva propuesta consistiría en diseñar los dos revestimientos en fibra de carbono y el núcleo de nido de abeja sustituirlo por otro de características parecidas. Estudiaremos cuales son las características físicas de la pieza valiéndonos para ello de datos técnicos del núcleo y del revestimiento de Al.

Al ser un elemento avionable, todos los materiales utilizados para su fabricación deberán estar recogidos en las respectivas normas aeronáuticas. Los ciclos de autoclave de curado también están normalizados.

OTRAS ESPECIFICACIONES (normativa, legislación,...): Especificaciones técnicas de materiales. Normativa referente a higiene y seguridad industrial. Requisitos de calidad.

CAPITULO 2:

OBJETO DEL PROYECTO

2.1. OBJETO DEL PROYECTO.

El objeto de este proyecto Fin de Carrera es el diseño de un compensador de giro de una aeronave. La aeronave en cuestión, que actualmente realiza vuelos comerciales, porta dos compensadores de giro o “tabs” en el timón de dirección que están constituidos de dos revestimientos de aluminio 2024 T3 y un núcleo de aramida que le confieren resistencia mecánica a la pieza.

El ubicado en un tipo concreto de avión da problemas en vuelo, debido a un mal diseño de fabricación que conlleva un desplazamiento del núcleo por falta de material en el vértice y un hundimiento en el borde de salida del revestimiento de aluminio. A pesar de este hundimiento por falta de material en el vértice o borde de salida, la industria aeronáutica venía optando hasta ahora por una reparación consistente en realizar varios agujeros realizados justo en el borde de salida de la pieza e introducir por esos orificios una resina viscosa con el fin de rellenar esa falta de material, pero la problemática que conlleva una reparación así como la excesiva densidad de la resina (aumento de peso final) han llevado a proponer este nuevo diseño, con una nueva configuración de la pieza, utilizando otros materiales y otra tecnología, pero respetando las dimensiones actuales.

Motivado posiblemente por ese desplazamiento del núcleo y por un pequeño espesor del aluminio, también se produce un ligero hundimiento del

revestimiento, con la consiguiente pérdida de estabilidad aerodinámica que conlleva una merma en el control de la aeronave.

Es previsible que la sustitución de este elemento de aluminio por otro de fibra de carbono, pueda subsanar esta problemática.

Las propiedades tanto físicas como mecánicas han de mantenerse o incluso mejorarse. En este punto es primordial también lograr una disminución de peso, tan deseada en la industria aeronáutica.

Se pretende, por tanto; diseñar una pieza con dimensiones similares a la que existe en la actualidad (para no afectar a la intercambiabilidad de la pieza) y cumpla los requisitos de aeronavegabilidad.

Hoy en día, los materiales compuestos son de relevante importancia en la industria aeronáutica, de forma que será la fibra de carbono, el material que cobre especial importancia por ser el más utilizado en la categoría de materiales compuestos en esta industria.

De las distintas técnicas de fabricación de materiales compuestos, la que emplearemos para este proceso una vez diseñada la pieza será el apilado manual (“*Hand Lay-Up* o *HLU*”), siendo esta la que ofrece mejor balance o relación entre calidad final de la pieza y costes de fabricación.

Del mismo modo, de todos los tipos de fibra que existen, la pensada para la fabricación de la pieza será la fibra de carbono, debido a sus propiedades tan peculiares de resistencia y bajo peso.

Hay que destacar también en este punto, que el presente estudio también incluye el diseño de todo el utillaje necesario para la fabricación de este compensador de vuelo.

2.2. JUSTIFICACION DEL PROYECTO

En los últimos años, la industria aeronáutica viene experimentando un crecimiento muy significativo en detrimento de otras industrias como la naval o la automovilística.

En nuestra región, y más concretamente en la Bahía de Cádiz, existen grandes empresas dedicadas exclusivamente al sector aeronáutico, llegando a convertirse en el motor económico e industrial de la zona.

Dentro de este sector, y cada vez en mayor porcentaje, se están utilizando estructuras en materiales compuestos, y dentro de estos ocupan un importante papel las estructuras de fibra de carbono.

Cabe destacar que existen actividades que son susceptibles de ser subcontratadas por las grandes potencias del sector, o por talleres de un tamaño menor, encontrándose la dificultad de hallar una empresa que ofrezca estos productos en materiales compuestos, principalmente por falta de formación y carencia de la tecnología adecuada, con el añadido, de la necesidad de estar certificadas, requisito imprescindible para poder trabajar en el sector aeronáutico.

Es por ello que estas grandes empresas del sector aeronáutico anteriormente citados, proponen el diseño y fabricación de esta pieza que forma parte de uno de sus aviones. El nuevo diseño buscará, por un lado, solucionar el problema de aerodinámica que sufre y por otro, la tan deseada pérdida de peso en todos los componentes avionables. Hasta tal punto es importante este último aspecto, que en el sector aeronáutico y espacial los materiales compuestos sustituyen cada vez más a los metales, pues son mucho más ligeros. Cada kilo de peso ahorrado rebaja los gastos de combustible o aumenta la carga útil. Como ejemplo podemos decir que

aproximadamente una cuarta parte del Airbus A380 se fabrica ya en ligeros materiales compuestos de plástico reforzado con fibra de carbono (CFRP). En CFRP se fabrican los cajones centrales de ala, los flaps, la totalidad del fuselaje, el estabilizador horizontal y vertical y el llamado mamparo de presión de cola.

Es por esto y por el gran crecimiento que está experimentando el sector aeronáutico en nuestra región, y debido a la falta de empresas que actualmente desarrollen el proceso de diseño y fabricación de nuevos componentes con materiales CFRP, surge la necesidad de realización del presente proyecto.

CAPITULO 3:

VIABILIDAD DEL PROYECTO

Cualquier proyecto que se precie debe estar precedido de un estudio previo antes de su realización. Este estudio no es más que la confirmación de que el proyecto es viable y puede llevarse a cabo, cumpliendo toda la legislación vigente, así como evidenciar que nuestra producción va a propiciar una serie de beneficios, siendo rentable económicamente.

3.1. VIABILIDAD TECNOLÓGICA

Los aspectos que hacen viable un proyecto de diseño y fabricación, son la adecuada elección de la técnica de fabricación, el estudio de los materiales a emplear, el diseño del sistema así como la optimización y mejora del mismo.

Por ello salvo que sean condicionantes otros criterios, se debe establecer la siguiente ecuación que aglutina todos los factores a tener en cuenta en cualquier proceso productivo:

$$\text{Proyecto} + \text{Ejecución} + \text{Montaje} = \text{Óptimo Económico}$$

3.2. VIABILIDAD LEGAL

Para la ejecución de este proyecto se han tenido en cuenta diferentes tipos de leyes de carácter técnico, medioambiental y laboral. Las podemos diferenciar en las siguientes áreas relacionadas con el proceso de fabricación:

- **Legislación relativa a los factores internos al proceso** tanto para el diseño del sistema global, como para su posterior utilización por los trabajadores en la industria aeronáutica:

- Real Decreto 773/1997, de 30 de Mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.
- Real Decreto 374/2001, de 6 de Abril, sobre la protección de la salud y seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados contra los agentes químicos durante el trabajo.
- Real Decreto 486/1997, de 14 de Abril, por el que establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo.
- Ley 21/92, de 16 de Junio, de Industria, B.O.E N° 176, 23 de Julio de 1992.

- Ley 31/1995, 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Decreto 2414/1961, de 30 de Noviembre, por el que aprueba el reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas, B.O.E de 2 de Abril de 1963.
- Ordenanza general de Seguridad e Higiene en el Trabajo, orden del 9 de Marzo de 1971.
- Directiva 1999/13/CE del Consejo de 11 de Marzo de 1999, relativa a la emisión de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes orgánicos en determinadas actividades e instalaciones.

- **Legislación relativa a los factores externos al proceso** necesaria para el diseño del sistema global en la industria aeronáutica:

- Directiva 74/464/CEE, de 4 de Mayo, que impone a los estados miembros de la Unión Europea la obligación de adoptar determinadas medidas para eliminar la contaminación causada por los vertidos al medio acuático de las sustancias peligrosas.
- Ley 29/1985, de 2 de Agosto de Aguas. B.O.E N° 189, del 8 de Agosto de 1985.

- Ley 10/1998, de 21 de Abril, de Residuos. B.O.E N° 96, del 22 de Abril de 1998.
- Real Decreto 379/2001, de 6 de Abril, por el que se aprueba el reglamento de almacenamiento de productos químicos y sus instrucciones técnicas complementarias. B.O.E N° 112 del 10 de Mayo de 2001.
- Ley 38/1972, de 22 de Diciembre de protección del ambiente atmosférico. B.O.E N° 309, del 26 de Diciembre de 1972.

- Legislación relativa al proceso aeronáutico:

- Norma ASTM F25-68: American standard test method of sizing and counting Airborne particulating contamination in cleans rooms and other Dust-Controlled Areas designed for electronic and similar applications.
- Norma EN2563: Unidirectional carbon laminates thermosetting resin. Test method for the determination of interlaminar shear strength.
- Norma fabricación: Norma de fabricación de estructuras con materiales compuestos de fibra de carbono (laminados y “sandwich”).

- Norma núcleos: Norma de núcleos, tejidos de refuerzos y cargas.
- Norma materiales: Norma de materiales preimpregnados.
- Norma desmoldeantes: Norma de aplicación de desmoldeantes líquidos.
- Norma mecanizado: Norma de mecanizado de materiales compuestos.
- Norma ensayo de inmersión: Ensayo de estanqueidad en estructuras “sándwich”.
- Norma ensayo de cortadura: Ensayo de cortadura interlaminar sobre estratificados de fibra de carbono.
- Norma ensayo de tracción: Ensayo de tracción en sentido plano sobre estratificados de fibra de carbono/núcleo de honeycomb.
- Norma de E.N.D.: Inspección no destructiva de estructuras fabricadas en materiales compuestos (laminados y sándwich).
- Norma inspección eco-pulso: Inspección ultrasónica por pulso-eco de estructuras fabricadas en materiales compuestos (laminados y sándwich).

- Norma inspección transmisión: Inspección ultrasónica por transmisión de estructuras fabricadas en materiales compuestos de fibra de carbono (laminados y sándwich).

3.3. VIABILIDAD ECONÓMICA

Como hemos dicho al comienzo de este capítulo, cualquier proyecto viene precedido por un estudio de mercado realizado por el cliente contratante.

Así, si en el presupuesto general del proyecto sólo se tienen en cuenta los gastos necesarios para llevar a cabo la producción. Es por ello que una vez que hagamos el presupuesto, realizaremos un balance económico de viabilidad financiera que incluye los beneficios derivados de la producción. Los distintos índices financieros serán los que nos digan si el proyecto es viable económicamente o no.

Realizando una serie de estimaciones y balanceando un poco el mercado, podemos estimar que la pieza que vamos a fabricar la vamos a vender a un precio final de 3.610 € /compensador por la fabricación de 180 aviones/año y dos compensadores por avión.

Es de esperar que exista una viabilidad económica que justifique la realización de este proyecto. No obstante, en el presupuesto de este proyecto se estudiará este concepto minuciosamente.

CAPITULO 4:

ANTECEDENTES

4.1. COMPENSADOR DE GIRO

En este capítulo trataremos de definir qué es un compensador (o también llamado “tab”) de giro de una aeronave, cuál es su función y dónde va situado.

4.1.1. Superficies de mando y control en un avión

Además de que un avión vuele, es necesario que este vuelo se efectúe bajo el control del piloto; que el avión se mueva respondiendo a sus órdenes. Por otro lado, es de gran interés contar con dispositivos que, a voluntad del piloto, aporten sustentación adicional facilitando la realización de ciertas maniobras.

Para lograr una u otra funcionalidad se emplean superficies aerodinámicas, denominándose primarias a las que proporcionan control y secundarias a las que modifican la sustentación.

Las superficies de mando y control modifican la aerodinámica del avión provocando un desequilibrio de fuerzas, una o más de ellas cambian de magnitud. Este desequilibrio, es lo que hace que el avión se mueva sobre uno o más de sus ejes, incremente la sustentación, o aumente la resistencia.

Para comprender la función de un compensador en un avión, es importante antes conocer cuales son sus ejes de giro y tendremos también que analizar como se produce el movimiento de avión: los ejes de un avión son rectas imaginarias e ideales trazadas sobre el avión. Su denominación y los movimientos que se realizan alrededor de ellos son tres:

Eje longitudinal. Es el eje imaginario que va desde el morro hasta la cola del avión. El movimiento alrededor de este eje (levantar un ala bajando la otra) se denomina **alabeo** (en ingles "roll"). También se le denomina eje de alabeo, nombre que parece más lógico pues cuando se hace referencia a la estabilidad sobre este eje, es menos confuso hablar de estabilidad de alabeo que de estabilidad "transversal". Este movimiento se lleva a cado levantando y/o bajando los alerones.

Eje transversal o lateral. Eje imaginario que va desde el extremo de un ala al extremo de la otra. El movimiento alrededor de este eje (morro arriba o morro abajo) se denomina **cabeceo** ("pitch" en ingles). También denominado eje de cabeceo, por las mismas razones que en el caso anterior. El timón de profundidad es el que gobierna este movimiento.

Eje vertical. Eje imaginario que atraviesa el centro del avión. El movimiento en torno a este eje (morro virando a la izquierda o la derecha) se llama **guiñada** ("yaw" en ingles). Denominado igualmente eje de guiñada. Para conseguir este movimiento es necesario activar el timón de dirección.

En la siguiente figura podemos observar los distintos ejes que componen un avión y los movimientos que a través de ellos se realizan:

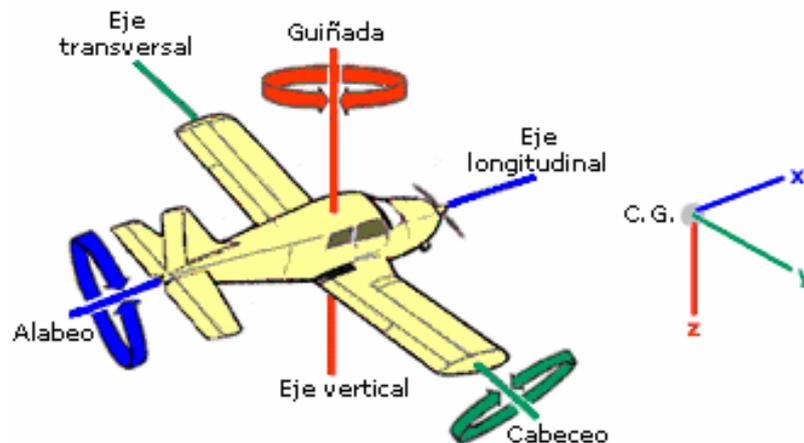


Figura 1: Ejes y movimientos de una aeronave

En un sistema de coordenadas cartesianas, el eje longitudinal o de alabeo sería el eje "x"; el eje transversal o eje de cabeceo sería el eje "y", y el eje vertical o eje de guiñada sería el eje "z". El origen de coordenadas de este sistema de ejes es el centro de gravedad del avión.

Como hemos dicho anteriormente, existen tanto superficies aerodinámicas primarias como secundarias.

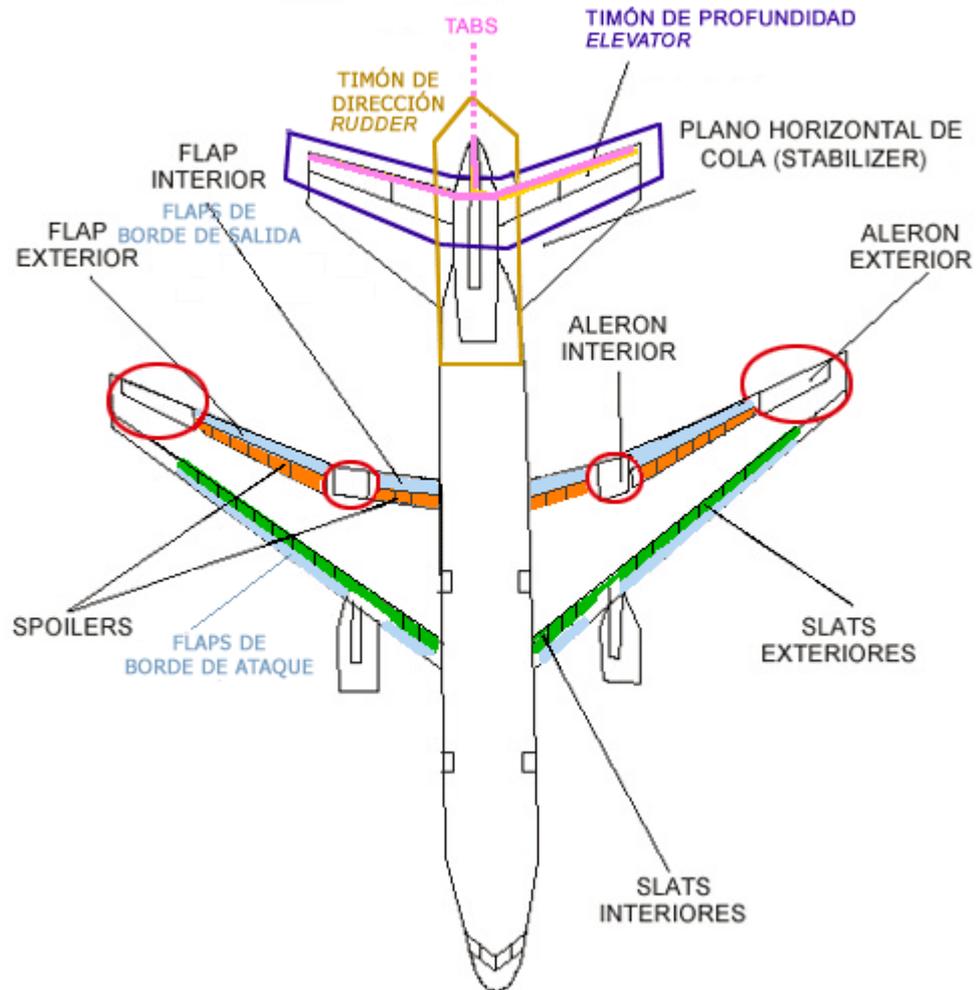


Figura 2: Superficies aerodinámicas de un avión

Las superficies primarias nos permiten mantener el control de la trayectoria del avión, las secundarias se utilizan en general para modificar la sustentación del avión y hacer más fáciles muchas maniobras.

Superficies aerodinámicas primarias

Las superficies aerodinámicas primarias, son superficies aerodinámicas móviles que, accionadas por el piloto a través de los mandos de la cabina, modifican la aerodinámica del avión provocando el desplazamiento de este sobre sus ejes y de esta manera el seguimiento de la trayectoria de vuelo deseada. Las superficies de control son tres: [alerones, timón de profundidad y timón de dirección](#). El movimiento en torno a cada eje se controla mediante una de estas tres superficies.

Los alerones controlan el movimiento de balanceo alrededor del eje OX, el timón de profundidad o elevador controla el movimiento de cabeceo alrededor del eje lateral OY. Por último, el timón de dirección o rudder controla el movimiento de guiñada alrededor del eje vertical OZ. Este timón de dirección está localizado en el estabilizador horizontal en la sección de cola y cerca del borde de salida

Superficies aerodinámicas secundarias

Las secundarias, son aquellas superficies que disminuyen la velocidad mínima que sostiene a un avión en vuelo mediante el control de la capa límite, modificando la curvatura del perfil, o aumentando la superficie alar. Las superficies que realizan una o más de estas funciones se denominan superficies hipersustentadoras. Las superficies secundarias son: [flaps, slats, spoilers y compensadores](#).

4.1.2. Funcionalidad y accionamiento de un compensador

Para evitar la continua acción del piloto sobre los mandos, se usan compensadores de profundidad, alabeo o dirección. El compensador objeto de estudio en este proyecto, es concretamente el compensador de dirección.

Este compensador de dirección, o también llamado aleta compensadora de dirección, es una superficie aerodinámica de pequeño tamaño que complementa la función del timón de dirección. Así, cuando el piloto consigue la actitud de vuelo deseada mediante los mandos que actúan sobre las superficies de control, lo cual requiere un esfuerzo físico por su parte que podría provocar fatiga y falta de atención del piloto, con el consiguiente riesgo, el avión dispone de compensadores. Estos son unos mecanismos, que permiten que las superficies de control se mantengan en una posición fijada por el piloto, liberándole de una atención continuada a esta función. Con este alerón se ajusta el ángulo de ataque del avión. Pero además de esta función principal, también pueden actuar como superficie de de control principal cuando el avión vuela a gran velocidad.

Es por esto que se ha estudiado de qué forma puede el piloto controlar el avión a través de una fuerza en los mandos de dirección, que se traduce en una deflexión del timón de dirección. Indudablemente, más efectivo que mover sólo una parte del plano vertical de cola (timón de dirección), lo sería mover el plano completo, haciendo variar su ángulo de ataque, y también se comprende que la fuerza necesaria para este movimiento sería mayor.

Al proyectar las superficies y sistemas de control, se utilizan diversas técnicas con el fin de que las fuerzas en la palanca sean de una magnitud tolerable. Las fuerzas en la palanca deben ser las necesarias para crear un

momento igual y de sentido contrario al que crea la distribución de presiones en el timón.

Un método de reducir la fuerza en la palanca, es mediante la compensación aerodinámica. Los tipos más usuales son: la compensación de cornadura, la de cierre interno, y la de borde de salida biselado.

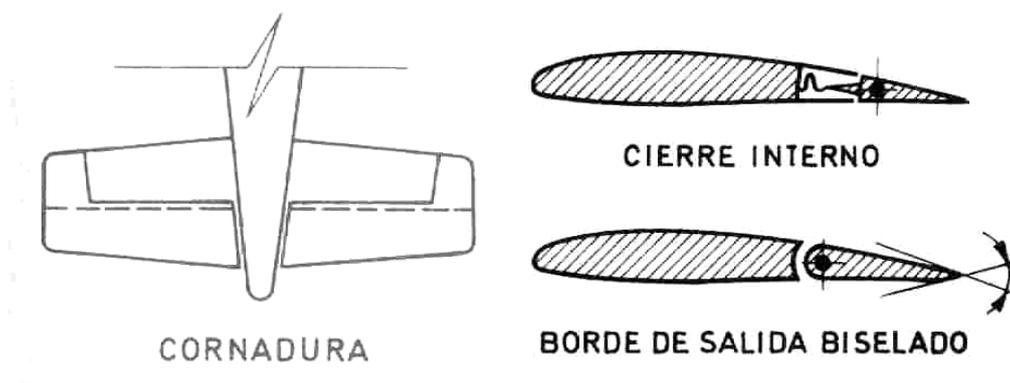
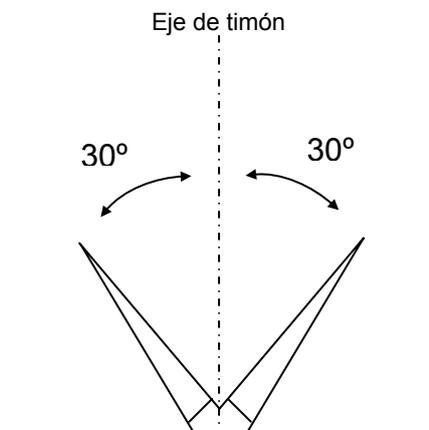


Figura 3: Tipos usuales de compensación aerodinámica



El compensador se mueve en sentido contrario al timón; si por ejemplo, el tab se mueve hacia la derecha, esto da lugar a que se produzca una distribución de presiones negativa sobre su superficie posterior y la distribución de presiones una fuerza hacia la izquierda: esta presión origina un momento que tiende a mover hacia la izquierda el timón para compensar las fuerzas (figura 4). En este caso, el movimiento del timón se efectuaría operando sobre el compensador.

Figura 4: Modo de funcionamiento de un compensador



El ángulo máximo de giro es de 30°.

Figura 5: Ángulo de giro de un compensador

En cuanto a la sujeción con el resto de la estructura del avión, la pieza en “C” del compensador o borde de ataque dispone de unos anclajes de giro que coinciden con otros anclajes situados en el flap, que es la pieza de unión entre el compensador y el resto de la estructura de la aeronave (ver figuras 14 y 15). Estos anclajes disponen en su parte central de un orificio circular, los cuales son atravesados por un eje de giro que hace las funciones de bisagra. Uno de esos anclajes no es fijo, sino que es movido por un motor. Ese movimiento provoca un giro en el eje y por consiguiente, un movimiento de todo el conjunto.

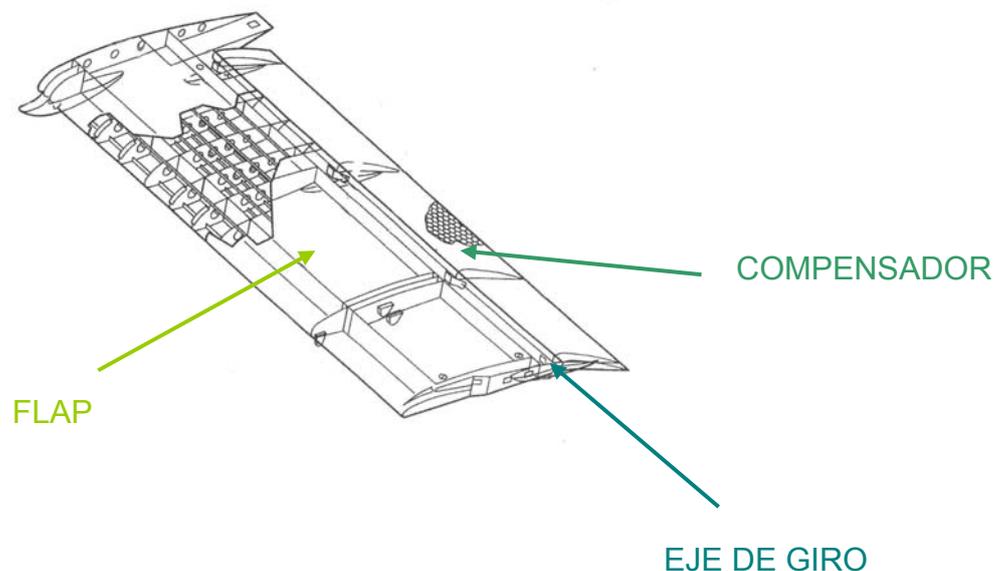


Figura 6: Ensamblaje con flap

4.1.3. Localización

La pieza de estudio se encuentra situada en el borde de salida del rudder o timón de dirección. A su vez, y como ya hemos visto en este capítulo, el rudder se encuentra situado en la parte más posterior del avión.

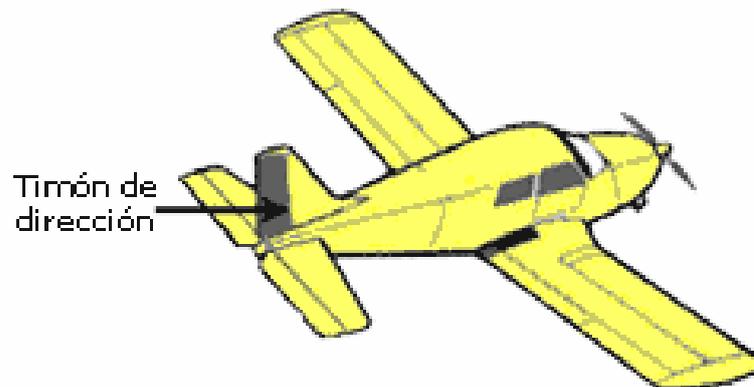


Figura 7: Localización timón de dirección

En este timón de dirección es donde se encuentran situados los dos compensadores de dirección de estudio de este proyecto.



COMPENSADOR
DE TIMÓN DE
DIRECCIÓN

Figura 8: Timón de dirección con compensador

Pero un compensador de giro no sólo lo podemos encontrar en el “rudder”, sino que también se sitúan en alerones y timón de profundidad teniendo la misma función que el de dirección pero gobernando movimientos distintos. En la siguiente imagen podemos observar el compensador de un alerón.



COMPENSADOR
DE ALERÓN

Figura 9: Alerón de dirección con compensador

4.2. INTRODUCCIÓN A LA CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL COMPENSADOR DE GIRO

4.2.1. Introducción

Como hemos indicado en el resumen de este Proyecto Fin de Carrera, el compensador de estudio está compuesto de dos materiales, el aluminio 2024T3 que es el revestimiento o piel exterior y un núcleo de abeja de aramida en su interior que actúa de cuerpo estructural de la pieza.

Está formado por dos revestimientos exteriores: uno en forma de “V” con un ángulo de 12° que es el que sufre los problemas de aerodinámica y es el que conforma el borde de salida y otro en forma de “C” que es el borde de ataque. Ambos tienen un espesor de 1 mm. El núcleo de nido de abeja rellena el espacio interior que forman ambos revestimientos.

En la siguiente figura podemos observar un corte de la sección de esta pieza.



Figura 10: Sección pieza real

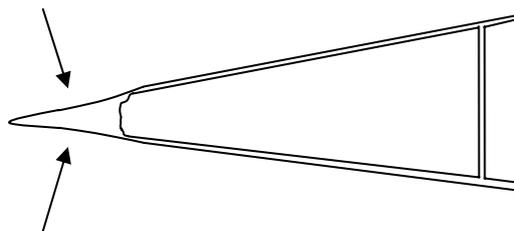
En este capítulo veremos la problemática de la actual configuración de la pieza así como la justificación de la nueva propuesta.

4.2.2. Actual configuración

La deficiente disposición actual del tab conlleva serios problemas de vuelo; problemas estos que la industria aeronáutica debe remediar cuanto antes, de ahí la necesidad inminente de buscar una nueva alternativa. Este proyecto surge con la intención de dar solución a esta problemática.

4.2.2.1. Problemática

La principal deficiencia que sufre el elemento es la **falta de núcleo en el vértice final**, en los últimos 15 mm aproximadamente, ya que es prácticamente imposible con la tecnología actual conseguir un corte perfecto que después solape con el revestimiento. Este hecho lleva consigo un hundimiento del aluminio.

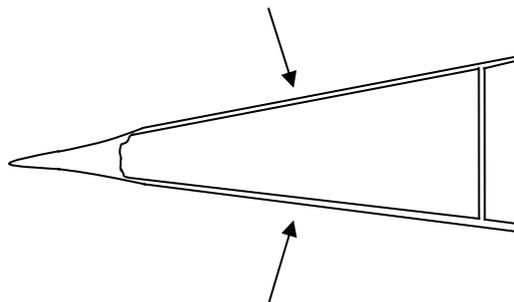


Cuando un avión está volando el aire “entra” por la nariz o parte anterior, discurre por todo el fuselaje, superficies primarias y finalmente “sale” por las superficies secundarias. Debido a esto, las tensiones a las que está sometida la pieza y más concretamente el vértice o borde de salida, obligan a que ese hueco interior deba estar macizado ya que de lo contrario

el hundimiento podría aumentar aún más si cabe la deformación. Por ello, lo que se viene haciendo hasta ahora es una reparación consistente en realizarle varios taladros a ese vértice e introducirle a presión un tipo de resina que haga las veces de núcleo en esa zona. Esto conlleva un aumento más que significativo del peso final de la pieza, aparte de un incremento en el coste final de la pieza.

Al ser el compensador del timón de dirección la pieza que está situada en la parte más posterior de la aeronave, cualquier pequeña desestabilización que aquí ocurre afecta al resto de la estructura, produciéndose una pérdida de control del aparato por parte del piloto. Cuanto mayor sea este hundimiento, mayor será esta pérdida de control.

Otro inconveniente a añadir es un **hundimiento adicional en toda la superficie del revestimiento** en “V”, repartido en toda la superficie por lo que no es tan fácil de ver a simple vista pero que sí ha sido detectado en el túnel del viento.



El motivo de este hundimiento podemos encontrarlo en el revestimiento de aluminio que tiene un escaso grosor (1 mm) y en el momento del curado sufre un pandeo motivado por la presión de autoclave. La normativa aeronáutica obliga a curar las estructuras sándwich (como es

esta) en unas condiciones de presión que oscilan entre 2,9 – 3,5 atm. y el revestimiento no es capaz de soportar esa presión aunque su curado se realice en útiles adecuados para tal fin.

La combinación de estos dos factores lleva consigo el desplazamiento del núcleo y que no se adhiera por completo a la cara interior de los dos revestimientos, quedando zonas sin adherirse. Esta unión se lleva a cabo por la acción conjunta de un adhesivo tipo “película film” y la temperatura del interior de autoclave que calienta el adhesivo y le confiere entonces las propiedades de “pegado” para el cuál ha sido diseñado.

En este punto del capítulo, debemos comentar cómo es la disposición actual de la pieza en cuantos a materiales: como hemos dicho varias veces, el tab se define como una estructura “sándwich” en la que un elemento interior de gran volumen pero de baja densidad se rodea o cubre de otras dos que suelen tener una densidad mayor.

4.2.3. Estructura “sándwich”

Una *estructura sándwich* es una estructura constituida por dos pieles de material resistente, en este caso aluminio, entre las que se interpone un material ligero y, por lo general, de baja densidad. Este núcleo, si bien aumentará el espesor y en mínima medida el peso de la nueva estructura comparada con una estructura simple, reportará grandes beneficios desde el punto de vista de la rigidez del conjunto.

Pero en una estructura sándwich también hay que tener en cuenta el adhesivo de unión; es por ello que la estructura está compuesta en realidad por 2 materiales estructurales y uno auxiliar:

- a) las pieles exteriores;
- b) el núcleo del sandwich; y
- c) la interfase de unión entre el núcleo y las pieles o adhesivo.

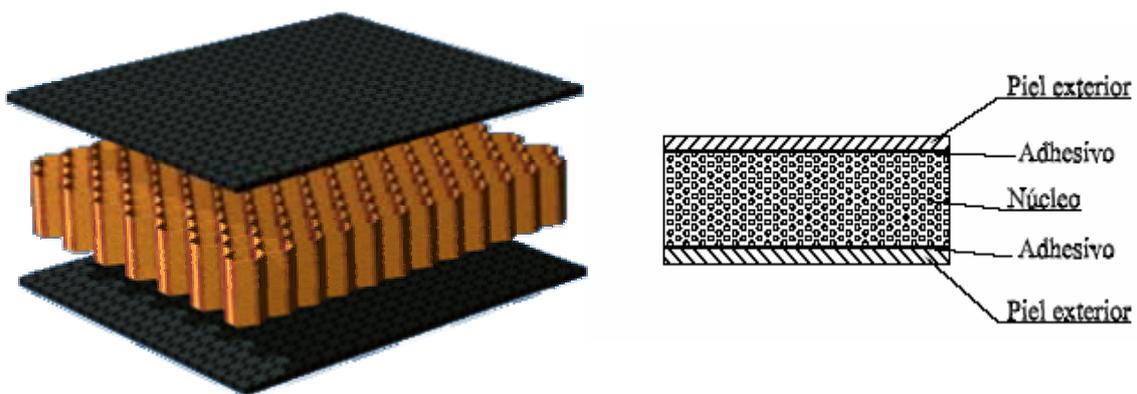


Figura 11: Elementos de estructura sandwich

Cada uno de los elementos implicados cumple una función determinada. Las pieles exteriores son los elementos resistentes, generalmente realizadas con materiales de mejores propiedades que el resto; el núcleo, de material ligero, cuyas funciones principales son mantener separadas las pieles exteriores, brindar aislamiento térmico (si cabe) y transmitir los esfuerzos cortantes de una cara a la opuesta; y por último la interfase, que tiene como función principal mantener unido todo el conjunto.

Si un panel sandwich es sometido a flexión como en la figura 17 las pieles exteriores experimentarán esfuerzos diferentes. Por ejemplo, la piel superior está sometida a tracción, y la piel inferior estará sometida a compresión:

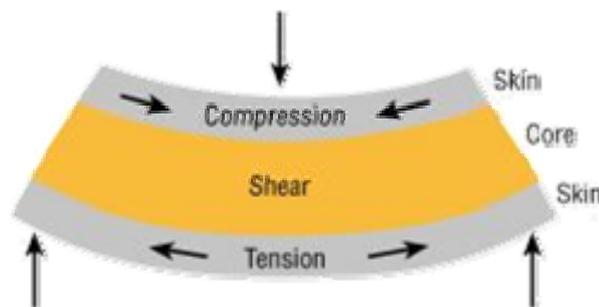


Figura 12: Esfuerzos en una estructura sandwich

El núcleo debe mantener la distancia relativa entre las pieles y la distancia entre las pieles y la línea neutra. Debe el núcleo, por lo tanto, ser suficientemente resistente para poder soportar los esfuerzos de corte que se producen y evitar que se produzca un desplazamiento de las pieles en el

sentido longitudinal. Debe también soportar los esfuerzos de compresión perpendicular a las pieles.

Las pieles deberán ser capaces de resistir el esfuerzo de flexión al cual están sometidas a través de los correspondientes esfuerzos de tracción y compresión. De modo que la nueva estructura sandwich, comparada con la estructura simple, será mucho más resistente con sólo un mínimo aumento de peso.

En la siguiente tabla podemos ver de forma resumida las ventajas e inconvenientes del uso de estas estructuras:

VENTAJAS
Soportan altas cargas a compresión y tracción (normales al panel).
Tienen excelente rigidez y resistencia específica
Tienen una excelente capacidad de aislamiento térmico y acústico.
Tienen buena rigidez a torsión
Tienen la mejor relación rigidez/peso

Tabla 1: Ventajas de estructuras sándwich

INCONVENIENTES
Son altamente sensibles a la absorción de agua/humedad y otros líquidos.
Tienen baja resistencia al impacto. Pueden sufrir daños con una baja energía de impacto.
Son sensibles al pandeo.
Pueden aparecer problemas en las reparaciones remachadas

Tabla 2: Inconvenientes de estructuras sandwich

En la selección de materiales para aplicaciones aeroespaciales es un requisito extremo la relación concerniente a resistencia:peso, temperatura de operación y comportamiento frente al fuego.

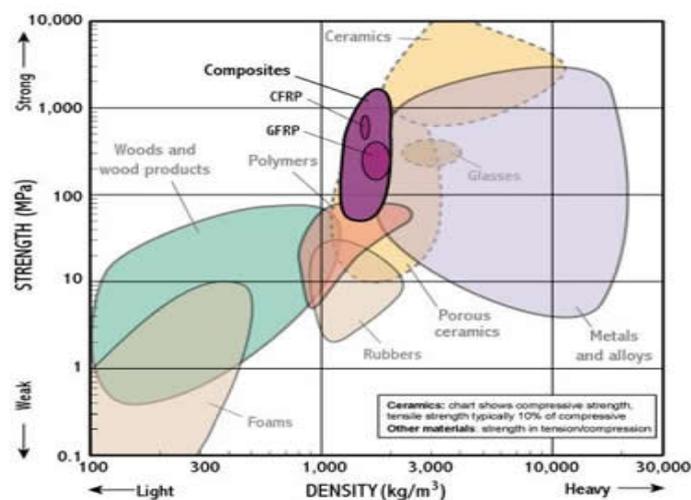


Figura 13: Relación entre esfuerzo y densidad de distintos materiales

4.2.3.1. Aluminio 2024 T3

Los dos revestimientos que recubren al compensador están fabricados en una aleación ligera de aluminio 2024 T3. En este apartado veremos algunas de las características de este material.

Se denominan aleaciones ligeras a aquellas aleaciones que tienen como elemento base o principal el aluminio. Respecto a los metales de adición, los más empleados son el cobre, silicio, cinc, níquel, hierro, titanio, cromo y cobalto. Estos materiales pueden figurar en las aleaciones juntos o aislados. En general, la proporción total en que forman parte de las aleaciones ligeras, no pasa del 15%.

El bajo peso específico del aluminio, que en algunas de ellas llega a ser hasta de 1/3 del peso específico del acero, lo hace útil para la fabricación de aleaciones ligeras, extensamente empleadas en construcciones aeronáuticas y en general, cada vez más en los vehículos de transporte (automotores, trenes, automóviles, etc,...). Su elevada conductividad eléctrica lo hace útil para la fabricación de conductores eléctricos de aluminio técnicamente puro o en forma de cables armados con acero galvanizado.

Y aún resulta más interesante la relación de resistencia mecánica a peso específico, que algunos tipos de aleaciones ligeras es la más alta entre todos los metales y aleaciones conocidos. Esto las hace indispensables para las aplicaciones ya citadas y, en especial, para las construcciones aeronáuticas en las que interesan materiales muy ligeros con una resistencia mecánica mínima.

El aluminio y sus aleaciones también destacan por su ligereza y resistencia a la corrosión, así como por su elevada conductividad térmica y eléctrica. Las propiedades mecánicas del aluminio puro son bastante moderadas, pero aleado con otros elementos las mejora notablemente. Si se comparan la resistencia o la rigidez específica (en relación con la densidad) los aluminios son más ventajosos que los aceros en determinadas aplicaciones (aeronáutica, vehículos, piezas a grandes aceleraciones). Estas cualidades, junto con la gran aptitud para la conformación (deformación en frío, forja, moldeo, extrusión, mecanizado), han convertido a los aluminios en el segundo grupo de materiales más empleados.

La elevada ductilidad facilita la conformación de productos o piezas por deformación plástica (en frío y en caliente) a través de la laminación (chapas y barras), la forja o la extrusión (perfiles, eventualmente vacíos, de formas complejas difíciles de obtener con otros materiales). La gran maquinabilidad a altas velocidades de las aleaciones de aluminio proporciona una elevada productividad, un abaratamiento de los costes y un ahorro de energía.

Tratamientos

El aluminio y sus aleaciones pueden someterse a los siguientes tratamientos:

- **Tratamientos anticorrosivos.** Se realizan para dar mayor resistencia a la corrosión del aluminio. El más empleado es la oxidación anódica, que consiste esencialmente en aumentar el espesor de la película superficial de óxido que se produce naturalmente en el aluminio, mejorando

a veces su aspecto dándole un acabado brillante o tiñéndola en diversos colores.

- **Tratamientos mecánicos.** Los trabajos de forja, laminación, trefilado, etc, realizados en frío aumentan la resistividad mecánica y dureza del aluminio y de las aleaciones forjables, a consecuencia del aumento de acritud adquirido por el material en su deformación. Esto se aprovecha ampliamente en las aleaciones ligeras para mejorar sus características mecánicas.

- **Tratamientos térmicos.** Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al aluminio y sus aleaciones son: el recocido de estabilización, el recocido contra acritud, el recocido de homogeneización, el temple de precipitación y la maduración artificial.

Las propiedades mecánicas de determinadas aleaciones de aluminio pueden mejorarse por medio del tratamiento térmico denominado bonificación, que consta de tres fases:

a) solubilización de los elementos de la aleación., por calentamiento del material durante un cierto tiempo a temperatura adecuada;

b) Temple o enfriamiento enérgico para producir una aleación sobresaturada a temperatura ambiente;

c) Maduración o envejecimiento consistente en la precipitación de pequeñas partículas de material de la aleación, ya sea a temperatura ambiente (maduración natural) o a temperatura controlada (maduración artificial).

Y son precisamente dos de estos tratamientos los que sufre el aluminio 2024 T3:

-*Temple*: Definimos el temple en general, como un calentamiento hasta una temperatura adecuada, seguido de un enfriamiento muy rápido.

- *Maduración*: Si la viscosidad atómica es elevada, no se produce la precipitación del compuesto o se produce muy lentamente a la temperatura ambiente. Entonces, se puede acelerar la precipitación con un tratamiento que se conoce con el nombre de maduración artificial o también revenido de endurecimiento, que consiste en calentar la aleación a una temperatura inferior a la del temple, con objeto de dilatar las redes cristalinas y facilitar la difusión y precipitación del compuesto químico y abreviar, por tanto, la duración del período de endurecimiento.

La fórmula química del **aluminio 2024** es $AlCu_4Mg$ y pertenece al grupo de las aleaciones de aluminio y cobre. Las aleaciones de este grupo se usan en general en estado de bonificación y se caracterizan por su elevada resistencia mecánica, pero también por la baja resistencia a la corrosión, la poca soldabilidad y la baja aptitud para la anodización. Es

utilizado en piezas que requieran elevadas características mecánicas, como los elementos estructurales y fuselajes de aviones, chasis de vehículos pesados o aplicaciones análogas.

4.2.3.2. Núcleo de nido de abeja o “honeycomb”

La demanda por reducción de peso manteniendo la misma resistencia a impactos en la industria aeronáutica se ha visto satisfecha con livianas construcciones sándwich usando delgadas pieles y un material de núcleo central que resista además los impactos medioambientales tales como la lluvia y granizos. Este material, con sus excelentes propiedades de transparencia radar y dieléctrica está siendo ampliamente utilizada en telecomunicaciones y sistemas de radar y es, gracias a su inalcanzable resistencia al fuego, el patrón de medida en cualquier aplicación en la industria aeronáutica.

Los núcleos utilizados en aeronáutica son materiales de baja densidad destinados a rigidizar conjuntos de estructuras con los que se obtiene una alta relación resistencia/peso. Más concretamente, los dos tipos de núcleos más utilizados son los de espuma o “foam” y los de honeycomb o “nido de abeja”.

Las espumas son materiales de densidad muy controlable, y generalmente muy baja. Tienen estructura celular con burbujas de gas ya que proceden de colada con carga gaseosa. Pueden ser rígidas o flexibles y se clasifican en termoestables y termoplásticos. Las primeras se encuentran

sin polimerizar mientras que las segundas si se encuentran en estado de polimerización.

El otro tipo de núcleo y que compone la actual estructura del tab es el honeycomb, de ahí que lo estudiemos con mayor detenimiento en este apartado.

El núcleo de abeja es un papel sintético, compuesto de fibras cortas (barras) y pequeñas partículas fibrosas ligantes (fibrinas) de una poliamida aromática (aramídico), polímero resistente a altas temperaturas. Estas láminas están encoladas entre sí de forma intermitente para obtener, mediante una posterior expansión, figuras geométricas.

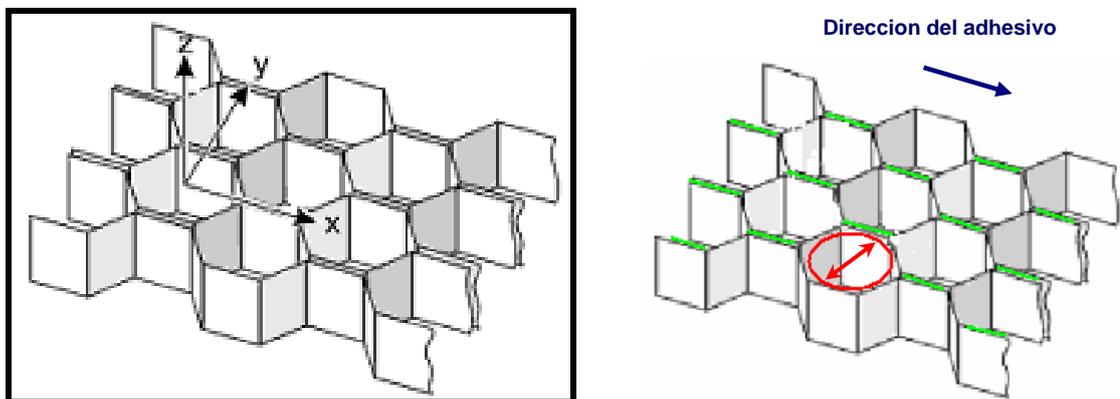
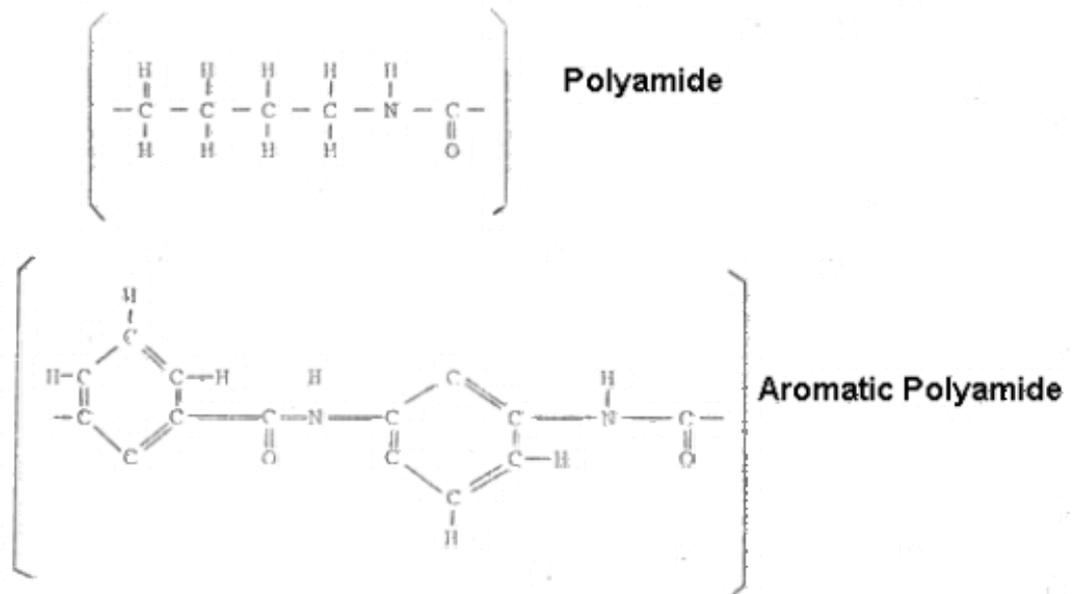


Figura 14: Encolado y orientaciones de honeycomb

Durante la fabricación, las fibras más largas (barra) tienden a orientarse en la dirección del papel que va saliendo de la máquina. Por eso existe una diferencia notable entre las propiedades mecánicas del papel en

la dirección de la máquina y en dirección transversal, y estas propiedades son siempre dadas para ambas direcciones.

Los distintos tipos de papel aramídico se diferencian entre ellos de la siguiente manera:



Los dos componentes son mezclados en un baño a base de agua y se les da la forma de una hoja continua que es bastante voluminosa (densidad 0,3), de propiedades mecánicas y eléctricas más que medianas. Se suele utilizar en algunas aplicaciones en que se necesita un material blando y maleable o con propiedades de impregnación. La densificación y la unión interna se obtienen al calentarlo a altas temperaturas, con lo que se produce un papel mecánicamente resistente, flexible y con buenas propiedades eléctricas, que se mantienen hasta 220°C.

Existe una serie de parámetros que definen cualquier tipo de núcleo de nido de abeja:

- celdilla: figura o forma geométrica que se repite a lo largo y ancho del núcleo.
- nodo: zona de pegado entre celdillas.
- diámetro o tamaño de la celdilla: distancia entre los lados opuestos de una celdilla o diámetro del círculo inscrito en una celdilla.
- espesor del foil: espesor de la hoja que forma la celdilla.
- dirección longitudinal o ribbon (L): dirección perpendicular al sentido de la expansión del núcleo o la línea recta paralela a los nodos.
- dirección transversal (W): dirección perpendicular al nodo.
- altura del núcleo (H): distancia entre las caras del núcleo.
- densidad: depende del espesor de la hoja, material y diámetro de la celdilla (rango de valores aceptado en la industria aeroespacial: 24 kg/m^3 a 160 kg/m^3).

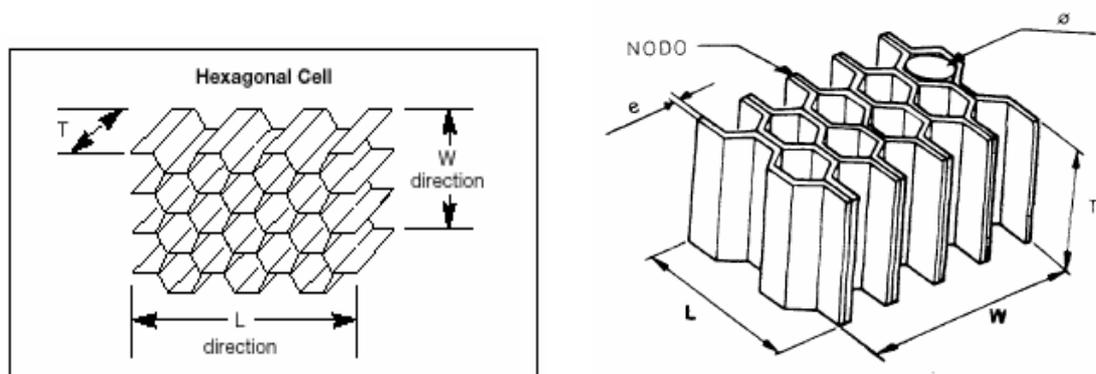


Figura 15: Estructura honeycomb

En cuanto a los distintos tipos de fabricación, destacamos dos:

- método de ondulación (corrugation process): en este método se encola una capa en cada operación, capa que previamente se ha corrugado.

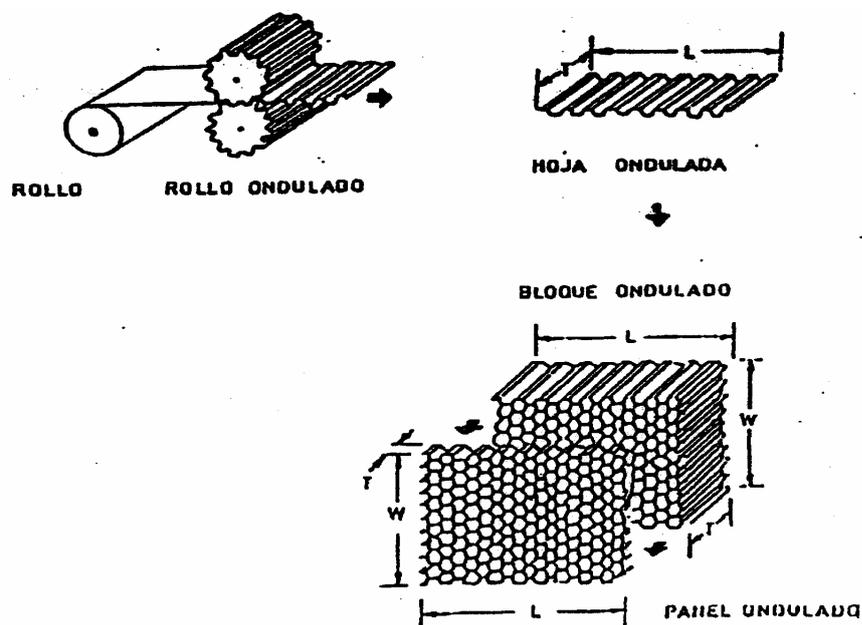


Figura 16: Método de ondulación

- método de expansión (expansion process): en el proceso de expansión todos los encolados son realizados simultáneamente, posterior al encolado y por tracción en los extremos del núcleo, conseguiremos la forma deseada de la celdilla. El núcleo rectangular o sobre-expandido se consigue, como su nombre indica, con una doble expansión; en la primera conseguiremos la forma habitual de celdilla hexagonal, y en la segunda el nodo se hará más pequeño y la celdilla tomará forma rectangular.

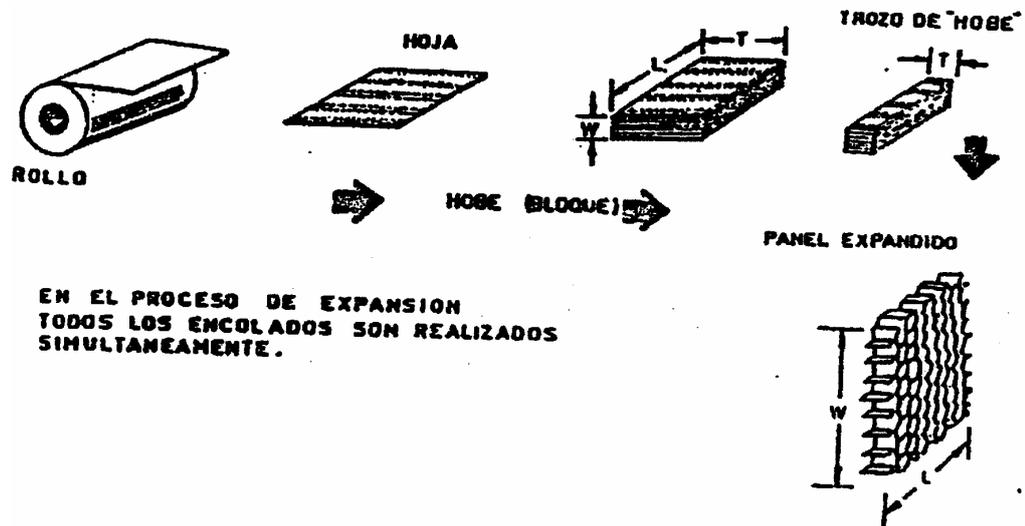


Figura 17: Método de expansión

Los núcleos se clasifican por el material, pudiendo ser metálicos o no metálicos o por la forma geométrica: hexagonal, rectangular y de seta.

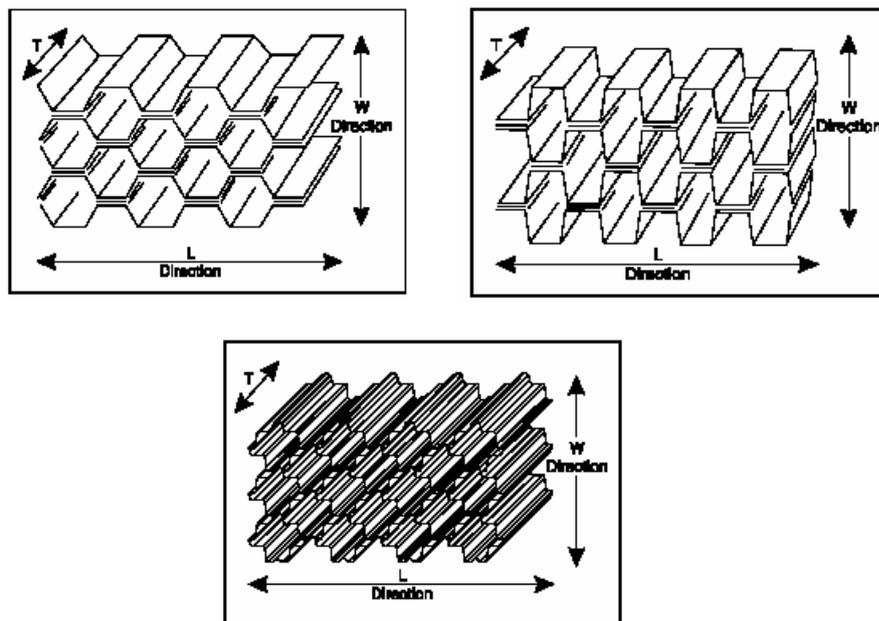


Figura 18: Distintas geometrías de los núcleos

En la industria aeronáutica, existe una amplia gama de núcleos metálicos y no metálicos, que se diferencian, entre otras cosas, por sus diferentes densidades y material estructural.

Así, en el grupo de los metálicos, existen 12 núcleos de aluminio y 6 de titanio. En cambio, el grupo de los no metálicos es algo más amplio, existiendo 17 núcleos de aramida (entre los que se encuentra el núcleo del compensador actual), 4 núcleos de fibra de vidrio y 5 núcleos de papel o de baja densidad.

El núcleo del actual compensador es un núcleo de aramida impregnado en resina fenólica de celdilla hexagonal de 3,2 mm y una densidad exacta de 58 kg/m^3 .

En cualquier caso, existe una serie de características comunes o generales para todos los núcleos de panal de abeja:

- soportan cargas a compresión y tracción normales al panel,
- excelente rigidez y resistencia específica,
- ahorro en peso,
- se utilizan en zonas sin grandes sollicitaciones mecánicas (puertas, trampas...)

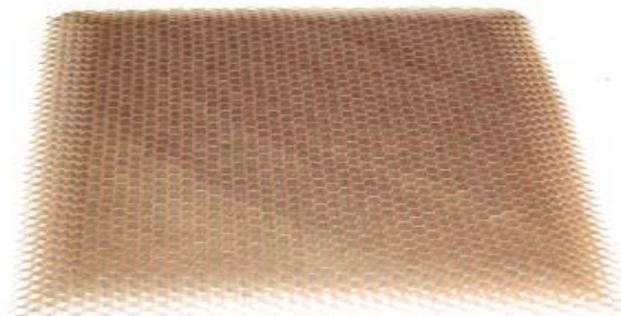


Figura 19: Probeta de núcleo honeycomb

CAPITULO 5:

NUEVA PROPUESTA

Como mejora en el proceso, se propone el cambio de los dos revestimientos de aluminio por otros dos fabricados con un material de similares o mejores características.

La tendencia en la industria aeronáutica desde prácticamente sus comienzos, es la sustitución de materiales metálicos por materiales compuestos, siendo estos los que ocupen en el futuro un protagonismo importantísimo en la totalidad de las estructuras aeroespaciales.

El núcleo también será sustituido por otro de menor densidad.

5.1. USO DE COMPOSITES

Esta nueva propuesta incluye la utilización de composites en el rediseño de la pieza. Trataremos de justificar a partir de ahora el empleo de este material.

El desarrollo y evolución de los materiales compuestos está encaminado a:

- mejorar el diseño que facilite la producción,
- mejorar la automatización de la producción.

Los materiales compuestos son ideales para aplicaciones que requieran altas relaciones de resistencia y rigidez específicas. Estas aplicaciones son fundamentalmente las aplicaciones aeroespaciales.

Los materiales compuestos también son ideales para aplicaciones estructurales que requieran elevada estabilidad dimensional con la temperatura, aprovechando su prácticamente nulo coeficiente de dilatación.

Desde el punto de vista de mantenimiento de estructuras en servicio, una propiedad de los materiales compuestos está muy por encima de la misma propiedad en los metales: la corrosión.

Otra propiedad muy importante es la resistencia a la fatiga. En la siguiente figura se muestra una comparación de curvas de fatiga frente a los principales materiales compuestos y el aluminio (cuanta más tendida es la curva, menos daño por fatiga sufren).

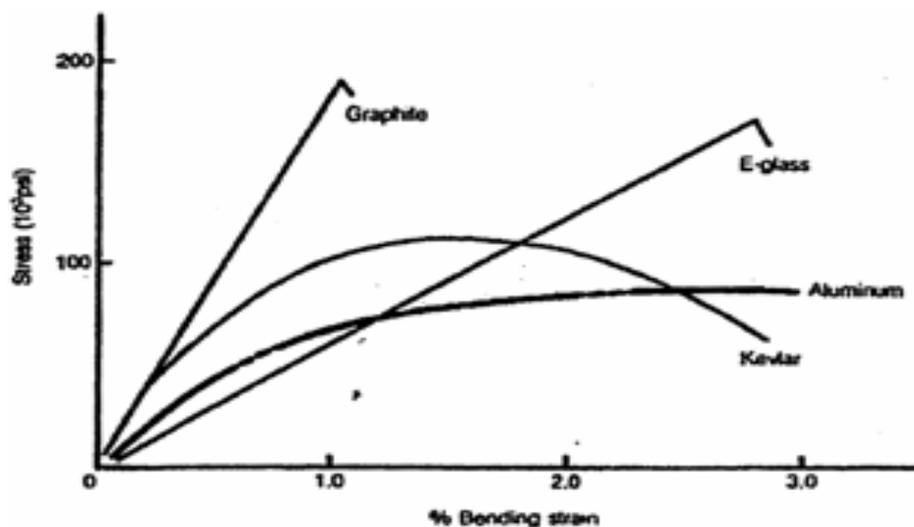


Figura 20: Comportamiento mecánico de materiales compuestos unidireccionales y el aluminio

De forma esquemática y resumida, la comparativa entre materiales compuestos y aluminio es la siguiente:

VENTAJAS MATERIALES COMPUESTOS vs ALUMINIO

Materiales compuestos	Aluminio
Presentan una densidad muy baja	Tienen una densidad que en algunos casos dobla de los composites
Gran resistencia a la corrosión	En determinados ambientes son susceptibles de sufrir una ligera corrosión
Eliminación de la mecanización	Un gran porcentaje de las piezas requieren mecanizado posterior
Máxima temperatura de tratamiento: 180°C	Altas temperaturas de procesado
Coefficiente de expansión térmica casi 0	Expansión térmica considerable
Reducido número de remaches si se hace cocurados	Utilización de remaches que añaden mayor riesgo de par galvánico (corrosión)
Dirección de la fibra orientable según necesidades de carga-tensión	No existe esa posibilidad
Alta resistencia al daño a fatiga	Resistencia media
Reducción del número de componentes	Requieren mayor número de uniones

INCONVENIENTES MATERIALES COMPUESTOS vs ALUMINIO

Materiales compuestos	Aluminio
Alto precio de las materias primas	Menor coste
Tecnología poco depurada	Es un elemento muy conocido en cuanto a propiedades y comportamientos
Condiciones muy especiales en su manufactura	No requieren condiciones limpias en su proceso de fabricación
Métodos de inspección caros y tecnología complicada	Los costes de ensayos e inspección son baratos debido al alto conocimiento
El defecto puede existir sin que se pueda localizar con precisión	Fácilmente detectable
Poca conductividad, por lo que a veces se refuerzan con telas de bronce	Elevada conductividad

En la siguiente tabla podemos observar las excelentes propiedades mecánicas con respecto al aluminio:

PROPIEDAD	Materiales compuestos	Aluminio
Resistencia a la tracción (MPa)	3500	400
Módulo específico (MPa)	90-150	26
Tensile Modulus (GPa)	160-270	69
Densidad (gr/cc)	1,3	2,7

Tabla 3: Comparación de propiedades mecánicas entre los materiales compuestos y el aluminio

Las buenas propiedades de rigidez y resistencia de los materiales compuestos frente al aluminio se corroboran en la siguiente figura:

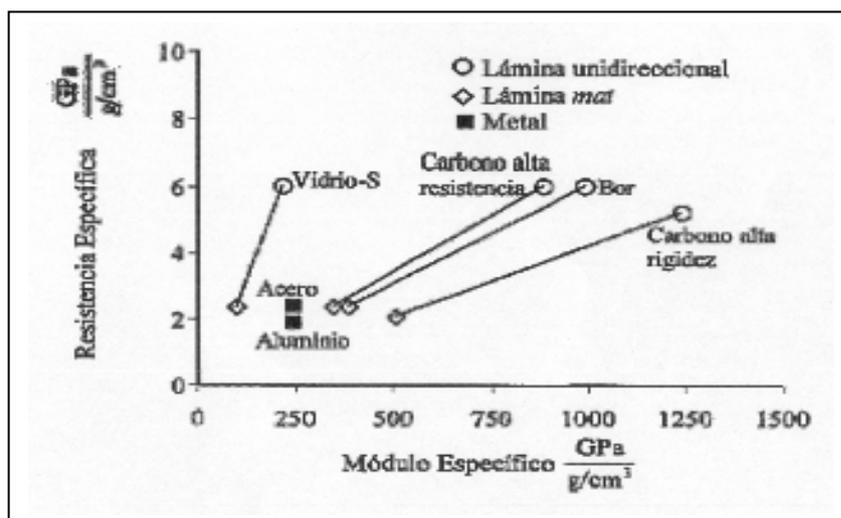


Figura 21: Rigidez específica frente a resistencia específica

5.2. SOLUCIÓN FINAL

Si bien el principal inconveniente de usar los materiales compuestos con respecto al aluminio es el excesivo coste de la materia prima y que es una tecnología que está en pleno desarrollo de investigación, el ahorro de peso y las excelentes propiedades mecánicas se imponen. La tendencia de la industria aeroespacial también avala esta decisión.

Por todo lo expuesto, tomamos la decisión de sustituir el aluminio por materiales compuestos. La fibra a emplear será la fibra de carbono y la resina será el tipo epoxy.

Como otra mejora en el proceso, se propone sustituir el núcleo de aramida por otro de características parecidas pero con una densidad menor y un tamaño de celdilla mayor (núcleo de poliamida). Esta disminución de peso es otro de los objetivos que se busca en el diseño de esta pieza.

El nuevo núcleo a emplear será un núcleo de papel de poliamida (meta y para amida) o de baja densidad que presenta una densidad de 37 kg/m^3 , consiguiendo una reducción de 21 kg/m^3 . Por el contrario, el tamaño de celdilla es de 4,8 mm; un tanto superior, de ahí esa disminución de peso ya que el tipo y cantidad de resina que contiene es similar a la del papel de poliamida.

También utilizaremos núcleo de espuma para sustituir o rellenar el hueco que existe en el interior de la pieza.

CAPITULO 6:

MATERIALES COMPUESTOS

6.1. MATERIALES COMPUESTOS EN LA INDUSTRIA AERONÁUTICA

6.1.1. Materiales compuestos: definición, origen y evolución

Definición

Son múltiples las definiciones de “material compuesto” que existen. Algunas de las definiciones más aceptadas son:

- Material multifase que conserva una proporción significativa de las propiedades de las fases constituyentes, de manera que presente la mejor combinación posible”.
- Combinación de dos o más materiales que se emplean íntimamente unidos pero sin perder sus características propias”.
- Consiste en una o más fases discontinuas embebidas en una fase continua

Para esta última definición, la fase discontinua es la compuesta por el material de refuerzos (fibras y cargas), que es el que tiene la responsabilidad estructural:

- Vidrio.
- Carbono.
- Kevlar (aramida).
- Boro.
- Virutas de hierro y aluminio.
- Bolas de vidrio (microperlas).
- Fibra de vidrio triturada (borra).
- Microesferas fenólicas huecas.
- Etc.

Origen y evolución

El origen de los Materiales Compuestos “Composites”, se remonta a miles de años atrás con la fabricación de “Ladrillos Reforzados”. En la Edad Media se construían laminados metálicos compuestos, cientos de años atrás, las construcciones rurales se fabricaban con barro y caña (adobe). Ya en el siglo pasado se desarrolló el hormigón armado.

En los años 20, los tejidos de los entelados de las superficies sustentadoras de los aviones, se reforzaban con barnices celulósicos que tensaban las telas de las alas de los aeromodelos. En los años 30, aparecen los materiales fenólicos reforzados con tejidos, con los que se construían engranajes (resistentes a altas temperaturas). En los años 40, aparecen los

primeros poliésteres reforzados con fibras de vidrio. En los años 50 la investigación sobre el desarrollo de estos nuevos materiales continuó siendo prolífica, y en los años 60 aparecen las fibras de boro y en los años 70 el kevlar.

El uso de materiales compuestos en la industria aeronáutica es relativamente nuevo.

En la década de los 90, los aviones militares fueron los primeros en desarrollar y aprovecharse de las ventajas de estos materiales aunque comenzaron a utilizarse de forma experimental en aviones de transporte y carga. Actualmente más del 10% de las estructuras primarias de los modernos aviones de combate son de material compuesto. Esta tendencia se está extendiendo a los aviones comerciales y es el abaratamiento de los costes de producción el principal objetivo de esta tendencia.

En aquella época (hace escasos 10 años) se usaba fibra continua de carbono-grafito termoestable en estructuras secundarias. En la actualidad se usa en estructuras primarias como el ala, fuselaje y estabilizador tanto termoestable como termoplástico.

Por otro lado, las estructuras secundarias que se fabrican en composites son principalmente: bordes de ataque, carenas, belly fairing (barriga) y puertas del tren de aterrizaje. También montan componentes internos en los suelos.

Introducción a los materiales compuestos.

Como acabamos de decir, es notable el aumento del uso de materiales compuestos avanzados en la fabricación de elementos estructurales en los últimos años. Así pues, los materiales tradicionales como el acero, la madera o el aluminio van cediendo ciertas aplicaciones a materiales compuestos avanzados, llamados “composites” con los que se consiguen mejores propiedades específicas. En particular, los materiales compuestos de matriz polimérica, como por ejemplo los polímeros reforzados en fibra de vidrio o en fibra de carbono presentan unas excelentes relaciones rigidez/peso y resistencia/peso que los hacen idóneos para el sector aeronáutico.

Los materiales compuestos son materiales heterogéneos constituidos por una matriz plástica orgánica (fibrosa) asociada con un refuerzo fibroso, por lo general de vidrio o de carbono, que puede presentarse en forma de partículas, fibras cortas, largas o continuas. Son termoestables o termoplásticos.

Según las características de la matriz y los refuerzos, se distinguen dos grandes familias: los composites de gran difusión que ocupan una cuota importante de mercado, y los composites de altas prestaciones. Estos últimos, generalmente reforzados con fibras continuas de carbono o de aramida, están reservados a sectores de gran valor agregado: medicina, aeronáutica, deportes...

Las características especiales que tiene el proceso de diseño estructural de piezas en materiales compuestos es un valor adicional que ha

limitado su generalización. El diseño de un nuevo elemento de material compuesto no sólo pasa por idear la geometría del elemento, también requiere diseñar la configuración del propio material. Tradicionalmente se realizaba esta tarea con métodos basados en parte en datos empíricos dado que el conocimiento teórico del comportamiento de este tipo de materiales era reducido. Sin embargo, dado que las posibilidades de obtener distintos composites son prácticamente ilimitadas, la caracterización con ensayos sobre el propio material es muy costosa y difícilmente generalizable o extrapolable a otras configuraciones. El uso de modelos matemáticos para predecir su comportamiento y la simulación de estos mediante métodos numéricos parece ser el buen camino para lograr avanzar en este conocimiento y parece el paso necesario para conseguir herramientas de ayuda en este complicado proceso de diseño y optimización del material.

Como se ha indicado anteriormente, un material compuesto esta formado fundamentalmente por:

- Fase continua (resina).
- Fase discontinua, más resistente (generalmente fibras).



Figura 22: Resina

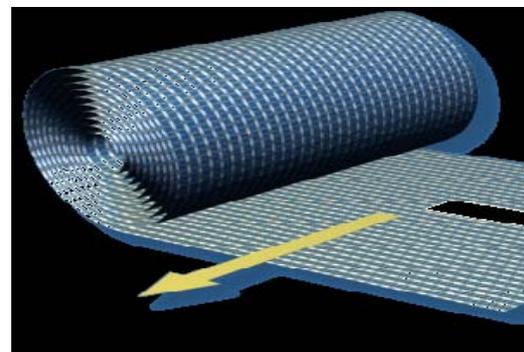


Figura 23: Fibra

Los primeros materiales utilizados fueron matrices de vidrio con resinas de poliéster, como inconvenientes de estos materiales podemos citar la baja resistencia y el mal comportamiento a alta temperatura. Sin embargo como ventajas tenemos un buen comportamiento a compresión y tracción.

Las fibras se pueden obtener como fibras secas o como preimpregnados (prepegs). La fabricación con preimpregnados es la que mejores calidades ofrece. A pesar de que para su almacenamiento son necesarias temperaturas muy bajas y los ciclos de procesado son a alta temperatura y presión, es la forma más sencilla de fabricación de materiales compuestos. Estas fibras se sitúan en capas o láminas superpuestas en la dirección del espesor obteniendo estructuras que se llaman laminados. Se deberá estudiar a fondo la secuencia de apilación y orientación adecuada para cada caso. La secuencia de apilación y orientación tiene más importancia incluso que las características físicas de las fibras y la matriz y es quien va a dar las propiedades finales al laminado. Usando las mismas fibras y matriz y variando las secuencias de apilado y orientación se pueden conseguir infinitos comportamientos. Jugando con estos parámetros se pueden conseguir comportamientos radicalmente diferentes en resistencia, rigidez, tolerancia al daño, estabilidad dimensional o delaminación.

6.1.2. Ventajas e inconvenientes de los materiales compuestos actuales.

Los materiales compuestos disponen de ventajas con relación a productos competidores, aportando numerosas cualidades funcionales: ligereza, resistencia mecánica y química, mantenimiento reducido, libertad de formas. Su uso permite aumentar la vida útil de ciertos equipos gracias a sus propiedades mecánicas (rigidez, resistencia a la fatiga) y también gracias a sus propiedades químicas (resistencia a la corrosión). También refuerzan la seguridad gracias a una mejor resistencia a los impactos y al fuego, ofreciendo un mejor aislamiento térmico o fónico y, para algunos de ellos, eléctrico. También enriquecen las posibilidades de diseño, permitiendo aligerar estructuras y realizar formas complejas, aptas para cumplir varias funciones.

El costo de fabricación de los «composites» es superior al de los materiales tradicionales como el acero, la madera o el aluminio (de 3 a 38 Euros/kg, según las prestaciones requeridas para los materiales compuestos, y entre 1,5 y 5 Euros/kg para los materiales más tradicionales). Sin embargo, ahorrando piezas de enlace y mecanización, reduciendo de manera importante los gastos de mantenimiento y aumentando la vida útil y la seguridad, las ventajas de los materiales compuestos pueden valorizarse en términos de beneficios con el uso. En realidad, la “solución del composite” representa siempre para el diseñador un salto tecnológico. Los materiales compuestos ofrecen, efectivamente, la posibilidad de realizar un producto específicamente adaptado a las prestaciones solicitadas y optimizar la pareja precio/prestación. Pero, con relación a las soluciones alternativas, el beneficio aportado debe evaluarse desde el diseño, al mismo tiempo que las pruebas que cabe realizar. Por contra, los materiales tradicionales (madera,

acero, aluminio) aparecen como una solución de más tranquilidad, puesto que sus prestaciones técnicas son bien conocidas y están bien catalogadas, con lo cual es previsible su comportamiento durante el uso. También se benefician de mejoras regulares (ligereza, tratamientos especiales para los metales).

Resumiendo, podemos citar de forma general las siguientes propiedades de los materiales compuestos:

- Gran resistencia y rigidez del material.
- Baja densidad (poca masa por unidad de volumen).
- Posibilidad de fabricar piezas complejas.
- Economía de fabricación.
- Buenos amortiguadores de vibraciones.
- Propiedades químicas: es un anticorrosivo excelente a los agentes atmosféricos y ofrece una alta resistencia frente a ácidos, álcalis y algunos disolventes inflamables.
- Acabados diversos.
- Auto extingible, altamente resistente al fuego, ya que presentan una baja inflamabilidad.
- Propiedades térmicas: es posible diseñar compuestos con bajo coeficiente de conductividad térmica en el caso que se requiera, o insignificante coeficiente de conductividad térmica para ciertas aplicaciones. Son resistentes al choque térmico.
- Propiedades eléctricas y electromagnéticas: pueden obtenerse compuestos con altas o bajas características eléctricas. Los plásticos reforzados con vidrios son excelentes aisladores. Características electromagnéticas pueden ser estimables en un

cierto rango para las estructuras compuestas. No conducen la electricidad.

- Fatiga: es posible diseñar compuestos donde la fatiga sea despreciable de acuerdo con la aplicación que se desee trabajar. Ciertos compuestos, particularmente aquellos con refuerzos de carbón tienen excelentes características a la fatiga.

Entre las desventajas de estos materiales, citaremos:

- Alto precio de las materias primas.
- Procesos muy manuales. (no repetitivos).
- Poca resistencia al impacto. (golpes).
- Problemas de corrosión galvánica en las uniones con estructuras adyacentes.
- Altos requerimientos de calidad.
- Ambientes muy controlados (ausencia de suciedad, contaminación, etc).
- Alto numero de rechazos.
- Fabricación unitaria.
- Condiciones muy especiales en su manipulación.
- En su diseño se necesitan datos precisos y es un proceso más complejo que diseñar con materiales tradicionales.
- Dificultad al elegir los materiales al existir una gran variedad.

6.1.3. Comportamiento de los materiales compuestos

Para poder determinar el comportamiento de un material compuesto a largo plazo, es necesario interrelacionar las características de su fabricación inicial con sus propiedades mecánicas.

Los materiales compuestos están constituidos por diversos componentes, los cuales individualmente no podrían cumplir la función que en conjunto determina su caracterización. Normalmente presentan una matriz polimérica reforzada con fibras de diferente tipo lo que constituye un material reforzado convencional; pero hablar de un material compuesto avanzado nos hace pensar en un diseño para la fabricación adecuada del refuerzo (fibra) dentro de una sección y así de esta manera mejorar sus características mecánicas: rigidez razonable y resistencia elevada.

Otra característica de estos materiales que les hace muy atractivos para aplicaciones estructurales es su versatilidad de formas de fabricación y la posibilidad de ser moldeados con las formas que se deseen, pudiéndose distribuir la resistencia y espesor de acuerdo a las exigencias del diseño.

En cuanto al comportamiento frente a la fatiga de los materiales compuestos, este es superior al de otros materiales convencionales, aunque no existen aún suficientes datos para conocer con todo detalle cual es su resistencia a fatiga, sobre todo cuando se une además la acción de los agentes atmosféricos (agua, rayos U.V., hielo)

6.1.4. Uso de los materiales compuestos en la industria.

La incorporación al mercado de las nuevas tecnologías de las estructuras de fibra de carbono abre un abanico de posibilidades incalculable allí donde se necesite una resistencia excepcional, flexibilidad y un bajo peso, tal es el caso de las industrias aeroespaciales, naval, automovilística, etc. Las características especiales de la fibra de carbono hacen que ofrezca una resistencia y flexibilidad similares a las del acero con un peso inferior al aluminio.

Las piezas en compuestos poliméricos avanzados se diseñan y fabrican de una forma totalmente diferente al acero, ya que son más ligeras, rígidas y robustas, y además permiten el trenzado interior de fibras, formando una matriz-soporte plástica que distribuye uniformemente la tensión. Las fibras pueden ser seleccionadas y orientadas para conseguir las propiedades mecánicas requeridas. Con la fibra de carbono es posible conseguir una robustez similar a la del acero, pero con la mitad o una tercera parte del peso de este. Para muchos usos, otras fibras como la de vidrio y poliaramida, son tan buenas o mejores, y actualmente entre un 50 y un 85 por ciento más baratas. Los chasis de los vehículos híbridos ultraligeros usarán con toda probabilidad compuestos avanzados, formulados con carbono, aramida (Kevlar), o fibras similares, que pueden alcanzar para un mismo peso, mayor grado de firmeza y robustez que los compuestos reforzados de fibra de vidrio.

Pero las ventajas más importantes de los compuestos surgen en la fabricación de piezas individuales. Solo el 15 por ciento del valor final de una pieza típica de automóvil hecha en acero corresponde al coste del metal; el 85 por ciento restante se distribuye en costes de fundición, soldadura,

mecanizado y acabado. Sin embargo, las piezas de compuestos y otros moldeados sintéticos surgen desde el molde ya terminadas y con la forma requerida. Además las unidades grandes y complejas pueden moldearse en una sola pieza, Los cortes podrán hacerse a tan solo un 1% de lo que ahora es normal, así como reducirse el tiempo de ensamblaje y espaciado a casi el 10 por ciento. Las piezas, además de más ligeras y fáciles de ensamblar, pueden ajustarse mucho más precisamente. El pintado podrá suprimirse en parte al colocarse ya las piezas coloreadas desde el molde. A menos que se reciclen, los compuestos tienen una duración ilimitada, ya que no son susceptibles de abollarse, oxidarse o quebrarse.

Con los compuestos pueden fabricarse equipos con una inversión hasta diez veces menor. Esto es así porque las piezas de compuestos se forman en la forma deseada no con los variados y complejos procesos que requiere el acero (prensados a alta presión o temperatura, estampados, galvanizados o revestimientos, pintados, rectificados, etc), sino con un simple y sencillo moldeado, que generalmente se suele revestir de resina epoxy. Algunos procesos de fabricación de compuestos deben hacerse bajo presión, aunque mucho menor que la requerida para el moldeado de metales.

Correctamente diseñados, los compuestos avanzados pueden proveer un excelente comportamiento ante los impactos por alcance. Tienen mejores propiedades, incluida la favorable absorción de la energía del choque (alrededor de cinco veces más por kilogramo que la del acero), que los hacen ideales para aplicaciones de seguridad. Por ello, muchos fabricantes de automóviles contemplan actualmente la posibilidad de incluir compuestos avanzados en sus automóviles de acero para hacerlos más seguros.

Como se ha dicho, en el diseño de los materiales compuestos, se intenta siempre minimizar el número de elementos independientes. Esto hace que se pueda alcanzar una simplificación en las operaciones de ajuste y montaje y que los procesos de fabricación permitan adaptarse mejor a geometrías más complejas. También se darán pequeñas tolerancias de fabricación en zonas de unión y se deberán evitar, en la medida de lo posible, mecanizados que puedan producir daños en el material, así como delaminaciones o arranque de fibras.

La creencia de que los compuestos son materiales difícilmente reciclables es debida a los problemas que presenta en la actualidad el reciclado de los envases de plástico, fundamentalmente por ser poco rentable. El caso de los compuestos es diferente, ya que el costo de su materia prima es muy superior. Los compuestos están siendo usados actualmente en la industria aeroespacial, y en embarcaciones de altas prestaciones. Los automóviles son inevitablemente los siguientes.

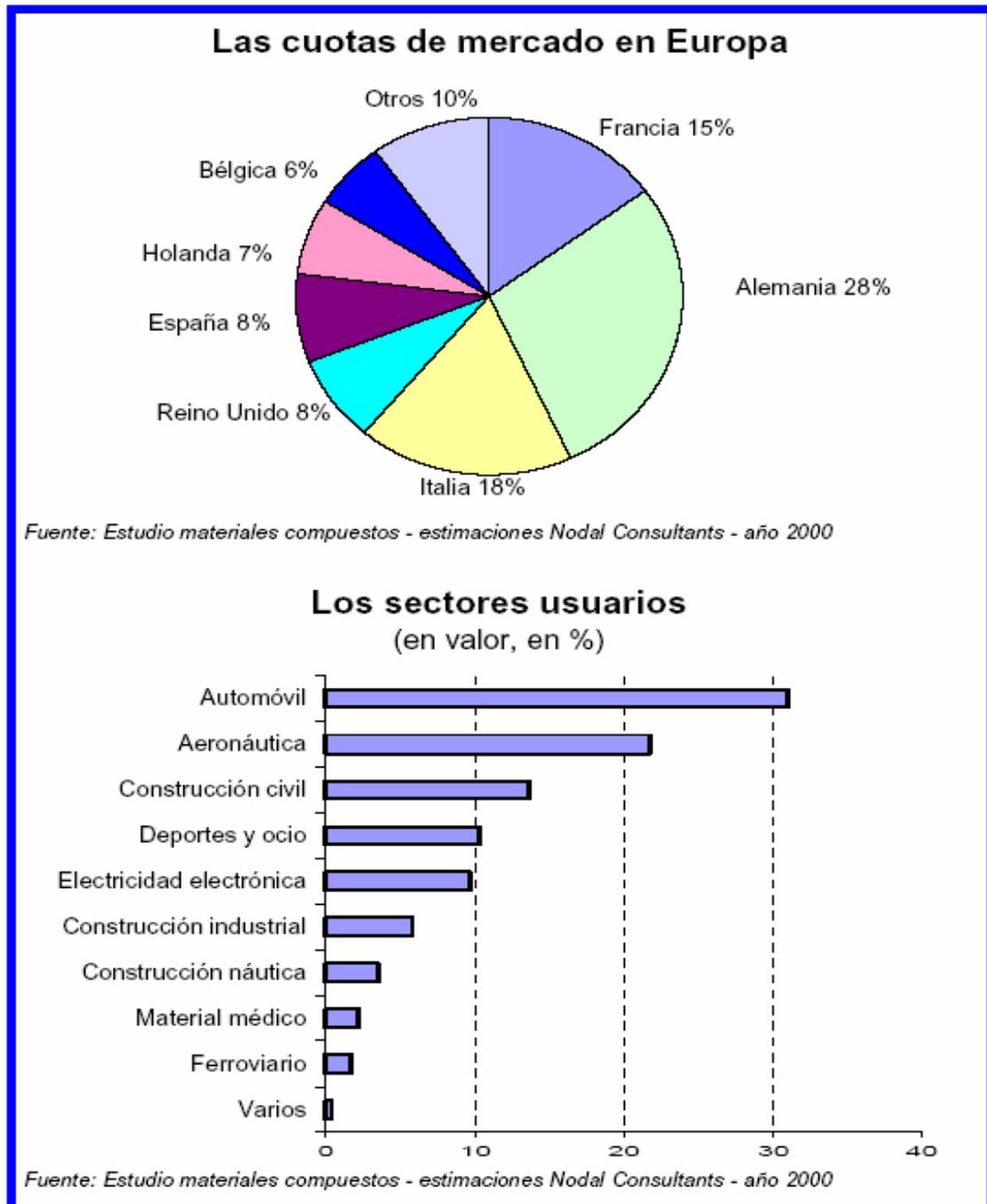


Figura 24: Cuotas de mercado de materiales compuestos en Europa

El mercado mundial de «composites» crece desde 1994 en el 5,7% anual en cantidad. En 2000, se han producido siete millones de toneladas, correspondiendo más del 95% a compuestos de gran difusión. Esta producción podría alcanzar 10 millones de toneladas en 2006. El crecimiento es más favorable para compuestos termoplásticos que para compuestos termoestables: el 9% y el 3% anual, respectivamente. Los compuestos termoplásticos aparecieron a principios de los años ochenta. Son más recientes y también más prometedores. Sin embargo, los materiales compuestos termoestables representan aún más de las dos terceras partes del mercado. El mercado norteamericano es, con mucho, el más importante y representa el 47% de la transformación mundial de «composites» (3,4 MT). A continuación viene Europa (28%, o sea 2 MT) y Asia (23%, o sea 1,6 MT). El crecimiento del mercado en Asia y Europa es superior a Estados Unidos (el 7 y el 4,5% anual, respectivamente). El mercado sudamericano es muy dinámico, con un incremento anual superior al 8%, si bien es globalmente reducido (2% del consumo mundial). Con el 15% de la producción europea, la producción francesa de «composites» se sitúa detrás de la alemana (28%) e italiana (18%). Pero, en valor, el mercado francés alcanza más de 2.000 millones de Euros, o sea el 18% de la producción europea. En efecto, Francia produce más materiales compuestos de altas prestaciones que sus socios europeos. Ahora bien, sus precios son más altos que los de los materiales de gran difusión: se escalonan entre 9 Euros y 38 Euros por kilo, mientras que los precios de los «composites» de gran difusión están comprendidos entre 3 Euros y 6 Euros por kilo.

6.1.5. *Diseño de elementos con materiales compuestos*

Existen 4 etapas en la definición de un elemento fabricado con materiales compuestos:

- Función del elemento a realizar: en esta etapa inicial se precisan las funciones a cumplir por el elemento y cuales van a ser las cargas a las que va a estar sometido, así como el ambiente que le rodeará durante la entrada en servicio.

- Definición y elección de materiales: para definir el tipo de matriz y refuerzo a elegir para el diseño es conveniente comparar el costo entre la estructura realizada en material compuesto y en metálico, pero también habrá que tener en cuenta otras características, como las propiedades mecánicas. Para los metales existe bastante información concerniente a su comportamiento, bajo una variedad de condiciones; mucha de esta información se encuentra en códigos, documentación Standard, etc. Para el caso de los compuestos hay en general falta de datos, de propiedades, que conllevan en muchas ocasiones a hacer pruebas del material junto con su propio diseño. Otra consideración importante en los compuestos, es la capacidad que estos tienen para que se le añadan propiedades o materiales, por ejemplo, mediante el cambio de la orientación de las fibras o el tipo de refuerzo, tanto como lo permita el propio material para su diseño

- Predimensionado y preanálisis: una vez seleccionado el material, se procede a las primeras operaciones, en las cuales se definen las formas geométricas, espesores, dimensiones, orientación de telas, elasticidad..., mediante un análisis preliminar utilizando fórmulas de cálculo simplificado. Los dos rasgos más pronunciados del comportamiento de los compuestos

son la “anisotropía” (cambio de las propiedades físicas del material respecto a cualquier dirección) y la heterogeneidad.

- Planos finales: posteriormente, los planos pasan a cálculo para su definitiva optimización. Durante este período, se han realizado una serie de ensayos a nivel de probetas y detalles que ayudan a la definición final del producto.

6.2. INTRODUCCIÓN AL PROCESO DE FABRICACIÓN

6.2.1. *Materia Prima.*

La materia prima que se utiliza para la fabricación de piezas de fibra de carbono, se puede dividir en dos grupos:

- *Material avionable:* El material avionable es aquel que va a formar parte de la estructura del producto final, es decir, el material del cual va a estar fabricado la pieza.
- *Material no avionable:* El material no avionable es todo aquel material necesario para la fabricación de la pieza, pero que no va a formar parte de la estructura final de la pieza. También se conoce con el nombre de material auxiliar.

A continuación vamos a describir la materia prima, tanto la avionable como la no avionable, utilizada en este proceso de fabricación.

6.2.1.1. Material avionable.

El diseño de este proyecto incluye la utilización de dos materiales avionables: preimpregnados y núcleos.

Un preimpregnado es un producto resultado de la combinación de una resina (matriz) termoestable y fibras de refuerzo. Este material prepeg. es comercializado en forma de rollo, y debe almacenarse a bajas temperaturas (-25° C) en una cámara frigorífica, ya que puede curar a temperatura ambiente, si se supera el tiempo de exposición permitido. Por ello, es muy importante llevar un adecuado control de las dos características descritas a continuación:

- *Tiempo de vida de manejo:* Tiempo acumulado de exposición del material prepeg. a temperatura ambiente, hasta terminación del apilado.
- *Tiempo de vida total a temperatura ambiente:* Tiempo acumulado de exposición del preimpregnado a temperatura ambiente, antes del comienzo del curado.

Los rollos de material prepeg están formados por dos grupos de fibras entrelazadas perpendicularmente: trama y urdimbre.

En la siguiente figura se puede observar un esquema del entramado de las fibras en un material preimpregnado o prepeg:

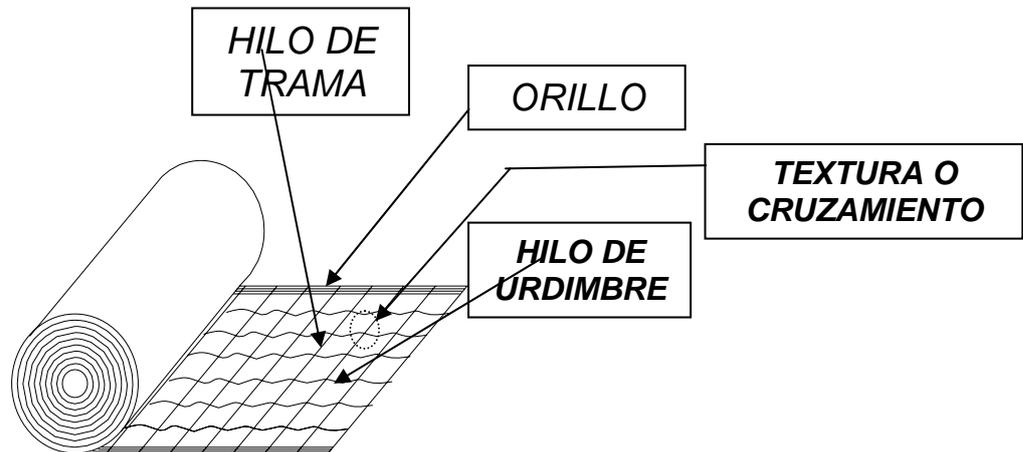


Figura 25: Rollo de material prepeg

El aspecto de la tela de material preimpregnado es el que se muestra en la siguiente figura:

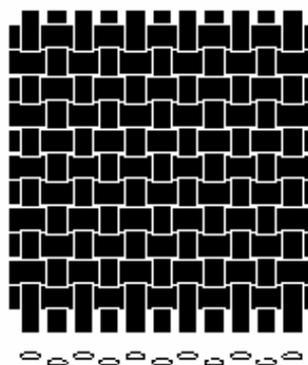


Figura 26: Aspecto material prepeg

El otro material avionable es el núcleo, que es la base estructural de la pieza sobre la cual se adhiere el prepeg. Si bien, la densidad de estos núcleos es pequeña, la resistencia que aporta al elemento es más que significativa. Los dos núcleos usados en la industria aeroespacial son: núcleos de abeja o “honeycomb” el cual puede ser metálico o no metálico y núcleo de espuma rígida. La introducción de este tipo de material en la industria aeronáutica es relativamente nueva, por lo que continuamente se estudian nuevos tipos de núcleos que aporten mejores características si cabe a las estructuras aeronáuticas.

6.2.1.1. *Material no avionable.*

Como se ha definido al comienzo de este apartado numero 6.2.1., el material no avionable o auxiliar, es aquel necesario para fabricar la estructura, pero que no va a formar parte de la pieza tras el proceso de fabricación. Principalmente son los materiales necesarios para la fabricación de las bolsas de vacío que envuelven a la pieza durante la etapa de curado en el autoclave. En el apartado 7.3. de esta memoria, veremos detalladamente cuales son estos materiales.

6.2.2. Materiales preimpregnados

Es la forma más común de los materiales compuestos utilizados en la industria aeronáutica. Los materiales preimpregnados consisten en “refuerzos” (cintas o tejidos) preimpregnados de una resina termoestable en estado inicial de polimerización, estado β o termoplástica y capaz de procesarse en condiciones específicas.

Entre las características más destacadas de los materiales preimpregnados destacan:

- Tiene tiempos de vida limitado.
- Requieren un almacenaje a temperaturas de -18°C .
- Por otra parte, la característica principal de este tipo de materiales es que la resina que los componen se haya en un estado de "semicurado", estado " β ", lo que le confiere un tacto semipegajoso, denominado "tacking".

El preimpregnado o prepreg, es un material que se puede presentar bajo distintas formas, láminas de tejido, unidireccional, roving, etc., que ha sido impregnado previo a su uso y almacenado, generalmente a bajas temperaturas (unos -20°C).

Ventajas:

En primer lugar el control sobre el porcentaje fibra/resina está muy determinado, y además es muy alto, lo que hace que sea ampliamente utilizado para la fabricación de piezas estructurales en la industria aeronáutica.

En segundo lugar, el hecho de que el material contenga la resina a priori, elimina la necesidad de impregnarlo in situ, con lo que el proceso de laminado de la pieza se simplifica considerablemente, reduciendo en gran manera los posibles defectos de fabricación de la misma.

Inconvenientes:

Complicada formulación de las resinas, junto con la necesidad de almacenaje y transporte en lugares refrigerados, hacen que la utilización de estos materiales este limitada a mercados muy definidos, debido en gran manera a su elevado precio.

6.2.2.1. Función de los componentes en el material compuesto

La función de los dos componentes que forman parte de un material compuesto son:

RESINAS:

- Transmiten las cargas aplicadas al material compuesto.
- Proporcionan la cohesión entre las fibras.
- Protección de las fibras del daño mecánico y del medio ambiente.
- Determinan la temperatura de servicio del material compuesto y controlan la resistencia del “composite” frente al medio ambiente y agentes externos.
- “Separación “de las fibras impidiendo la propagación de grietas de unas fibras a otras.

FIBRAS:

- Proporcionan la resistencia y rigidez al material.
- Dirigen el comportamiento mecánico de los materiales compuestos, dependiendo del tipo de fibra y la orientación.

Las fases del sistema compuesto tienen diferentes funciones que dependen del tipo y aplicación del material compuesto. En el caso de un material compuesto de bajo o medio comportamiento, el refuerzo es usualmente en la forma de fibras cortas, proporcionando alguna rigidez, pero

solo frente a esfuerzos locales del material. La matriz en cierta forma es el principal elemento que soporta cargas gobernando las propiedades mecánicas del material. En el caso de compuestos estructurales de alto comportamiento, son usualmente reforzados con fibra continua que determina la rigidez y refuerzo en la dirección de la fibra y los esfuerzos locales se transfieren de una fibra a otra.

El uso de una fibra u otra depende de muchos factores; así, los materiales compuestos formados por fibras cortas (12-80 mm) son adecuados para procesos de producción de bajo coste. Sin embargo, muestran una baja resistencia, fundamentalmente debido a la orientación aleatoria de las fibras, y por tanto, están limitados a aplicaciones no estructurales como paneles interiores.

Todas las aplicaciones estructurales de los materiales compuestos en aeronáutica se basan en refuerzos con fibras continuas.

6.2.2.2. *Parámetros que definen un material preimpregnado:*

Las características básicas que definen un material preimpregnado son:

- Tipo de fibra (carbono, vidrio, kevlar u otras).
- Tipo de textura (sólo en el caso de los tejidos).
- Tipo de resina que lo compone (vinil ester, epoxis, fenólicas, bismaldéicas,etc).
- Propiedades físicas del preimpregnado.
- Otros (Temperatura de polimerización, espesores de la lámina).

Las salas donde se procede a la fabricación están acondicionadas de modo que se minimizan las variaciones de T^a y humedad. Estas están presurizadas para evitar la entrada de aire del exterior, y con ello de las impurezas que este pudiera contener.

6.2.2.3. Tipos de presentación de materiales preimpregnados.

En las estructuras fabricadas con materiales compuestos, la lámina constituye la unidad básica del laminado. Los materiales compuestos laminados son anisótropos, es decir; las propiedades del material varían con la orientación de las coordenadas de referencia, no son iguales para todas las direcciones, como en el caso isótropo. Cuando existe algún tipo de simetría en el material, el número de constantes disminuirá.

Cada lámina se apila con diferentes orientaciones de dirección del filamento entre las diferentes capas para conseguir un laminado con las propiedades deseadas de rigidez o resistencia. Un laminado viene definido por el número de láminas que lo componen, la dirección que toman estas láminas y la secuencia con que se disponen dentro del laminado. Con la combinación de estos factores podemos obtener infinidad de laminados distintos, con propiedades distintos entre unos y otros; por lo tanto, al hablar de un laminado, estamos hablando de un material.

Los más utilizados en el sector aeronáutico son dos:

Cintas unidireccionales:

Consisten en una serie de hebras de fibras continuas colimadas, orientadas en una sola dirección. Cada hilo está constituido por un número determinado de filamentos (en el caso de fibras de carbono puede variar entre 1000 y 24000 filamentos).



Figura 27: Cinta unidireccional

Tejidos:

Los tejidos resultan de entrelazar los hilos en dos direcciones perpendiculares (TRAMA Y URDIMBRE). Como en el caso de las cintas, cada hilo está constituido por un número determinado de filamentos. En los tejidos preimpregnados las propiedades mecánicas vienen dirigidas principalmente por las direcciones de trama y urdimbre. De forma general tienen propiedades mecánicas más bajas que las cintas (en dirección de la fibra), pero son más fáciles de manejar y de trabajar sobre todo en estructuras complejas con curvaturas complicadas.



Figura 28: Tejido

Los tipos de tejidos más utilizados son: tafetán y urdimbre.

- Tafetán: Cada hilo se entrelaza alternativamente por encima y por debajo del hilo de la dirección opuesta. Presentan igual relieve por ambas caras y propiedades mecánicas similares tanto en urdimbre como trama.
- Satén de puntada: Cada hilo de trama salta sobre cuatro hilos de urdimbre antes de pasar por debajo del siguiente. Es muy flexible y se adapta mejor que la anterior a curvas complejas.

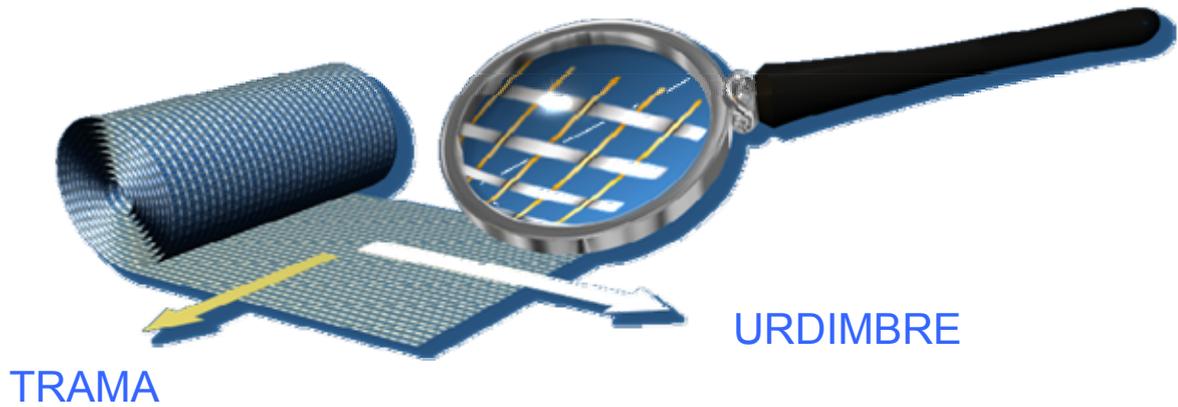


Figura 29: Dirección de trama y urdimbre

6.2.2.4. Fibras

Como ya hemos dicho, un material compuesto presenta dos elementos principales: una fibra y una matriz. La combinación adecuada de estos componentes origina unos materiales con mejores propiedades que las partes que los componen por separado.

Además de fibra y matriz existen otros componentes como cargas y aditivos que dotan a los materiales compuestos de características especiales para cada tipo de fabricación y aplicación.

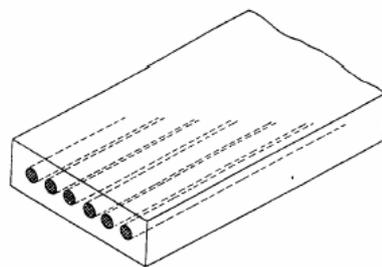
La fibra es el componente de refuerzo del material compuesto. Aporta resistencia mecánica, rigidez y dureza y es determinante para obtener las principales propiedades mecánicas. Las características más sobresalientes de las fibras de los materiales compuestos son su resistencia a la tracción específica y su elevado módulo específico.

Las fibras de refuerzo utilizadas en los materiales compuestos pueden ser clasificadas en tres categorías:

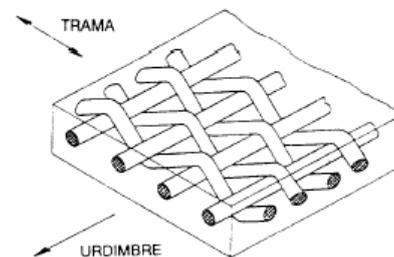
1. Fibra de carbono.
2. Fibras inorgánicas.
3. Fibras poliméricas.

Estas fibras se pueden presentar como forma continua o como fibra cortada. Los llamados “whiskers” o pelos se pueden utilizar también en los materiales compuestos como elementos de refuerzo. Existen otros tipos de fibras especiales que se utilizan en los materiales compuestos como, por

ejemplo las fibras ópticas, las cuales se utilizan para aplicaciones donde es necesario un control del daño del propio curado.



CINTA UNIDIRECCIONAL



TEJIDO BIDIRECCIONAL

De estos tres tipos de fibras que existen, detallaremos la fibra de carbono que es la que utilizaremos para fabricar la pieza que hemos diseñado en este proyecto.

Fibra de carbono.

Las fibras de carbono son los refuerzos más empleados en la fabricación de materiales compuestos de altas características mecánicas. Se obtienen mediante un proceso de descomposición térmica de tres precursores, principalmente (rayon, pan, pitch). De estos tres precursores el más utilizado para la obtención de las fibras de carbono es el poliacrilinotrilo (PAN).

Las propiedades más sobresalientes de las fibras de carbono son:

- Alta resistencia específica.
- Alto módulo específico.
- Buena resistencia a disolventes orgánicos.
- Inercia frente a la humedad.

La fibra de carbono es un material excepcional para aplicaciones de estructuras sometidas a cargas repetitivas o fatiga ya que es el único material conocido cuyas propiedades mecánicas apenas son sensibles a la aplicación de una carga cíclica. También en lo que se refiere a su comportamiento en condiciones estáticas, sus propiedades son muy elevadas tanto en las fibras de alto módulo como en las de alta resistencia.

Su densidad es baja (1.3 kg/dm^3), lo cual implica que sus propiedades mecánicas específicas o por unidad de peso sean excepcionalmente elevadas.

Su coste, más elevado que el de las fibras de vidrio, esta bajando drásticamente, debido al aumento de la demanda, al ser aplicado en numerosos sectores productivos además del aerospacial: deporte, transporte terrestre, marina, etc.

Particularmente, las fibras HM tienen un módulo específico 70 veces superior al de aleaciones de aluminio. Además tienen un coeficiente de dilatación muy bajo, lo que permite una gran estabilidad dimensional a las estructuras y una conductividad térmica elevadas.

Su incorporación junto con fibras de vidrio o aramida (materiales híbridos) presenta unas grandes expectativas, al presentar las tres fibras propiedades complementarias.

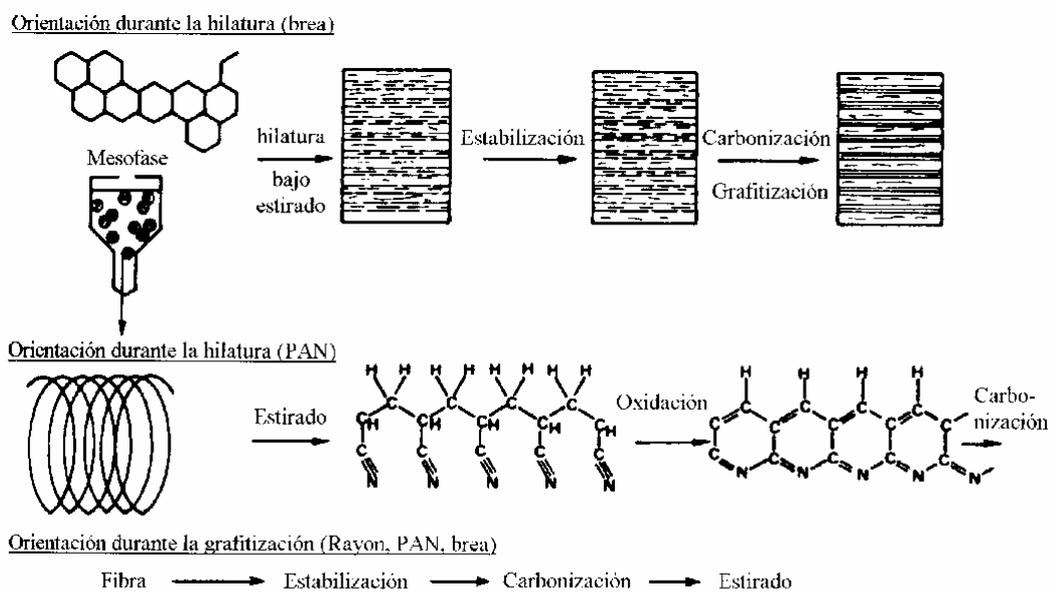


Figura 1.1.2 Diagrama de los esquemas de carbonización para las mesofases de alquitrán y PAN

Figura 30: Diagrama de los esquemas de carbonización para las mesofases de alquitrán y PAN

Pueden ser intercaladas con halógenos y con algunos metales alcalis como el Na, K, y Cs, para inducirle algún tipo de propiedad a las fibras como la conductividad eléctrica.

Algunas de las características más representativas de las fibras de carbono son la elevada resistencia específica y rigidez, bajo coeficiente de expansión térmica y baja abrasión, inercia biológica y química, permeabilidad a los rayos X y a las ondas electromagnéticas, resistencia a la fatiga, autolubricación, elevada amortiguación, elevada resistencia a la corrosión y alta conductividad eléctrica.

a). Tipos de fibra de carbono.

A partir de las temperaturas del tratamiento de calentamiento, se han identificado tres tipos diferentes de fibra de carbono:

- La fibra de carbono de alto módulo (**HM**) es la más rígida y requiere la mayor temperatura en el tratamiento.
- La fibra de carbono de alta resistencia (**UR**) es la más fuerte y se carboniza a la temperatura que proporciona la mayor resistencia tensil.
- El último tipo de fibra de carbono (**III**) es la más barata; la rigidez es menor que en las anteriores pero la asistencia es buena. Este tipo tiene la temperatura más baja en el tratamiento.

b). Propiedades de la fibra de carbono

Se distinguen por sus características específicas elevadas. Las libras HM tienen un módulo específico 70 veces superior al de las aleaciones de aluminio. No presenta plasticidad, el límite de rotura coincide con el límite elástico.

Tienen los inconvenientes del coste, la baja resistencia al impacto de baja energía y las diferencias de potencial que engendran al contacto con los metales, que pueden favorecer corrosiones de tipo galvánico.

Designación	Alta resistencia (HR)	Alto módulo (HM)	III
Diámetro de hilo (μm)	8	7	7-8
Densidad (Kg/m^3)	1740-1760	1810-1870	1820
Módulo de elasticidad (GPa)	230	390	290
Resistencia a Tracción (GPa)	2.6-5	2.1-2.7	3.1
Elongación a la rotura (%)	2	0.7	1.1
Módulo específico	130	210	160
Coefficiente expansión térmica ($10^{-6} / ^\circ\text{C}$)	2.56	2.56	2.56

Tabla 4: Propiedades de diferentes fibras de carbono provenientes de PAN.

En cuanto a las condiciones de almacenamiento, las fibras de carbono son poco resistentes al roce y al impacto de baja energía, y en función de su presentación, a la temperatura. Es recomendable tener mucha precaución en su manejo.

En el caso de un preimpregnado deberá guardarse en una cámara frigorífica, de forma que sus propiedades no se alteren por un aumento de temperatura. Para los tejidos e hilos es válido lo señalado previamente para las condiciones de almacenamiento de la fibra de vidrio.

6.2.2.5. Matrices

Las matrices o resinas, tienen unas excelentes propiedades mecánicas y adhesivas, así como una gran dureza y buena resistencia a la degradación medioambiental.

Las matrices orgánicas, en general, son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, producto de reacciones de polimerización por adición o condensación de diferentes compuestos de base.

La longitud de la cadena polimérica viene dada o el número de unidades monoméricas repetitivas que hay en ella y por tanto tenemos que hablar de diferentes pesos moleculares en un mismo tipo de plástico.

Clasifiquemos ahora en la siguiente tabla las diferentes matrices utilizadas para la formación de los materiales compuestos.

INORGÁNICAS	CEMENTO, GEOPOLÍMEROS, YESO, MATRICES CERÁMICAS MATRICES METÁLICAS	
ORGÁNICAS	TERMOESTABLES	EPOXI.VINILESTER, POLIESTER, FENÓLICA, ESTERES CIANATO, BISMALEIMIDAS, POLIIMIDAS, POLIETERAMIDA.
	TERMOPLÁSTICAS	POLICLORURO DE VINILO (PVC), COPOLÍMEROS DE ESTIRENO (ABS,SAN),POLIETILENO(PE),POLIPROPILENO(PP), POLICARBONATO(PC), POLIMETACRILATO DE METILO(PMMA), ACETATO, POLIESTIRENO(PS), POLIAMIDA, PEEK, PEKK, PAI, PAS.

Tabla 5: Clasificación de matrices

Termoestables:

Estas se presentan sin polimerizar, polimerizando durante el proceso de fabricación de la pieza final. Dentro de esta familia se encuentran las resinas epoxídicas y fenólicas, que son las más utilizadas, aunque también existen las resinas de poliéster.

Termoplásticas

Se presentan en estado sólido ya polimerizadas. Se ablandan por el calor y pueden moldearse y reprocesarse. A esta familia pertenecen la PEEK (Polieteretercetona), PEI (Polieterimidida), PPS (Polisulfuro de fenileno). Estas familias aún no están muy introducidas en el campo aeronáutico.

Las macromoléculas pueden estar unidas entre si por fuerzas de diversa intensidad. Así, cuando sean de baja intensidad, podremos superarlas con un simple calentamiento dando lugar al plástico fundido, los polímeros con estas características son los llamados **termoplásticos** los cuales se funden o plastifican con un suministro de calor, es decir, con un incremento de temperatura.

Cuando las fuerzas de unión de entre estos filamentos entre si son tan intensas que llegan a igualar a las de construcción de ellos mismos, se romperían antes de separarse, lo que implica que al incrementar la temperatura no podrán cambiar de estado sólido a líquido, denominándose a estos polímeros termoendurecibles o termoestables.

El tipo de resina más importante utilizado en materiales compuestos son las resinas líquidas termoestables, algunas veces llamadas químico estables.

Una vez curada, las termoestables contienen una red molecular de enlaces altamente cruzados. Éstas, no pueden volverse a fundir sin sufrir una seria degradación, además generalmente, son insolubles. Sin embargo, pueden ser atacadas por solventes y algunos agentes químicos (incluso el agua), especialmente a alta temperatura, que les puede provocar un ablandamiento, ensanchamiento y reducción de la temperatura de transición vítrea (T_g).

El proceso de polimerización para termoestables tiene generalmente lugar en dos etapas, la primera en la planta química, donde las moléculas se polimerizan parcialmente formando cadenas lineales, y la segunda en la planta de producción de piezas, donde el entrecruzamiento se completa bajo el calor y la presión de moldeo.

El curado es importante para alcanzar las propiedades óptimas del polímero. Muchos termoestables pueden polimerizar a temperatura ambiente pero el material suele ser expuesto a una temperatura relativamente alta en un curado final destinado a minimizar en cualquier curado posterior y cambios de propiedades durante la vida de servicio.

Las tensiones de contracción durante el proceso de polimerización, que es una reacción exotérmica, y las tensiones térmicas provocadas por las diferencias entre el coeficiente térmico de expansión de la matriz y la fibra pueden afectar a las microtensiones propias de los materiales compuestos; estas tensiones se añaden a las desarrolladas por la carga externa. Las

tensiones producidas por la contracción del polímero pueden ser suficientes para producir microfisuras incluso en ausencia de carga externa.

Podemos realizar una clasificación de las matrices termoestables en función de la temperatura de utilización. En la siguiente tabla vemos la clasificación de las resinas termoestables en función de la temperatura de utilización.

BAJAS TEMERATURAS	Poliéster
MEDIAS TEMPERATURAS	Vinilester, Epoxi
MEDIAS-ALTAS-TEMPERATURAS	Fenólica
ALTAS TEMPERATURAS	Bismaleimida Poliimida Esteres cianato Polieteramida

Tabla 6: Clasificación de resinas en función a su temperatura

Se presentan en estado sólido ya polimerizadas, se ablandan por el calor. Pueden reprocesarse.

A este grupo pertenecen la PEEK (polieteretercetona), PEI (Polieterimida), PPS (Polisulfuro de fenileno).

En la siguiente tabla podemos observar las distintas propiedades de varias resinas:

PROPIEDAD	EPOXY	FENOLICAS	OTRAS (Termoplásticas, BMI, PI)
General	Uso en partes estructurales	Principal aplicación en interiores	
Propiedades mecánicas	Altas (depende del tipo de resina y tipo de curado)	Medias a bajas	Depende del tipo de resina y del grado de cristalinidad de la resina termoplásticas
Temperatura de servicio	~80-100°C (curado 120°C) ~100-150°C (curado 180°C)	Según los tipos, entre 250-350°C	PI: ~250°C BMI: ~150-200°C Termoplásticas: 150-220°C
Tenacidad	Media a buena	Baja a media	BMI: Buena Termoplásticas: Alta

Tabla 6: Comparación entre distintos tipos de resinas

La resina que utilizaremos para la elaboración de la pieza será la resina tipo epoxy.

Resinas epoxi

Las matrices epoxi son polímeros que contienen en su molécula dos o más funciones epoxídicas. La rigidez, resistencia y dureza de los epoxis es superior a la de las resinas de poliéster y viniléster, y por ello, pueden operar a niveles de sollicitación y temperaturas. Tiene buena adherencia a muchos sustratos, baja contracción durante la polimerización y son especialmente resistentes a los ataques de los álcalis. Se caracterizan también por sus elevadas propiedades mecánicas, baja retracción, un buen comportamiento a temperaturas elevadas (hasta 180°C) y una buena resistencia frente a los agentes químicos.

Son las más usadas en el sector aeronáutico ya que presentan las mejores características estructurales, además de ser fácilmente procesables. A pesar de estas características, se están desarrollando versiones aún más resistentes.

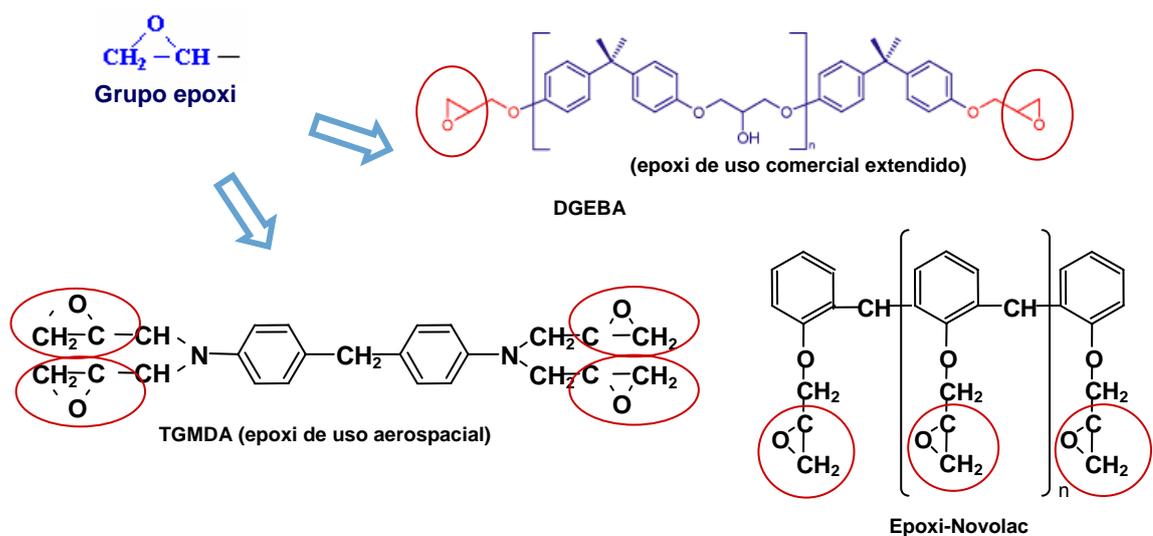


Figura 31: Diagrama de obtención de la resina epoxi

La química de las resinas epoxi está basada en la capacidad del radical epóxido (*figura 33*), para reaccionar con un amplio rango de otros radicales orgánicos y efectuar enlaces cruzados sin la aparición de un producto condensado. Las resinas son difuncionales o polifuncionales, en términos del grupo epóxido, y pueden estar basadas en estructuras alifáticas o estructuras aromáticas en forma de columna vertebral.

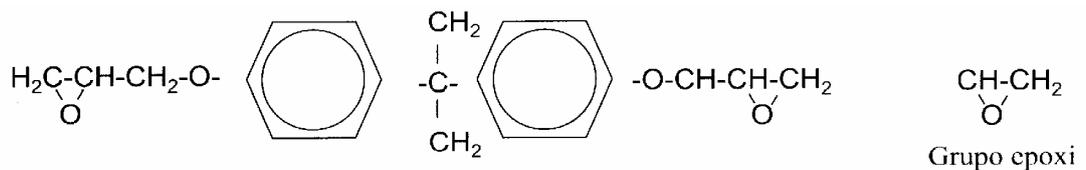
De hecho, la mayoría de las resinas utilizadas para procesos de laminación son aromáticas pero algunas veces mezcladas con material alifático. Las resinas basadas en material alifático son frecuentemente la base de los adhesivos o los sistemas de recubrimiento, donde su flexibilidad mejorada es ventajosa.

En general las resinas aromáticas dan superiores prestaciones en los materiales compuestos. La resina se cura por reacción con un agente de curado y la reacción a menudo se controla mediante el uso de catalizadores y aceleradores.

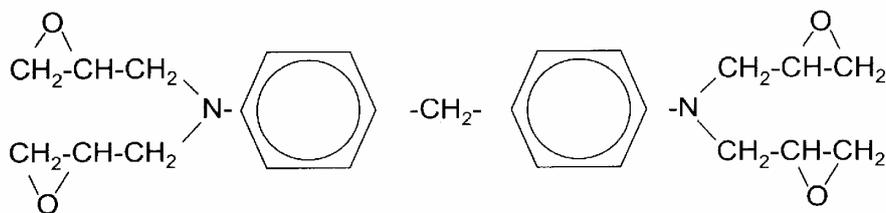
Un breve resumen de las características de las resinas epoxídicas sería:

- Presentan baja contracción y buena adhesión a la mayoría de las fibras
- Son polímeros con uno o más grupos reactivos.
- Gran versatilidad en el curado, dependiendo del tipo de catalizador y endurecedor, las que más se utilizadas en la fabricación de materiales compuestos son las de curado a 120°C y 180°C.
- Poseen buenas propiedades mecánicas en general, la T^a de servicio puede variar entre 60-150 °C.

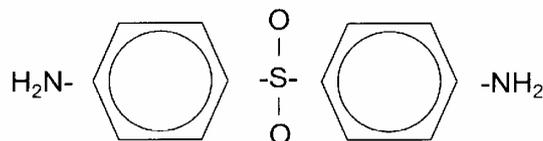
- Su curado se produce mediante reacción de poliadición de una resina base con una agente de curado, (Aminas, anhídridos, etc.).
- Las propiedades varían dependiendo de la resina base, agentes de curado, de los distintos modificadores que pueden añadirse y de las condiciones de polimerización.
- Este tipo de resinas son las más utilizadas en aplicaciones industriales.
- Son bastantes resistentes a ácidos, disolventes y álcalis.



Resina de epoxi difuncional- “DGEBA”



Resina de epoxi tetrafuncional- “TGMDA”



Agente de curado diamina- “DDS”

Figura 32: Resinas de epoxi difuncionales y tetrafuncionales y un agente de curado diamina (DDS).

El principal desafío en la formulación de resinas epoxi es equilibrar sus prestaciones a elevada temperatura, especialmente la resistencia a tracción (en caliente o húmedo) del material compuesto, con su dureza y tolerancia al daño medida mediante una compresión después del ensayo de impacto. Al mismo tiempo, se debe mantener una adecuada procesabilidad del material.

La dureza de los epoxis es superior a la de las resinas de poliéster y, por ello, pueden operar a temperaturas más altas. Tiene buena adherencia a muchos sustratos, baja contracción durante la polimerización y son especialmente resistentes a los ataques de álcali. Esto permite moldeos de alta calidad, con buena tolerancia dimensional, para ser fabricado.

Las resinas epoxi se caracterizan por tener una baja retracción, un buen comportamiento a temperatura elevada, hasta 180°C y una buena resistencia a los agentes químicos.

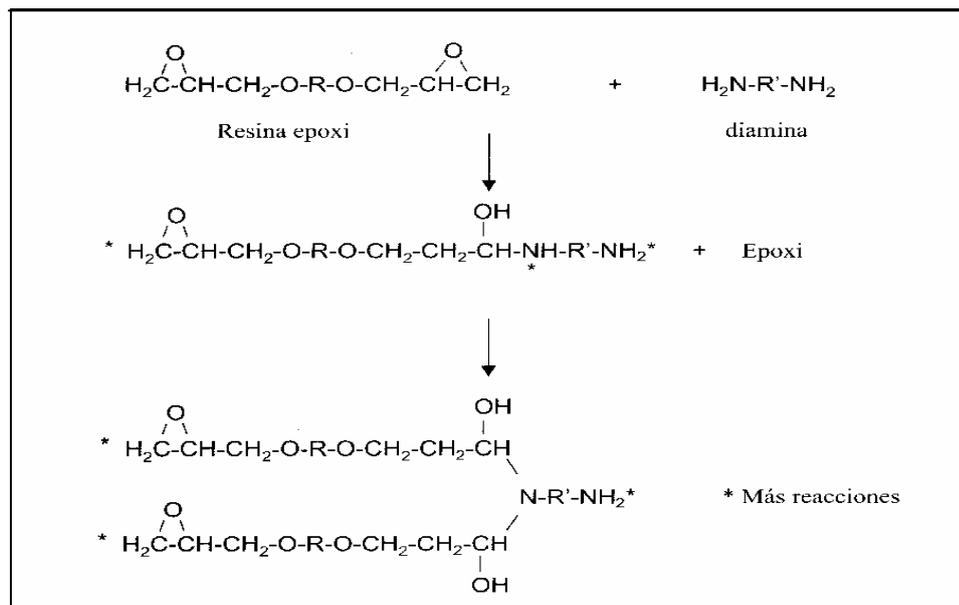


Figura 33: Formación radical epóxido

Durante el curado de una resina epoxi con amina, cada amina reaccionará con dos grupos epoxi, por lo que la diamina es tetrafuncional. Esto da lugar a una densa malla de enlaces cruzados, sin la formación de un producto condensado.

Clasificación

La mayoría de las resina epoxi están basadas en tres estructuras químicas: TGMDA (Dianilina Tetraglicidil metileno), DGEBA (Diglicidil eter de bisfenol A) y fenolformaldehidoi epoxi novolaca. La principal diferencia entre las moléculas es que TGMDA y las novolacas curan a una densidad de entrecruzamiento mayor que la epoxi bisfenmol A, la cual presenta valores de Modulo de Young y temperatura de transición Vítrea (T_g) pero bajos valores de deformación a la rotura.

La alta densidad de entrecruzamiento da a esta resma un alto valor de módulo de Young y una alta Temperatura de servicio. Se ha demostrado que la resistencia de compresión de los laminados carbono epoxi proporcional al módulo de Young de la matriz.

Propiedades generales

- Son polímeros con uno o más grupos activos.
- Su curado se produce por reacción de poliadición de una resina base con un agente de curado (aminas, anhídridos, etc.).

- Las propiedades varían dependiendo de la resina base. Agente de curado, de los distintos modificadores que pueden añadirse y de las condiciones de polimerización.
- Presenta baja concentración y buena adhesión a la mayoría de las fibras.
- Son bastantes resistentes a disolventes, ácidos y álcalis.
- Poseen buenas propiedades mecánicas en general, la temperatura de servicio puede variar entre 60-150°C.
- Gran versatilidad en el curado, dependiendo del tipo de catalizador y endurecedor, (las más utilizadas en la fabricación de material compuesto son las de curado a 120°C y curado a 180°C).

Son las más utilizadas en aplicaciones estructurales.

6.3. TÉCNICAS DE FABRICACIÓN CON FIBRA DE CARBONO

Una vez que hemos justificado el uso de la fibra de carbono en el desarrollo de la nueva configuración de la pieza procederemos ahora analizar las distintas técnicas de fabricación posibles con fibra de carbono.

Existen distintas técnicas de fabricación de materiales compuestos reforzados con fibra que dependen de su función, tamaño, cantidad, tasa de producción, acabados y consideraciones de costo. Para el caso que nos ocupa que es la fabricación de una pieza en fibra de carbono, existen distintas técnicas de elaboración, destacando principalmente tres.

En este capítulo veremos en qué consisten cada una de estas tres técnicas:

- RTM o transferencia de resina en molde,
- VARTM o transferencia de resina en molde asistida por vacío, y
- HLU o apilamiento manual.

Este capítulo también nos servirá como una pequeña introducción a HLU que será desarrollada minuciosamente en el capítulo posterior por ser esta la técnica elegida para la elaboración de nuestra pieza.

6.3.1. RTM

El proceso RTM o moldeo por transferencia de resina es un proceso de molde cerrado, consistente en un moldeo mediante transferencia de resina líquida. En este proceso, la resina es inyectada hacia el interior de la cavidad mediante puertos de inyección a relativa baja presión permitiendo la producción de partes estructurales eficientes respecto a los costes para un volumen de producción medio-alto.

En RTM una preforma en forma de lámina de fibra de carbono seca se coloca en la cavidad de un molde con el que hace el juego.

Básicamente consistiría en introducir una preforma en el interior de un molde ya que RTM es un proceso de molde cerrado. Una mitad que hace juego del molde se ensambla con la pieza a fabricar que posa sobre la otra parte del molde siendo ambos sujetados.

Después de esta fase y mediante un equipo de inyección se introduce una mezcla presurizada de resina del material termoestable, un catalizador, color, pasta para relleno, etc., se bombea al molde usando entradas simples o múltiples en el molde.

Durante el llenado del molde, la resina fluye y sufre reacciones exotérmicas de curado motivando ello un aumento de la viscosidad a lo largo del tiempo hasta que finalmente sucede la solidificación de la resina.

Al finalizar el curado, operación que puede durar entre 6 y 30 minutos dependiendo de la cinética de la mezcla, la parte es retirada del molde. De

esta forma se consiguen buenas superficies de acabado en ambos lados de la parte.

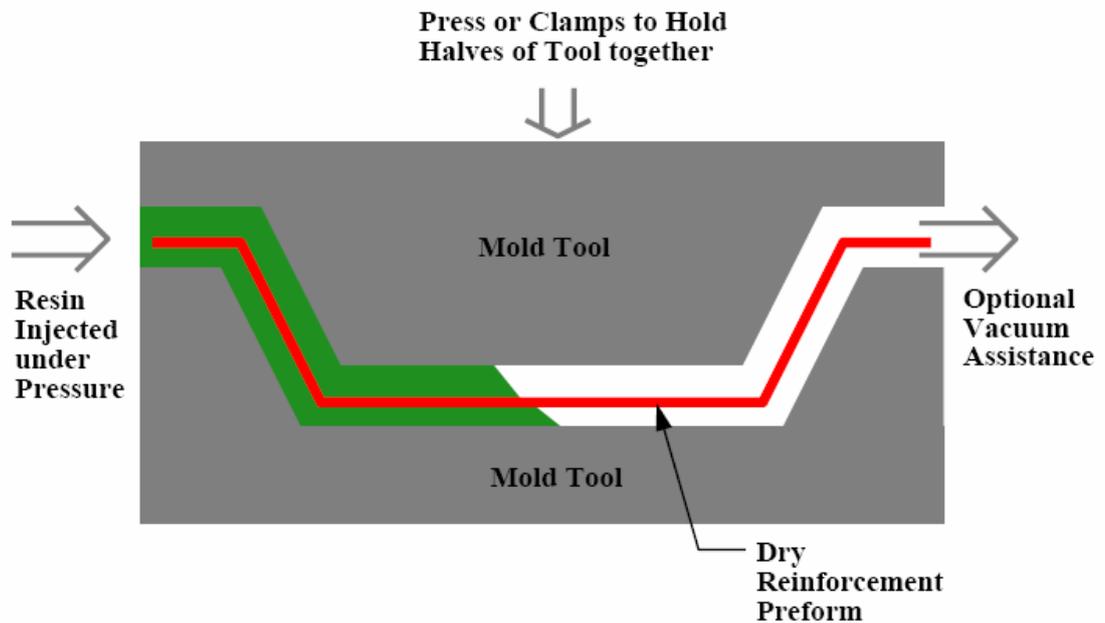


Figura 34: Esquema típico de transferencia de resina por moldeo.

Los núcleos y los insertos son colocados según se requiera. La madera de balsa y los núcleos de espuma son utilizados como materiales de fondo. Los núcleos de panel de abeja no son usados en el proceso RTM porque la superficie abierta del material del panel de abeja no taponan el flujo de resina dentro del núcleo. Además resulta complicado. Se usarán núcleos de polipropileno cuyas superficies restringen el flujo de resina dentro del núcleo y aptos para RTM.

Esta inserción del material núcleo, hace la estructura fuerte y ligera, creando una construcción de emparedado. El propósito de la colocación de insertos es de crear un mecanismo de endurecimiento y resistencia de la estructura. En el interior del molde habrá mandriles en los que la tela irá envuelta. La finalidad de estos mandriles será de bloqueo y de molde interno durante la parte de la inyección. Una vez colocados los materiales de refuerzo y fondo el molde junto con un agente de desmoldeo se cerrará usando prensas hidráulicas.

Los parámetros básicos en el proceso RTM son flujo de resina, curado y calor transferido en el soporte poroso.

En el proceso RTM la preforma está constituida por fibras continuas. Para aplicaciones de volumen bajo, los tejidos, las trenzas y las alfombrillas son usadas como preformas y para aplicaciones de volumen alto se usan las preformas de forma aleatoria.

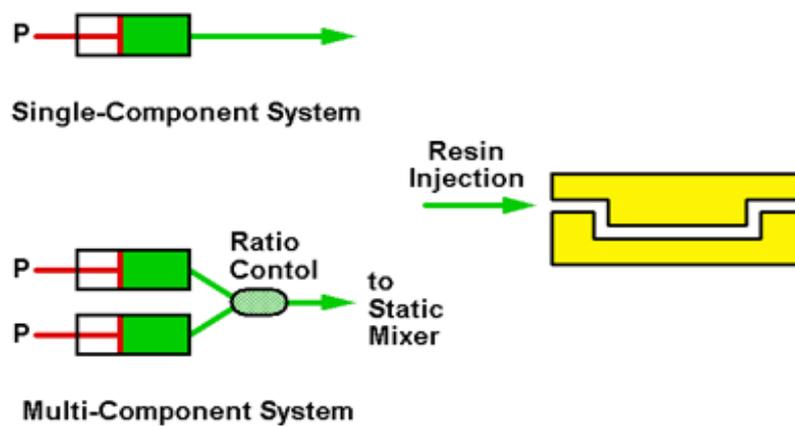
Fibras y resinas

Las fibras de vidrio, de carbon y Kevlar son usadas como fibras de refuerzo para hacer la preforma, siendo lo más común E-glass (resina epoxy/fibra de vidrio).

Respecto a las resinas pueden usarse gran cantidad de sistemas entre los que se encuentran poliéster, viniléster, epoxy, fenólico y metilmetacrilato todos ellos en combinación con pastas para relleno entre los

que caben destacar la alúmina trihidratada y los carbonatos de calcio. Para el proceso RTM las resinas mas usadas son epoxis y poliéster no saturado.

SCHMATIC OF THE INJECTION PROCESS



14598

Figura 35: Esquema del proceso de inyección

La resina epoxi se almacenará en un tanque a presión y precatalizada aunque existe la posibilidad de estar separadas en tanque diferentes para después mezclarlas mediante un mezclador justo antes de la inyección.

Los parámetros a controlar en la mezcla de resina para un óptimo rendimiento del proceso serán:

- Temperatura de la mezcla de la resina.
- Rango de catalizador y agentes curativos en la resina.
- Viscosidad de la mezcla.
- Cantidad de aire entrante en la mezcla de la resina.

Este último factor puede prolongar inducir a la porosidad a afectar a la viscosidad de la mezcla.



Figura 36: Imagen de un proceso RTM

La presión durante el proceso RTM será ejercida en el molde, usando la presión de inyección de la resina. Esta presión de la inyección, ayuda a la resina a fluir dentro del molde a través del soporte poroso y da a la resina capacidad de llevar la cavidad. El equipo RTM tiene un compresor y un pistón que inyectará la resina a una determinada presión. Esta presión suele ser baja y oscilará entre 10 y 100 psi.

La presión de la resina determinará la tasa de flujo de la resina y también el tiempo de llenado del molde. Después de que el molde se llene completamente de la resina, la presión en el interior del molde se mantendrá entre 2 y 10 psi. La presión de inyección de la resina dependerá de la

viscosidad de la resina, del molde, permeabilidad del soporte poroso tiempo de llenado del molde necesitado, y la cinética de curado de la resina. En RTM la viscosidad de la resina es baja entre 100 y 500 cP siempre que no traspase las capacidades de bombeo del equipo de la administración.

La selección de la temperatura durante el proceso dependerá de las condiciones recomendadas por el proveedor, incluyendo temperatura de precalentamiento, temperatura de moldeo y temperatura de curado.

Con estos parámetros fijados la mezcla es inyectada al interior del molde por su base, cuando el molde se llena cesará la inyección.

Cuando la presión en el interior es muy elevada o los refuerzos tienden a moverse dentro del molde se deberán considerar los siguientes remedios:

- Puertas múltiples: División del molde a lo largo del camino del flujo de tal forma que se reduce la distancia para la resina.
- Sistema corredor: Permite la llegada de la resina a varias partes del refuerzo rápidamente sin tener que usar altas presiones de inyección.
- Pared flexible del molde: Permite la deformación de la pared y facilitar el llenado del molde.

El vacío se usará para facilitar el llenado del molde y asistir simultáneamente a la eliminación de aire ocluido. Esto requiere un buen sellado del molde y el uso de una bomba de vacío.

En un proceso RTM, el flujo de resina y la mojabilidad de la fibra son aspectos críticos. El flujo de la resina dentro del molde RTM es determinado por parámetros diversos, incluyendo la presión de inyección, vacío dentro del molde, temperatura de la resina, viscosidad y permeabilidad de la preforma. La permeabilidad de la preforma depende del tipo de fibra, fracción de volumen de la fibra, estructura de la fibra y de otros muchos factores. Durante el llenado del molde, la resina sigue el camino de resistencia mínima y experimenta dificultad al pasar estrechamente a través de los hilos apiñados y fibras reforzadoras.

La permeabilidad de la fibras utilizadas jugará un papel determinante en la selección de la arquitectura de la preforma, diseño de útiles y llenado del molde durante el paso de inyección.

6.3.2. VARTM:

Como ya hemos dicho en el apartado anterior, el proceso de moldeado de transferencia de la resina (RTM) es un método rentable de fabricación de los compuestos del polímero. En un proceso tradicional de RTM, la resina se inyecta en un molde con la fibra en su interior.

RTM ofrece varias ventajas sobre otros métodos de fabricación, ya que no se necesita autoclave ni moldeado de la cinta del prepreg.

Además, grandes volúmenes de compuestos se pueden fabricar con una baja presión de vacío. En segundo lugar, partes con formas complejas pueden ser moldeadas incorporando muchos componentes en un solo objeto. Esto ayuda de forma considerable para reducir el coste y el peso de la estructura.

Se aumentan las tarifas de la producción y se reducen los gastos de explotación. Finalmente, RTM es un proceso de molde cerrado que reduce la exposición de los trabajadores a los volátiles dañosos, i.e., estireno. Sin embargo, el utillaje empleado en el procedimiento de RTM son costosos, y el diseño de los útiles llega a ser difícil al fabricar piezas formadas grandes y complejas.

La transferencia de resina en molde asistida por vacío (VARTM) se ha convertido como variante del proceso tradicional de RTM para reducir las dificultades del coste y del diseño de utillaje. En VARTM, la mitad superior de un molde convencional es substituida por un bolso del vacío.

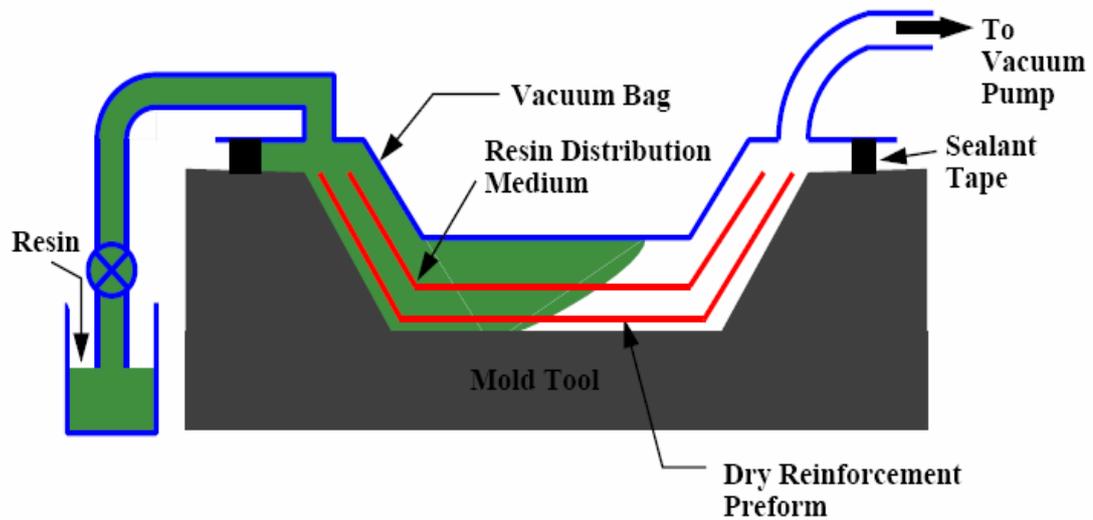


Figura 37: Esquema típico de transferencia de transferencia de resina en molde asistida por vacío.

Esto elimina la necesidad de hacer un molde emparejado exacto del metal como en RTM, aunque el acabado de la pieza por la parte que está en contacto con la bolsa no consigue un acabado perfecto.

VARTM es un proceso de fabricación en donde la resina y la fibra se ponen conjuntamente en el molde pero no se combinan inicialmente. En algunos usos, la fibra y la película de la resina se coloca en el molde en pasos separados y es combinada aplicándose presión, pero como hemos dicho, lo normal es que la resina y la fibra se sitúen en cada capa de un tipo de prepreg antes de la colocación en un molde. En el prepreg utilizado se coloca una película de la resina en uno o ambos lados de una hoja de fibras secas. En estos preregs, la mayoría de la fibra permanece seca mientras que la mayoría de la resina permanece fuera del paño.

Estos prepregs tienen muchas ventajas. Pueden ser utilizados en la fabricación de procesos de manera semejante como refuerzo seco, pero sin una infusión compleja de la resina. Esto permite que sean utilizadas de forma simple y eficiente sin miedo a tener áreas ricas secas o de la resina después de la infusión de una parte compleja.

Las piezas de la alta calidad se pueden obtener usando la presión del vacío solamente.

Una de las características de este proceso es que tiene especial significación para las estructuras grandes. La eliminación de puntos secos en el proceso de infusión permite la fabricación de piezas complejas; además, las secciones se pueden fabricar en un solo paso contra pasos múltiples.

El esquema del proceso de infusión de muestra a continuación; en él, podemos distinguir por un lado el uso de resina en la parte inferior, fibra seca arriba y entre ambas, apreciamos cómo la resina va ascendiendo.

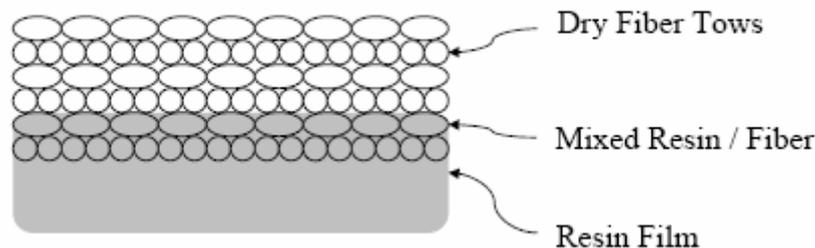


Figura 38: Esquema de materiales en infusión

Primero, la bomba de vacío cambia de posición para expeler el aire de todo el circuito. Después de que el sistema haya sido equilibrado y se han

eliminado todos los escapes de aire, la resina se permite fluir en el interior de la preforma. Una presión de 1 atmósfera proporciona la fuerza impulsora para que la resina impregne toda la preforma y al mismo tiempo, el vacío se conecta para facilitar la introducción de la resina y moje la fibra. El vacío se deja encendido hasta que la resina se ha gelificado totalmente. La pieza entonces puede curarse a temperatura ambiente o en un horno. Debido a la presión baja de la inyección (1 atmósfera), el medio de distribución de la resina con alta permeabilidad se incorpora con facilidad a la bolsa de vacío. Esta distribución en el medio reduce el tiempo perceptiblemente, y asegura el mojado de la preforma.



Figura 39: Útil de VARTM

VARTM ofrece una serie de ventajas con respecto al proceso de RTM, como las referentes al coste, por ejemplo en el coste de los útiles, y un tiempo más corto del start-up. Junto a estas ventajas, VARTM también tiene desventajas inevitables como el hecho de ser un proceso relativamente complejo.

6.3.3. LAY-UP:

La técnica de lay-up o apilado manual es una técnica de fabricación consistente en el apilamiento manual o automático (este apilado automático es sólo utilizado por las grandes empresas) de distintas capas de material preimpregnado en resina.

Esta técnica es la que emplearemos en nuestro proceso productivo y será minuciosamente detallado en el siguiente capítulo; es por ello que ahora solo haremos una breve introducción.

Fibras y resinas

El material con el que nos podemos encontrar en esta técnica es principalmente fibra en sus tres variedades más comunes: carbono, vidrio y kevlar, mientras que la resina más comúnmente empleada es resina epoxi, si bien; podemos encontrarnos otras como poliéster o metacrilato.

Para fabricar piezas a través de este procedimiento es necesario crear un libro de trabajo donde queden recogidos, a parte de los materiales utilizados, el número y orden de telas utilizadas así como la orientación de las mismas.

Una vez que ingeniería de diseño determina la disposición de telas, tipo de fibra, materiales, etc...se lleva a cabo el corte de telas mediante el uso de plantillas. El apilamiento de telas se lleva a cabo sobre un útil del

mismo modo que las dos técnicas anteriores. Este apilamiento lleva implícito una serie de compactaciones para eliminar totalmente el aire que pueda quedar entre tela y tela; esta compactación se realiza cada tres telas apiladas. Para ello, es necesario elaborar una bolsa de vacío con una toma por la que se realiza el vacío necesario para compactar las telas, este vacío es de aproximadamente 700 mm de Hg mantenidos durante 10 minutos. Cuando todas las telas están apiladas, se lleva a cabo la fabricación de una bolsa de curado donde se introducen las telas apiladas así como todo el material auxiliar necesario.

El paso siguiente es la introducción de la bolsa de curado en un autoclave (previa colocación de termopares) que esta programado con los ascensos y descensos de presión y temperatura necesarios para el correcto curado de la pieza.

Es cierto que para piezas que no necesiten unos requisitos importantes de calidad, no es necesario ni el registro ni la programación del ciclo, pero para el caso que nos ocupa que es una pieza avionable, las normas aeronáuticas exigen unos ciclos perfectamente establecidos con unas desviaciones inferiores al 1% en el proceso de curado.

6.3.4. JUSTIFICACIÓN USO LAY-UP:

En este capítulo hemos visto las características de los tres procesos principales para el curado de piezas en materiales compuestos.

El diseñar esta pieza para un curado en LAY-UP y no en RTM o VARTM no es al azar, sino que las características y dimensiones de la pieza a fabricar llevan a tomar esta decisión de diseño.

RTM es una técnica muy empleada en la industria, principalmente en la fabricación de piezas con caras grandes y para volúmenes de producción pequeños pero nuestra pieza, por sus dimensiones y requerimientos, no reúne los requisitos apropiados para usar técnica. Para volúmenes de producción elevados no es la tecnología adecuada. Las piezas aeronáuticas que comúnmente se fabrican en RTM son los bordes de ataque, timones de dirección, partes de fuselaje y formas curvas.

También es necesaria la fabricación y uso de un doble molde, así como tanques de presión y compresores de aire. Los útiles también presentan unos requisitos de fabricación y diseño muy costosos.

En cuanto a la técnica en VARTM, bien es cierto que los costes de fabricación son menores que RTM ya que ahorramos la parte superior del molde y el tiempo de curado es menor, pero por el contrario; la falta de ese útil superior hace que el acabado de una parte de la pieza no sea perfecto. Además, no existen registros y el proceso puede llegar a ser bastante complejo.

Al igual que antes, es un proceso indicado especialmente para estructuras grandes.

Si bien, económicamente es la mejor técnica de las tres, las exigencias de la industria aeronáutica hacen que descartemos el uso de esta técnica.

El principal motivo del uso de LAY-UP es el perfecto acabado de la pieza final y las características mecánicas y de resistencia que proporcionan las distintas orientaciones de las telas de fibra.

Económicamente, LAY-UP es más rentable que RTM, como podemos ver en el presupuesto necesario para la fabricación de la pieza por cada uno de los dos métodos. No tendremos en cuenta ni materiales ni mano de obra, ya que en ambos procedimientos estos conceptos son equivalentes. En este presupuesto solo consideramos equipos principales y auxiliares.

PRESUPUESTO RTM

EQUIPOS	CANTIDAD	COSTE UNITARIO
PISTÓN (5 LITROS)	1	20.500,00 €
UNIDAD DE CALENTAMIENTO	1	6.000,00 €
CONEXIONES DE GRABACIÓN	1	1.500,00 €
BOMBA DE VACÍO PIRANI	1	4.500,00 €
CALENTAMIENTO LÍNEA DE INYECCIÓN	1	2.650,00 €
CONTROLADOR DE PRESIÓN Y PLC	1	15.000,00 €
COSTE DE ENTREGA		1.500,00 €
COSTE DE INTALACIÓN Y ENTREGA		15.000,00 €
	SUBTOTAL	65.650,00 €
EQUIPOS AUXILIARES		
PRENSA	1	28.700,00 €
VÁLVULA PROPORCIONAL DE AJUSTE DE PRESIÓN	1	1.800,00 €
CONEXIÓN A SUPERVISOR ISOJET	1	9.000,00 €
	SUBTOTAL	39.500,00 €

TANQUE		
TANQUE PARA INYECCIÓN	1	11.120,00 €
INLUMINACIÓN DE VENTANA	1	550,00 €
SENSOR DE TEMPERATURA	1	152,00 €
AGITACIÓN NEUMÁTICA DE RESINAS	1	1.895,00 €
PLACA DE CALENTAMIENTO	1	820,00 €
MEDIDA DE PRESIÓN ELECTRÓNICA	1	390,00 €
PLATAFORMA MÓVIL	1	700,00 €
CONEXIÓN FLEXIBLE CALENTADA	1	2.250,00 €
TUBERÍA DE INYECCIÓN CALENTADA	1	1.340,00 €
VÁLVULA DE SEGURIDAD	1	690,00 €
CALENTADOR RECIPIENTES DESECHABLES	1	1.590,00 €
MEDIDOR DE MASA INYECTADA	1	5.635,00 €
C. BOMBA DE VACÍO	1	2.790,00 €
PANTALLA DIGITAL NIVEL DE VACÍO	1	1.590,00 €
PROCESADOR DE DATOS	1	16.000,00 €
SISTEMA AUTOMATIZADO PROCESADOR DE RESINA	1	11.450,00 €
	SUBTOTAL	58.962,00 €
BOMBA		
BOMBA CON TUBERÍA Y SIST. DE SUPERVISIÓN	1	35.000,00 €
GRABADOR CON TARJETA	1	6.500,00 €
ENTREGA	1	2.000,00 €
	SUBTOTAL	43.500,00 €
MOLDES		
MOLDE ISOJET	1	96.500,00 €
	SUBTOTAL	96.500,00 €
	TOTAL	305.112,00 €

Tabla 7: Presupuesto de RTM

PRESUPUESTO LAY-UP

AUTOCLAVE		
AUTOCLAVE	1	120.950,00 €
TOMAS DE VACIO, SENSORES Y TERMOPARES	2	10.750,00 €
SOFTWARE DE VISUALIZACIÓN Y CONTROL	1	12.752,00 €

MONITORIZACION DE DATOS	1	8.285,00 €
SISTEMA DE VACIO	1	5.090,00 €
SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	1	6.100,00 €
	SUBTOTAL	163.927,00 €
COMPRESOR		
COMPRESOR	1	8.510,00 €
SILENCIADOR STOPSON	1	1.430,00 €
INSTALACION Y PUESTA EN MARCHA	1	7.950,00 €
	SUBTOTAL	17.890,00 €
MOLDES		
DISEÑO	1	20.000,00 €
FABRICACION	1	39.040,00 €
MATERIALES	1	18.270,00 €
TRANSPORTE	1	4.368,00 €
	SUBTOTAL	81.678,00 €
	TOTAL	263.495,00 €

Tabla 8: Presupuesto de LAY-UP

LAY-UP es un 15,83% más económico que RTM, por lo que después de hacer esta valoración, hemos justificado también el uso de LAY-UP desde el punto de vista económico.

CAPITULO 7:

PROCESO DE FABRICACIÓN DEL COMPENSADOR MEDIANTE TECNOLOGÍA HLU.

7.1. DISEÑO DEL COMPENSADOR

En este apartado, explicaremos muy explícitamente como fabricar la nueva pieza. Para ello llevaremos a cabo la fabricación de una probeta cuya elaboración es tal y como se describe en este capítulo. La explicación de cada una de las etapas irá acompañada de fotografías que ayudaran a comprender el proceso.

El proceso de fabricación por el que pretendemos llevar a cabo la elaboración de los dos revestimientos que componen el compensador es HLU; en este proceso varias capas de material preimpregnado se sitúan en un útil, cada una de ellas con una orientación determinada, formándose una bolsa de vacío, y posteriormente introduciendo todo el montaje en un autoclave, donde se produce la polimerización (curado) en unas determinadas condiciones de Presión y Temperatura recogidas en la correspondiente normativa.

Este proceso va sustituyendo a otros procesos más tradicionales como VARTM y RTM vistos anteriormente que implican la utilización de cintas o tejidos secos que se impregnan con resinas films o líquidas en unas condiciones controladas polimerizándose en una fase posterior sobre útiles o preformas con las geometrías y dimensiones finales de la pieza acabada.

Paralelamente, se llevará a cabo también, la preparación del núcleo con una nueva disposición que contribuirá de manera positiva a subsanar los problemas de desplazamiento y falta de núcleo y se buscará también una pérdida de peso en el conjunto.

Desarrollo

Como ya hemos comentado, la problemática que presenta el actual compensador consiste en la dificultad de obtener un perfecto mecanizado de la parte final del núcleo ya que el ángulo del borde de salida es de solo 12° y la tecnología para conseguir un corte perfecto del núcleo de honeycomb es muy costosa. Esta falta de material entre el vértice del núcleo y el revestimiento implica una deformación o hundimiento durante el proceso de curado en el borde de salida del revestimiento. La presión necesaria para curar el conjunto también produce un ligero hundimiento del revestimiento de aluminio que será subsanado con la sustitución por otro de fibra de carbono que presenta una estructura más resistente que el aluminio. La falta de material es subsanada actualmente mediante una reparación consistente en

introducir resina a través de varios agujeros realizados justo en el borde de ataque de la pieza, pero la problemática que conlleva una reparación así como la excesiva densidad de la resina (aumento de peso final) han llevado a proponer un nuevo diseño.

En un primer momento se pensó en la posibilidad de sustituir ese núcleo de abeja por costillas fabricadas también en fibra de carbono, pero los cálculos realizados con programas informáticos para conocer con exactitud el número y posición de las costillas llevó a abandonar esta opción. El número de costillas necesarias para evitar el hundimiento y para resistir las cargas de vuelo hacía que el elemento adquiriera un peso excesivo. Para que este número fuera menor se propuso aumentar el número de telas de fibra de carbono y modificar sus orientaciones con el objetivo de evitar el pandeo del revestimiento, pero el peso final de este revestimiento fue inadmisibile.

Es por ello, que la nueva propuesta consistiría en recantar o eliminar los últimos 15 mm del núcleo de honeycomb ya que el actual corte del vértice no es homogéneo y sustituirlo por un trozo de espuma denominado núcleo “foam”, al que sí es fácil darle la forma de vértice con una precisión casi absoluta.

A continuación, se lleva a cabo el pegado de las 2 piezas utilizando un adhesivo denominado “foam”, muy común en la industria aeronáutica. El siguiente paso a dar sería el estabilizado del conjunto con un adhesivo tipo “film” para darle rigidez y facilitar su posterior manipulación.

Paralelamente, se llevará a cabo el apilado manual de telas, tanto para la pieza en “V” como la pieza en “C” que es el proceso de mayor

dificultad o atención a tener en cuenta, ya que el revestimiento es el que da las propiedades aerodinámicas a la pieza. Este apilado se llevará a cabo en un molde cuyo diseño podemos observar en el capítulo de PLANOS.

Una vez tengamos las telas apiladas y la bolsa de curado cerrada procederemos a realizarles un precurado para, a continuación; terminar de curar todo el conjunto en el proceso de coencolado. Este proceso se llevará a cabo en el mismo útil que hemos utilizado para apilar las telas del revestimiento en “V”.

El siguiente paso consistiría en el recanteo de creces para eliminar el exceso de material y darle las dimensiones finales requeridas en los planos.

Por último, una vez que tengamos la pieza terminada, habría que realizarle los pertinentes ensayos para verificar el correcto acabado de la pieza.

Todo proceso productivo con composites que se lleva a cabo en la industria aeronáutica queda recogido en una orden de producción con toda la información necesaria para fabricar cualquier pieza. En esta orden se describe perfectamente el proceso de fabricación y esta acompañada de los planos necesarios, lista de partes (donde aparecen materiales, normas, condiciones.... para la fabricación) y requisitos específicos de procesos. Esta orden de producción suele ir acompañada de un libro de trabajo donde se dispone de toda la información necesaria para realizar cada una de las etapas.

Por todo lo descrito hasta ahora en este apartado, el proceso de fabricación podemos dividirlo en tres grandes grupos de fabricación por separado: preparación del núcleo, fabricación de revestimientos y curado final. Procederemos ahora a desarrollarlos con detalle:

7.2. PROCESO DE PREPARACIÓN DEL NÚCLEO

En la industria aeronáutica, es muy usual el uso de núcleos que actúan proporcionando cuerpo y consistencia a las distintas piezas que conforman una aeronave. Ello es debido a sus excelentes propiedades de resistencia y baja densidad.

Existe una multitud de núcleos, los cuales se agrupan principalmente en tres grandes grupos: espuma rígida o “foam” y honeycomb o “nido de abeja” metálico y no metálico.

Los más utilizados son los honeycomb no metálicos ya que son los que presentan menor densidad y este factor es fundamental a la hora de diseñar una pieza aeronáutica. Para hacernos una idea, la densidad aproximada de un núcleo honeycomb no metálico es de alrededor de 45-50 kg/m³, si bien pueden llegar hasta los 96 kg/m³. Esta diferencia tan considerable entre núcleos de las mismas características se debe al tamaño de celdillas y a la resina que impregna a un núcleo y a otro. Dentro de este grupo podemos encontrar núcleos de aramida, núcleos de baja densidad o poliamida y núcleos de vidrio.

La densidad de los núcleos de espuma rígida y honeycomb metálicos (principalmente de aluminio) es considerablemente superior y de ahí su uso limitado a piezas muy concretas que precisan unos requisitos determinados.

Nueva propuesta

El núcleo del actual compensador es un núcleo de aramida impregnado en resina fenólica de celdilla hexagonal de 3,2 mm y una densidad exacta de 58 kg/m³.

Como mejora en el proceso, se propone sustituir este núcleo por otro de características parecidas pero con una densidad menor y un tamaño de celdilla mayor. Esta disminución de peso es otro de los objetivos que se busca en el diseño de esta pieza.

El nuevo núcleo a emplear es un núcleo de papel de poliamida (meta y para amida) o de baja densidad que presenta una densidad de 37 kg/m³. Por el contrario, el tamaño de celdilla es de 4,8 mm; un tanto superior, de ahí esa disminución de peso ya que el tipo y cantidad de resina que contiene es similar a la de aramida.



Figura 40: Núcleo de partida

Para la fabricación de la pieza, partimos de un bloque de núcleo honeycomb de poliamida de 6,5 mm de grosor (ver figura 40) y se corta con las mismas dimensiones que el actual núcleo de aramida pero recanteando con una sierra de corte los últimos 15 mm del vértice. El corte se realiza en una sala de recanteo que dispone de la tecnología adecuada, con un sistema de absorción de partículas. El siguiente paso consiste en cortar un trozo de núcleo foam de 10 mm de espesor que tenga el mismo largo que la pieza.

Este núcleo foam es un núcleo de espuma rígida de polimetacrilimida, de celdilla cerrada, utilizada muy comúnmente como núcleo en estructuras sándwich de materiales compuestos ya que es fácilmente mecanizable, pero presenta el inconveniente de su elevada densidad en comparación con el honeycomb (75 kg/m^3). Es por ello que no se ha propuesto en este proyecto el reemplazo completo del núcleo de honeycomb por este núcleo de foam. Es muy adecuada para ciclos de curado en autoclave a temperaturas de 180°C .

El siguiente paso en este proceso de fabricación es el pegado de ambos núcleos. Previamente, habrá que lijar ambas caras suavemente con papel abrasivo de alúmina de tamaño de grano 240 a 320 hasta la desaparición del brillo. Se evitará la acumulación de restos de polvo sobre ambas superficies; si esto ocurre, hay que eliminarlo mediante aspiración y soplado con aire limpio y seco. Cuando el núcleo esté contaminado, la limpieza se realizará con los disolventes autorizados, empleando tres posibles métodos: por pulverizado, por frotamiento y por desengrase al vapor.



Figura 41: Pegado de ambos núcleos con adhesivo epoxi

El pegado de los núcleos se lleva a cabo con un adhesivo foam epoxi el cual es también utilizado para relleno y macizado de núcleos. Con los dos núcleos colocados en la posición adecuada y con la cantidad de adhesivo necesaria, se lleva a cabo el curado del adhesivo durante un tiempo de 90 minutos a 120°C o 60 minutos a 180°C.

A continuación se lleva a cabo el recorte del núcleo foam dándole la forma del vértice requerido (ver figura 41). Este procedimiento se llevará a cabo en la sala de recorte, tomando las mismas medidas de seguridad y el mismo sistema de absorción de partículas que para el núcleo de aramida.

El último paso en la fabricación del núcleo es la estabilización del conjunto que se realiza para facilitar su posterior manejo, evitando distorsiones, roturas y aplastamientos durante las operaciones de pegado al revestimiento y curado del conjunto. Este proceso viene precedido de un secado en estufa sin necesidad de presión y se realizará durante un tiempo de cinco horas a una temperatura de 80°C, u opcionalmente 12 horas a 50°C (según norma) para eliminar toda la humedad que pueda quedar retenida en ambos núcleos.

Esta estabilización también facilita las operaciones de mecanizado y evita en gran parte el colapso de las celdillas durante el curado.



Figura 42: Estabilizado del núcleo

La estabilización consiste en envolver el núcleo con un adhesivo en película film (figura 42); es un adhesivo epoxi con soporte de material poliéster que es de uso general en encolado de materiales compuestos, uniones metal/metal o una combinación entre ellos. El adhesivo dispone de una capa de material plástico que es retirada justo antes de proceder a la unión entre el film y el núcleo. Una vez que el adhesivo esta situado sobre el núcleo se sitúa todo el conjunto en el interior del mismo útil que utilizaremos para el apilamiento de telas y curado final. El conjunto es introducido en autoclave a unas condiciones de 180°C y sin presión durante 60 minutos.

Este proceso se realiza sin presión, ya que si introducimos presión en autoclave, por muy pequeña que sea, provocaría un hundimiento del núcleo.

Una vez que la pieza sale del autoclave, el núcleo dispone de una gran rigidez, suficiente para que en el posterior cocurado, pueda soportar una presión de entre 2,9 y 3,5 atm. sin riesgo de hundimiento.

Llegado a este punto, el núcleo ya esta preparado para realizarle la operación de coencolado.

7.3. FABRICACIÓN DE REVESTIMIENTOS

Tanto el revestimiento en “V” como el revestimiento en “C” se realizan mediante tecnología “LAY-UP” o apilado manual.

Las etapas que se desarrollan en el proceso de fabricación de cualquier panel de ensayo de fibra de carbono para el sector aeronáutico son las que se enumeran a continuación de forma ordenada:

- 7.3.1. Corte y preparación del material preimpregnado.
- 7.3.2. Preparación de utillaje.
- 7.3.3. Lay –Up
- 7.3.4. Fabricación de bolsas de curado.
- 7.3.5. Precurado en autoclave.
- 7.3.6. Desmoldeo.

La metodología empleada para llevar a cabo cada una de estas etapas no es al azar, sino que se realiza siguiendo unos protocolos muy estrictos recogidos en la correspondiente normativa aeronáutica.

El revestimiento exterior es el que da las propiedades aerodinámicas y de resistencia y también debe de evitar el hundimiento del núcleo en el curado de la pieza. Es por ello que esta es la fase que tenemos que estudiar con mayor detalle. Además, algunas de estas operaciones se deben de llevar a cabo en una sala limpia, con unas condiciones determinadas de temperatura y humedad que deben ser medidas en continuo y con un sistema de extracción de partículas mayores de 5 μm . De una manera más detallada, el procedimiento de cada una de ellas es el siguiente:

7.3.1. Corte y preparación del material preimpregnado.

Es muy importante que los materiales preimpregnados de fibra de carbono y matriz epoxi, necesarios en la fabricación de elementos, deban encontrarse dentro de sus periodos de vida útil. De especial relevancia son el tiempo de vida de manejo máximo y el tiempo de vida total máximo a temperatura ambiente. Estos valores son proporcionados por el suministrador a través de las hojas técnicas.

Para la correcta preservación de las propiedades del material preimpregnado y evitar el curado accidental a temperatura ambiente, el material debe ser almacenado a temperaturas inferiores a 0° C, normalmente entre -18/-25° C. La temperatura de almacenamiento es proporcionada por el suministrador. La cámara frigorífica dispone de un registro de temperaturas, para poder saber en cualquier momento, si el sistema de refrigeración ha sufrido algún tipo de avería ajeno a nuestro conocimiento, llevando incluso, en función del tipo de incidente, a la retirada del material y posterior baja.

Al retirar tanto los materiales preimpregnados como adhesivos del frigorífico, se cuidará de no abrir su envase antes de su ambientación comprobándose que no se produzca condensación en el exterior de la bolsa. La extracción se realizará exclusivamente en el interior de la sala limpia. El tiempo estimado de atemperamiento suele ser de 4 horas.

Los “kits” de material que presenten riesgos de entrada de humedad debido a roturas de las bolsas, mal cierre de las mismas... deberán ser rechazados.

Una vez que estos materiales son sacados de los frigoríficos y atemperados, se les corta en patrones siguiendo unas instrucciones determinadas y respetando las orientaciones requeridas, retirándole la película separadora o papel protector de una de las caras del prepeg. Esta operación debe ser realizada con sumo cuidado en no desprender fibras, no alterar la alineación de estas, ni producir daños. Es importante la limpieza y el correcto uso de las herramientas utilizadas para ello: cútter, regla metálica calibrada, escuadras y cartabones metálicos, plantillas de corte.... Además, desde este momento y hasta que concluya el proceso de apilamiento de telas es de uso obligatorio la utilización de guantes blancos de algodón y bata blanca.



Figura 43: Corte Manual de telas

Posteriormente los kits identificados son introducidos en bolsas herméticas y retornados al frigorífico hasta su posterior utilización. Adjunto a cada uno de los rollos de material, encontraremos siempre unas fichas de

seguimiento del material, donde anotaremos siempre el tiempo que el material ha estado fuera de su temperatura habitual, y tener siempre presente cuál es su período de caducidad.



Figura 44: Ejemplo de kit con ficha de seguimiento

Para desarrollar el correcto corte de telas se consultará la siguiente documentación:

- *Orden de producción:* en la orden de producción se consultará el material y número de rollo del cual debemos cortar las telas/kits asociados a la misma, así como sus dimensiones.

- *Libro de lay-up*: es el libro donde se consultará las dimensiones de las telas (verificando que son las que aparecen en la orden de producción), así como la orientación que debe llevar el corte sobre el rollo de material impregnado.

Para llevar a cabo el corte de las telas/kits, se desarrollarán los pasos descritos a continuación:

- Extracción del material preimpregnado del envoltorio.
- Posicionamiento del rollo de material en el área de corte de la mesa de trabajo.
- Colocación de la plantilla de corte adecuada, o, en su defecto, de las herramientas de corte necesarias.
- Corte de la tela según el libro de lay-up correspondiente.

El corte de las telas se realizará situando, en una o ambas superficies de contacto, una película de polietileno. Los tejidos o cintas, después del corte no deben presentar:

- Contaminaciones.
- Desgarraduras.
- Cortes o geometría distinta de la indicada en el plano.

Cuando las telas se han cortado deben ser agrupadas e identificadas en kits, y en caso de que no vayan a ser utilizadas inmediatamente, se introducirán en bolsas de polietileno que se identificarán adecuadamente y se llevarán al interior de la cámara frigorífica, con el objeto de reducir al máximo su exposición a la temperatura ambiente. Estos kits también disponen de fecha de caducidad fuera de la cámara frigorífica.

7.3.2. Preparación de utillaje.

En primer lugar se realiza la limpieza, desengrase y preparación superficial de los útiles donde se posicionarán las capas de preimpregnado. Esta limpieza y desengrase se realizará con disolventes apropiados (metiletilcetona o MEK). Posteriormente se aplicará sobre el útil un agente desmoldeante (comúnmente conocido como FreKote), para evitar que se adhiera la primera capa de preimpregnado sobre el útil.

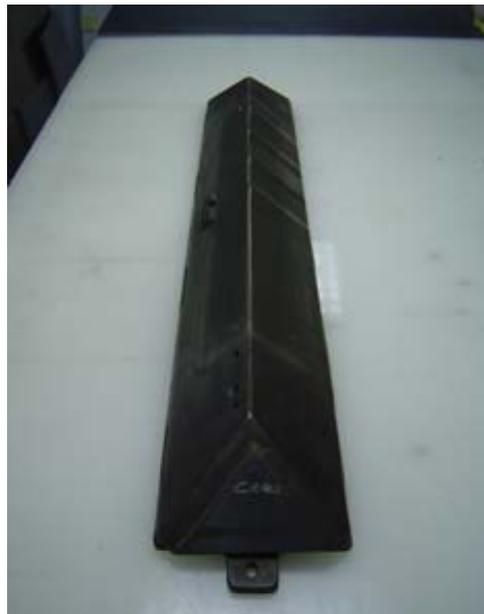


Figura 45: Útil de apilado

La aplicación de desmoldeantes debe realizarse de manera uniforme y homogénea preparando la superficie del útil antes de la aplicación del desmoldeante, utilizando para ello un trapo impregnado con el frekote, aplicándolo en una dirección, para una vez secada la primera capa, aplicar la siguiente en sentido perpendicular a la primera. Entre ambas aplicaciones

dejaremos transcurrir 15 minutos aproximadamente, que es el tiempo de curado de este desmoldeante.

Debido a que casi todos los agentes de desmoldeo líquido contienen disolventes inflamables, es conveniente que la zona de aplicación esté ventilada al exterior.

7.3.3. LAY-UP

El Lay-Up es un procedimiento de apilado de las capas de material preimpregnado una encima de la otra.

Es un proceso manual que se realiza siempre en la sala limpia y que comienza con el marcado y corte de la lámina individual con el perfil deseado, para ser apilada capa a capa sobre el molde respetando las direcciones indicadas en el plano aplicable (determinado por el departamento de cálculo y diseño) y minimizando la cantidad de aire atrapado bajo la capa (en el caso de preimpregnados con protectores por las dos caras, se posicionará la segunda capa manteniendo la película protectora de su cara externa, eliminándose ésta posteriormente justo antes de la aplicación de la siguiente capa de prepeg.).

Por otro lado, la mesa de corte debe estar recubierta de material, que no desprenda restos durante el corte, como el polipropileno o poliuretano.

Este proceso debe realizarse tras el correcto atemperamiento de los materiales, teniendo sumo cuidado en no desprender fibras, no alterar la alineación de éstas, ni producir daños.

Una vez comprobado el kit, se procederá a realizar el apilado manual de la pieza. Para ello, también tendremos que consultar los 2 documentos anteriormente citados:

- *Orden de producción*: en la orden de producción se reflejan las dimensiones que debe tener la pieza (P/N), el libro de lay-up aplicable a dicho P/N, el útil y los procedimientos que se deben utilizar para el desarrollo del apilamiento.

- *Libro de lay-up*: en el libro de lay-up se recoge toda la información necesaria para la ejecución del apilamiento de cada P/N. Dicha información contempla:
 - control de codificaciones.
 - útiles.
 - listado de materiales.
 - normas de moldeo.
 - esquema de la bolsa de compactación.
 - aprovisionamiento de materiales y elementales.
 - secuencia de telas.
 - esquema de situación de termopares y tomas de vacío.
 - esquema de construcción de la bolsa de curado.
 - observaciones.

Las pautas a seguir durante el apilamiento son:

I) Colocación de la primera tela: Antes de colocar la primera tela sobre el útil, y en el caso de que así se refleje en el libro de lay-up, se colocará entre el útil y dicha tela una capa de film desmoldeante. A continuación se apila la primera tela utilizando una paleta de teflón. Es necesario evitar la oclusión de aire entre el útil y la tela, así como la formación de arrugas. Se intentará siempre apilar en la dirección de la urdimbre.

II) Compactación de la primera tela: Para cualquier tipo de P/N, es obligatorio llevar a cabo la compactación en frío de la primera tela de

material. Para ello, se seguirá el libro de lay-up aplicable a la pieza, el cual presenta las siguientes actividades:

- Cubrir el conjunto con una bolsa de vacío.
- Aplicar un vacío de 76 a 150 mm de Hg a temperatura ambiente. El tiempo de compactación suele ser de 5 minutos.
- Desconectar el vacío y retirar la bolsa.

III) Apilamiento: Una vez compactada la primera tela, se procederá al apilamiento del resto de telas mediante el uso de herramientas y siguiendo el correspondiente libro de lay-up, dónde se reflejan las distintas orientaciones que deben tener las telas apiladas sobre el útil. Para apilar una tela sobre otra, se deberá retirar la película separadora de ambas, y antes de ejecutar el apilamiento, se observará si se ha producido algún tipo de daño en el material.

Cada tres telas apiladas, será necesaria la realización de una nueva compactación en frío. Tras el apilamiento de todas las capas, se procederá a la fabricación de la bolsa de curado, siguiendo el procedimiento de fabricación de la bolsa de curado.



Figura 46: Apilamiento de telas

Durante el proceso de apilamiento, deberá prestarse atención especial en no dejar incorporado a la pieza ningún trozo de película protectora u otro material extraño. También se evitarán oclusiones de aire así como la formación de arrugas. Para evitar la formación de estas arrugas, las telas se “peinarán” en dirección paralela a las fibras o a la urdimbre en caso de tejidos, con espátulas de nylon, no estando permitida la utilización del teflón (figura 46).

La orientación de la fibra de urdimbre así como las tolerancias de orientación son indicadas en el plano correspondiente. Existen 4 distintas posiciones de las telas en función de su orientación con respecto a la dirección del rollo: 0° , $+45^\circ$, -45° y 90°

Aunque hayamos dicho que la frecuencia de compactación es cada tres capas, cierto es que depende de la geometría de la pieza, de modo que, por ejemplo, para piezas cilíndricas o superficies curvas, la frecuencia de compactación habrá de ser mayor que para piezas planas o de geometría

sencilla. En superficies con gran radio de curvatura, habrá que estudiar la posibilidad de introducir refuerzos “whiskers” que aumenten la resistencia en esas zonas de debilitamiento de cargas.

Durante el proceso de apilamiento tendremos que controlar los siguientes puntos:

- Los materiales utilizados son los utilizados en los planos y se encuentran dentro de su tiempo de utilización.
- Seguir estrictamente las indicaciones referentes al número de capas, secuencia de apilamiento y orientación requerida en el plano.
- Evitar la formación de oclusiones de aire y formación de arrugas.
- Si fuera necesario realizar empalmes, se utilizaran las normas y especificaciones aplicables.
- Observar estrictamente los requerimientos de limpieza, seguridad e higiene laboral y manejo, tanto a los diversos materiales como a las áreas de trabajo y equipamiento.

Utillaje

El apilado y compactación de las distintas telas se llevará a cabo en 2 útiles diseñados para tal fin (ver capítulos PLANOS). Este concepto de diseño de utillería es muy importante ya que es uno de los factores más costosos a tener en cuenta en el presupuesto final y en la calidad final de las

piezas que muchas veces depende del tipo de material utilizado en la fabricación del útil.

Así, los factores a tener en cuenta en el diseño del utillaje son:

- coste del material y de su fabricación,
- efectos térmicos: el coeficiente de dilatación térmica del útil y de la propia pieza curada debe ser lo más parecido posible para evitar tensiones y deformaciones,
- durabilidad: que aguanten ciclos de presión y temperatura, y
- manejabilidad: que no tengan deflexiones o movimientos bajo presión.

7.3.4. Fabricación de bolsa de curado

Una vez terminado el laminado, se coloca sobre él un film poroso, que permitirá la expulsión de los componentes volátiles que se produzcan durante el curado de la resina, así como el propio exceso de la misma.

Los materiales comúnmente utilizados para la construcción de la bolsa de vacío son los enumerados a continuación, todos ellos recogidos en la normativa aeronáutica correspondiente. Para ello se dispone sobre éste una serie de elementos, cada uno de ellos con una misión específica. Estos se pueden ver en la figura siguiente, que representa una disposición relativamente sencilla.

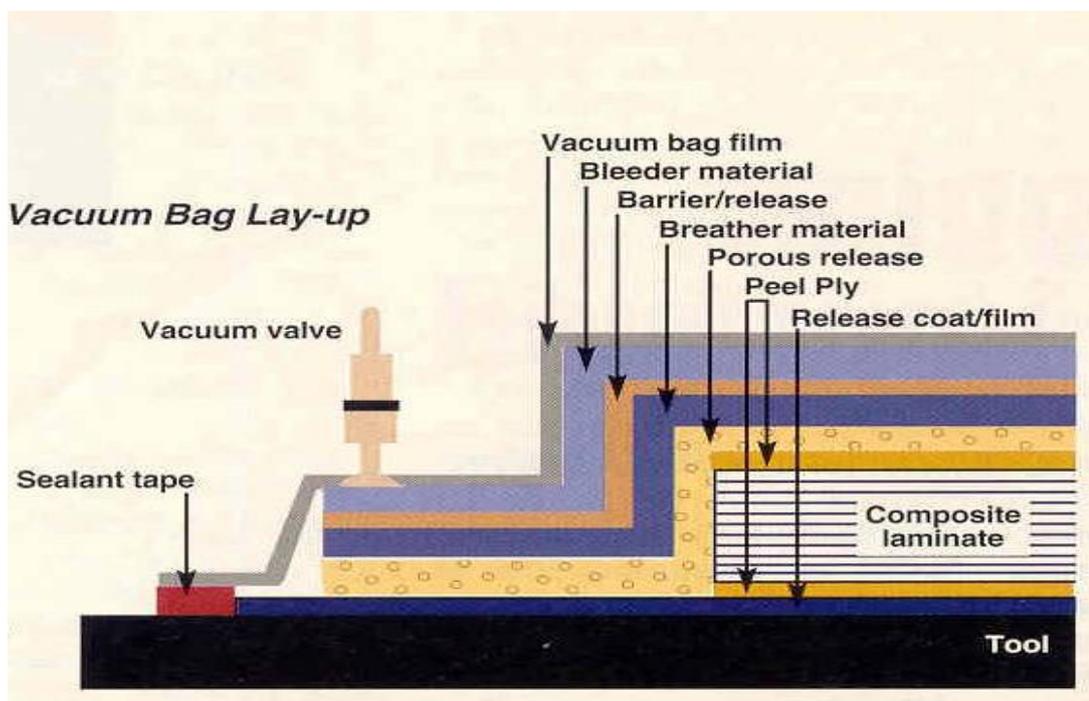


Figura 47: Bolsa de curado

1. Film para bolsa de vacío.
2. Masilla de cierre para bolsa de vacío.
3. Boquilla de vacío.
4. Útil de curado PEAU.
5. Colchón de aireación.
6. Corcho retenedor.
7. Film separador o de desmoldeo.
8. laminado preimpregnado.
9. Núcleo (Ocasional).
10. Tejido respirador.
11. Film Desmoldeante.
12. Tejido de sangrado o peel ply.
13. Tejido Impermeabilizante.

La metodología es la siguiente:

a) Colocación del corcho retenedor: se debe colocar el tejido de corcho retenedor de resina, alrededor de todo el contorno del conjunto de telas, situado en el útil indicado en la orden de producción, con el fin de evitar el retenimiento del exceso de resina durante el curado.



Figura 48: Corcho retenedor

b) Colocación de la cinta de contorno de fibra de vidrio: siguiendo el mismo contorno del corcho retenedor, se colocará el aireador de fibra de vidrio, con sumo cuidado, evitando el posible desprendimiento de fibras sobre el conjunto de telas, o sobre la superficie del útil.



Figura 49: Cinta aireadora de fibra de vidrio

c) Colocación de la pasta de sellado: se colocará la pasta de sellado siguiendo el contorno del aireador de fibra de vidrio, evitando que dicha pasta solape con la fibra. Una vez colocada, se repasará la misma con una espátula de teflón, para asegurar que se adhiere al útil de forma correcta, evitando posibles fugas. El papel protector de la pasta de sellado no se debe retirar hasta que no se vaya a proceder al cierre de la bolsa.



Figura 50: Pasta de sellado y tomas de vacío

d) Colocación del material auxiliar: una vez colocada la pasta de sellado, se procederá a la colocación del resto de material auxiliar de la bolsa de curado. Para ello, se consultará el libro de lay-up correspondiente, dónde se recogen los materiales auxiliares necesarios, así como un esquema de dicha bolsa.

e) Colocación de los termopares: se colocarán tantos termopares como requiera la normativa, según las dimensiones de la pieza. Con este termopar controlaremos en todo momento la temperatura de la pieza durante el curado en autoclave. Para ello se consultará el libro de lay-up correspondiente, y se seguirán las siguientes pautas:

- Fabricación del colchón de pasta de sellado en las zonas dónde se ubicarán los termopares.
- Colocación del termopar (comprobar que está correctamente identificado).



Figura 51: Termopares

El termopar debe quedar lo más próximo a la pieza, pero nunca encima de la misma, ya que de este modo produciría marcado tras el curado.

Una vez colocado, se protegerá la parte del termopar que estará en contacto con el film de vacío, con el fin de proteger el mismo frente a posibles rupturas.

f) Colocación de las tomas de vacío: para la colocación de las tomas, se consultará el esquema correspondiente en el libro de lay-up. Siempre se colocarán en diagonal, y en ningún caso las tomas de vacío tocarán la pieza, ya que se produciría marcado de la misma (ver figura 50).

g) Cierre de la bolsa: para cerrar la bolsa de curado, se deben seguir las siguientes pautas:

- Separar el papel protector de la pasta de sellado por un extremo, y comenzar a cerrar la bolsa mediante la unión de la pasta y el film de vacío, evitando la formación de arrugas en dicho film.
- Continuar con el cierre de la bolsa siguiendo el mismo procedimiento hasta la finalización del mismo.

En aquellos casos en los que sea necesario, se realizarán pinzas con pasta de sellado, para absorber el exceso de film de vacío, y conseguir un correcto cierre de la bolsa de curado.

h) Chequeo de vacío: una vez cerrada la bolsa adecuadamente, se procederá a la aplicación de vacío para comprobar que no existen fugas. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Conectar la manguera de vacío con una de las tomas colocadas anteriormente.
- Colocar un vacuómetro en la toma restante.
- Aplicar vacío.
- Comprobar que el vacío aplicado se encuentra entre los valores que exige la normativa aplicable, consultando el vacuómetro colocado.
- Comprobar que no existe pérdida de presión, y, si está ese produce, que se encuentra dentro del rango definido por la norma.

En este punto ya tenemos preparadas las bolsas de vacío, necesarias para alcanzar las condiciones adecuadas de presión para el posterior curado de la estructura.

Construida la bolsa de vacío según el procedimiento aplicable (existen varios ciclos de autoclave dependiendo cada uno de ellos del tipo y número de capas de material preimpregnado), ésta deberá permanecer cerrada manteniendo un vacío comprendido entre 76 y 610 mm Hg durante un minuto, hasta introducir el elemento de curado (útil y panel) en el autoclave.

7.3.5. Precurado en autoclave

El curado es un proceso de aplicación de presión y temperatura (en autoclave) con el fin de provocar una reacción química controlada (polimerización de la resina del material preimpregnado) en el material compuesto. Esta polimerización reportará al material sus propiedades físicas y químicas. Es la etapa mas importante del proceso y de ella depende, en gran medida, la calidad de la parte terminada. Es por ello que debe ser controlada con estricta rigurosidad.

En nuestro caso no se llevará a cabo un curado total de la pieza, sino que realizaremos un **precurado** a una presión y temperatura menor que en un curado, de forma que en la fibra de carbono permanezca una pequeña cantidad de resina suficiente para que polimerice con el núcleo en el posterior curado final.

Los parámetros que nos controlan el ciclo de curado (polimerización) son: presión, temperatura y tiempo.

Las condiciones específicas de curado son función del tipo del material preimpregnado y del tipo de pieza a fabricar. Estas condiciones vendrán indicadas en los requisitos específicos de proceso de la pieza y en la correspondiente documentación de trabajo de cada elemento. Deben ser registradas automáticamente y en continuo las variables de temperatura, presión y vacío según sea aplicable.

En esta etapa se produce el entrecruzamiento de los distintos grupos químicos de la resina, lo que provoca la solidificación irreversible de la misma.

El ciclo de curado de un preimpregnado viene dado por las propiedades de su matriz, y comúnmente implica someterlo a presión y temperatura simultáneamente. Esto se realiza en un autoclave, o, en su defecto, en un horno, dependiendo de la presión requerida. Una vez terminado el ciclo, la pieza se desprende del molde y pasa por los controles de calidad apropiados (líquidos penetrantes, ultrasonidos, partículas magnéticas....).

El ciclo que usaremos para el precurado de nuestras piezas será el más usado en la industria aeronáutica, recogido evidentemente en la normativa vigente, a unas condiciones de temperatura de 140 °C y 7 bares de presión

Cualquier ciclo de curado tiene una primera etapa de calentamiento, previa a la etapa de polimerización, para concluir con una etapa de enfriamiento previa al desmoldeo de la pieza.

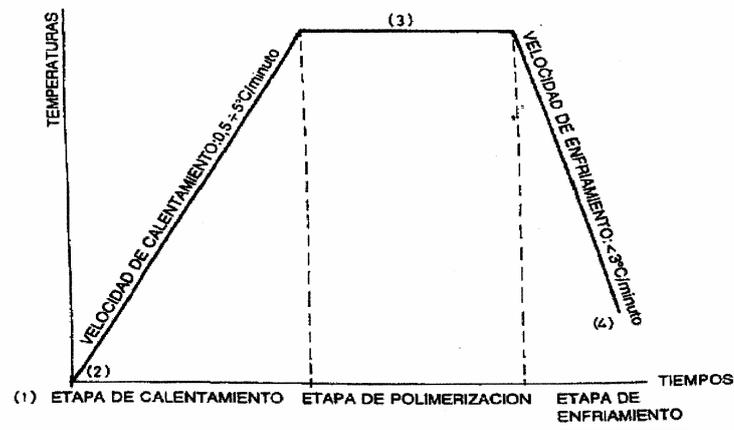


Figura 52: Etapas en un ciclo de curado

El perfecto desarrollo de cualquier ciclo de curado de estructuras de materiales compuestos implica la realización de los siguientes pasos:

a) Conexión del armario de control: posición “ON” de la palanca de arranque.

b) Apertura de la puerta de autoclave: para la apertura de la puerta del autoclave se hará uso de la llave de apertura y cierre de la puerta, situada junto a la misma.

c) Introducción de elementos de curado en autoclave: depositar los elementos de curado en el interior del autoclave, con sumo cuidado, para evitar colisiones en el interior del autoclave.



Figura 53: Introducción de elementos en autoclave

d) Conexión de termopares: para conectar los termopares se atornillarán los extremos de los termopares de cada bolsa de curado al cuadro de conexión, conectando siempre los terminales del mismo color.



Figura 54: Tomas de termopares en autoclave

e) Chequeo de termopares: una vez hecha la conexión de los termopares, se chequeará si dicha conexión se ha ejecutado de forma correcta. Para ello se consulta el monitor de control de autoclave.

f) Conexión de tomas de vacío: realizar el conexionado entre las mangueras de vacío del interior del autoclave, y las tomas de vacío de la bolsa de curado. Este paso se ejecutará con sumo cuidado, evitando cualquier posible desperfecto tanto de las tomas, como de la bolsa.



Figura 55: Tomas de vacío en autoclave

g) Chequeo de vacío: antes de ejecutar el ciclo, se hará un chequeo de vacío final, para observar si pudiese existir algún tipo de fuga en la bolsa. Para ello se siguen los pasos descritos a continuación:

- Conectar la bomba de vacío del autoclave, girando el interruptor a la posición de vacío (vacuum).
- Colocar los manómetros correspondientes en la posición de medida.
- Aplicar vacío.
- Cerrar la llave de vacío de cada manómetro y observar si éste se mantiene.

En caso de que se mantenga se procederá a ejecutar el autoclave. Si por el contrario existiera alguna fuga, se debe corregir la misma, volviendo a repetir la bolsa de curado si fuese necesario.

h) Cierre de la puerta de autoclave.

i) Revisión de los dispositivos y equipos.

j) Seleccionar el ciclo de curado: seleccionar el ciclo de curado según la orden de producción, utilizando para ello el ordenador de control del autoclave.



Figura 56: Computadora de control de autoclave

k) Comprobación de interruptores: antes de comenzar el ciclo de autoclave, se debe comprobar la correcta colocación de todos los interruptores del armario de control.

l) Ciclo de curado: una vez se han hecho todas las comprobaciones mencionadas en los apartados anteriores, se pone en marcha el ciclo de curado.

Una vez ha comenzado el ciclo, y mediante el monitor de control del armario de autoclave, se realizará un seguimiento de los siguientes parámetros:

- Presión de autoclave
- Temperatura de autoclave
- Temperatura de los termopares

Además, se debe controlar la presión en el interior de los parámetros siguiendo los manómetros correspondientes. En el caso de que se produzca entrada de presión en la bolsa, será necesaria la suspensión del ciclo de autoclave. Antes de ejecutar cualquier acción con respecto a la suspensión del proceso, será necesario que el operario se lo comunique al ingeniero responsable de la/s orden/es de producción que se están ejecutando, para que éste tome la decisión más oportuna.

m) Fin del ciclo de curado: cuando el ciclo de curado finaliza, se deben comprobar el correcto estado de todos los dispositivos y equipos auxiliares.

Antes de abrir la puerta del autoclave, se hará pasar todo el aire cargado en el compresor a través del mismo, con el fin de aumentar el enfriamiento producido

n) Registro del ciclo: una vez finaliza el ciclo de curado, se archiva el gráfico del ciclo correspondiente, el cual se anexará posteriormente a todas las órdenes de producción relacionadas.

Variables de control en el ciclo de curado:

Dentro de las variables de control que intervienen en un ciclo de curado podemos destacar tres:

Presión

El papel de la presión en un ciclo de curado es conseguir una buena distribución de la resina en la pieza y una buena compactación de las distintas capas de material que componen el elemento a fabricar.

La presión aplicada puede variar entre 1-10 bares, dependiendo del tipo de estructura a fabricar.

Las presiones utilizadas en la fabricación por autoclave de estructuras monolíticas suelen ser de 100 p.s.i., mientras que en estructuras tipo “sándwich” será generalmente de 45 p.s.i., dependiendo del tipo de núcleo, de ahí que no podamos curar el material preimpregnado con el núcleo al mismo tiempo.

Es especialmente importante el punto de aplicación de la presión, en función de las características químico-reológicas de la resina (viscosidad y gelificación).

Una aplicación de presión, cuando la resina ya endurecido (gelificado) o por el contrario cuando la resina está muy fluida, producirá piezas con porosidad y huecos o falta de resina.

Temperatura

La temperatura de polimerización es aquella a la que se calienta el material para conseguir la reacción de entrecruzamiento entre los distintos componentes de la resina.

Esta temperatura es función, principalmente, de la naturaleza química de la resina, así los dos grupos principales de materiales compuestos estructurales utilizados en el campo aeronáutico son los materiales preimpregnados en resina de curado a 120°C y a 180 °C.

Es imprescindible asegurar y garantizar que se está aplicando ola temperatura correcta durante el ciclo de curado, pues en ella conjuntamente con el “TIEMPO DE ESTABILIZACION” dependerá que se consiga la polimerización de la resina, si esto no se consiguiera se obtendrían piezas con características mecánicas y físico-químicas muy inferiores a las requeridas en el diseño inicial.

Tiempo

Se define “tiempo de curado” como tiempo en el que se mantienen la temperatura de polimerización durante el proceso de curado, asegurándose de este modo que se completa la reacción.

Este tiempo puede variar de forma muy general entre 90-180 minutos dependiendo del sistema de resina del material preimpregnado.

El autoclave usado para el curado de estas piezas está construido en base a un sistema de calentamiento mediante resistencias eléctrica que elevan la temperatura del aire contenido en el interior del mismo hasta el valor necesario para la ejecución del proceso.



Figura 57: Autoclave

Una potente turbina se encarga de establecer una circulación de la masa interior de aire a través del cuerpo del autoclave evitando la formación de bolsas o estratos que pudieran afectar a la homogeneidad de la temperatura en el interior del equipo, y mejorando la transmisión calorífica al producto. La refrigeración se realiza por medio de agua en circulación continua en pequeñas cantidades.

Independientemente de las presiones originadas por el calentamiento del aire interior existe un sistema de válvulas y controles que permiten la introducción de aire comprimido y/o nitrógeno (o eliminación del mismo) en

cualquier momento del ciclo de trabajo, independizando por tanto la presión de la temperatura.

El enfriamiento se realiza introduciendo agua fría en una batería de tubos aleteados ubicada en el interior del cuerpo de presión del equipo y forzando la circulación del aire a través de la mencionada batería.

Todo el proceso se desarrolla de forma automática controlado por un microprocesador que recibe las señales de los diferentes captadores y acciona los diferentes actuadores y válvulas de acuerdo con el ciclo preestablecido, registrando las variaciones de presión y temperatura que se van produciendo y activando las alarmas en caso de existir anomalías.

A efectos de evitar en la medida de lo posible las pérdidas caloríficas, el equipo se suministra calorifugado por su interior con una capa de lana mineral y protegida esta convenientemente con un revestimiento.

Este equipo incluye sensores de presión/vacío y temperatura interiores de producto que nos permiten conocer, en tiempo real durante el proceso, los valores de presión, vacío y temperatura que tiene el composite que en ese momento se está consolidando.

Descripción del funcionamiento

Una vez llenos los carros contenedores con el material compuesto, se transportan hasta el autoclave. La introducción de los mismos al interior se efectúa de forma manual.

La puerta se cierra mediante sus actuadores hidráulicos y/o neumáticos por pulsadores de control ubicados en el cuadro de maniobra del autoclave. Para garantizar el correcto cierre de la misma es preciso enclavar de forma manual una válvula de seguridad de puerta que a su vez desactiva el microinterruptor de seguridad de puerta y permite comenzar el ciclo establecido.

Una vez accionado el interruptor de puesta en marcha, el ciclo de trabajo se desarrolla de forma totalmente automática en función de las variables de proceso almacenadas en cada uno de los diferentes programas del microprocesador.

Calentamiento

Normalmente, la turbina comenzará a girar y las resistencias eléctricas comenzarán a elevar la temperatura del aire del interior del cuerpo del autoclave según la curva de calentamiento prefijada.

Dicha curva de calentamiento se habrá definido previamente en la definición de cada uno de los programas y una regulación a base de transistores se ocupa de incrementar o disminuir paulatinamente y en función de las necesidades la potencia eléctrica que le llega a cada uno de los grupos de resistencias mencionados.

Al alcanzar la temperatura de proceso establecida, comenzará la fase de curado propiamente dicha a un valor previamente prefijado. De esta forma comienza la cuenta atrás hasta que haya transcurrido ese tiempo programado. Durante el mismo, las variables seleccionadas permanecerán constantes. La velocidad de subida en el calentamiento será calculada en función del equipo de calentamiento para establecer la necesaria de entre 0,5-3°C/min.

Enfriamiento

El enfriamiento se realiza después de transcurrida la fase de polimerización pudiendo definir exactamente la temperatura final a conseguir y el gradiente de temperatura que ha de existir durante la duración del mismo. Físicamente, una batería intercambiadora de tubos aleteados refrigerada continuamente por agua absorbe la cantidad de calor necesaria del aire circulante en el interior del cuerpo de presión. Una válvula neumática regula el caudal de entrada del agua a dicha batería. La velocidad de enfriamiento será calculada en función del intercambiador para establecer la necesaria de entre 1-3°C/min.

La presión a conseguir en cada momento del proceso, así como el gradiente de presión existente es programable, siendo totalmente independiente de las temperaturas a conseguir o de las fases de proceso a realizar.

Fin de ciclo

Una vez finalizado el enfriamiento y regularizada la presión interior, el microprocesador señalará el fin de ciclo, pudiendo a partir de este momento abrir la puerta (que permanecerá bloqueada mientras exista presión interior) y retirar los carros con el producto.

El equipo avisa del fin de ciclo mediante señales acústicas y luminosas. Una vez retirada la carga interior, el autoclave queda en disposición de comenzar un nuevo ciclo con una nueva carga.

Los ciclos de curado

Estos se determinan empíricamente. Un ciclo de curado clásico, como se verá posteriormente consta de varios pasos, rampas de subida de temperatura, periodos de mantenimiento a unas temperaturas determinadas y rampa de bajada. No sólo la temperatura varía a lo largo de un ciclo de curado, sino que también la presión aplicada al laminado. La figura siguiente muestra un ciclo de curado de una resma epoxi.

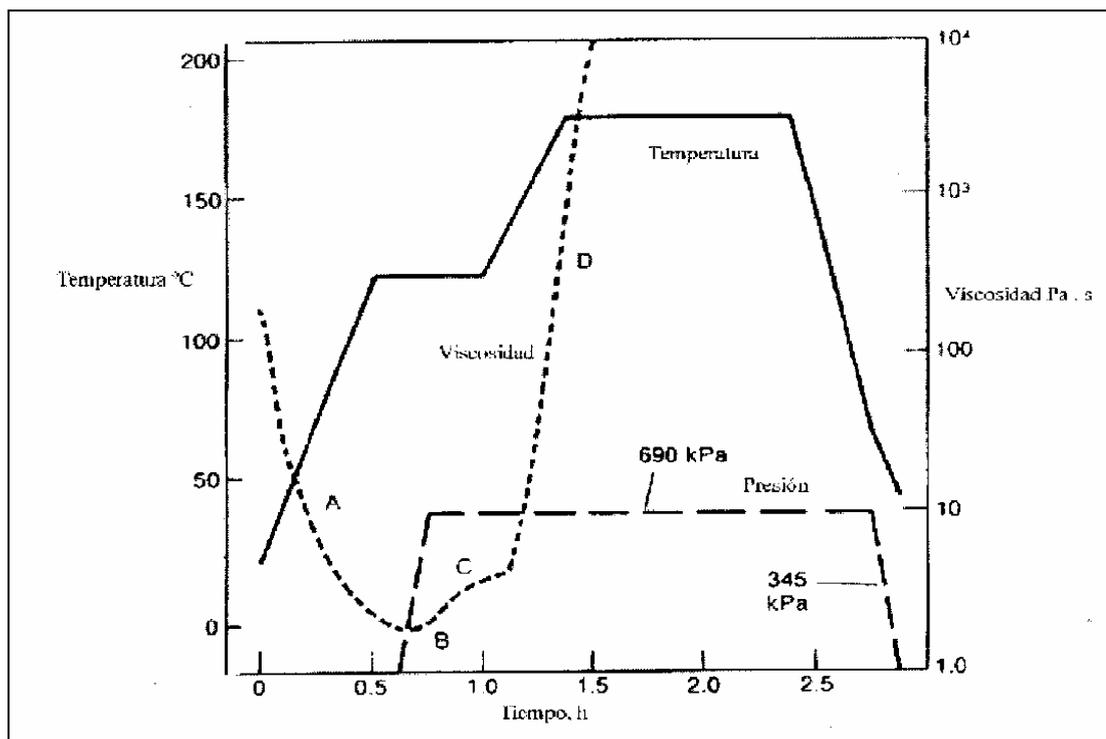


Figura 58: Variación de los parámetros a lo largo del ciclo de curado.

Con la variación de estos parámetros temperatura/presión, se controla la viscosidad de la resma, y con ella el flujo de la misma dentro del laminado asegurando la compactación entre las distintas capas. Una viscosidad demasiado baja en un periodo con altas presiones puede ocasionar una

pérdida de ésta a través del film sangrador, mientras que una viscosidad demasiado alta a baja presión evita la correcta compactación del apilamiento.

La figura siguiente muestra la variación de la viscosidad de una resina epoxi, diferenciando entre un ciclo con un periodo de mantenimiento a 115 °C y otro a 130°C.

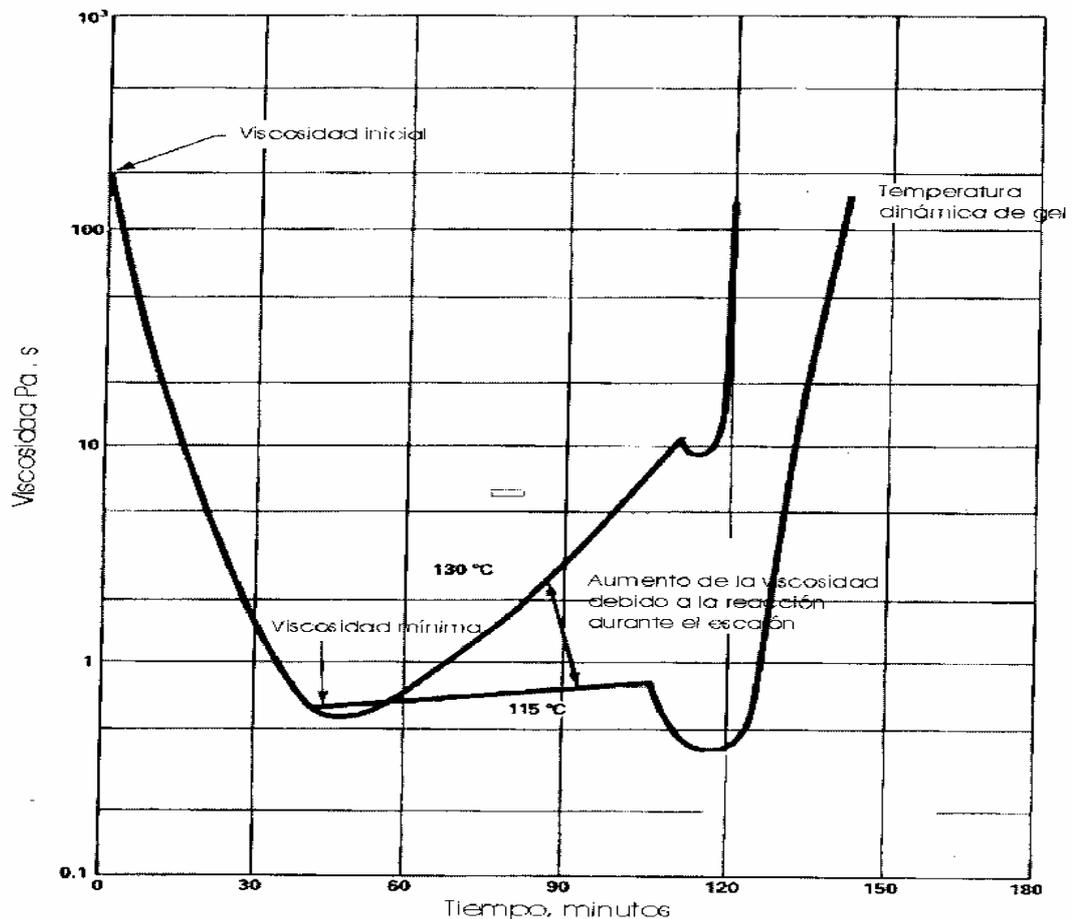


Figura 59: Comparación de la viscosidad de una resina con dos ciclos de curado distintos.

El ciclo de curado permite la transformación de los grupos reactivos a un ritmo tal que el calor de la reacción exotérmica pueda ser evacuado. Un posterior recalentamiento (postcurado), resulta mucho más seguro, debido a que la proporción de grupos reactivos se ha reducido tras el primer curado.

De este modo se diseñan los ciclos de curado de las resinas en función de su tipo, teniendo en cuenta el tipo de fibra, y el espesor del laminado, con el fin de obtener las propiedades mecánicas óptimas.

Del ciclo de curado utilizado, conjuntamente con la preparación de la bolsa de vacío, dependen, en gran medida, la calidad final de los elementos fabricados con materiales compuestos.

Como venimos diciendo, los diferentes tipos y métodos de curado se basan en la aplicación de temperatura presión y/o vacío durante un tiempo determinado. En el caso de materiales compuestos avanzados, el proceso de curado suele realizarse en autoclaves por medio de los cuales se realiza la aportación de calor y presión para lograr la reacción de polimerización de la resina y/o adhesivos, durante un proceso totalmente controlado.

Las condiciones específicas de curado dependen principalmente del sistema de resina del material preimpregnado (alta o baja temperatura), tipo de estructura a fabricar, tipo y material del útil, etc.

Problemas e incidencias más comunes en el ciclo de curado

Rotura de la bolsa (entrada de presión).

La rotura de la bolsa puede provocar una entrada de Presión en la misma, que puede producir una baja calidad de las piezas fabricadas. Si la rotura se produce durante el calentamiento y a Tª inferior a 100 °C, se podrá abortar, reparar la bolsa, y reiniciar el ciclo de curado (en ciclos de alta temperatura de curado), o a Tª inferior a 70 °C (en los ciclos de curado a 120 °C).

Si la rotura se produce durante el calentamiento y a temperaturas superiores a las indicadas anteriormente, se decidirá, caso por caso, en función de la temperatura de rotura, tipos de materiales, cantidad e importancia estructural de las piezas, etc.

Estos criterios anteriores son generales, en función de las características del material (viscosidad, tiempo y temperatura de gelificación), podrán establecerse otras condiciones específicas.

7.3.6. Desmoldeo

El desmoldeo es la operación de separación del conjunto laminado /útil por medio de aparatos como espátulas y otras herramientas. La aplicación del desmoldeante facilitará esta operación.

Para ello se aplicarán 2 capas de desmoldeante MEK (metil etil cetona), una en sentido perpendicular a la otra con el objeto de asegurar que toda la superficie del útil es impregnada de frekote. El tiempo de curado entre ambas capas de 15 minutos.

Una vez limpias las superficies del útil, estas deben secarse completamente antes de aplicarse el agente desmoldeante. En el caso de que aparezcan condensaciones, estas deben eliminarse mediante un ligero calentamiento de útil.

Las piezas en general no deberán desmontarse del útil de curado hasta que alcancen una temperatura inferior de 60°.

7.4. Coencolado y cierre

Este es el paso final en el proceso de fabricación de la pieza, y al mismo tiempo el más importante, ya que este es el proceso donde la pieza adquirirá las características aerodinámicas y de aeronavegabilidad.

Las pautas a dar en este proceso son:

- 7.4.1. Coencolado
- 7.4.2. Desmoldeo
- 7.4.3. Mecanizado de la pieza
- 7.4.4. Ensayos de control
- 7.4.5. Requisitos de calidad

7.4.1. Coencolado

Un encolado es un proceso en el cual parte de los elementos que van a formar la pieza han sido curados con anterioridad (precurados) y otra parte están sin curar, uniéndolos en una operación final de encolado mediante adhesivo. En la aeronáutica, también se permiten otros dos tipos de curados: el cocurado, en el que todos los elementos que constituyen la pieza, capas de material preimpregnado, adhesivos, núcleos, etc... se curan en una sola operación de autoclave y el coencolado secundario donde los diferentes elementos que intervienen en la construcción de la pieza han sido curados con anterioridad.

Una vez que tenemos el núcleo estabilizado y los dos revestimientos precurados procederemos al pegado y encolado de las tres piezas, para conformar la estructura “sándwich”. Para ello nos valdremos del mismo útil empleado para el apilamiento y compactación de las telas del revestimiento en “V”.

El proceso comenzaría con la limpieza, desengrase y preparación superficial del útil. Al igual que en el proceso de lay-up, esta limpieza y desengrase se realizará con disolventes apropiados (MEK). Posteriormente se aplicará sobre el útil un agente desmoldeante (comúnmente conocido como FreKote), para evitar que se le adhiera la superficie exterior de la pieza precurada.

Seguidamente, se introduce la pieza en “V” y se aplica adhesivo foam tanto en la cara interior como en las tres caras del núcleo. Se deposita el núcleo en el interior y se coloca encima de este la pieza en “C”.

Con todo el conjunto preparado, se procede a realizar la bolsa de curado tal y como se definió en el apartado 7.3.4. (el proceso es el mismo q para la bolsa de vacío). El proceso es exactamente el mismo por lo que no se define aquí. Lo que sí varía, es la presión de vacío que se le hace a la bolsa, previa a la introducción en autoclave. Si en el caso del laminado la presión de vacío aplicada era de 0,7 – 0,8 bares, en el caso de estructuras sandwiches la presión mínima disminuye, siendo de 0,1 – 0.2 bares.

La temperatura máxima a la que puede curarse cualquier núcleo es de 180°C, es por ello que en el curado final del conjunto habrá que tenerlo en cuenta a la hora de programar el ciclo. La presión de autoclave no podrá exceder de 3,5 bares.

7.4.2. Desmoldeo

El proceso de aplicación de desmoldeante se llevará a cabo del mismo modo que en la operación de precurado, es decir; de manera homogénea y uniforme.

Debido a que el agente de desmoldeo contiene disolventes inflamables, es imprescindible llevar a cabo esta operación en una zona aireada, y evidentemente; fuera de la sala limpia.

La periodicidad de renovación del agente desmoldeante es función de la configuración del útil, del material del q está fabricado, condiciones del ciclo de curado al que está sometido, daños superficiales sufridos durante la operación de desmoldeo y tipo de agente desmoldeante utilizado. Por consiguiente, se revisará el estado superficial del útil una vez desmoldeadas las piezas, indicando, si es necesario, la limpieza total o parcial de la superficie del útil. La duración estimada suele ser de ciclos.

Además, este producto es sensible a la humedad, por lo que hay que mantener siempre los envases herméticamente cerrados cuando no se estén utilizando y abrir únicamente en el momento de su utilización.

7.4.3. Mecanizado de la pieza

La mayoría de las piezas aeronáuticas se fabrican con creces que pueden variar entre décimas de milímetro para piezas pequeñas y dos centímetros para piezas grandes y revestimientos.

Es por ello que en el diseño de esta pieza, este factor se ha tenido en cuenta y ambos revestimientos se fabricarán con creces de 5mm, para después ser recanteados con las dimensiones diseñadas.

Los materiales compuestos son malos conductores del calor y por tanto no disipan el calor generado por el mecanizado, llegando a alcanzar altas temperaturas locales, que pueden llegar a degradar. Para evitar que el mecanizado pueda originar degradación del material por efectos térmicos es necesario controlar la temperatura que se origina en el proceso, para lo cual es recomendable usar fluidos refrigerantes (aire seco, CO₂...) en casos especiales podrán usarse también refrigerantes líquidos autorizados.



Figura 60: Recanteadora o máquina de mecanizado

Pero no siempre se utilizan refrigerantes en el mecanizado, en este caso, es necesario llevar a cabo un especial seguimiento de la primera pieza fabricada y siguientes para comprobar que no se han producido daños por sobrecalentamiento, los cuales remanifiestan por la aparición de anomalías como decoloraciones, deformaciones, ovalizaciones... Si aparecen este tipo de problemas se han de variar los parámetros del mecanizado: velocidad de corte, geometría y material de la herramienta, etc. hasta verificar que la temperatura del proceso es la adecuada.

Las fibras y las resinas de la matriz orgánica tienen un elevado poder abrasivo que se manifiesta por una rápida erosión de los filos en las herramientas de mecanizado, por lo que la vida de las herramientas de mecanizado está limitada. Es necesario controlar las herramientas y su acción durante el mecanizado debiendo ser sustituidas o reparadas cuando se produzca alguno de los siguientes supuestos: tolerancias excesivas, temblor de la herramienta, se astillen los bordes de corte, bordes poco afilados o faltos de material abrasivo o se observen otras evidencias de acción de corte inadecuadas como olor a quemado, humo y decoloraciones en el material que indiquen sobrecalentamiento del mismo. El uso de herramientas dañadas o fuera de su vida de uso produce malos acabados y defectos en la calidad del mecanizado.

Los bordes de las piezas mecanizadas serán suaves y uniformes y estarán libres de fibras deshilachadas o desiguales. Es necesario también suavizar los bordes ásperos que pudieran existir mediante lijado suave con una lija de alúmina de grano 180 o más fino.

En el corte de composites o vidrio se emplean hojas o discos con la zona de corte recubierta de diamante, pudiendo ser esta lisa o dentada. Se

recomienda el uso de hojas o discos sin dientes, de diamante de grano 60/80; con este tipo de herramienta se reduce casi por completo el riesgo de que se produzcan delaminaciones.

Para el recorteo en seco de fibra de carbono y de vidrio se recomienda emplear los siguientes parámetros:

- En espesores menores de 2,5 mm usar velocidad de avance de 1500 mm/minuto aprox.
- En espesores de 2,5 a 5,0 mm usar una velocidad de 1000 mm/minuto aprox.
- En espesores mayores de 5,0 mm usar una velocidad de avance de 500 m/minuto aprox.

El resultado final de todo este proceso es la obtención final de la pieza:

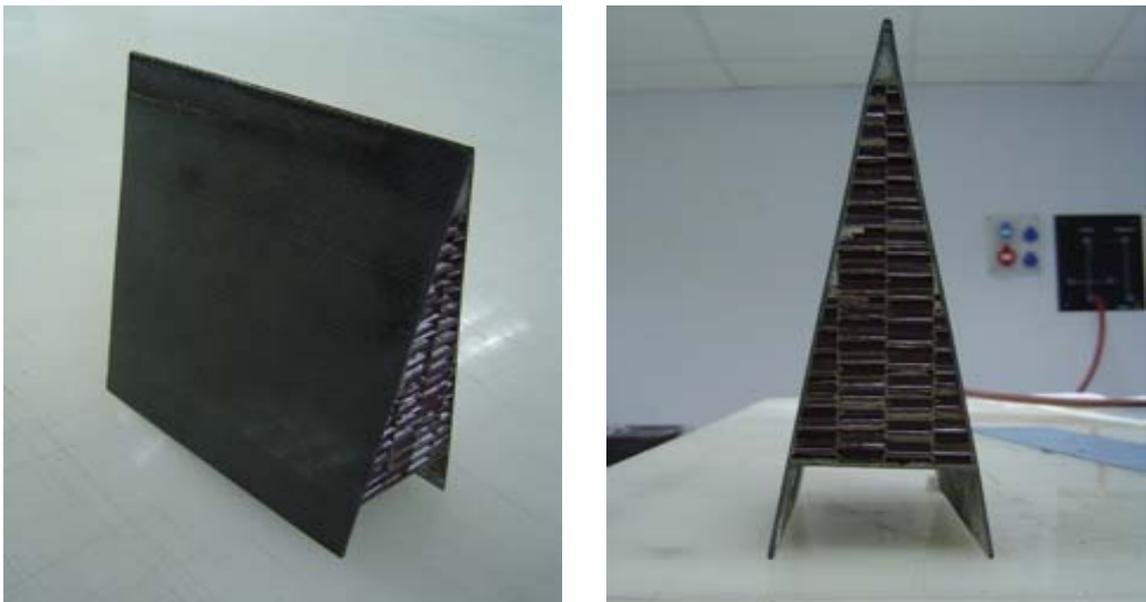


Figura 61: Imagen final de la pieza acabada

7.4.4. Ensayos de control

Según las normas aeronáuticas, las estructuras sándwich deberán ser sometidas a los ensayos de cortadura interlaminar y tracción plana. Así mismo y excepto indicación expresa en otro sentido, todos los elementos sandwichts fabricados, deberá realizarse el ensayo de estanqueidad, debiendo cumplirse la estanqueidad /ausencia de fugas de los mismos.

De forma opcional, la normativa aeronáutica propone realizar una inspección ultrasónica por transmisión y otra por eco-pulso.

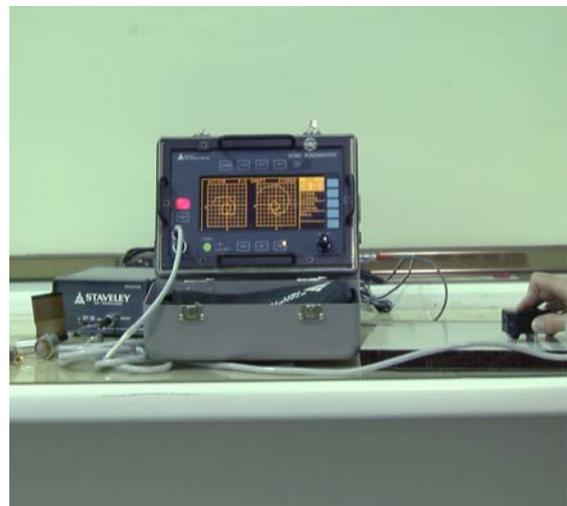


Figura 62: Medidores de ensayos de control

7.4.4.1. *Ensayo de cortadura interlaminar*

Para llevar a cabo estos ensayos, deberemos hacer una probeta tal y como refleja la norma correspondiente para comprobar que los materiales y proceso de curado se han realizado de forma correcta. A este respecto, para procesos de cocurado, coencolado ó encolado secundario en estructuras “sandwichs”, las probetas a fabricar para realizarles este tipo de ensayo, tendrán unas dimensiones de 200x200 mm y deberán realizarse en el mismo ciclo de autoclave. La configuración de capas y el adhesivo a emplear en la fabricación de esta probeta será similar a la de nuestra pieza.

Este ensayo se llevará a cabo en una máquina de tracción-compresión, con una precisión en la escala de cargas del 1% y con sistema de registro de la curva carga-deflexión.

El útil de ensayo constará de un rodillo para la aplicación de la carga y dos rodillos de apoyo de la probeta, paralelos entre sí como se indica en la figura .

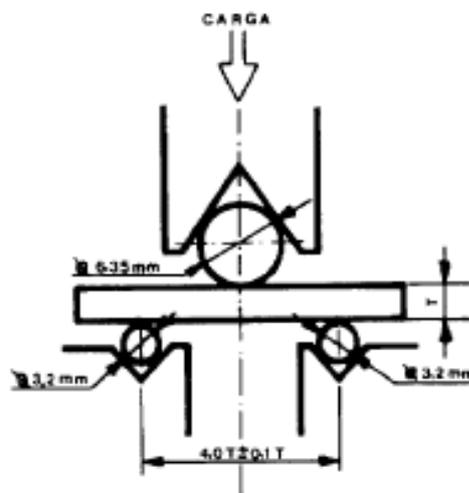


Figura 63: Útil de ensayo para cortadura interlaminar

Para la calificación y recepción de materiales, el cálculo de resultados se realizará tomando el espesor nominal.

El esfuerzo de rotura por cortadura laminar, se calculará de acuerdo con la fórmula:

$$\sigma_R = \frac{3P}{4WT}$$

donde: σ_R : esfuerzo de rotura (N/mm²).
P: carga de rotura (N)
W: anchura de la probeta (mm)
T: espesor (mm)

7.4.4.2. Ensayo de cortadura a tracción en sentido plano

Al igual que antes, necesitaremos realizar paneles de ensayo en el mismo ciclo de curado (para procesos de cocurado, coencolado ó encolado secundario en estructuras “sandwichs”). Las probetas a fabricar para realizarles el ensayo de resistencia a tracción en sentido plano, tendrán unas dimensiones de 300x300 mm y deberán realizarse en el mismo ciclo de autoclave. La disposición de telas es la siguiente: 0°, 0°, núcleo, 0°, 0°. En cambio ahora, el adhesivo empleado dependerá de la temperatura a la que haya de realizarse el ensayo.

Cada probeta se fijará a dos bloques metálicos o útiles, que se acoplarán a la máquina de ensayo mediante dos pasadores cilíndricos. Las dimensiones de los bloques y su posicionamiento para la aplicación de la carga se muestran en la siguiente figura:

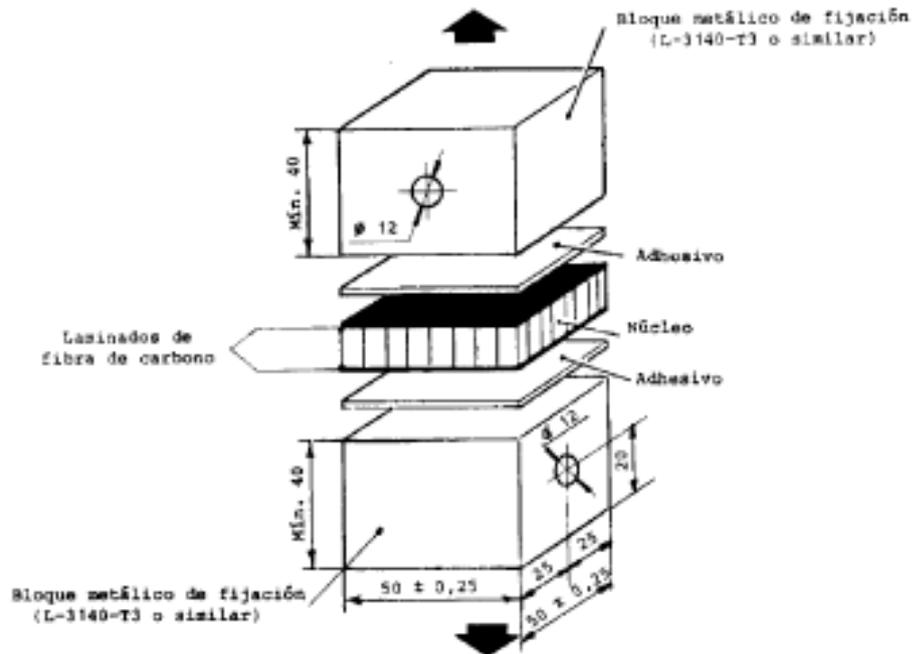


Figura 64: Fijación de las probetas para ensayo de tracción plana.

El esfuerzo de rotura por resistencia a tracción, se calculará de acuerdo con la fórmula:

$$\sigma_R = \frac{P}{L_1 \times L_2}$$

donde: σ_R : esfuerzo de rotura (N/mm²).
 P: carga de rotura (N)
 L₁ y L₂: dimensiones del laminado de fibra de carbono (MM)

Para que el ensayo sea considerado correcto, el fallo debe producirse por delaminación entre el revestimiento de fibra de carbono y el núcleo honeycomb.

7.4.4.3. *Ensayo de estanqueidad en estructuras sándwich*

El ensayo de estanqueidad tiene por objeto la detección de zonas de elementos o estructuras sándwich insuficientemente selladas o estancas.

La entrada de líquidos en el interior de un elemento o estructura sándwich puede producir daños en servicio tales como: delaminaciones en laminados, descolados, absorción de agua, etc.

Cuando nuestra pieza vaya a ser sometida a esta prueba de estanqueidad, deberá ser antes inspeccionada visualmente con el fin de detectar fallos en el sellado, delaminaciones, roturas, huecos, porosidades, falta de resina, etc. que permitan la entrada de agua.

Los posibles defectos de falta de estanqueidad, serán evidenciados por la aparición de aire. Cuando en un ensayo se detecten burbujas, la zona será marcada y la pieza se sacará del agua inmediatamente.

La duración adecuada de la inspección se determinará teniendo en cuenta el material y el espesor del revestimiento de la pieza (independientemente de la altura y tipo de núcleo honeycomb empleado). La siguiente tabla recoge los tiempos recomendados para distintos materiales y espesores de los revestimientos, si bien estos no deberán sobrepasar en ningún caso los 120 segundos.

ELEMENTO		TIEMPO DE INMERSION EN SEGUNDOS	
Material	Espesor de revestimientos	mínimo	máximo
Metálico	Cualquiera	30	60
Compuesto	En todo el elemento < 5 mm	30	60
Compuesto	En alguna zona > 5 mm	60	120 (*)

Tabla 9: Tiempos de inmersión

Cuando se detecten indicaciones de defectos importantes y continuos (indicaciones típicas de agujeros, defectos de sellado, etc...) o cuando aún siendo ligeras, se hayan detectado durante el ensayo desviaciones entre los parámetros utilizados (temperatura del agua, tiempo y profundidad de inmersión) el elemento se secará en estufa a una temperatura de 70°C durante un tiempo mínimo de 60 minutos, cuidando de que la cara del elemento por la que se han detectado los indicios de defectos quede hacia abajo, para facilitar la salida del agua. Posteriormente al secado, y con el fin de detectar la posible existencia de agua en su interior los elementos serán inspeccionados por termografía. En caso de seguir detectando agua en su interior, se procederá a su eliminación mediante secado en estufa con bolsa de vacío a una temperatura también de 70°C y con un vacío que oscila entre 200 y 250 mm de Hg, manteniéndose en estas condiciones un mínimo de 4 horas. Se comprobará la eliminación del agua inspeccionando el elemento por el mismo método de inspección no destructiva utilizado anteriormente.

Esta prueba de estanqueidad deberá realizarse siempre antes de la prueba de inspección por ultrasonidos.

7.4.4.4. Ensayo de inspección ultrasónica por transmisión

Este ensayo se basa en la medida de la energía ultrasónica que atraviesa la pieza entre un palpador emisor y otro receptor. Un elemento sin defecto dejará pasar (transmitirá) más energía que uno defectuoso en el que las continuidades (como poros, delaminaciones, etc...) producen dispersión y reflexión en el haz ultrasónico con lo que la cantidad de energía recibida por el palpador receptor es menor.

El ensayo se llevará a cabo manualmente, si bien, pueden realizarse también por inmersión o chorro de agua, muy raramente por contacto. Los palpadores van montados en un útil que los mantiene enfrentados y que permite la regulación fina de la exposición y orientación de tal manera que, durante la puesta a punto del sistema se logre la máxima señal transmitida.

Esta técnica de inspección se puede considerar adecuada para detectar y evaluar variaciones significativas de atenuación tales como las producidas por:

- acumulaciones de resina
- delaminaciones
- porosidad
- descolado en zonas de laminado-laminado y laminado-núcleo.

También permite la detección de objetos extraños o porosidades en las capas siempre y cuando éstas provoquen una suficiente atenuación en la señal transmitida.

El equipo necesario para llevar a cabo este ensayo es el compuesto por:

- palpadores
- equipos de ultrasonidos
- equipamiento informático y electrónico para equipos de barrido automático y semiautomático
- sistemas de barrido
- sistemas de inspección ultrasónica.

Se fabricarán también piezas patrón representativas de los elementos a inspeccionar para verificar la técnica de inspección, calibrar los sistemas de inspección, y para comparar con el propio elemento a inspeccionar.

Estos sistemas de inspección, deberán ser calibrados previamente a la inspección para demostrar que los parámetros de inspección que se establezcan garantizan una adecuada detección de los defectos del tamaño mínimo detectable.

Frecuencia (MHz)	1	2.25 to 2,5	5	10
LAMINADO	N/A	6	12	15
SÁNDWICH	18	21	N/A	N/A

Tabla 10: Valores de atenuación admisible en dB.

7.4.4.5. Ensayo de inspección ultrasónica por eco-pulso

El método de eco-pulso se basa en la indicación que produce la reflexión de un haz ultrasónico al incidir sobre una discontinuidad.

En este método, el palpador actúa alternativamente como emisor-receptor y recoge los ecos de las distintas discontinuidades de un elemento, transformándolos en indicaciones en una pantalla que proporciona información sobre la distancia a la que se encuentra la discontinuidad y la cantidad de energía ultrasónica reflejada.

En el método de eco-pulso al utilizar un único palpador que actúa como emisor-receptor es necesario la accesibilidad por una cara del elemento.

Al igual que en el de transmisión, este ensayo se llevará a cabo de forma manual, si bien puede llevarse de forma automática. Este ensayo de pulso-eco aporta más información que el de transmisión, aunque la contrapartida es que el haz ultrasónico tiene que atravesar dos veces el espesor de la pieza, lo cual aumenta la atenuación para grandes espesores, lo que puede llegar a hacer inviable la inspección de materiales con lata atenuación.

El campo de aplicación en el cual esta técnica se puede considerar adecuada para detectar y evaluar variaciones significativas de la señal ultrasónica es amplio:

- variaciones en le espesor
- delaminaciones

- objetos extraños
- porosidad/huecos y, en general, zonas de atenuación
- descolado: laminado-laminado
- defectuosa posición de elementales dentro de un conjunto.

El equipo necesario para llevar a cabo este ensayo es el mismo que para el de ultrasonidos por transmisión, es decir; el compuesto por:

- palpadores
- equipos de ultrasonidos
- equipamiento informático y electrónico para equipos de barrido automático y semiautomático
- sistemas de barrido
- sistemas de inspección ultrasónica.

Al igual que antes, también se fabricarán también piezas patrón representativas de los elementos a inspeccionar para verificar la técnica de inspección, calibrar los sistemas de inspección, y para comparar con el propio elemento a inspeccionar.

Se deberá realizar una calibración inicial al comenzar las inspecciones y un chequeo periódico cada hora cuando se termine la inspección de un elemento si ésta dura más de una hora.

7.5. REQUISITOS DE CALIDAD

Garantía de Calidad, deberá asegurar el cumplimiento de todos los requisitos que figuren el plano, que en el caso de la pieza terminada son los siguientes:

- Comprobar que tras el curado, la pieza se encuentra dentro de los límites de aceptación.
- Todas las piezas curadas serán inspeccionadas visualmente en cuanto a posibles deformaciones y defectos superficiales, de observarse estos volverán a ser evaluados por el departamento de revisión de materiales y el de calidad.
- Deberá comprobarse la eliminación de los tejidos pelables que puedan quedar en la pieza tras el proceso de desmoldeo.
- Al igual que todas las piezas fabricadas en materiales compuestos de fibra de carbono, se prepararán los requisitos específicos de procesos (REP) oportunos, en los que, entre otros requisitos, se indicará el tipo de inspección no destructiva a realizar, tipos de probetas, ensayos de control de proceso y los criterios de aceptación
- Las dimensiones y geometrías de las piezas y elementos reparados deberán cumplir los requerimientos del plano o REP aplicable.
- Como hemos dicho anteriormente, en todas las piezas sandwichs se realizarán pruebas de estanqueidad según la especificación

aplicable a este proceso, excepto que el plano, REP o documentación aplicable indique lo contrario.

- Durante la manipulación y transporte de piezas por las distintas zonas de operación para realizar su reparación deberá asegurarse que no se produzcan choques ni daños que afecten la calidad final de la pieza reparada.

Del mismo modo, Garantía de Calidad también deberá asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos tanto para los **materiales** usados como para el **proceso de fabricación**.

Entre los requisitos de calidad para los materiales, destacan:

- Los materiales preimpregnados de fibra de carbono y los adhesivos estructurales utilizados cumplirán los requisitos indicados en la ficha técnica de su correspondiente norma.
- Todos los materiales preimpregnados y adhesivos estarán dentro de los tiempos límites de utilización de los mismos.
- Los materiales perecederos no rebasarán su ficha límite de utilización y los tiempos de exposición en el taller.
- El almacenaje y manejo de los materiales preimpregnados, núcleos, resinas y adhesivos estará de acuerdo con los requisitos de la norma

de fabricación y de la de reparación de materiales compuestos y con sus correspondientes fichas técnicas.

- Los requisitos de calidad para el proceso de fabricación incluyen la realización de los siguientes controles como mínimo:
- Temperatura, sobrepresión, humedad y limpieza de la sala de “Lay - Up”.
- Funcionamiento del autoclave, de los equipos auxiliares e instalaciones y de la consola de reparación, así como de todos y cada uno de los aparatos y sistemas de medida, comprobando que se encuentran dentro del periodo de validez y de su certificación.
- Ambientación de los materiales almacenados a baja temperatura.
- Útiles de fabricación exentos de contaminantes y aplicación correcta de los desmoldeantes.
- Correcta orientación de telas y núcleos.
- Eliminación de protecciones de preimpregados, adhesivos y núcleos estabilizados antes del proceso de “Lay Up”.
- No se deberán producir durante la etapa de “Lay Up” mezclas de preimpregnados de suministradores diferentes
- Registros y correcto almacenaje de los materiales almacenados a baja temperatura, así como su tiempo de vida acumulado.

- Empalmes de núcleos y adhesivos dentro de las tolerancias permitidas.
- En caso de que existan defectos en los preimpregnados y/o núcleos, será preciso comprobar que estos se encuentran dentro de los límites de aceptación que establece las normas de fabricación y reparación de materiales compuestos.
- Comprobación de la preparación superficial y eliminación de los pelables, en las elementales precuradas que vayan posteriormente a ser encoladas.
- En el ciclo de curado:
 - Chequear la estanqueidad de la bolsa de vacío.
 - Presión, vacío, T^a, tiempo y velocidad del ciclo de curado.
 - Comprobar la correcta colocación de los termopares.

Registros de control

El departamento de calidad, deberá de establecer un procedimiento para la documentación de control que garantice una adecuada trazabilidad, tanto de las materias primas (,materiales, lote, rollo, especificación, fecha de la reparación, informes de inspecciones, HNC´s, etc.) como de todos los elementos utilizados en la reparación de cada elemento (nº de rollo, ciclo de curado, número de pieza, resultados de ensayos e inspecciones, validación de HNC´s, hojas de conformidad, etc.), durante toda la vida útil de la pieza en vuelo.

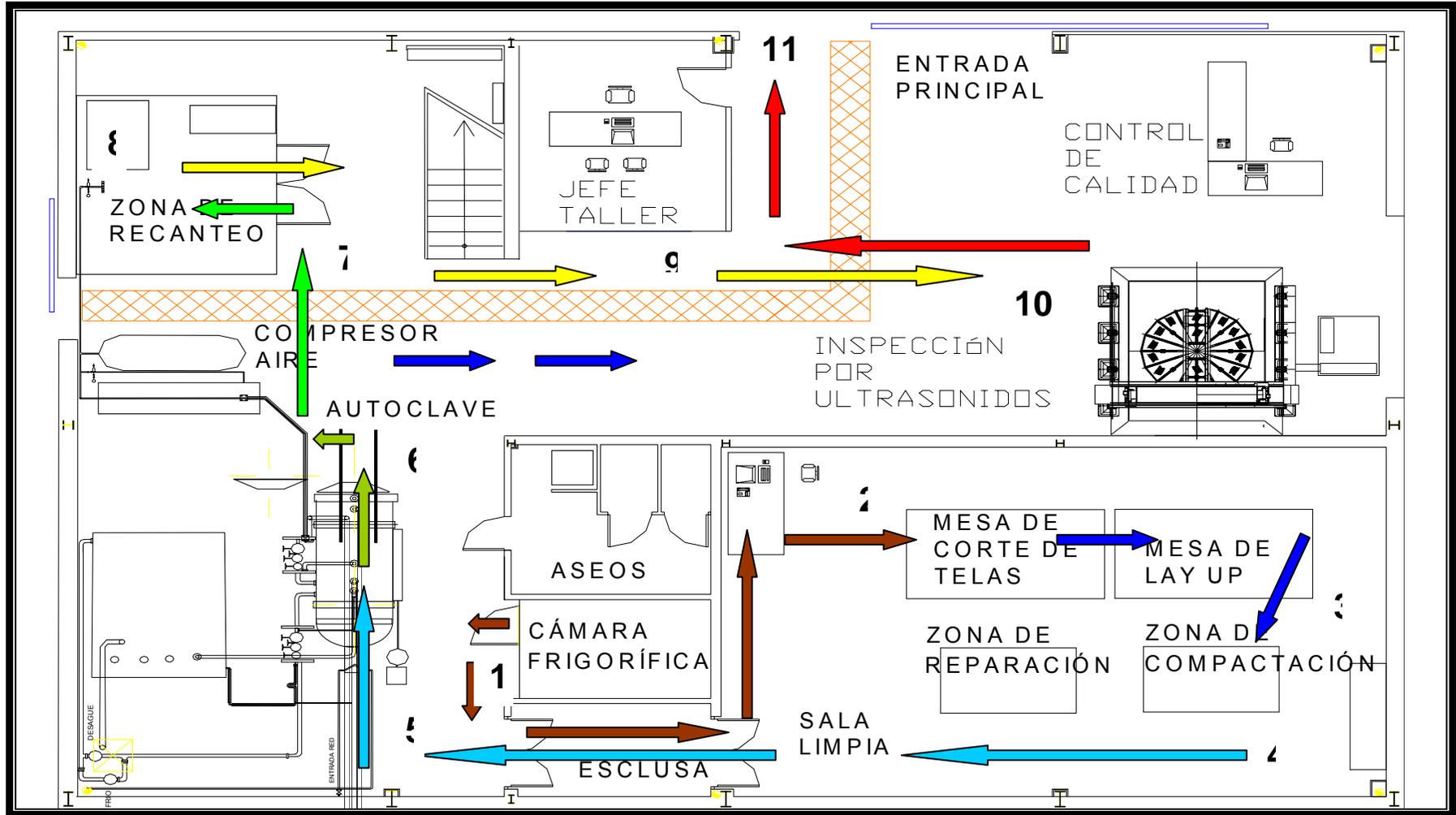
7.6. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

En el siguiente gráfico se muestra un diagrama de flujo de proceso de fabricación de composites en la planta en la que basa el presente proyecto.

En el gráfico se aprecia el recorrido que realiza la pieza, desde que entra la materia prima hasta que la pieza sale hacia expediciones.

Se muestra el proceso el proceso por las flechas de color:

- Salida del material de la cámara frigorífica entrada en sala limpia para atemperamiento.
- Corte de kits de telas y apilado (lay Up).
- Preparación de bolsa de curado, y carga a autoclave.
- Desmoldeo y limpieza del utillaje.
- Recanteo y rebarbado del elemento.
- Inspección por ultrasonidos.
- Control de calidad.
- Entrega a cliente y expedición.



7.7. JUSTIFICACION DE LA CONFIGURACIÓN DEL NUEVO DISEÑO

En este apartado trataremos de justificar que la configuración que hemos diseñado es mejor que la que existe actualmente, razonando el número de telas empleadas para los revestimientos y orientación de las mismas en cuanto a propiedades físicas y mecánicas.

7.7.1. Justificación del peso

Demostraremos que el peso de la pieza de esta nueva propuesta busca una situación de compromiso entre dos posibles situaciones:

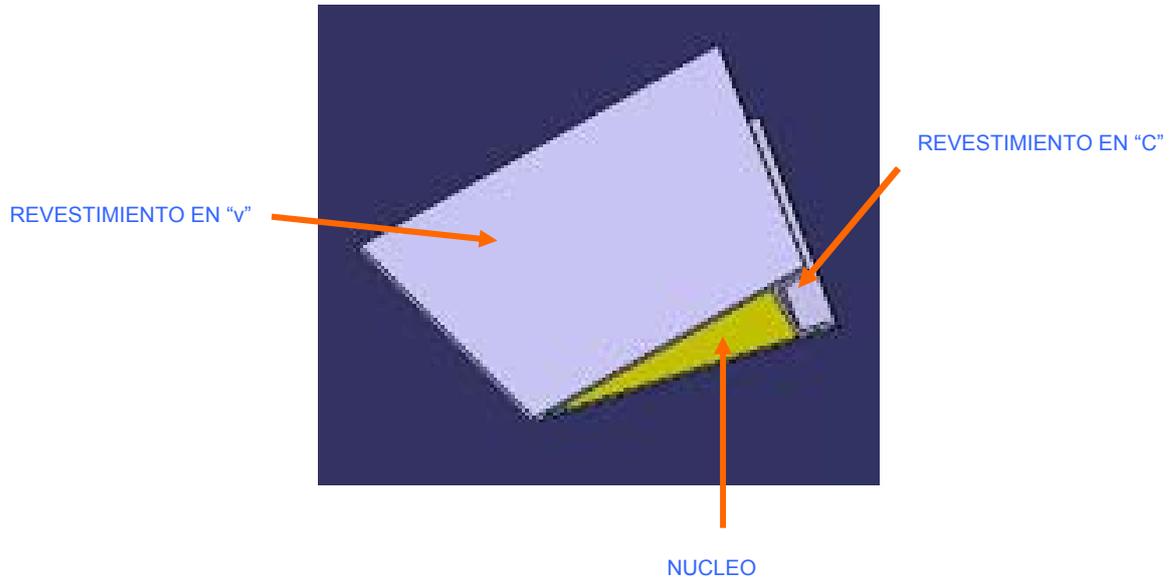
- Por una parte, conseguir una pieza con un peso considerablemente menor que es uno de los principios básicos cuando se diseñan piezas aeronáuticas.
- La otra opción que se baraja es sacrificar parte de esa reducción de peso en favor de una mejora de las propiedades mecánicas de resistencia.

Hemos hablado ya del importante ahorro de peso de estructuras en composites con respecto a estructuras en metal, pero ahora lo podemos ver claramente con un ejemplo: el estabilizador horizontal del avión “boeing 737” pesa en metal 118,2 kg mientras que la misma estructura en fibra de carbono baja hasta los 86,2 kg. El ahorro es bastante significativo, concretamente del 27,1%. Otras estructuras primarias, secundarias y elementales de un avión que también montan estructuras en carbono, ya sean alas, fuselaje, estabilizador horizontal, costillas, revestimientos...

presentan un ahorro de peso muy similar. El objetivo del proyecto que aquí se presenta es conseguir también un ahorro parecido.

Pero no sólo el ahorro de peso es lo que se persigue con estos materiales; la seguridad en vuelo es el elemento primordial a la hora de diseñar cualquier elemento aeronáutico y es por ello que cualquier elemento que se diseñe ha de soportar como mínimo la misma carga que su homólogo metálico.

Peso de la configuración actual



-Revestimiento aluminio 2024 T3 en "V" :

Espesor: 1 mm: 0,001 m

Superficie: 0,587 m²

Volumen: 0,587 m² x 0,001m: 5,87 x 10⁻⁴ m³

Densidad: 2858 kg/ m³

Peso: 5,87 x 10⁻⁴ m³ x 2858 kg/ m³: 1,677 kg

-Revestimiento aluminio 2024 T3 en "C" :

Espesor: 1 mm: 0,001 m

Superficie: 0,208 m²

Volumen: 0,208 m² x 0,001m: 2,08 x 10⁻⁴ m³

Densidad: 2858 kg/ m³

Peso: 2,08 x 10⁻⁴ m³ x 2858 kg/ m³: 0,594 kg

-Núcleo de aramida

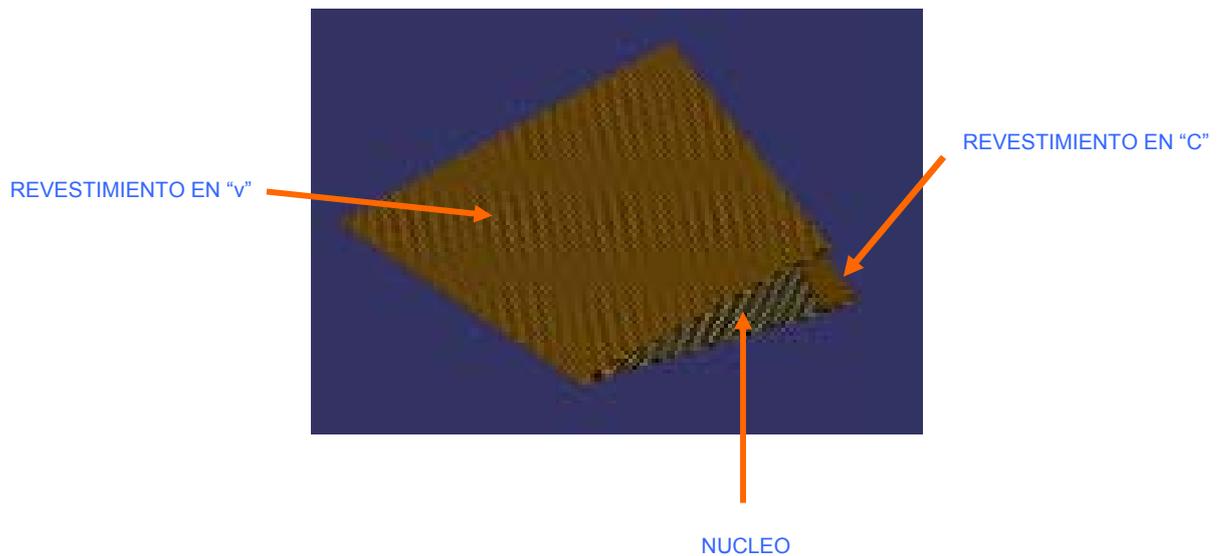
Volumen: $3,29 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Densidad: 58 kg/ m^3

Peso: $3,29 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 58 \text{ kg/ m}^3$: 0,190 kg

Peso total: $1,677 + 0,594 + 0,190$: 2,461 kg

Peso de la configuración propuesta



-Revestimiento tejido en “V” :

Espeor 1 tela: 0,25 mm: 0,00025 m

Superficie 1 tela: 0,587 m²

Volumen 1 tela: 0,587 m² x 0,00025m: 1,467 x 10⁻⁴ m³

Densidad: 1363 kg/ m³

Peso 1 tela: 1,467 x 10⁻⁴ m³ x 1363 kg/ m³: 0,199 kg

Peso 8 telas: 0,199 Kg x 8 telas: 1,599 kg

-Revestimiento tejido en “C”:

Espeor 1 tela: 0,25 mm: 0,00025 m

Superficie 1 tela: 0,208 m²

Volumen 1 tela: 0,208 m² x 0,00025m: 5,19 x 10⁻⁵ m³

Densidad: 1363 kg/ m³

Peso 1 tela: 5,19 x 10⁻⁵ m³ x 1363 kg/ m³: 0,0708 kg

Peso 8 telas: 0,0708 Kg x 8 telas: 0,567 kg

-Núcleo de poliamida:

Volumen: $3,29 \times 10^{-3} \text{ m}^3$

Densidad: 37 kg/ m^3

Peso: $3,29 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \times 37 \text{ kg/ m}^3$: 0,121 kg

- Núcleo foam:

Volumen: $9,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3$

Densidad: 75 kg/ m^3

Peso: $9,8 \times 10^{-5} \text{ m}^3 \times 75 \text{ kg/ m}^3$: 0,00725 kg

Peso total: $1,599 + 0,567 + 0,121 + 0,00725$: 2,351 kg

Comparación de los dos modelos:

- Peso configuración actual: 2,461 kg

- Peso configuración propuesta: 2,351 kg

La reducción de peso es de 0,111 kg lo cual supone un 4,51 % por lo que hemos conseguido una disminución de peso así como una mejora en las propiedades mecánicas de la pieza.

7.7.2. Justificación de orientación de telas

La resistencia y rigidez de una pieza de fibra de carbono depende de la orientación de las capas con respecto a la dirección de la carga.

Se puede barrer un espectro amplio de propiedades equivalentes a las de los materiales metálicos. Veamos los siguientes ejemplos:

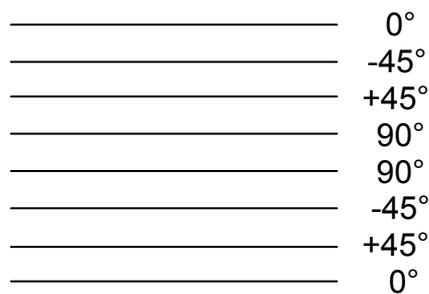
- Una pieza de fibra de carbono sometida a tracción donde tiene un 90% de capas a 0° y 10% de las capas a 90° , tiene unas características similares de resistencia y rigidez a las del titanio.
- La misma pieza con un 50% de capas a 0° y el otro 50% de las capas a $+45^\circ$, tiene resistencia y rigidez equivalente a la del aluminio.
- Si la misma pieza está hecha de 100% de capas a $+45^\circ$, tiene características similares a una pieza de fibra de vidrio.

Es por ello que la configuración que proponemos es el uso de 8 telas de tejido de material preimpregnado con fibra de carbono y resina epoxi. Esta combinación es la más usada en la industria aeronáutica debido a que su relación entre resistencia y densidad es la más adecuada en comparación con otros tejidos más gruesos.

Como hemos visto antes, el aluminio 2024 T3 que conforma los revestimientos actuales, tiene un espesor de 1mm; esta nueva configuración que se propone de 8 telas tendría un espesor final de 2 mm, ya que cada capa de tejido tiene un espesor de 0,25 mm.

En cuanto a la orientación de estas telas, se propone una disposición de telas del 50% de capas a 0° y el otro 50% de las capas a $+45^\circ$ para conseguir unas propiedades mecánicas similares a las del aluminio. Hemos de decir también que una capa apilada a 0° es equivalente a otra a 90° en cuanto a las propiedades mecánicas finales de la pieza. Del mismo modo, una tela apilada a $+45^\circ$ también es equivalente a -45° .

Por todo ello, emplearemos la disposición más utilizada en la fabricación de cualquier pieza aeronáutica, alternando capas a 0° y $+45^\circ$. La disposición es la siguiente:



Esta disposición se denomina $(0,-45,+45,90)_s$ donde “s” significa simétrica.

Es de suponer que esta nueva configuración de ocho telas de tejido, evite los problemas de pandeo que sufre actualmente el revestimiento del compensador que hemos estudiado en este proyecto.

INDICE DE ANEXOS

SEGURIDAD E HIGIENE

	Página
SEGURIDAD E HIGIENE	1
1. INFORMACIÓN GENERAL D ETODOS LOS PRODUCTOS QUÍMICOS	4
Frekote	5
Metil etil cetona	10
Tejido preimpregnado	16
Resina Epoxi	20
2. RIESGOS ESPECÍFICOS DEL AREA	28
2.1. Listado general de los riesgos presentes en el área	28
2.2. Medidas preventivas existentes	29
2.3. Equipos de protección individuales epi´s recomendados	31
2.4. Equipos de protección individual	31
2.4.1. Protección de la cabeza	34
2.4.2. Protección de las vías respiratorias	35
2.4.3. Protección de las manos y brazos	36
2.4.4. Protección de tronco y abdomen	37
2.4.5. Protección de pies	37
2.4.6. Protección total de cuerpo	38

INGENIERÍA CONCURRENTE

	Página
INGENIERÍA CONCURRENTE	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE MATERIALES COMPUESTOS	3
1.3. REPARACIONES Y DAÑOS	6
1.4. ENSAYOS A ESCALA REAL	8
1.4.1. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	9

CICLO DE CURADO

PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL ALUMINIO 2024 T3

ANEXO DE BIBLIOGRAFÍA

SEGURIDAD E HIGIENE

Debido a que en este sistema de apilamiento se va a trabajar con sustancias químicas peligrosas, principalmente el desmoldeante, es necesario que se realice un estudio profundo acerca de, los riesgos a los que están expuestos los trabajadores y las acciones a tomar en caso de accidente.

Unas condiciones de trabajo seguras, exigen el cumplimiento de ciertas normas:

- Solo deben de manipular los productos químicos en todo el proceso de apilamiento manual, aquellas personas que tengan conocimiento de los peligros para la salud que tales productos puedan acarrear. Esto supone que tanto los datos sobre la seguridad del material, como las etiquetas de los productos, deben ser estudiadas antes de ser utilizadas.
- Los procesos de acondicionamiento y preparación del elemento deberán de realizarse en el “Área Limpia” que se destine en la Nave de fabricación de materiales compuestos.
- Los operarios que trabajen en el proceso deben de protegerse todas las partes del cuerpo que puedan estar expuestas a algún riesgo que impliquen los productos que se van a utilizar. Esto significa que los operarios que manipulen los productos químicos deben llevar una

mascara que cubra la cara, guantes, botas de goma y un mono de trabajo especial (cuando estén realizando tareas de mecanizado).

- El proceso de apilamiento de telas y mecanizado del elemento se realizará en una zona destinada a tal efecto y perfectamente acondicionada para extraer partículas en suspensión.
- Los empleados que hayan manejado los productos o sustancias químicas, deberán lavarse la cara y las manos después de haber realizado el trabajo y antes de comer.
- Los operarios que entren al área limpia en la nave donde se lleva a cabo el apilamiento de telas, lo harán siempre provistos de una bata de seguridad y manipularán el elemento y los materiales siempre provistos de guantes de lana tal y como exige la correspondiente normativa, y en el caso de manipular herramientas de corte lo harán siempre provistos de guantes de seguridad.
- En caso de tener que hacer un lavado de ojos se recomienda acudir urgentemente a una ducha que incorpora un lavaojos o bien, o bien se recomienda una solución con una 3% de sulfato de magnesio.
- Este terminantemente prohibido comer, beber y fumar tanto en el “área limpia” como en la zona reservada para realizar el tratamiento mecánico.
- Hay que minimizar el tiempo que las telas permanecen fuera de la cámara frigorífica una vez que han alcanzado su temperatura de atemperamiento.

- Para evitar una evaporación innecesaria de los compuestos químicos que intervienen en el proceso de fabricación, deberán de mantenerse cerrados todos los recipientes que contengan el producto el mayor tiempo posible.

1. INFORMACIÓN GENERAL DE TODOS LOS PRODUCTOS QUÍMICOS.

Fichas técnicas de seguridad.

Los productos químicos que intervienen en el proceso de fabricación, entrañan un cierto riesgo para la salud, es por ello que es necesario que tanto operarios como jefes conozcan este riesgo.

Todos estos peligros para poder prevenirlos y en el caso de que ocurra algún accidente, saber como abordarlo, para que tanto unos como otros puedan tener a su disposición toda la información relativa a los productos químicos, se procede a describir todos y cada uno de los productos lo más detalladamente posible en sus correspondiente fichas técnicas, realizadas con arreglo a la directiva 91/155/CEE.

Los productos sensiblemente peligrosos y que intervienen en el proceso son:

- 1.- Frekote.
- 2.- Metil Etil Cetona (MEK).
- 3.- Tejido Preimpregnado (“Prepeg”).
- 4.- Resina Epoxi.

1.- FREKOTE.

1.1.- Identificación del producto:

Eter dibutílico y derivados del petróleo.

P.M:130,23 g/mol

Formula molecular: $C_8H_{18}O$

1.2.- Información de la composición del producto.

Mezcla de derivados del petróleo.

1.3.- Identificación de riesgos.

Efectos sobre la salud: Irrita la piel los ojos y las vías respiratorias.

Efectos sobre el medio ambiente: Nocivo para los organismos acuáticos

Peligros físicos y químicos: Inflamable

Peligros específicos/CEE:

1.4.- Información de primeros auxilios.

Consejos generales:

Inhalación: Respirar aire fresco

Contacto con la piel: Eliminar ropa contaminada.

Contacto con los ojos: Aclarar con abundante agua, manteniendo los párpados abierto.

Ingestión: Beber abundante agua.

Protección para los socorristas: Mantener libres las vías respiratorias

Notas para el médico: No descritos.

1.5.- Peligros de incendio y explosión.

Métodos de extinción adecuados: CO₂, espuma, polvo.

Peligros específicos: Combustible, vapores más pesados que el aire.

Métodos específicos: En caso de incendio puede producirse mezclas explosivas con el aire.

Equipos de protección personal para los bomberos: Uso de ropa protectora adecuada en caso de incendio.

1.6.- Medidas contra escapes accidentales.

Precauciones individuales: Vapores más pesados que el aire.

Precauciones para la protección del medioambiente: No incorporar a la canalización del desagüe, riesgo de explosión.

Métodos de limpieza:

Recuperación: Recoger con materiales absorbentes. p.ej.Chemisorb.

Eliminación: Proceder a la eliminación de los residuos.

1.7.- Manipulación y almacenamiento.

Manipulación: Mantener alejado de la fuente de ignición. Evitar la carga electrostática.

Almacenamiento: Bien cerrado, en lugar bien ventilado, alejado de fuentes de ignición y de calor. Refrigerado (por debajo de +15 °C).

1.8.- Controles de exposición y protección personal.

Límites de exposición: los tipos auxiliares de protección del cuerpo deben elegirse específicamente según el puesto de trabajo en función de la concentración y cantidad de la sustancia peligrosa.

Equipo de protección personal:

Protección respiratoria: Necesaria en presencia de vapores/aerosoles. Filtro A.

Protección de las manos: En caso de salpicaduras.

Guantes: Caucho butilo.

Espesor: 0,7 mm.

Tiempo de penetración: > 30 min.

Protección de los ojos: Precisa.

Protección de la piel y del cuerpo: Ropa protectora contra llamas.

Medida de higiene específica: sustituir inmediatamente la ropa contaminada, protección preventiva de la piel, lavar cara y manos al terminar el trabajo.

1.9.- Propiedades físicas y químicas.

Estado físico (a 20°C): líquido.

Temperatura de ebullición:

Temperatura de fusión: -95 °C

Temperatura de descomposición:

Punto de destello: 25 °C.

Temperatura de Autoignición: 185 °C

Límite de explosión:

Inferior: 0,9 % vol.

Superior: 8,5 % vol.

Presión de vapor (a 20°C):6,4 hPa

Densidad de vapor: 4,5

Densidad (a 20°C): 0,77 g/cm³

Hidrosolubilidad: 10 g/l

1.10.- Estabilidad y reactividad.

Condiciones a evitar: calentamiento

Materias a evitar: reacción exotérmica con oxidante

Productos de descomposición peligrosos: tricloruro de N₂, ácidos fuertes.

1.11.- Información toxicológica.

Toxicidad aguda:

Por inhalación: LC₅₀: (inhalativo, rata): 4000 ppm (V)/4 h.

Por ingestión: LD₅₀: (oral, rata): 7400 mg/Kg.

Por contacto con la piel: LD₅₀: (dérmica, conejo): 7700 mg/Kg.

Efectos locales:

Inhalación: Inhalación de las mucosas, tos y dificultad para respirar.

Contacto con la piel: Irritaciones.

Contacto con los ojos: Irritaciones.

Toxicidad crónica:

En concentraciones elevadas: Mutagenicidad bacteriana: Test de Ames: negativo.

1.12.- Información ecológica.

Movilidad: Persistencia/ degradabilidad:

Bioacumulación: Reparto : Log Pow :3,21(experimentalmente).

Toxicidad acuática: P.Promelas LC₅₀: 52 mg/litro /96 h.

1.13.- Información legislativa.

Conforme a la directiva 91/155/CEE de la comisión.

Artículo número: 802892.

Denominación: Eter dibutílico para síntesis, y derivados del petróleo.

2.- MEK (METILETILCETONA).

2.1.- Identificación del producto:

BUTANONA

Metiletilcetona, 2-Butanona, MEK

2.2.- Información de la composición del producto.

$\text{CH}_3\text{COC}_2\text{H}_5$

Masa molecular: 72.1

2.3.- Identificación de riesgos.

Efectos sobre la salud: Si

Efectos sobre el medio ambiente: Contaminante acuático.

Peligros físicos y químicos: Altamente inflamable, Las mezclas vapor/aire son explosivas.

Peligros específicos/CEE: Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC(R)-88, Código NFPA: H 1; F 3; R 0.

2.4.- Información de primeros auxilios.

Consejos generales: Aplicar el producto en lugares abiertos y ventilados, usar mascararas de seguridad y guantes de protección.

Inhalación: Aire limpio, reposo y proporcionar asistencia médica.

Contacto con la piel: Quitar las ropas contaminadas, aclarar la piel con agua abundante o ducharse.

Contacto con los ojos: Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad) y proporcionar asistencia médica.

Ingestión: Enjuagar la boca, dar a beber agua abundante y proporcionar asistencia médica.

2.5.- Peligros de incendio y explosión.

Métodos de extinción adecuados: Polvo, AFFF, espuma, dióxido de carbono.

Peligros específicos: Altamente inflamable y mezcla de vapor aire son explosivas.

Métodos específicos: En caso de incendio: mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua.

2.6.- Medidas contra escapes accidentales.

Precauciones individuales: Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).

Precauciones para la protección del medioambiente: Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

2.7.- Manipulación y almacenamiento.

Manipulación: Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).

Almacenamiento: A prueba de incendio. Separado de oxidantes fuertes y ácidos fuertes. Mantener en lugar fresco y bien cerrado.

2.8.- Controles de exposición y protección personal.

Límites de exposición: TLV (como TWA): 200 ppm; 590 mg/m³ (ACGIH 1993-1994). TLV (como valor techo): 300 ppm; 885 mg/m³ (ACGIH 1993-1994).

Equipo de protección personal:

Protección respiratoria: Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.

Protección de las manos: Guantes protectores y traje de protección.

Protección de los ojos: Pantalla facial o protección ocular combinada con la protección respiratoria.

Protección de la piel y del cuerpo: No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.

2.9.- Propiedades físicas y químicas.

Estado físico (a 20°C): líquido.

Temperatura de ebullición: 80°C

Temperatura de fusión:-86°C

Temperatura de descomposición:

Punto de destello:

Temperatura de Autoignición: 505 °C

Límite de explosión: % en volumen de aire

Inferior: 1,8

Superior: 1,5

Presión de vapor (a 20°C):10,5 Kpa

Densidad de vapor: 2,41

Densidad (a 20°C): 0,8

Hidrosolubilidad: 29g/100ml

2.10.- Estabilidad y reactividad.

Condiciones a evitar: Evitar las llamas, NO producir chispas y NO fumar.

Materias a evitar: Sistema cerrado, ventilación, equipo eléctrico y de alumbrado a prueba de explosiones. NO utilizar aire comprimido para llenar, vaciar o manipular. Utilícense herramientas manuales no generadoras de chispas.

Productos de descomposición peligrosos: Las mezclas vapor/aire son explosivas.

2.11.- Información toxicológica.

Toxicidad aguda:

Por inhalación: Tos, vértigo, embotamiento, dolor de cabeza, náuseas.

Por ingestión: Calambres abdominales, confusión (para mayor información, véase Inhalación).

Por contacto con la piel: puede absorberse, enrojecimiento.

Efectos locales:

Inhalación: jadeo, pérdida del conocimiento, vómitos.

Contacto con la piel: irritación, sequedad.

Contacto con los ojos: irritación aguda, picor, sequedad, dolor.

Toxicidad crónica:

En concentraciones elevadas: El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. El líquido desengrasa la piel. La sustancia puede afectar a la sangre y a la médula ósea.

2.12.- Información ecológica.

Movilidad: Esta sustancia puede ser peligrosa para el ambiente; debería prestarse atención especial a los organismos acuáticos.

Bioacumulación: Sí

Toxicidad acuática: Sí

2.13.- Información legislativa.

Ni la CCE ni la IPCS ni sus representantes son responsables del posible uso de esta información. Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. La versión española incluye el etiquetado asignado por la clasificación europea, actualizado a la vigésima adaptación de la Directiva 67/548/CEE traspuesta a la legislación española por el Real Decreto 363/95 (BOE 5.6.95).

3.- TEJIDO PREIMPREGNADO (“PREPEG” Z-19.760).

3.1.- Identificación del producto:

8552 Preimpregado (f.carbono)

3.2.- Información de la composición del producto.

La resina contiene:

20-35% de Tetraglicidil metileno dianilina.

20-35% de Triglicidil p-amino fenol.

10-30 % de 3,3' Diaminodifenilsulfono.

1-5 % de 4-4' Diaminodifenilsulfono.

3.3.- Identificación de riesgos.

Efectos sobre la salud: Nocivo por contacto con piel y por ingestión.

Efectos sobre el medio ambiente: No descritos.

3.4.- Información de primeros auxilios.

Consejos generales: Usar ropa y guantes de protección adecuada.

Inhalación: Ventilación local o equipo de aspiración serán necesarios cuando el material sea mecanizado después del curado del mismo.

Contacto con la piel: Guantes de Nitrilo y ropa de manga larga.

Contacto con los ojos: Gafas de protección cerradas o pantalla facial durante las operaciones de mecanizado.

Ingestión: No descritos.

Protección para los socorristas: No descritos.

Notas para el médico: No descritos.

3.5.- Peligros de incendio y explosión.

Métodos de extinción adecuados:

Peligros específicos:

Métodos específicos:

Equipos de protección personal para los bomberos:

3.6.- Medidas contra escapes accidentales.

Precauciones individuales:

Precauciones para la protección del medioambiente:

Métodos de limpieza:

Recuperación: En las condiciones que se presentan estos compuestos (formando parte de un composite), no se espera que puedan formar derrames.

Eliminación: Su eliminación se hará mediante un gestor de residuos peligrosos homologado.

3.7.- Manipulación y almacenamiento.

Manipulación:

Almacenamiento: El material ha de ser conservado en cámara frigorífica a una Tª de 25°C, tiene un tiempo de exposición a Tª ambiente de

240 horas máximo, y un tiempo máximo de conservación en cámara frigorífica de 18 meses.

3.8.- Controles de exposición y protección personal.

Límites de exposición:

Equipo de protección personal:

Protección respiratoria:

Protección de las manos:

Protección de los ojos:

Protección de la piel y del cuerpo:

Medida de higiene específica:

3.9.- Propiedades físicas y químicas.

Estado físico (a 20°C):

Temperatura de ebullición:

Temperatura de fusión:

Temperatura de descomposición:

Punto de destello:

Temperatura de Autoignición:

Límite de explosión:

Inferior:

Superior:

Presión de vapor (a 20°C):

Densidad de vapor:

Densidad (a 20°C):

Hidrosolubilidad:

3.10.- Estabilidad y reactividad.

Condiciones a evitar:

Materias a evitar:

Productos de descomposición peligrosos:

3.11.- Información toxicológica.

Toxicidad aguda:

Por inhalación:

Por ingestión:

Por contacto con la piel:

Efectos locales:

Inhalación:

Contacto con la piel:

Contacto con los ojos:

Toxicidad crónica:

En concentraciones elevadas:

3.12.- Información ecológica.

Movilidad:

Persistencia/ degradabilidad:

Bioacumulación:

Toxicidad acuática:

4.- RESINA EPOXI.

4.1.- Identificación del producto:

Resin solution.

4.2.- Información de la composición del producto.

Descripción: Mezcla formada por las sustancias especificadas a continuación con adiciones no peligrosas.

Componentes peligrosos:

CAS: 25068-38-6

NLP: 500-033-5

Producto de reacción: bisfenol-A-epiclorhidrina; resinas epoxi (peso molecular medio ≤ 700)

4.3.- Identificación de riesgos.

Efectos sobre la salud: sí

Efectos sobre el medio ambiente: R 51/53 Tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

Peligros físicos y químicos: Contiene componentes epoxídicos.

Peligros específicos/CEE: no descritos.

4.4.- Información de primeros auxilios.

Consejos generales:

Inhalación: Suministrar suficiente aire fresco y, para mayor seguridad, consultar el médico.

Las personas desmayadas deben tenderse y transportarse de lado con la suficiente estabilidad.

Contacto con la piel: Lavar inmediatamente con agua y jabón y enjuagar bien.

Contacto con los ojos: Limpiar los ojos abiertos durante varios minutos con agua corriente. En caso de trastornos persistentes consultar un médico.

Ingestión: Consultar un médico si los trastornos persisten.

Protección para los socorristas: Llevar puesto equipo de protección.

Mantener alejadas las personas sin protección.

Notas para el médico: No descritas.

4.5.- Peligros de incendio y explosión.

Métodos de extinción adecuados: Polvo, espuma resistente al alcohol, agua en grandes cantidades, dióxido de carbono.

Peligros específicos: Altamente inflamable y mezcla de vapor aire son explosivas.

Métodos específicos: En caso de incendio: NO mantener fríos los bidones y demás instalaciones rociando con agua, por razones de

seguridad. Como Sustancias extintoras apropiadas, se pueden utilizar CO₂, arena, polvo extintor. No utilizar agua.

Equipo especial de protección: Colocarse la protección respiratoria.

4.6.- Medidas contra escapes accidentales.

Precauciones individuales: Ventilar. Recoger el líquido procedente de la fuga en recipientes precintables, absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO verterlo al alcantarillado. (Protección personal adicional: equipo autónomo de respiración).

Almacenamiento:

Exigencias con respecto al almacén y los recipientes: No se requieren medidas especiales.

Normas en caso de un almacenamiento conjunto: No es necesario.

Indicaciones adicionales sobre las condiciones de almacenamiento:

Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

Precauciones para la protección del medioambiente: No descritos.

Métodos de limpieza:

Recuperación: No dejar que se introduzca en el alcantarillado ni que contamine las aguas.

Al penetrar en las aguas o en el alcantarillado, avisar a las autoridades pertinentes.

Evitar que penetre en la canalización /aguas de superficie
/agua subterráneas.

Eliminación: Quitar con material absorbente (arena, kieselgur,
aglutinante de ácidos, aglutinante universal, aserrín).

Desechar el material contaminado como vertido según item 13.
Asegurar suficiente ventilación.

No enjuagar con agua ni productos de limpieza acuosos.

4.7.- Manipulación y almacenamiento.

Manipulación: No se requieren medidas especiales.

Almacenamiento: Mantener el recipiente cerrado herméticamente.

4.8.- Controles de exposición y protección personal.

Componentes con valores límites admisibles que deben controlarse
en el puesto de trabajo:

-108-88-3 tolueno LEP 191 mg/m³, 50 ml/m³ vía dérmica, VLB.

-141-78-6 acetato de etilo LEP 1460 mg/m³, 400 ml/m³.

- 78-92-2 butanol LEP 308 mg/m³, 100 ml/m³.

- 67-63-0 2-propanol LEP Valor de corta duración: 1250 mg/m³, 500 ml/m³ Valor de larga duración: 998 mg/m³, 400 ml/m³.

Equipo de protección personal:

Protección respiratoria: Si la exposición va a ser breve o de poca intensidad, colocarse una máscara respiratoria. Para una exposición más intensa o de mayor duración, usar un aparato de respiración autónomo.

Protección de las manos: Guantes de protección
El material del guante deberá ser impermeable y resistente al producto / sustancia / preparado.

Protección de los ojos: Gafas de protección herméticas.
Protección de la piel y del cuerpo: Indumentaria normal de trabajo, que absorba posibles salpicaduras.

Medida de higiene específica:
Mantener alejado de alimentos, bebidas y alimentos para animales.
Quitarse de inmediato la ropa ensuciada o impregnada.
Lavarse las manos antes de las pausas y al final del trabajo.
Evitar el contacto con los ojos y la piel.

4.9.- Propiedades físicas y químicas.

Estado físico (a 20°C): líquido.

Temperatura de ebullición: 77°C.

Temperatura de fusión: Indeterminado.

Temperatura de descomposición:

Punto de destello: Indeterminado.

Temperatura de Autoignición: 390 °C

Límite de explosión:

Inferior: 1,2 Vol %.

Superior: 11,5 Vol %.

Presión de vapor (a 20°C): 97 hPa

Densidad de vapor: Indeterminada.

Densidad (a 20°C): 0,934 g/cm³

Hidrosolubilidad: Poco o no mezclable.

4.10.- Estabilidad y reactividad.

Condiciones a evitar: No se descompone al emplearse adecuadamente.

Materias a evitar: No se conocen reacciones peligrosas.

Productos de descomposición peligrosos: No se conocen productos de descomposición peligrosos.

4.11.- Información toxicológica.

Toxicidad aguda:

Por inhalación: Inhalatorio LC50/4 h 5320 mg/l (mouse)

Por ingestión: Oral LD50 5000 mg/kg (rat).

Por contacto con la piel: Termal LD50 12124 mg/kg (rabbit).

Efectos locales:

Inhalación: Irrita las vías respiratorias.

Contacto con la piel: Irrita la piel y las mucosas.

Contacto con los ojos: Produce irritaciones.

Toxicidad crónica:

En concentraciones elevadas: Puede producir asfixia.

4.12.- Información ecológica.

Movilidad: Nivel de riesgo para el agua 2 (autoclasificación): peligroso para el agua. No dejar que se infiltre en aguas subterráneas, aguas superficiales o en alcantarillados.

Persistencia/ degradabilidad: Difícilmente degradable.

Bioacumulación: Una cantidad mínima vertida en el subsuelo ya representa un peligro para el agua potable.

Toxicidad acuática: tóxico para peces, Vertido en aguas superficiales, también es tóxico para los peces y el plancton. Tóxico para organismos acuáticos.

4.13.- Información legislativa.

Código 08 01 11 Residuos de pintura y barniz que contienen disolventes orgánicos u otras sustancias peligrosas.

El producto está catalogado y etiquetado según las directrices de la CEE/Reglamento sobre sustancias peligrosas.

Letra indicadora y denominación de la peligrosidad del producto: Xn Nocivo . Peligroso para el medio ambiente.

Componentes peligrosos a indicar en el etiquetaje:

Producto de reacción: bisfenol-A-epiclorhidrina; resinas epoxi (peso molecular medio ≤ 700), tolueno.

2. RIESGOS ESPECÍFICOS DEL ÁREA.

2.1. Listado general de los riesgos presentes en el área.

- Explosiones e incendios.
- Contacto dérmico, salpicadura de disolventes e inhalación de sustancias tóxicas e irritantes.
- Sensibilización por contacto con materiales (cintas, pieles) no curadas y preimpregnados con resina epoxi. Por ello es necesario el uso de guantes de protección personal.
- Vertido accidental de productos. Si no implica riesgo y es controlable se dará aviso del mismo a Medio Ambiente. Si se trata de una emergencia se utilizará el Teléfono de Emergencia Interior en la empresa (6100).
- Atropello por vehículos (carretillas motoras). Se utilizará el aviso acústico de la carretilla para indicar el movimiento de esta y se prestará especial atención a los accesos y salidas de naves indicando previamente y con reiteración el paso de la misma. Asimismo se cuidará la velocidad de paso de los vehículos. Estos circularán por lo pasillos.
- Caída de objetos por desplome, en manipulación o por desprendimiento, así como manejo de elementos o útiles procedentes de otras zonas.
- Riesgo de caída de útiles en el manejo o control.
- Riesgos de caídas a distinto nivel desde máquinas complejas.
- Sobreesfuerzos.
- Riesgos de corte, al tocar los fillos de los bordes de los elementos fabricados o reparados. Se utilizarán los guantes para el manejo y movimiento de dichos elementos.

- Proyección de fragmentos o partículas así como polvo procedente de la limpieza en “áreas sucias” (Recantado). Proyección de partículas en las proximidades de la operación de desmoldeo y limpieza de útiles. Riesgo ocular.
- Es necesaria la protección ocular, de las vías respiratoria y auditiva en los trabajos que se realicen mientras los operarios trabaja simultáneamente en lijado y recantado de elementos.
- Tropiezos con mangueras u objetos salientes (en fase proceso o estacionamiento), así como golpe o choque con partes que sobre salgan.
- Riesgo de caída al mismo nivel por resbalamiento en los pasillos, así como en la sala limpia.
- Riesgo de tropiezo en las gradas de los útiles de moldeo manual y de fabricación de elementos.
- Riesgo de caída a distinto nivel desde el puente del autoclave.
- Riesgo de tropiezo con los cables y termopares del autoclave.
- Atropamiento o colisión con el carro del autoclave.
- Contactos eléctricos.
- Electrocutión (centros de transformación y puntos a 380 V, señalizados).
- Ruido.

2.2. Medidas preventivas existentes.

- Ruido.
- Normas de prevención y protección contra incendios.

- Prohibición de acceso a zonas restringidas (Máquina de Encintado de fibra en la Sala Limpia, Centros de Transformación, Cámara Frigorífica, Hornos, etc).
- Protección perimétrica de aquellas máquinas e instalaciones que las necesiten, de acuerdo a las normativas vigentes.
- Los puentes grúas están equipados con avisadores acústicos y luminosos que se activan cuando están en movimiento.
- Se prohíbe el uso de los puentes grúas sin permiso. Asimismo, se requiere para su manejo un certificado de formación y manejo.
- Prohibición de ingerir alimentos en la zona.
- La señalización de los riesgos presentes en las secciones se ha realizado de acuerdo con el REAL DECRETO 485/1997.
- Se mantendrán siempre libres las vías de evacuación existentes.
- Se mantendrán siempre cerradas las puerta, así como portones de la nave mientras no se utilicen para carga/descarga de material o el acceso/salida de personal.
- Los materiales se apilarán y cargarán de manera segura, limpia y ordenada.
- Los pasillos y zonas de tránsito deberán estar libres de obstáculos.
- Las carretillas motoras se estacionaran en lugares habilitados para ello y con las pinzas en posición bajada.
- No se aplicará soldadura sin examinar antes el perímetro de la zona, constatándose antes la falta de existencia de materiales inflamables o deposición de materiales aeronáuticos dentro de dicho perímetro. La aflicción de soldadura tendrá como requisito la realización de un permiso de soldadura con el debido seguimiento.
- Los trabajadores nunca permanecerán aislados y solos en lugares angostos o difícilmente accesibles, como por ejemplo el foso del autoclave, foso de la máquina de encintado de fibra.
- Se solicitará información de riesgos a los técnicos coordinadores de obras ante aquellas instalaciones, tuberías o conducciones

eléctricas sobre las que haya que realizar tarea, y de las cuales se desconozca su procedencia y/o funcionamiento.

- Para los trabajos en altura dentro de la nave se tomarán las medidas preventivas necesarias para la protección de las personas, bienes y equipos.

2.3. Equipos de protección individuales epi´s recomendados.

A modo de resumen podemos señalar que los equipos serán:

- Gafas, calzado y guantes de seguridad.
- Protectores auditivos, protección de vías respiratorias y gafas panorámicas.
- Arnese y elementos absorbedores de caídas para trabajos en altura, cuando no existan las protecciones o barandillas necesarias.
- En los centros de transformación existirán los equipos recogidos en el REAL DECRETO 614/2001, (BOE núm. 148 de 21 de junio de 2001), de riesgo eléctrico.

2.4. Equipos de protección personal.

Aunque hemos detallado ya en cada una de las fichas de los productos químicos, y de una manera individual para cada uno de ellos, los equipos de protección individual, realizaremos un estudio de los equipos para el proceso global de reparación.

Los equipos de protección personal están regulados por el Real Decreto 773/1997, de 30 de Mayo, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud a la utilización por los trabajadores de los equipos de protección individual.

La ley 31/1995, de 8 de Noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales, determina el cuerpo básico de garantías y responsabilidades preciso para establecer un adecuado nivel de protección de la salud de los trabajadores frente a los riesgos derivados de las condiciones de trabajo, en el marco de una política coherente, coordinada y eficaz.

Según el artículo 6 de las misma serán las normas reglamentarias las que irán fijando y concretando los aspectos más técnicos de las medidas preventivas.

Así, son las normas de desarrollo reglamentario las que deben fijar las medidas mínimas que deben adoptarse para la adecuad protección de los trabajadores.

Entre ellas se encuentran las destinadas a garantizar la utilización por los trabajadores en el trabajo de equipos de protección individual que los protejan adecuadamente de aquellos riesgos para la salud o su seguridad que no puedan evitarse o limitarse suficientemente mediante la utilización de medios de protección colectiva o la adopción de medidas de organización del trabajo.

Se definen los equipos de protección individual (EPI's), como un dispositivo de uso individual, destinado a proteger la salud e integridad física del trabajador. La función del equipo de protección personal no es reducir el “riesgo o peligro”, sino adecuar al individuo al medio y al grado de exposición.

Para la elección de los equipos de protección personal se llevarán a cabo las siguientes actuaciones:

- Se analizaran y evaluarán los riesgos existentes que no puedan evitarse o limitarse suficientemente por otros medios.
- Se definirán las características que deberán reunir los equipos de protección individual para garantizar su función, teniendo en cuenta la magnitud y naturaleza de los riesgos de los que deban proteger, así como los factores adicionales de riesgo que puedan construir los propios equipos de protección individual o su utilización.
- Se compararán las características de los equipos de protección individual existentes en el mercado con las definidas según lo señalado en el párrafo anterior.

Los EPI's que se utilizarán tanto en el proceso de reparación, como en la preparación de los elementos:

2.4.1. Protección de la cabeza.

En función de la parte a proteger los equipos serán los siguientes:

- Craneal: los cascos están hechos con material resistente y si finalidades proteger el cráneo de impactos, penetraciones o choques eléctricos. No sólo resisten el impacto sino que también absorben el choque hasta aproximadamente 300Kg, estos cascos serán necesarios cuando se este trabajando con el puente grúa.

Las capuchas y cascos con visera protegen la cabeza contra impactos o salpicaduras de productos químicos, residuos infecciosos, corrosivos y condiciones climáticas adversas de frío o calor.

- Facial: los equipos contra la cara y cuello, contra impactos de partículas volantes, salpicaduras de líquidos perjudiciales, ofuscamiento y calor radiante.
- Ocular: **“Gafas de seguridad”** modelo (Pulpo), es obligatoria su utilización en todos aquellos lugares donde exista riesgo de proyección de partículas y radiaciones (en este caso se pueden utilizar como oculares filtrantes), también es obligatorio su uso en las zonas que estén señalizadas.

El otro tipo de protección sería la **“Gafa panorámica”** modelo (VENT.GP3), con ventilación y anti-vaho, es obligatoria en todas aquellas zonas donde esté señalado el uso de gafas de seguridad o exista riesgo de proyección de partículas líquidas o sólidas. Tiene la ventaja de que pueden sobreponerse a las gafas de uso personal.

Para las visitas a planta, en las zonas de señalización o de obligado uso de protección ocular, se dispondrá de **“Gafas de visita”**, homologada en clase D por su resistencia a impactos y por su protección adicional como 017.

- Visual: gafas de protección para el globo ocular y las partes adyacentes contra impactos causados por partículas sólidas, líquidas, gases, vapores, radiación térmica y exceso de luminosidad.
- Auditiva: se facilitará al operario **“Tapones Endoaural”** modelo (Max-1), para trabajos en áreas de gran ruido, puede utilizarse conjuntamente con orejeras. Se recomienda su uso a partir de los 80 dB (A) y obligatorio a partir de los 90 dB (A), es recomendable lavarse las manos antes de su colocación para evitar la posibilidad de infección.

La otra opción sería la utilización de **“Orejeras”** con almohadillas acolchadas, confortables para ser utilizada durante largos periodos de tiempo.

2.4.2. Protección de las vías respiratorias.

Se utilizará un equipo de protección respiratoria dependiente de la atmósfera.

Las **“Mascarillas buconasales”** deberán ser utilizadas en concentraciones conocidas de contaminantes y contenidos en $O_2 > 17\%$, y donde hayan partículas sólidas y aerosoles líquidos de base acuosa. Existen varios tipos en función del contaminante que protegen:

Tipo FFABE1P2SL: sin piezas de repuesto ni filtros recambiables.

Tipo A: contra compuestos orgánicos con puntos ebullición > 65 °C.

Tipo B: contra compuestos orgánicos, excluido el CO.

Tipo SX: contra sustancias específicas.

2.4.3. Protección de las manos y brazos.

Para los trabajos que requieran cualquier tipo de abrasión, corte o desgarrar se proporcionará “**Guantes de Kevlar**” adecuados para proteger la mayor protección mecánica posible, combinadas con un alto poder aislante frente a calor / frío o llamas.

Para trabajos que necesite una exposición ante un foco de baja temperatura, como puede ser la cámara frigorífica de materias primas, se facilitarán “**Guantes contra el frío**” son guantes de PVC, conserva su flexibilidad incluso a temperaturas menores a 0°C, resistentes a la sal, productos químicos y sustancias cáusticas, también frente a la lluvia, viento y nieve.

Se proporcionará a los operarios “**Guantes de latex**” resistentes a los ataques químicos para evitar las agresiones químicas (sensibilización) debido a la acción del desmoldeante, resinas, disolvente de limpieza, siliconas y adhesivo. De igual forma se proporcionará al trabajador guantes de corte y de seguridad, para realizar trabajos que impliquen la utilización de herramientas de corte o conlleven riesgo de daño por impacto mecánicos.

2.4.4. Protección de tronco y abdomen.

Para la protección de las zonas lumbar y dorsal contra los esfuerzos, y donde exista una carga dinámica de trabajo importante o se adopten posturas forzadas durante el trabajo, se facilitará a los operarios, dos tipos de cinturones antilumbago: **el cinturón antivibratorio y la faja lumbar dorsal.**

2.4.5. Protección de pies.

Son necesarios para cubrir distintos riesgos:

- Caída por resbalón (el suelo podría estar mojado por derrame accidental de disolvente o producto líquido): por ello es conveniente la utilización de un calzado con suela antideslizante.
- Riesgo de las salpicaduras: se proporcionará un calado que a su vez sea impermeable.
- Daño por objeto pesado: el calzado debe estar provisto de puntera reforzada para evitar daños en el pie.

Por todos estos riesgos, se utilizarán unas botas antideslizantes de cuero, goma o similar con diseño apropiado en la suela, reforzadas en la puntera y resistentes a los productos químicos.

2.4.6. Protección total del cuerpo.

Los operarios que están trabajando realizando trabajos de desbaste o lijado manual, lo harán provistos de un mono de trabajo.

Para las labores en las que se precise trabajar con productos químicos, el operario irá provisto de un delantal protector.

INGENIERIA CONCURRENTE

1.1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería concurrente (CE por sus siglas en inglés) suele definirse como una técnica de desarrollo de un producto consistente en realizar en paralelo la mayor posible de tareas, desde la fase de diseño hasta la comercialización. Otros autores la definen como “un enfoque sistemático para el diseño paralelo e integrado de productos y los procesos relacionados, incluyendo manufactura y servicios de apoyo, con la intención de que los desarrollan este diseño consideren, desde el inicio del proyecto, todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde su concepción hasta su eliminación y reciclaje, incluyendo calidad, costo, planeación y requerimientos del usuario”. Cuando se implementa exitosamente, los productos que se desarrollan con esta filosofía se fabrican de forma eficiente, entran al mercado rápidamente y son de calidad satisfactoria para los clientes.

El objetivo de la ingeniería concurrente es buscar que los departamentos involucrados, desde un principio tengan en cuenta todos los elementos del ciclo de vida del producto, desde el diseño conceptual hasta su disponibilidad incluyendo calidad, coste y necesidades de los usuarios.

CE mejora el enfoque secuencial de la producción tradicional mediante tres elementos principales:

- Una arquitectura computacional distribuida que permite la sincronización, la programación óptima de tareas y el manejo adecuado de flujos de información.
- Una representación unificada de toda la información de diseño y manufactura, de forma que pueda visualizarse e interpretarse desde diversas perspectivas.
- Un conjunto de herramientas computacionales que permiten desarrollar prototipos a bajo costo, de forma óptima e inteligente.

1.2. REQUERIMIENTOS DE DISEÑO DE MATERIALES COMPUESTOS

Se dispone de distintos requerimientos de diseño de los materiales compuestos:

a) proyectos: es necesario realizar una comprobación del diseño que asegure que los materiales indicados para la fabricación están de acuerdo con las normas y especificaciones aplicables y al mismo tiempo que cumpla las condiciones determinadas por cálculo. Los conjuntos y piezas también deberán estar dibujados según norma aplicable.

b) materiales: también es necesario comprobar los materiales a su recepción y verificar que han seguido su transporte y condiciones de embalaje y temperatura. El almacenamiento de los materiales también resulta de relevante importancia verificando en todo momento que se hace en las condiciones específicas de temperatura, humedad y limpieza, etc....

c) instalaciones y procesos: los procesos para la fabricación deben de encontrarse de acuerdo con las especificaciones aplicables, así como las condiciones de trabajo de los talleres, limpieza, temperatura, etc.... Estas especificaciones también harán referencia al perfecto funcionamiento de instalaciones, autoclaves... con sus registradores y equipos de medida. Es fundamental el seguimiento de las calibraciones de los distintos equipos y máquinas, con una periodicidad que viene dada por una normativa concreta.

d) fabricación: se toman puntos de control que aseguren el empleo de los materiales en perfectas condiciones de uso y la correcta fabricación y disposición de los componentes. Los ciclos de curado se realizarán según lo requerido.

e) producto terminado: una vez elaborado el producto, se le deben realizar los ensayos oportunos (ensayos de certificación) que garanticen que los elementos terminados responden a las características para ello exigidas. Estos ensayos han de estar certificados por una entidad certificadora y es el departamento de diseño quién establece los ensayos necesarios.

Para llevar a cabo estos ensayos de certificación, es necesario establecer cinco pautas o tareas:

- Tarea 1: información de diseño. Habrá que tener en cuenta:
 - criterios estructurales de diseño
 - tolerancia al daño y plan de control de durabilidad
 - selección de materiales, procesos y métodos de unión
 - diseño de vida en servicio y diseño en uso.

- Tarea 2: análisis de diseño y ensayos de desarrollo. Considera lo siguientes puntos:
 - permisibles de materiales y uniones
 - análisis de cargas
 - diseño de cargas en servicio
 - análisis de esfuerzo
 - análisis de durabilidad
 - análisis sónico
 - análisis de vibración
 - desarrollo de ensayos de diseño

- Tarea 3: ensayos a escala real. En este punto es donde se realizan los ensayos:
 - ensayos estáticos
 - ensayos de durabilidad

- ensayos de operaciones en vuelo y suelo
 - ensayos sónicos
 - ensayos de vibración en vuelo
 - interpretación y evaluación de los resultados de ensayo
- Tarea 4: paquete de datos. Se analizan los siguientes datos:
 - análisis final
 - resumen resistencia
 - plan de mantenimiento de fuerzas estructurales
 - cargas y ambiente de estudio
 - programa de seguimiento individual
 - Tarea 5: control de las cargas. Aparte de las cargas también se estudian otros factores:
 - programa de seguimiento individual
 - tiempos de mantenimiento individual
 - registros de mantenimiento estructural

Aparte de estas cinco pautas, también es necesario la realización de ensayos estáticos para estructuras de materiales compuestos (ensayo al 150% de la carga límite de diseño).

f) postventa: es necesario crear un sistema que permita el seguimiento del comportamiento del material y la recepción periódica de informes e instantánea cuando se trate de asuntos que requieran acciones rápidas. Aquí debemos incluir el mantenimiento y la reparación.

1.3. REPARACIONES Y DAÑOS

El mantenimiento se refiere a las reparaciones en servicio. En la etapa de diseño del componente se evalúan mediante análisis los niveles de aceptación de daños accidentales; a distinguir entre:

- daños admisibles: no afectan la integridad estructural o disminuyen la función del componente.
- daños reparables: afectan la integridad estructural o disminuyen la función del componente.
- daños no reparables: no se puede diseñar una reparación que restaure la carga de fallo.

Los daños se pueden clasificar entre anomalías de fabricación, daños debidos a una correcta manipulación y daños de interacción con el medio ambiente.

Las reparaciones de materiales compuestos abarcan dos áreas diferenciadas: reparaciones en servicio y en producción. Estas últimas son más versátiles en procesos que conllevan autoclave, autoclave frío o mantavacío.

En cualquier caso, la reparación debe restaurar la capacidad de la pieza de soportar las cargas límites de diseño y capacitar la vida útil en servicio.

Por último citamos los daños básicos de reparación en estructuras monolíticas y estructuras sándwich. Para las primeras, una vez localizado el tipo de daño, se instalan parches precurados y se curan en autoclave con los materiales de producción, o bien; se delamina la estructura y se repone el

material en frío o en caliente. Para las estructuras sándwich, también se localiza primeramente el tipo de daño: solo una piel, piel y núcleo, área de núcleo...según el tamaño del daño puede ser admisible o reparable y el acceso puede darse por una cara o por las dos.

1.4. ENSAYOS A ESCALA REAL

Como hemos definido en el apartado 1.2. existen varios tipos de ensayos con materiales compuestos: ensayos estáticos, de durabilidad, de operaciones en vuelo y suelo, sónicos y de vibración en vuelo. Finalmente se evalúan e interpretan los resultados de ensayo.

Estos ensayos se organizan en tres grandes grupos de tipos de ensayos:

- ensayos funcionales,
- ensayos destructivos,
- ensayos no destructivos.

Los ensayos funcionales se caracterizan por realizarse sobre el objeto ensayado o una réplica del mismo. A veces, el ensayo consiste en reproducir las condiciones de servicio indefinidamente hasta producir el fallo; en cambio en otras, la muestra se somete a condiciones sin intención de propiciar su fallo, con el propósito de comprobar su correcto diseño, calidad e idoneidad. Hay que considerar también como funcionales, los ensayos en los que se causa directamente el fallo catastrófico de la muestra para estudiar luego el efecto de este.

Los ensayos destructivos requieren para su realización la destrucción, o al menos el deterioro significativo de la muestra. La muestra queda, generalmente, inutilizada. Los ejemplos más claros de estos ensayos son los mecánicos, metalografía convencional y análisis clásicos. En todos ellos la toma de la muestra implica un daño irreparable para el objeto ensayado.

Estos ensayos, aplicados a un control de calidad, permiten comprobar el nivel de calidad de una producción obteniendo datos de una zona local del producto, pero no de todo el volumen.

El tercer grupo de ensayos y el más empleado es el de los no destructivos. Deben adaptarse a las exigencias de la muestra con el fin de evitar su deterioro. Para ello hay que recurrir a aquellas características físicas del material que sean significativas tecnológicamente: densidad, conductividad térmica, absorbancia electromagnética, índice de refracción, estructura cristalina...

A diferencia del anterior grupo, los ensayos no destructivos permiten la inspección del 100% de la producción y la obtención de datos de todo el volumen de un producto o pieza. Colaboran en prevenir accidentes y proporcionan beneficios económicos directos e indirectos, así como contribuir a mantener un nivel de calidad uniforme, conservación y aumento del prestigio del producto.

1.4.1. Ensayos no destructivos

Existen una serie de situaciones en las que deben de emplearse los ensayos no destructivos (E.N.D.):

1. Cuando sea posible, ya que es fácil que pueda haber limitaciones por: el mismo procedimiento de inspección, la geometría de la pieza y la naturaleza de los materiales a inspeccionar.

2. Cuando sea estrictamente necesario. Esta restricción se impone por razones económicas, pues estos ensayos son, en general costosos, debido al valor de los equipos que obliga a grandes inversiones, la duración de la puesta a punto del procedimiento de inspección y el costo de explotación (mantenimiento de los equipos).

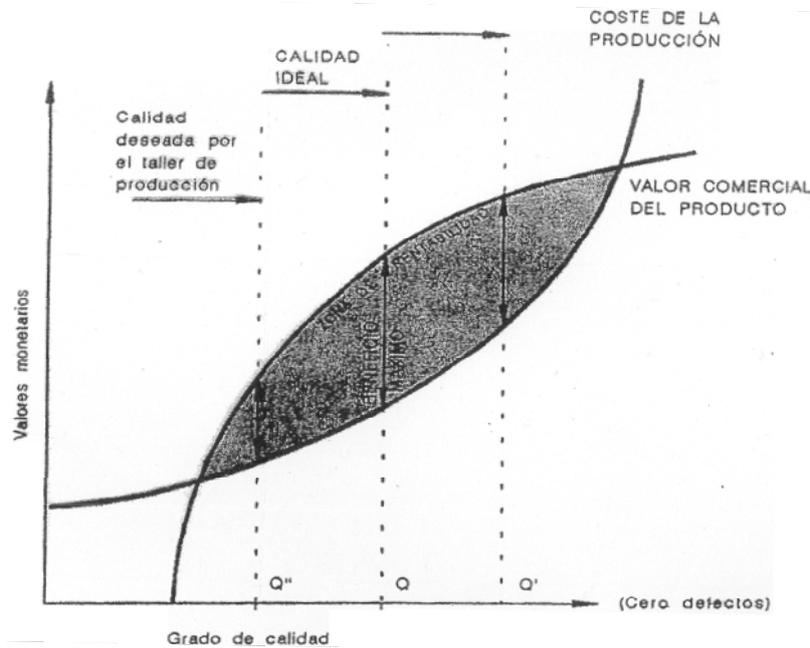


Figura 1 : Fundamento económico de la calidad

Existen una serie de etapas básicas en la inspección de un material estructural, mediante E.N.D., por lo que respecta a problemas de defectología, caracterización y metrología que pueden concretarse en la elección del método y las técnicas operativas más idóneas. También hay que establecer los criterios de aceptación o rechazo.

A la hora de elegir el método y la técnica operatoria idónea, hay que tener presente la naturaleza del material y su estado estructural así como el tamaño y la forma del producto. Es fundamental también conocer el tipo de heterogeneidad que se pretende detectar.

En cualquier caso, hay que tener presente que cada método posee una sensibilidad limitada, la cual podrá ser adecuada para el examen de un tipo de material con una condición de empleo o servicio. Teniendo en cuenta que el aumento en la sensibilidad trae consigo, entre otros, el aumento del

coste del ensayo, es preciso que se especifique el nivel de calidad o límites de aceptación requeridos en el producto.

Una característica común de los métodos de E.N.D. es que siguen procedimientos indirectos, es decir; que determinan la característica buscada en el producto a través de cualquier otra propiedad relacionada con ella.

Los ensayos no destructivos más utilizados son:

- métodos radiográficos, que proporcionan una indicación que es una imagen de las heterogeneidades presentes en el material.

- ensayos por ultrasonidos, que representan una indicación que es una ampliación de la heterogeneidad según una sección por la superficie de observación.

- los ensayos por partículas magnéticas o por líquidos penetrantes, amplían una heterogeneidad según una sección por la superficie de observación.

- los métodos magnéticos y eléctricos miden una variación en las propiedades físicas del material.

Como hemos podido observar hasta ahora, los E.N.D buscan las posibles heterogeneidades del material. Pero esta búsqueda está limitada por factores tales como el tamaño de la heterogeneidad, la orientación, la naturaleza, la morfología (esférica, cilíndrica, plana...) o la situación, ya sea superficial, subsuperficial o interna.

Una vez que el ensayo arroja una indicación, es preciso evaluarla. Esta evaluación consiste en hallar la correlación entre la indicación observada con su tamaño y morfología. Esta evaluación no es más que el dictamen sobre qué es lo que da motivo a una indicación.

Para una correcta evaluación, será aconsejable recurrir, en las primeras fases de la puesta a punto del método, a los E.N.D. que sean precisos. En algunos casos, bastará la experiencia y pericia del operador, adquiridas con la observación de gran número de productos defectuosos.

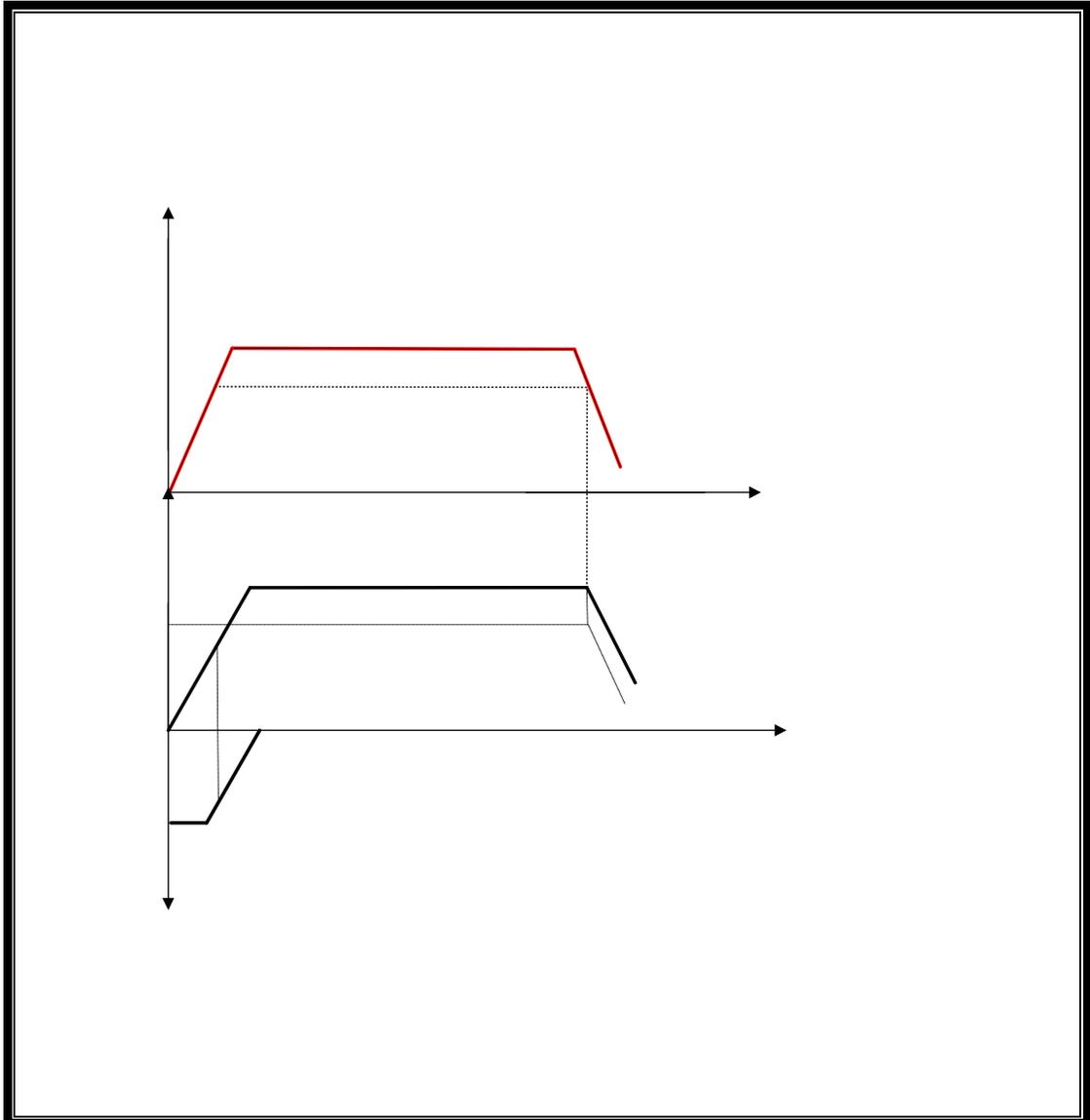
La evaluación es, pues, una función de primordial importancia y su responsabilidad recae de lleno en el experto en los métodos de E.N.D.

Una vez obtenida y evaluada una indicación, se debe hallar la correlación entre la heterogeneidad detectada, la característica determinada y la dimensión del material con su efecto posterior en las propiedades requeridas en el material. Esto significa decidir sobre cuando una heterogeneidad o característica del material, afecta a su empleo.

Para concluir con este capítulo, los expertos están muy interesados en conocer la contestación a dos preguntas a la hora de establecer los criterios de aceptación o rechazo:

- ¿Puede el proceso de inspección mediante E.N.D. garantizar que, mediante el mismo, se detectarán todos los defectos mayores de un determinado tamaño crítico? y
- ¿Cuál es el tamaño del mayor defecto que puede no detectarse durante la inspección?

CICLO DE CURADO



PROPIEDADES FISICAS Y QUÍMICAS DEL ALUMINIO 2024 T3

Norma UNE: L 3140

ISO R209: AlCu₄Mg

Composición química:

- Aluminio: 93.5%
- Cobre: 4.4%
- Magnesio: 1.5%
- Manganeso: 0.6%

Propiedades físicas:

- Densidad: 2.78 Mg/m³
- Coefficiente de dilatación: 23.2 µm/m·K
- Calor específico: 875 J/kg·K
- Conductividad térmica: 120 – 150 W/m·K
- Resistividad eléctrica: 50 nΩ/m

Propiedades mecánicas:

Resistencia a la tensión: 485 MPa

Resistencia a la tracción: 24 °C : 285 MPa

150 °C : 380 MPa

205 °C : 185 MPa

Resistencia a la cizalla: 285 MPa

Límite elástico: 345 MPa

Alargamiento: 17%

Límite de fatiga: 140 · 5·10⁸ MPa

Dureza: 120 HB

Modulo de elasticidad: 73 MPa

Coefficiente de Poisson: 0.33

BIBLIOGRAFÍA

- Materiales compuestos. Antonio Miravete Universidad de Zaragoza.

- Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales.
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

- Norma aeronáutica: Norma de fabricación de estructuras con materiales compuestos de fibra de carbono (laminados y “sandwich”).

- Ley 31/1995 de Prevención de Riesgos Laborales
Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

- www.inta.es.
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial.

- www.mcyt.es.
Página web del Ministerio de Ciencia y Tecnología.

- www.dupont.com

Fabricantes de honeycomb.

- www.manualvuelo.com

Mandos de control de un avión.

- www.tdx.cesca.es

Aplicación de los composites de fibra de carbono.

- www.ii.udc.es

Tecnología de materiales compuestos.

- www.uniovi.es

Materiales tradicionales avanzados

- www.quimica.ull.es

Tipos de fibras.

- www.plastiglas.com

Manual técnico termoformado.

- www.imavolt.com

Papel Aramido

PLIEGO DE CONDICIONES

1. OBJETIVO.

El objetivo del presente pliego de condiciones es definir el conjunto de directrices, requisitos y normas aplicables al desarrollo de las obras a las que se refiere el proyecto del que forma parte. Contiene las condiciones técnicas normalizadas referentes a los materiales y equipos, el modo de ejecución, medición de las unidades de obra y, en general, cuantos aspectos han de regir en las obras comprendidas en el presente proyecto. El pliego de condiciones constituye el documento más importante desde el punto de vista contractual.

El contratista está obligado a ejecutar el proyecto según se especifica en el pliego de condiciones.

Del mismo modo, la administración podrá conocer de forma detallada las diferentes tareas que se desarrollarán durante la ejecución del proyecto.

2. DISPOSICIONES GENERALES.

2.1. Contradicciones, omisiones o errores:

En el caso de contradicción entre los planos y el pliego de prescripciones técnicas, prevalecerá lo indicado en este último. Lo mencionado en el pliego de prescripciones técnicas y omitidas en los planos o viceversa, habrá de ser aceptado como si estuviese expuesto en ambos documentos, siempre que, a juicio del director de obras, quede suficientemente definida la unidad de obra correspondiente y esta tenga precio en el contrato.

En todo caso, las contradicciones, omisiones o errores que se adviertan en estos documentos por el director o contratista deberán reflejarse en el acta de comprobación.

2.2. Trabajos preparatorios:

Los trabajos preparatorios para el inicio de las obras consistirán en:

- Comprobación del replanteo.
- Fijación y conservación de los puntos del replanteo.
- Programación de los trabajos.

2.2.1. Comprobación del replanteo:

En el plazo de quince días a partir de la adjudicación definitiva se comprobarán, en presencia del adjudicatario o de su representante, el replanteo de las obras efectuadas antes de la licitación, extendiéndose la correspondiente acta de comprobación del replanteo.

El *acta de comprobación del replanteo* reflejará la conformidad o la disconformidad del replanteo respecto a los documentos contractuales del proyecto, refiriéndose expresamente a las características geométricas de los trabajos, así como a cualquier punto que en caso de disconformidad pueda afectar al cumplimiento del contrato.

Cuando el acta de comprobación del replanteo refleje alguna variación respecto a los documentos contractuales del proyecto, deberá ser acompañada de un nuevo presupuesto, valorado a los precios del contrato.

2.2.2. Fijación de los puntos de replanteo:

La comprobación del replanteo deberá incluir como mínimo los datos y referencias previstos para poder materializar las obras, así como los puntos fijos o auxiliares necesarios para los sucesivos replanteos de detalles y de otros elementos que puedan estimarse precisos.

Los puntos de referencia para los sucesivos replanteos se marcarán con los medios adecuados para evitar su desaparición.

Los datos, cotas y puntos fijados se anotarán en un anexo al acta de comprobación del replanteo, el cual se unirá al expediente de las obras, entregándose una copia al contratista.

El contratista se responsabilizará de la conservación de las señales de los puntos que hayan sido entregados.

2.2.3. Programación de los trabajos:

En el plazo que se determine en días hábiles a partir de la aprobación del acta de comprobación del replanteo, el adjudicatario presentará el programa de trabajos de las obras. Dicho programa de trabajo incluirá los siguientes datos:

- Fijación de las clases de obras y trabajos que integran el proyecto e indicación de las mismas.
- Determinación de los medios necesarios (instalaciones, equipos y materiales).
- Valoración mensual y acumulada de la obra, programada sobre la base de los precios unitarios de adjudicación.
- Representación gráfica de las diversas actividades, en un gráfico de barras o en un diagrama espacio – tiempo.

Cuando del programa de trabajos se deduzca la necesidad de modificar cualquier condición contractual, dicho programa deberá ser redactado por el adjudicatario y por la dirección técnica de las obras, acompañándose de la correspondiente propuesta de modificación para su tramitación reglamentaria.

2.3. Plazos de ejecución:

El contratista empezará las obras al día siguiente de la fecha del acta de comprobación de replanteo, debiendo quedar terminado en la fecha acordada en dicho acta.

2.4. Desarrollo y control de los trabajos:

Para el mejor desarrollo y control de los trabajos, el adjudicatario seguirá las normas que se indican en los apartados siguientes:

2.4.1. Equipos de maquinaria:

El contratista quedará obligado a situar en las obras los equipos de la maquinaria que se comprometa a aportar en la licitación, y que el director de las obras considere necesario para el correcto desarrollo de las mismas. Dichos equipos de maquinaria deberán ser aprobados por el director.

La maquinaria y demás elementos de trabajo deberán estar en perfectas condiciones de funcionamiento y quedar adscritos a la obra durante el curso de la ejecución de las unidades en las que deban utilizarse. No podrán retirarse sin el consentimiento del director.

2.4.2. Ensayos

El número de ensayos y su frecuencia, tanto sobre materiales como unidades de obras terminadas, será fijado por el ingeniero director, y se efectuarán con arreglo a las normas afectantes a cada unidad de obra, o, en su defecto, con arreglo a las instrucciones que dicte el director.

El adjudicatario abonará el costo de los ensayos que se realicen, que no podrán superar el 1 % del presupuesto de adjudicación.

El contratista está obligado a realizar su autocontrol de cotas, tolerancias y geométrico en general, así como el de calidad, mediante ensayos materiales, densidades de compactación, etc. Se entiende que no

se comunicará a la dirección de obra que una unidad de obra está terminada a juicio del contratista para su comprobación hasta que el mismo contratista, mediante su personal facultativo para el caso, haya hecho sus propias comprobaciones y ensayos y se haya asegurado de cumplir las especificaciones.

Así, el contratista está obligado a disponer de los equipos necesarios para dichas mediciones y ensayos.

2.4.3. Materiales

Todos los materiales que se utilicen en las obras deberán cumplir las condiciones que se establecen en el pliego de condiciones, pudiendo ser rechazados en caso contrario por el ingeniero director. Por ello, todos los materiales que se propongan ser utilizados en obra deben ser examinados y ensayados antes de su aceptación en primera instancia mediante el autocontrol del contratista y, eventualmente, con el control de dirección de obra.

Cuando la procedencia de los materiales no esté fijada en el pliego de prescripciones técnicas, los materiales requeridos para la ejecución del contrato serán fijados por el contratista de las fuentes de suministro que este estime oportuno.

El contratista notificará al director, con la suficiente antelación, los materiales que se propone utilizar y su procedencia, aportando, cuando así lo solicite el director, las muestras y los datos necesarios para su posible aceptación, tanto en lo que se refiere a su cantidad como a su calidad.

El no rechazo de un material no implica su aceptación. El no rechazo o la aceptación de una procedencia no impide el posterior rechazo de cualquier partida de material de ella que no cumpla las prescripciones, ni incluso la eventual prohibición de dicha procedencia.

En ningún caso podrán ser acoplados y utilizados en los trabajos materiales cuya procedencia no haya sido aprobada por el director.

2.4.3.1. Manipulación de materiales:

Todos los materiales se manipularán con cuidado, y de tal modo que se mantengan su calidad y aptitud para la obra.

2.4.3.2. Inspección en planta:

Si el volumen de la obra, la marcha de la construcción y otras consideraciones lo justifican, el ingeniero puede proceder a la inspección del material o de los artículos manufacturados en sus respectivas fuentes.

2.4.3.3. Inspección de los materiales:

Con objeto de facilitar la inspección y prueba de los materiales, el contratista notificará al ingeniero con dos semanas como mínimo de antelación a la entrega.

2.4.3.4. Materiales defectuosos:

Todos los materiales que no se ajusten a los requisitos del pliego de condiciones se considerarán defectuosos y, por tanto, se retirarán

inmediatamente del lugar de la obra, a menos que el ingeniero ordene lo contrario.

Los materiales rechazados, cuyos defectos se hayan corregido substancialmente, no se utilizarán mientras no se les haya otorgado la aprobación.

2.4.4. Acopios:

Quedará terminantemente prohibido, salvo autorización escrita del director, efectuar acopio de materiales, cualesquiera que sea su naturaleza, sobre la plataforma de obra y en aquellas zonas marginales que defina el director.

Se considera especialmente prohibido el depositar materiales, herramientas, maquinaria, escombros o cualquier otro elemento no deseable, en las siguientes zonas:

- Áreas de procesos adyacentes o limítrofes con la zona donde se realizan los trabajos.
- Desagües y zonas de trabajo en general.
- Vías de acceso a casetas de operación, puntos de reunión para estados de emergencia y puntos de situación de extintores.
- Calles y vías de circulación interior, tanto de la zona de construcción como de áreas de proceso adyacentes a ésta.
- En general, cualquier lugar en el que la presencia de materiales, herramientas o utensilios pueda entorpecer las labores de mantenimiento y operación de las unidades de proceso, o pueda dificultar el proceso de emergencia de la planta.

Los materiales se almacenarán en forma tal que se asegure la preservación de su calidad para su utilización en la obra, requisito que deberá de ser comprobado en el momento su utilización.

Las superficies empleadas en la zona de acopios deberán acondicionarse de forma que, una vez terminada su utilización, recuperen su aspecto original. Todos los gastos que de ello se deriven correrán por cuenta del contratista.

2.4.5. Trabajos nocturnos:

Los trabajos nocturnos deberán ser previamente autorizados por el director, y solamente realizados en aquellas unidades de obra que así lo requieran. El contratista deberá instalar los equipos de iluminación y mantenerlos en perfecto estado mientras duren los trabajos nocturnos.

2.4.6. Accidentes de trabajo:

De conformidad con lo establecido en el artículo 71 del Reglamento de la Ley de Accidentes de Trabajo, el contratista está obligado a contratar, para su personal, el seguro contra riesgo por accidentes de trabajo.

El contratista y la dirección de obra fijarán de antemano las condiciones de seguridad en las que se llevarán a cabo los trabajos objeto del presente proyecto, así como las pruebas, ensayos, inspecciones y verificaciones necesarias, que en cualquier caso deberán ser, como mínimo, las prescritas por los reglamentos actuales vigentes.

No obstante, en aquellos casos en que el contratista o la dirección consideren que se deben tomar disposiciones adicionales de seguridad, podrán tomarse éstas sin reserva alguna.

Por otra parte, el contratista será responsable de suministrar al personal a su cargo los equipos necesarios para que éste trabaje en las condiciones de seguridad adecuadas, tales como cascos, caretas, botas reforzadas, gafas de protección, etc.

Asimismo, serán responsabilidad del contratista los posibles daños causados en las instalaciones, tanto terminadas o aún en construcción, ocasionados por personas ajenas a la obra dentro del horario establecido de trabajo, así como de los accidentes personales que puedan ocurrir.

2.4.7. Descanso en días festivos:

En los trabajos concedidos a la contrata se cumplirá puntualmente el descanso en días festivos, del modo que se señale en las disposiciones vigentes.

En casos excepcionales, en los que fuera necesario trabajar en dichos días, se procederá como indican las citadas disposiciones.

2.4.8. Trabajos defectuosos o no autorizados

Los trabajos defectuosos no serán de abono, debiendo ser demolidos por el contratista y reconstruidos en el plazo de acuerdo con las prescripciones del proyecto.

Si alguna obra no se hallase ejecutada con arreglo a las condiciones del contrato y fuera, sin embargo, admisible a juicio del ingeniero director de obras, podrá ser recibida provisionalmente, y definitivamente en su caso, quedando el adjudicatario obligado a conformarse, sin derecho a reclamación, con la rebaja económica que el ingeniero director estime, salvo en el caso de que el adjudicatario opte por la demolición a su costa y las rehaga con arreglo a las condiciones del contrato.

2.4.9. Señalización de las obras:

El contratista queda obligado a señalar a su costa las obras objeto del contrato, con arreglo a las instrucciones y uso de aparatos que prescriba el director.

2.4.10. Precauciones especiales:

2.4.10.1. Lluvias:

Durante las fases de construcción, montaje e instalación de obras y equipos, estos se mantendrán en todo momento en perfectas condiciones de drenaje. Las cunetas y demás desagües se mantendrán de modo tal que no produzcan daños.

El equipo que no necesite revisión o inspección previa a su instalación no será desembalado hasta el momento de la misma. Se protegerá el equipo desembalado de la lluvia mediante cubiertas y protectores adecuados.

2.4.10.2. Incendios

El contratista deberá atenerse a las disposiciones vigentes para la prevención y control de incendios, y a las recomendaciones u órdenes que reciba del director.

En todo caso, adoptará las medidas necesarias para evitar que se enciendan fuegos innecesarios, y será responsable de evitar la propagación de los que se requieran para la ejecución de las obras, así como de los daños y perjuicios que se puedan producir.

No obstante lo anterior, el contratista podrá exigir el asesoramiento de un técnico de seguridad competente, elegido por la dirección, en todos los casos en los que lo estime conveniente, y, particularmente, en aquellos en los que el riesgo de producción de incendio sea más elevado (soldadura, corte con soplete, etc.).

2.4.11. *Personal técnico:*

El contratista está obligado a dedicar a los trabajos (tanto de obra civil como de montaje e instalación de líneas y equipos) el personal técnico a que se comprometió en la licitación. A pie de las obras, y al frente de las mismas, deberá haber un ingeniero superior.

El personal así designado no será asignado a otras obligaciones mientras duren los trabajos.

Por otra parte, el personal a cargo del contratista deberá estar lo suficientemente cualificado para la realización de los trabajos. Es

responsabilidad del contratista, por lo tanto, cualquier retraso derivado de la incompetencia o ignorancia del personal a su cargo.

El director podrá prohibir la presencia en la zona de trabajos de determinado personal del contratista por motivo de falta de obediencia o respeto, o por causa de actos que comprometan o perturben, a su juicio, la seguridad, integridad o marcha de los trabajos.

El contratista podrá recurrir, si entendiéndose que no hay motivo fundado para dicha prohibición.

2.5. Medición de obras:

La forma de realizar la medición, y las unidades de medida a utilizar, serán definidas en el pliego de prescripciones técnicas para cada unidad de obra.

Todas las mediciones básicas para el abono deberán de ser conformadas por el director y el representante del contratista.

Las unidades que hayan de quedar ocultas o enterradas deberán ser medidas antes de su ocultación. Si la medición no se efectuó a su debido tiempo, serán de cuenta del contratista las operaciones para llevarlas a cabo.

2.6. Certificaciones:

El importe de los trabajos efectuados se acreditará mensualmente al contratista por medio de certificaciones expedidas por el director en la forma legalmente establecida.

2.6.1. Precio unitario:

Los precios unitarios fijados en el contrato para cada unidad de obra cubrirán todos los gastos efectuados para la ejecución material de la unidad correspondiente, incluidos los trabajos auxiliares, mano de obra, materiales y medios auxiliares de cada unidad de obra, siempre que expresamente no se indique lo contrario en este pliego de prescripciones técnicas.

2.6.2. Partidas alzadas:

Las partidas alzadas a justificar se abonarán consignando las unidades de obra que comprenden los precios del contrato, o los precios aprobados si se trata de nuevas unidades.

2.6.3. Instalaciones y equipos de maquinaria:

Los gastos correspondientes a instalaciones y equipos de maquinaria se considerarán incluidos en los precios de las unidades correspondientes, y, en consecuencia, no serán abonados separadamente.

2.7. Legislación social:

El contratista estará obligado al cumplimiento de lo establecido en la Ley sobre el Contrato del Trabajo y Reglamentaciones de Trabajo Regulatoras de Subsidio y Seguros Sociales vigentes.

2.8. Gastos de cuenta del contratista:

Serán de cuenta del contratista, siempre que en el contrato no se prevea explícitamente lo contrario, los siguientes gastos:

- Los gastos de construcción y retirada de toda clase de construcciones auxiliares.
- Los gastos de alquiler o adquisición de terreno para depósito de maquinaria y materiales.
- Los gastos de protección de acopios y de la propia obra contra todo deterioro, daño o incendio, cumpliendo los requisitos vigentes para almacenamiento de explosivos y carburantes.
- Los gastos de limpieza y evacuación de desperdicios de basuras.
- Los gastos de suministro, colocación y conservación de señales de tráfico, balizamiento y demás recursos necesarios para proporcionar seguridad dentro de las obras.
- Los gastos de montaje, conservación y retirada de instalaciones para el suministro del agua y la energía eléctrica necesarias para las obras.
- Los gastos de demolición y desmontaje de las instalaciones provisionales.

- Los gastos de retirada de materiales rechazados y corrección de las deficiencias observadas y puestas de manifiesto por los correspondientes ensayos y pruebas.

2.9. Ingeniero director de obras. Funciones:

El ingeniero director de obras será responsable de la inspección y vigilancia de la ejecución del contrato, y asumirá la representación de la administración o de la entidad pertinente frente al contratista.

Las funciones del ingeniero director de obras serán las siguientes:

- Garantizar la ejecución de las obras con estricta sujeción al proyecto aprobado, o modificaciones debidamente autorizadas.
- Definir aquellas condiciones técnicas que en el presente pliego de condiciones se dejen a su decisión.
- Resolver todas las cuestiones técnicas que surjan en cuanto a la interpretación de los planos, condiciones de materiales y de ejecución de unidades de obra, siempre que no se modifiquen las condiciones del contrato.
- Estudiar las incidencias o problemas planteados en las obras que impidan el normal cumplimiento del contrato o aconsejen su modificación, tramitando, en su caso, las propuestas correspondientes.
- Proponer las actuaciones procedentes para obtener, de los organismos oficiales y de los particulares, los permisos y autorizaciones necesarias para la ejecución de las obras y ocupaciones de los bienes afectados por ellas, y resolver los

problemas planteados por los servicios y servidumbres relacionados con las mismas.

- Asumir personalmente bajo su responsabilidad, en casos de urgencia o gravedad, la dirección inmediata de determinadas operaciones o trabajos en curso, para lo cual, el contratista deberá poner a su disposición el personal y el material de la obra.
- Acreditar al contratista las obras realizadas conforme a lo dispuesto en los documentos del contrato.
- Participar en las recepciones provisionales y definitivas y redactar la liquidación de las obras conforme a las normas legales establecidas.

El contratista estará obligado a prestar su colaboración al ingeniero director para el normal cumplimiento de las funciones a éste encomendadas.

2.10. Recepciones, garantías y obligaciones del contratista:

El adjudicatario deberá obtener a su costa todos los permisos y licencias para la ejecución de las obras. Del mismo modo serán de su cuenta los gastos derivados de los permisos y tasas.

La recepción, garantías y obligaciones del contratista serán las siguientes:

- Recepción provisional.
- Plazo de garantía.
- Recepción definitiva.

2.10.1. *Recepción provisional:*

Una vez terminados los trabajos, se procederá al examen global por parte del director, el cuál, si los considera aptos para ser recibidos, extenderá un acta donde así lo haga constar, procediéndose inmediatamente a la puesta en marcha y entrada en normal funcionamiento de las instalaciones.

En ningún caso la recepción provisional tendrá lugar antes de las siguientes operaciones:

- Inspección visual de todos los equipos y líneas, así como de los equipos auxiliares.
- Prueba hidrostática de las áreas que así lo requieran.
- Lavado del equipo tal y como se expone en el apartado “aparatos a presión” del presente pliego de condiciones.
- Comprobación de servicios auxiliares.

Teniendo en cuenta lo anterior, la obra no podrá ponerse en funcionamiento por partes desde su inicio, a menos que, a juicio del ingeniero director, no se perjudique la integridad de la instalación y no se interfiera en la normal operación de otras unidades o procesos adyacentes.

Si el ingeniero director apreciase en las obras defectos de calidad u otras imperfecciones que, a su juicio, pudieran resultar perjudiciales o poco convenientes, el contratista deberá reparar o sustituir, a su costa, dichas partes o elementos no satisfactorios.

2.10.2. Plazo de garantía:

Será de un año, contado a partir de la fecha de recepción provisional, salvo indicación contraria expresa en el pliego de contratación de la obra. Durante dicho periodo, las posibles obras de reparación, conservación y sustitución serán por cuenta del contratista, siendo este responsable de las faltas que puedan existir.

En caso de existir defectos o imperfecciones, no servirá de disculpa ni le dará derecho alguno al contratista el que el director o subalterno hayan examinado durante la construcción, reconocido sus materiales o hecho su valoración en las relaciones parciales. En consecuencia, si se observan vicios o imperfecciones antes de efectuarse la recepción, se dispondrá que el contratista demuela y reconstruya, o bien repare, de su cuenta, las partes defectuosas.

2.10.3. Recepción definitiva:

Transcurrido el plazo de garantía, y previo a los trámites reglamentarios, se procederá a efectuar la recepción definitiva de las obras, una vez realizado el oportuno reconocimiento de las mismas y en el supuesto de que todas ellas se encuentren en las condiciones debidas.

En caso de que, al proceder al reconocimiento de las obras, estas no se encontrasen en estado de ser recibidas, se aplazará su recepción hasta que estén en condiciones de serlo.

Al proceder a la recepción definitiva de las obras, se extenderá por cuadruplicado el acta correspondiente.

2.10.4. Prescripciones particulares:

En todos aquellos casos en que, a juicio del director de las obras, se haga aconsejable para la ejecución de los trabajos previstos la fijación de determinadas condiciones específicas, se procederá a la redacción por este del oportuno pliego de prescripciones particulares, que ha de ser aceptado por el contratista, quedando obligado a su cumplimiento.

3. CONDICIONES DE LOS MATERIALES Y EQUIPOS:

El presente apartado del pliego de condiciones tiene por objeto establecer las calidades y características de los equipos y dispositivos objeto de este proyecto, así como de los materiales que los constituyen.

3.1. Referencias y normativas:

Se tendrán como de obligado cumplimiento las siguientes normas y estándares:

1. ITC-BT-19 del Reglamento de Baja tensión, sobre instalaciones interiores o receptoras. Las prescripciones contenidas en esta Instrucción se extienden a las instalaciones interiores dentro del campo de aplicación del artículo 2 y con tensión asignada dentro de los márgenes de tensión fijados en el artículo 4 del presente Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
2. Norma UNE 20.460 -5-523 y su anexo nacional, por la que se rigen las intensidades máximas admisibles en cualquier instalación eléctrica de Baja Tensión.
3. Norma UNE 20.460 -5-54 y apartado 543, por la que se rigen y se detallan la naturaleza de los materiales para la selección de los conductores de protección, en cualquier instalación eléctrica de Baja Tensión.
4. ITC-BT-21 del Reglamento de Baja tensión, sobre instalaciones eléctricas empotradas.
5. Norma UNE 20315, en la cual se detalla las bases de toma de corriente, utilizadas en las instalaciones interiores o receptoras.

6. ITC-BT-20 instrucción técnica correspondiente al reglamento de baja tensión, por la cual se describe la naturaleza de los conductores y cables que se empleen en las instalaciones.
7. Norma ANSI B.36.10 para dimensiones de tuberías de acero al carbono y aleadas soldadas y sin soldadura.
8. Norma ANSI B.16.5 para clasificación presión – temperatura, bridas, espárragos para bridas, válvulas bridadas y accesorios bridados de acero.
9. Norma ANSI B.18.2 para espárragos y tuercas.
10. Norma ANSI B.16.9 para accesorios de acero para soldar a tope.
11. Norma ANSI B.16.11 para accesorios de acero para soldar a enchufe y roscados.
12. Norma ANSI B.16.10 para la definición de dimensiones de válvulas bridadas.
13. Norma ANSI B.16.34. para válvulas para soldar a tope.
14. Norma API 600 para válvulas de compuerta.
15. Norma API 602 para válvulas de compuerta de pequeña dimensión.
16. Norma API 598 para inspección y prueba de válvulas.
17. Norma ASTM A-106 gr. B para tuberías de acero al carbono sin soldaduras.
18. Norma ASTM A-234 WPB para accesorios de acero al carbono obtenidos de tubos para soldar a tope.
19. Norma ASTM A-216 WCB para válvulas y accesorios bridados de acero al carbono fundido.
20. Norma ASTM A-105 para bridas, válvulas y accesorios de acero al carbono forjado roscados y para soldar a enchufe.
21. Norma ASTM A-193 B7 para espárragos.
22. Norma ASTM A-194 gr. 2H para tuercas.
23. Norma ASME SA-285 gr. C para cuerpos cilíndricos y fondos de recipientes.

3.2. Condiciones para los materiales:

3.2.1. Condiciones generales para los materiales:

Todos los materiales tendrán las condiciones técnicas que dictan las normas citadas en el subapartado “referencias y normativas” del presente apartado del pliego de condiciones.

Las características de los mismos serán las expresadas en los subapartados que siguen, pudiendo la dirección técnica desechar aquellos que a su juicio no las reúnan.

No podrán ser en ningún caso distintos en sus características a los tipos proyectados. Si hubiese que variar la clase de algunos inicialmente aprobados, los nuevos no podrán ser instalados sin la previa autorización de la dirección de obra, la cual podrá someterlos a cuantas pruebas estime oportunas.

3.2.2. Condiciones para las tuberías y tubos del circuito refrigerante de la instalación:

Las tuberías serán de sección circular, de espesor uniforme y sin costura. Se montarán a partir de cañas de 6 metros de longitud, con los extremos achaflanados para soldar a tope.

Estarán exentas de fisuras, grietas, poros, impurezas, deformaciones o faltas de homogeneidad, así como de otros defectos que pudieran disminuir su resistencia y apartar su comportamiento del esperado por sus características.

Las tuberías destinadas a las líneas, así como la línea de suministro de vapor, serán de acero al carbono.

3.2.3. Condiciones para las conexiones eléctricas:

En ningún caso se permitirá la unión de conductores mediante conexiones y/o derivaciones por simple retorcimiento o arrollamiento entre sí de los conductores, sino que deberá realizarse siempre utilizando bornes de conexión montados individualmente o constituyendo bloques o regletas de conexión; puede permitirse asimismo, la utilización de bridas de conexión. Siempre deberán realizarse en el interior de cajas de empalme y/o de derivación salvo en los casos indicados en el apartado 3.1. de la ITC-BT-21.

Si se trata de conductores de varios alambres cableados, las conexiones se realizarán de forma que la corriente se reparta por todos los alambres componentes y si el sistema adoptado es de tornillo de apriete entre una arandela metálica bajo su cabeza y una superficie metálica, los conductores de sección superior a 6 mm^2 deberán conectarse por medio de terminales adecuados, de forma que las conexiones no queden sometidas a esfuerzos mecánicos.

3.2.4. Condiciones para el aislamiento eléctrico:

El aislamiento se medirá con relación a tierra y entre conductores, mediante un generador de corriente continua capaz de suministrar las tensiones de ensayo especificadas en la tabla anterior con una corriente de 1 mA para una carga igual a la mínima resistencia de aislamiento especificada para cada tensión.

3.2.5. Condiciones para las válvulas:

Las válvulas serán del tipo que la dirección de la obra estime el más adecuado de cara a la línea y servicio en que vayan a ser instaladas.

Estarán libres de defectos, irregularidades, etc., que puedan dificultar su instalación o montaje, o que puedan afectar negativamente a su comportamiento durante el proceso.

Durante su instalación se tendrá especial cuidado de alinear correctamente los extremos con la tubería en la que vayan a ser instaladas.

El apriete de los espárragos se hará con llave dinamométrica, previa introducción de las correspondientes juntas.

3.2.6. Condiciones para las bases de toma de corriente

Las bases de toma de corriente utilizadas en las instalaciones interiores o receptoras serán del tipo indicado en las figuras C2a, C3a o ESB 25-5a de la norma UNE 20315. El tipo indicado en la figura C3a queda reservado para instalaciones en las que se requiera distinguir la fase del neutro, o disponer de una red de tierras específica.

3.2.7. Condiciones para las soldaduras

En las partes de la instalación en que deban llevarse a cabo procesos de soldadura a tope, se instalarán durante el proceso de soldado anillos de protección, y se evitará en todo momento que penetren en el interior de las partes a soldar cascarillas y salpicaduras de soldadura.

La soldadura se hará mediante cordones finos, limpiando e inspeccionado después de cada cordón, evitando así que los defectos de un cordón puedan ser enmascarados por el siguiente.

3.3. Condiciones para los equipos:

3.3.1. Condiciones para el autoclave y sistema de refrigeración del mismo:

Las dimensiones del autoclave, así como sus características geométricas (tipo según TEMA, número de tubos, longitud, diámetro y espaciado de los mismos, número de pasos, etc.) serán los determinados en el pliego de condiciones correspondiente a su proyecto de emplazamiento y puesta en marcha.

Tanto si son trasladados al lugar de emplazamiento montados, como si lo son por partes, el equipo o sus partes serán protegidos adecuadamente contra la lluvia, el polvo, los golpes o las deformaciones.

Si desde que los equipos fueran recibidos desde el taller del fabricante hasta que fueran montados en el terreno hubiera de transcurrir un periodo de tiempo que la dirección técnica considerase razonablemente largo, serían almacenados bajo techado en un lugar seco, y se tomarían precauciones para que no sufrieran contaminación, oxidación excesiva, acumulación de humedad o suciedad, así como golpes o deterioros.

El ingeniero director supervisará los equipos antes de su montaje, comprobará su buen estado y podrá rechazarlos si observa anomalías que a su juicio puedan provocar dicho rechazo.

En el lugar de emplazamiento se habrá previsto el espacio suficiente para permitir la extracción del haz y los desmontajes de bridas y cabezales durante las paradas. Durante la instalación de los haces se protegerán estos con láminas de madera o metal, sujetadas mediante cables a pares de tubos de dichos haces. El haz se apoyará sobre las placas tubulares o sobre los deflectores, y nunca sobre los propios tubos. El alzado se hará mediante bandas trenzadas, y se tendrá especial cuidado de que los haces no sufran deformaciones.

Previa la puesta en marcha, se harán las comprobaciones y operaciones que aparecen en el apartado “equipos a presión” del presente pliego de condiciones.

3.3.2. Condiciones para las bombas:

Las bombas serán iguales a aquellas con las que formen pareja y junto a las cuales conformen un grupo de bombeo, estando diseñadas según las normas API 610 para bombas de proceso, éstas se habrán diseñado el proyecto de emplazamiento del autoclave y los equipos de refrigeración, y permaneciendo en reserva durante la operación normal de la unidad.

Las bombas se suministrarán con la correspondiente bancada, sobre la que se montará el conjunto bomba – motor. La bancada estará constituida por perfiles de acero, dimensionada de forma que soporte los esfuerzos de arranque, y garantizará la estabilidad del conjunto bomba – motor.

Cada bomba será instalada dejando una pendiente para la evacuación de posibles derrames. Esta pendiente se dirigirá hacia el lado opuesto del motor.

El contratista presentará al ingeniero director los planos y memorias descriptivas de las bombas a emplear, acompañados de los correspondientes certificados de pruebas de sobrecarga, rodaje, etc., efectuadas en el taller del fabricante.

3.3.3. Condiciones para los equipos reutilizados

Se aplicará a los equipos sometidos a una alteración en sus condiciones de servicio lo recogido en el apartado "equipos a presión" del presente pliego de condiciones, especialmente en lo que se refiere a inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del aparato antes de su puesta en servicio.

3.4. Condiciones sobre instalaciones auxiliares:

3.4.1. Condiciones para los conductores de la instalación:

Los conductores de la instalación deben ser fácilmente identificables, especialmente por lo que respecta al conductor neutro y al conductor de protección. Esta identificación se realizará por los colores que presenten sus aislamientos.

Cuando exista conductor neutro en la instalación o se prevea para un conductor de fase su pase posterior a conductor neutro, se identificarán éstos por el color azul claro. Al conductor de protección se le identificará por el color verde-amarillo. Todos los conductores de fase, o en su caso,

aquellos para los que no se prevea su pase posterior a neutro, se identificarán por los colores marrón o negro.

Cuando se considere necesario identificar tres fases diferentes, se utilizará también el color gris.

3.4.2. Condiciones para los conductores de protección:

Se aplicará lo indicado en la Norma UNE 20.460 -5-54 en su apartado 543. Como ejemplo, para los conductores de protección que estén constituidos por el mismo metal que los conductores de fase o polares, tendrán una sección mínima igual a la fijada en la tabla 2, en función de la sección de los conductores de fase o polares de la instalación; en caso de que sean de distinto material, la sección se determinará de forma que presente una conductividad equivalente a la que resulta de aplicar la tabla 1.

Secciones de los conductores de fase o polares de la instalación (mm ²)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm ²)
$S \leq 16$ $16 < S \leq 35$ $S > 35$	$S (*)$ 16 $S/2$
(*) Con un mínimo de: 2,5 mm ² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y tienen una protección mecánica. 4 mm ² si los conductores de protección no forman parte de la canalización de alimentación y no tienen una protección mecánica.	

Tabla 1.

Para otras condiciones se aplicará la norma UNE 20.460 -5-54, apartado 543.

En la instalación de los conductores de protección se tendrá en cuenta:

Si se aplican diferentes sistemas de protección en instalaciones próximas, se empleará para cada uno de los sistemas un conductor de protección distinto. Los sistemas a utilizar estarán de acuerdo con los indicados en la norma UNE 20.460-3. En los pasos a través de paredes o techos estarán protegidos por un tubo de adecuada resistencia mecánica, según ITC-BT 21 para canalizaciones empotradas.

No se utilizará un conductor de protección común para instalaciones de tensiones nominales diferentes.

Si los conductores activos van en el interior de una envolvente común, se recomienda incluir también dentro de ella el conductor de protección, en cuyo caso presentará el mismo aislamiento que los otros conductores. Cuando el conductor de protección se instale fuera de esta canalización seguirá el curso de la misma.

3.4.3. Condiciones para el equilibrado de cargas

Para que se mantenga el mayor equilibrio posible en la carga de los conductores que forman parte de una instalación, se procurará que aquella quede repartida entre sus fases o conductores polares.

3.4.4. *Condiciones para la instrumentación*

La válvula de control será la adecuada para las condiciones de proyecto, y se procurará que quede instalada siguiendo las recomendaciones de la norma API RP 550 (1976).

Los termómetros y manómetros a instalar serán de los tipos fabricados por “*Bourdon*”, “*Wika*” o similar. Se procurará que los márgenes de medición de temperatura en los que vaya a trabajar el aparato en condiciones normales queden en el tercio central de la escala.

4. EQUIPOS A PRESIÓN DISPOSICIONES. GENERALES.

Dado que la totalidad de las líneas y equipos contemplados en el presente proyecto trabajan a presión superior a la atmosférica, se fijan las condiciones generales de fabricación, prueba, instalación, operación y funcionamiento de los mismos.

4.1. Referencias y normativas:

Se tendrán como referencia y de obligado cumplimiento las siguientes disposiciones y normas:

- Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía (R/D 1244/1979 del 4 de abril, B.O.E. n° 128 del 29 de mayo de 1979) para todos los aparatos a presión en el ámbito de refinerías de petróleos y plantas petroquímicas.
- PE.T -955-LC-21: Procedimiento para la calibración eléctrica de indicadores de Tª.
- PE.T -955-LC-25: Procedimiento para la calibración de manómetros por comparación con un manómetro patrón.
- PE.T -955-LC-27: Procedimiento para la calibración vacuómetros por comparación con un vacuómetro patrón.
- Instrucción Técnica Complementaria (ITC MIE AP7) sobre botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a Presión (O. 01-09-1982, complementa al Real Decreto 1244/1979 de 4 de Abril B.O.E. N° 272 del 12 de Noviembre de 1982).

- Instrucción Técnica Complementaria (ITC MIE AP17) sobre instalaciones y tratamiento del aire comprimido (O. 28-06-1988, complementa al Real Decreto 1244/1979 de 4 de Abril B.O.E. Nº 163 del 08 de Julio de 1988).
- Los aparatos incluidos en el campo de aplicación de esta ITC, instalados en las instalaciones cumplirán, además, las especificaciones que se indican en el Real Decreto 379/2001 del 06 de Abril, referentes al Reglamento de Seguridad y almacenamiento de productos químicos.
- Reglamento de almacenamiento de productos químicos del Ministerio de Industria y Energía (R/D 379/2001 del 6 de abril, B.O.E. nº 112 del 10 de mayo) para todas las instalaciones de almacenamiento, carga, descarga y trasiego de productos químicos peligrosos
- Instrucción Técnica Complementaria (ITC MIE APQ5) sobre Almacenamiento y utilización de botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a Presión (O. 06-04-2001 complementa al Real Decreto 379/2001 B.O.E. Nº 112 de 10 de Mayo de 2001.
- Instrucción Técnica Complementaria (ITC MIE-AP7) de 1 de Septiembre de 1982 referente a botellas y botellones para gases comprimidos, licuados y disueltos a presión que complementa el REAL DECRETO 1244/1979, de 4 de Abril. BOE Nº 272 de 12 de noviembre.

4.2. Definiciones generales:

Con el fin de que la interpretación del presente pliego de condiciones sea clara e inequívoca, se proporcionan, de acuerdo con el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, las siguientes definiciones:

4.2.1. Aparato sometido a presión:

Aparato cuya presión máxima de servicio es superior a la atmosférica. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición se aplica a:

- Equipo compresor de aire.
- Equipo de vacío.
- Autoclave
- Bomba de Vacío.

4.2.2. Tuberías:

Líneas de conducción de fluidos a presión o a vacío, no sometidas a fuego directo. Por lo que se refiere al presente proyecto esta definición afecta a:

- Línea de entrada de aire comprimido al Área de reparaciones.
- Línea de entrada de aire comprimido al panel en puesto de reparación.
- Línea de vacío a la zona de reparación.
- Línea de vacío al panel en el puesto de reparación.

- Línea de venteo de la bomba de vacío a la atmósfera.

4.2.3. Sistemas:

Conjunto de aparatos a presión, normalmente conectados en secuencia de proceso y susceptibles de ser probados a presión conjuntamente.

4.2.4. Diseño mecánico:

Consiste en la definición completa e inequívoca de un aparato a presión en función de los datos básicos de proceso, código de diseño, características de los materiales utilizados, proceso de fabricación y control de calidad.

4.2.5. Ingeniería

Persona jurídica o técnico titulado competente que, mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de diseño de aparatos a presión, y a partir de los datos básicos necesarios, realiza el diseño mecánico de dichos aparatos. Estas ingenierías deberán estar inscritas en el Registro de Sociedades de Ingeniería o en el colegio oficial correspondiente, y cumplir los requisitos exigidos por la legislación vigente. Las ingenierías extranjeras que no dispongan de delegación en España debidamente legalizada deberán tener autorizado por la Dirección General de Innovación Industrial y Tecnológica el correspondiente contrato de asistencia técnica, suscrito con el fabricante o con alguna ingeniería.

4.2.6. Fabricante

Persona física o jurídica que, a partir de un diseño mecánico y mediante el conocimiento y aplicación correcta de los códigos de construcción de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, realiza el acopio de materiales, la fabricación y ensamblaje total o parcial de los componentes de los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrica el aparato.

4.2.7. Reparador

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de los códigos, normas de construcción y de reparación de aparatos a presión, dispone de personal cualificado y medios apropiados para reparar los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Reparadores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentren sus talleres de reparación.

4.2.8. Instalador

Persona física o jurídica que, mediante el conocimiento e interpretación de las normas de instalación de aparatos a presión y disponiendo de personal cualificado y medios apropiados, instala los aparatos a presión, debiendo estar inscritos, los ubicados en territorio español, en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio

de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre el domicilio social o sus talleres.

4.2.9. Usuario:

Persona física o jurídica propietaria o explotadora de la planta de producción donde se instalan los aparatos a presión.

4.2.10. Inspector propio

Personal técnico competente designado por el usuario o contratado, con experiencia en la inspección de aparatos a presión de autoclaves.

4.2.11. Inspecciones y pruebas previas:

Toda inspección anterior a la puesta en servicio o durante la misma de un aparato o sistema.

4.2.12. Inspecciones y pruebas periódicas

Toda inspección y prueba posterior a la puesta en servicio de un aparato o sistema.

4.2.13. Control de calidad

Se entiende como tal el de la ingeniería, fabricante o instalador, cuanto una inspección o prueba previa se realiza bajo su competencia y responsabilidad.

4.3. Definiciones de ámbito técnico:

4.3.1. Presión de vacío de diseño. (P_v)

Se entiende como el valor de la presión que se toma para el cálculo del caudal de la bomba de vacío, a la temperatura de diseño. La presión de vacío de la bomba, no podrá ser menor que la presión vacío de diseño.

4.3.2. Presión de autoclave (P_a)

Se entiende como la presión más alta que se puede dar en el aparato o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento del proceso.

4.3.3. Presión de servicio (P_s)

Se entiende como la presión normal de trabajo del autoclave o sistema a la temperatura de servicio.

4.3.4. Presión de prueba (P_p)

Se entiende como aquella presión a la que se somete el autoclave o sistema para comprobar su resistencia en las condiciones estáticas para las que fue diseñado. Corresponde a la mayor presión efectiva que se ejerce en el punto más alto del aparato o sistema durante la prueba de presión.

4.3.5. Temperatura de curado de diseño (T_c)

Es el valor de la temperatura que se toma para el cálculo de la programación del ciclo de curado.

4.3.6. Temperatura máxima de curado de servicio (T_{mc})

Es el máximo valor de la temperatura que se estima puede producirse en el interior del autoclave o sistema, en condiciones extremas de funcionamiento.

4.3.7. Temperatura de servicio (T_s)

Es el valor de la temperatura alcanzada en el interior del autoclave o sistema en condiciones normales de funcionamiento a la presión de servicio.

4.4. Condiciones generales para todos los aparatos:

Todas las prescripciones expresadas a continuación se aplicarán a los equipos de nueva instalación relacionados en el subapartado “aparato sometido a presión” del presente apartado del pliego de condiciones, y, de entre ellas, las correspondientes a inspecciones y pruebas, al resto de los equipos disponibles.

4.4.1. Manual de diseño

De acuerdo con lo estipulado en el Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía, se entregará una copia al usuario del manual de diseño del aparato considerado, que comprenderá:

- a) Identificación de la ingeniería.
- b) Datos básicos de proceso necesarios para el diseño.
- c) Código de diseño o sistema de cálculo, ambos de reconocida solvencia técnica, y normas de construcción elegidas, cálculos justificativos, vida mínima estimada del equipo y demás especificaciones técnicas complementarias no contempladas por el código elegido y que la buena práctica requiera.
- d) Planos básicos normalizados según UNE, con indicación de los materiales a emplear y de los elementos que, por formar parte integrante del equipo a presión, puedan afectar a la seguridad del mismo.
- e) Especificación de prueba de presión.

La ingeniería que elabore el manual de diseño certificará que dicho manual cumple con el código de diseño elegido y que el aparato que se fabrique de acuerdo con él será adecuado para el fin al que se destina.

4.4.2. *Certificados*

Los materiales utilizados en la construcción de los elementos resistentes de los aparatos a presión deberán poseer los certificados de calidad correspondientes. Los materiales de aportación que se utilicen en las soldaduras de los componentes de los aparatos a presión estarán clasificados bajo norma de reconocida solvencia técnica.

4.4.3. *Proceso de fabricación*

Para el proceso de fabricación deberán utilizarse unas normas de construcción, control y pruebas acordes con el código de

4.4.4. δx

Ó Óesión

Para cada aparato a presión construido, con excepción de las tuberías, el fabricante deberá elaborar un manual de construcción acorde al manual de diseño, del cual entregará copia al usuario, que comprenderá:

- f) Número de inscripción en el Libro de Registro de Fabricantes de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se fabrique el aparato.
- g) Nombre, razón social y domicilio de la ingeniería.
- h) Planos constructivos complementarios de los básicos que figuren en manual de diseño, comprobados por la ingeniería si fuese requerido contractualmente para ello por el fabricante o el usuario.
- i) Certificados de calidad de los materiales de base y materiales de aportación y de los componentes del aparato empleado en su construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.
- j) Procedimientos de conformado, soldadura, tratamientos térmicos y controles, calificación de procedimientos de soldaduras y soldadores, todo ello aprobado por el control de calidad del fabricante, que puede ser propio o contratado a una ingeniería o entidad colaboradora.
- k) Plano de situación de las zonas sometidas a control por ensayos no destructivos, ensayos requeridos, extensión de los mismos y resultados. Las placas radiográficas serán conservadas adecuadamente por el fabricante durante cinco años como mínimo, a partir de la fecha de fabricación del aparato.
- l) Certificado de ensayos y pruebas realizados durante la construcción, aprobados por el control de calidad del fabricante o una entidad colaboradora, indistintamente, y comprobados por la ingeniería si fuera requerida contractualmente para ello por el usuario.

- m) Acta de la prueba a presión realizada por el fabricante y aprobada por el control de calidad del fabricante.
- n) Certificado del fabricante del aparato, en el que se hará constar que éste ha sido construido de acuerdo con el manual de diseño, el código y normas utilizadas en su fabricación.

El fabricante, al solicitar de la Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía la placa de diseño, con su número de registro, presentará los documentos comprendidos en los puntos g), h) e i) anteriores.

El fabricante de un aparato a presión es responsable de que dicho aparato ofrezca las garantías debidas para el fin a que se destina.

4.4.5. Instalación

Por cada instalación el instalador deberá elaborar un expediente de instalación acorde con los manuales de diseño y construcción, del cuál entregará copia al usuario. Este expediente comprenderá:

- a) Número de inscripción en el Libro de Registro de Instaladores de la respectiva Delegación Provincial del Ministerio de Industria y Energía de la provincia donde se encuentre su domicilio social.
- b) Nombre, razón social y domicilio tanto del fabricante como del instalador.
- c) Relación de aparatos a instalar.
- d) Procedimientos de soldadura y calificación de la mano de obra, aprobados por el control de calidad del instalador.

El instalador de todo sistema a presión es responsable de cualquier deficiencia que pudiera observarse o derivarse de las operaciones de instalación.

4.4.6. *Inspecciones y pruebas*

4.4.6.1. Inspecciones y pruebas oficiales:

Todos los aparatos a presión especificados en el subapartado “aparato sometido a presión” deberán ser sometidos a las inspecciones y pruebas previas a la puesta en servicio ya citadas.

4.4.6.2. Inspecciones y pruebas en el taller del fabricante

Se comprobará por el control de calidad del fabricante que cada equipo ha sido construido de acuerdo con los manuales de diseño y construcción, y quedará constancia de que se han cumplido cada uno de los requisitos previstos en los citados manuales, en cuyo caso se someterán a las siguientes inspecciones y pruebas:

- Examen visual y control dimensional del aparato. Al objeto de poder examinar debidamente el aparato, la placa se hallará desprovista de pintura o de cualquier recubrimiento que pueda disimular los posibles defectos.
- Prueba de presión con el aparato completamente lleno de fluido de prueba. Si existiesen razones por las que dicha prueba no sea factible de realizar en el taller del fabricante, se realizará en el lugar de emplazamiento.

4.4.6.3. Inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento del equipo:

Cada equipo se someterá a las siguientes inspecciones y pruebas en el lugar de emplazamiento:

- Examen visual y control dimensional del aparato, si no se ha realizado anteriormente en el taller del fabricante.
- Prueba de presión de valor igual a la primera en el caso de que evidentemente el aparato haya sufrido alguna anomalía durante el transporte o la manipulación, que la inspección detecte algún fallo real o aparente que así lo aconseje, que el ingeniero director tenga dudas sobre la capacidad de un equipo para resistir las condiciones de servicio previstas, que confluyan circunstancias inesperadas que las hagan recomendables, o siempre que la prueba no se haya efectuado en el taller del fabricante.

En caso de tener que realizarse la prueba de presión en el lugar de emplazamiento, se seguirán las siguientes condiciones:

- a) Observación del procedimiento de prueba descrito por el fabricante en el manual de construcción. Este deberá ser lo suficientemente detallado, incluyendo las condiciones de prueba, los equipos necesarios para su ejecución, los aparatos de medidas de control (debidamente contrastados y con la sensibilidad adecuada, procurándose que la lectura se sitúe en el tercio central de la escala del aparato), sistema de llenado y vaciado y tiempo de mantenimiento de la presión de prueba, que en ningún caso será inferior a 30 minutos.

- b) Observación de las condiciones de seguridad durante las pruebas de presión, comprobándose que el equipo para pruebas es correcto y que las conexiones son las adecuadas a las presiones máximas que se van a alcanzar, así como la disposición de las medidas de seguridad suficientes para evitar no sobrepasar la presión de prueba, ni en ningún momento estar por debajo de la temperatura señalada en el manual diseño, ni dañar los elementos internos del aparato.

Se comprobará antes de la prueba que las estructuras y fundaciones que sustenten el aparato o sistema a probar estén en condiciones de resistir la carga a que van a ser sometidas.

Se cuidará que el personal se mantenga alejado durante el desarrollo de las pruebas de los fondos, tapas y piezas roscadas, y se evitará la presencia de personas ajenas a la prueba.

Los manómetros se instalarán fuera de la proyección vertical y se preferirá situarlos lateralmente o en posición superior.

Durante el llenado con fluido de prueba se cuidará de ventear bien el circuito para evitar que queden cámaras de aire o vapor.

En el lugar de emplazamiento se realizará, antes de cualquier otra operación, una inspección visual tanto interior como exterior del aparato.

4.4.7. Placas

Todos los aparatos a presión comprendidos en el presente proyecto, con excepción de las tuberías, deberán ir provistos de placas de diseño e

identificación, conforme a lo estipulado en el artículo 19 del Reglamento de Aparatos a Presión del Ministerio de Industria y Energía. En dichas placas se grabará:

- *Placa de diseño*: presión de diseño, y en su caso, la presión máxima de servicio, número de registro del aparato y fecha de la primera prueba y sucesivas.
- *Placa de identificación*: nombre o razón social del fabricante, contraseña y fecha de registro del tipo, número de fabricación y características principales.

Las placas de diseño e identificación se fijarán mediante remaches, soldadura o cualquier otro medio que asegure su inamovilidad, en un sitio visible del aparato, y en ningún caso podrán retirarse del mismo.

4.4.8. Elementos de seguridad

Todos los aparatos y sistemas comprendidos en el presente proyecto deben ir provistos de los elementos de seguridad que prescriban los códigos de diseño empleados y los adicionales especificados en el manual de diseño.

Todas las válvulas de seguridad deben ser de apertura total y sistema de resorte, debiéndose cumplir la condición de que la apertura total de la válvula deberá ser ayudada por la presión del fluido evacuado, de tal manera que la apertura asegure una sección de paso a través de la válvula igual al 80 % de la sección neta de paso en el asiento después de la deducción de la sección transversal de los obstáculos en el orificio, debido a las guías y a la forma del cuerpo de la válvula en la posición de apertura máxima.

No se permitirá el uso de válvulas de seguridad de peso ni de palanca de contrapeso.

La descarga de las válvulas de seguridad deberá realizarse de tal forma que impida eficazmente que el fluido evacuado pueda producir daños a personas o cosas.

Durante las inspecciones interiores periódicas de los aparatos o sistemas a presión la válvula o válvulas de seguridad que protejan dichos aparatos o sistemas se desmontarán y ajustarán para, a continuación, probarlas y precintarlas.

4.5. Pruebas para las tuberías:

Para todas las tuberías contempladas en este proyecto se realizarán las siguientes pruebas y comprobaciones en el lugar de emplazamiento:

- Examen visual, control de espesores e identificación de los materiales.
- Primera prueba de presión, en el caso de no haber sido probadas en el taller.

4.6. Prueba de los sistemas antes de la puesta en marcha:

4.6.1. Prueba hidrostática

Se deberá comprobar hidrostáticamente todas las líneas y equipos después de terminar la construcción del circuito, con los equipos interconectados entre sí (comprobación del sistema). El autoclave se llenará con agua y se comprobará al menos a 1,25 veces la presión de diseño.

Las válvulas de control y placas de orificio deberán quitarse de servicio, así como los instrumentos. Las válvulas de seguridad estarán aisladas. Las secciones cuyas presiones de prueba sean diferentes serán separadas mediante juntas ciegas temporales.

Durante la prueba, se comprobará que no existen fugas, especialmente por las bridas atornilladas y por los asientos de las válvulas.

4.6.2. Comprobación de servicios auxiliares

4.6.2.1. Equipo eléctrico

Se comprobará la tensión de los equipos. Los motores eléctricos deberán ser rodados de acuerdo con las instrucciones del fabricante, desconectados del equipo impulsor.

4.6.2.2. Agua de refrigeración

El sistema debe de ser comprobado antes de la puesta en marcha, atendiendo a la disponibilidad, presión y libre circulación.

4.6.2.3. Aire de instrumentos

Los colectores deben de ser soplados para la eliminación de la posible suciedad. Toda red debe de ser comprobada bajo presión.

4.6.2.4. Red contra incendios

Se comprobará la llegada de agua a los hidrantes, así como el libre y rápido acceso a los mismos.

4.6.2.5. Sistema de drenaje

Se comprobará que todos los drenajes y arquetas desalojan adecuadamente.

4.6.2.6. Seguridad

Se comprobará que todas las válvulas de seguridad estén instaladas sin discos ciegos ni cerrojos.

5. MEDICIÓN Y ABONO DE LAS OBRAS.

5.1. Mediciones y valoraciones:

Las mediciones de las obras concluidas se harán por el tipo de unidad fijada en el “presupuesto”. La valoración deberá obtenerse igualmente, aplicando a las unidades de obra el precio que tuviesen asignado en el “presupuesto”.

La valoración de las partidas no expresadas se verificará aplicando a cada una de ellas la medida más apropiada, en la forma y condiciones que estime el director de obra, multiplicando el resultado final de la medición por el precio correspondiente.

5.2. Condiciones económicas:

Las condiciones especiales que regirán esta obra para la liquidación y abono de la misma serán establecidas por la entidad contratante.

5.3. Condiciones de índole legal:

Regirán las condiciones contenidas en el anuncio de subasta y contrata de ejecución, las cuales se ajustarán a las establecidas por la Leyes Generales del Estado.

6. EJECUCIÓN DE LAS OBRAS.

6.1. Ejecución en general:

El contratista tiene obligación de ejecutar esmeradamente las obras, cumplir estrictamente todas las condiciones estipuladas y cuantas órdenes le sean dadas por el director de obra, entendiéndose que deben entregarse completamente terminadas cuantas obras afecten a este compromiso.

Si a juicio del citado director, hubiese alguna parte de la obra mal ejecutada, tendrá el contratista obligación de volverla a ejecutar cuantas veces sean necesarias, hasta quedar a satisfacción de aquel, no siendo motivos estos aumentos de trabajo para pedir indemnización alguna.

6.2. Replanteo:

Antes de comenzar los trabajos se realizará el replanteo general del trazado de cables y tuberías por el contratista o su representante bajo las órdenes del director de obra, marcando las alineaciones con los puntos necesarios para que, con el auxilio de los planos, pueda el contratista ejecutar debidamente las obras.

Será obligación del contratista la custodia y reposición de las señales que se establezcan en el replanteo. Para la realización del replanteo el contratista deberá aportar todo el material y personal necesario para la ejecución de esta operación.

6.3. Orden de los trabajos:

El técnico director encargado de las obras fijará el orden en que deben llevarse a cabo estos trabajos, y la contrata está obligada a cumplir exactamente cuanto se disponga sobre el particular.

6.4. Marcha de las obras:

Una vez iniciadas las obras deberán continuarse sin interrupción y terminarse en el plazo estipulado. Los retrasos, cuando sean justificados, podrán ser aceptados por la dirección de la obra.

6.5. Obra civil:

Se realizará con arreglo a las especificaciones de los restantes documentos del proyecto y a las órdenes que expresamente deberá solicitar el contratista al director de la obra.

6.6. Instalaciones varias:

En todas las instalaciones, y como norma general, se seguirá exactamente todo lo indicado en la memoria y demás documentos del proyecto. En caso de duda, será competencia del director del proyecto

decidir la solución a adoptar. Las instalaciones serán efectuadas conforme a los reglamentos vigentes que les afectan.

6.7. Responsabilidad de la contrata:

La contrata será la única responsable de la ejecución de las obras, no teniendo derecho a indemnizaciones de ninguna clase por errores que pudiera cometer, y que serán de su cuenta y riesgo.

Aún después de la recepción provisional, la contrata está obligada a rectificar todas las deficiencias que sean advertidas por la dirección de obra. La demolición o reparación precisa será exclusivamente por cuenta de la contrata.

Asimismo, la contrata se responsabilizará ante los tribunales de los accidentes que puedan ocurrir durante la ejecución de las obras. Igualmente, estará obligada al cumplimiento de todos los preceptos legales establecidos o que se establezcan por disposiciones oficiales.

6.8. Dirección de los trabajos:

El técnico encargado de las obras constituye la dirección técnica y, como tal, ejecutará todos los trabajos del desarrollo del proyecto, así como la dirección e inspección de los trabajos. Por lo tanto, la dirección técnica asumirá toda la responsabilidad en lo concerniente a planos e instrucciones técnicas.

6.9. Legalización:

Para la recepción de las obras la contrata está obligada a la legalización de las obras e instalaciones ante los organismos oficiales competentes. Los gastos que estos ocasionen correrán por cuenta de la contrata.

7. SEGURIDAD E HIGIENE.

7.1. Objeto

El presente estudio de seguridad y salud tiene por objeto ampliar el estudio realizado en la memoria descriptiva de este proyecto marcando las directrices que permitan evaluar los riesgos existentes en una instalación de reparaciones de elementos de fibra de carbono como la que se propone en el siguientes proyecto, este capítulo tendrá una base más general aplicado a toda la instalación, no únicamente al operario o técnico trabajador como se hace en los ANEXOS.

7.2. Identificación de operaciones de riesgo

Las operaciones de riesgo que conlleva el presente proyecto son las siguientes:

- Equipos de maquinaria fija y herramientas.
- Manipulaciones y almacenamiento de productos químicos.
- Maquinaria móvil.
- Manipulación de carga.
- Lugares y espacios de trabajo.
- Agentes físicos.
- Incendio y electricidad.
- Electricidad.

7.2.1. Equipos de maquinaria fija y herramientas.

Los riesgos derivados de Equipos de maquinaria fija y herramientas son los siguientes:

- Golpes por objetos o herramientas.
- Caídas de objetos por manipulación.
- Proyección de fragmentos y partículas.
- Atropamiento por o entre objetos.
- Aplastamiento.
- Choques o golpes contra objetos móviles de las maquinas.
- Contacto eléctrico.
- Quemaduras.
- Cortes o desgarros provocados por elementos cortantes o punzantes así como por aristas afiladas.

Para prevenir estos riesgos han de tenerse en cuenta las siguientes medidas preventivas.

- Usar herramientas adecuadas para cada trabajo, rechazar herramientas defectuosas.
- Mantener una buena coordinación sobre todo en trabajo en equipo-
- Hacer uso de los equipos de protección individual (EPI's).
- Colabora en el orden y limpieza de la zona de trabajo.
- Los objetos móviles de las maquinas deben ir protegidos con defensas, además de estar perfectamente señalizados.
- Todas las maquinas con consumo eléctrico, deberán estar dotadas de dispositivos de parada de emergencia y aislamiento térmico.

- No se deberán de utilizar abrazaderas o herramientas que presenten hilos de corriente al descubierto o aislados de manera indebida.
- Los operarios y personal técnico han de estar perfectamente formados en la maquinaria que utilicen.

Los equipos de protección adecuados son los siguientes:

- Chaquetas.
- Delantales.
- Buzos tipo TYBEK.
- Guantes de protección frente al riesgo de la actividad que esté realizando (riesgo químico, riesgo mecánico, riesgo de abrasión, riesgo térmico).
- Guantes y chaquetón especial para bajas Temperaturas (-50°C).
- Mascaras de protección de ambientes químicos.
- Pantallas y gafas de protección.
- Auriculares de protección.
- Mascaras de protección de partículas con filtros intercambiables (tipo mosca).
- Calzado de seguridad.

Cuando los trabajos requieran la utilización de prendas de protección personal, estos llevaran el sello “CE” y serán adecuadas al riesgo que tratan de evitar, ajustándose a todo lo establecido en el RD 773/97de 30 de Mayo.

Estas ropas deberán poseer un sistema de ventilación a través de los poros del material, sin que se permita la entrada en su interior de partículas en suspensión en el ambiente.

Un aspecto importante a considerar es la humedad que se pueda almacenar en la ropa que puedan en algún momento facilitar el paso de derivaciones de corrientes eléctricas.

En los procesos de limpieza de partículas de carbono en el área de trabajo, se utilizará u sistema de extracción de partículas de zona, de alto vacío, al que se puedan conectar a su vez las distintas máquinas.

Este sistema estará provisto de un mecanismo de filtros intercambiables para la fibra de vidrio y de carbono.

En el caso de que un operario tenga que manipular un utillaje dentro de la zona de operación, el transporte del utillaje se realizará por medio de eslingas y cáncamos homologados y con el correspondiente marcador “CE”.

7.2.2.- Manipulación y almacenamiento de productos químicos.

Uno de los aspectos más importantes a considera es la variedad de riesgos existentes debido a la diversidad de productos químicos.

Los riesgos más importantes en la manipulación de productos químicos son:

- Debidos a factores intrínsecos, a las condiciones de empleo de los mismos, a sus propiedades o reactividad química.
- Debido a factores externos, tales como inseguridad en su uso, fallos en las instalaciones o en la organización de los equipos.

- Un comportamiento humano in adecuado, generado por el desconocimiento o la peligrosidad del producto y por la falta de formación para seguir procedimientos de trabajos seguros.

Se han de seguir una serie de pautas para que el uso de los productos químicos sea una operación segura:

- Formar e informar al personal que va a trabajar en puestos donde se van a manipular sustancias químicas.
- Leer la información que viene en la etiqueta de los recipientes con cuidado antes de usar su contenido para conocer los riesgos que se corren.
- Tener hábitos de higiene personal básicos (lavarse las manos, no tocarse los ojos, boca o la nariz , lavar la ropa de trabajo separada del resto de ropa, no fumar ni tomar bebidas alcohólicas en el lugar de trabajo, no comer en los lugares de trabajo).
- No quitar la etiqueta ni pasar el contenido del producto a otro envase, en el que no se identifique su contenido.
- Utilizar lo equipos de protección individual.
- El trasvase de sustancias químicas se debe realizar limitando las operaciones manuales a las mínimas posibles y en los lugares adecuados para ello.
- Elegir el recipiente adecuado para el trasvase (resistencia química y física).
- Se debe usar el sistema de extracción localizada y trabajar en zonas ventiladas.
- Mantener siempre bien cerrados los recipientes y ubicados en su lugar de almacenamiento.
- No verter a la red general disolventes o líquidos inflamables insolubles en agua, sustancias corrosivas sin neutralizar, etc y en

general residuos que supongan un riesgo de contaminación para el medio ambiente.

Los accidentes que pueden darse por la manipulación de sustancias químicas, en general son, ingestión de sustancias, lesiones superficiales (irritabilidad), incendios, explosión,... Es necesario tener perfectamente localizado en lugar cercano al puesto de trabajo un listado de teléfonos de urgencia para actuar con rapidez en caso de accidente, en donde deben figurar el número de bomberos, de seguridad social, de emergencias y el de in formación toxicológica.

Los equipos de protección a utilizar dependen de la sustancia, de forma general podemos señalar:

- Uso de guantes resistentes a las sustancias químicas a manipular.
- Ropa de trabajo adecuada a las condiciones de operación (delantales, batas, monos y buzos).
- Calzado adecuado (botas y calzado cubierto).
- Gafas de seguridad.
- Mascarilla.

7.2.3.- Maquinaria móvil y vehículos.

Los riesgos derivados del uso de maquinaria móvil (grúas, paletas elevadoras), son los siguientes:

- Atropellos, golpes o choques contra la máquina o vehículos.
- Atrapamiento por vuelco de la máquina o vehículo.
- Atrapamiento por las partes móviles de las máquinas.

- Impacto con partes móviles de las máquinas.
- Desprendimiento de cargas suspendidas.

Se deben de llevara a cabo las siguientes medidas preventivas:

- Nunca situarse debajo de la carga que esté transportando. En todo caso se acotarán las áreas de trabajo bajo las cargas citadas.
- Deben de comprobarse y asegurarse la colocación de la carga, el peso y el volumen de la misma antes de su traslado sin trasladar cantidades máximas aconsejadas por el fabricante de la máquina.
- Situarse por zonas de trabajo seguras, tanto los peatones (por zonas peatonales), como los vehículos y máquinas (por zonas acotadas a la circulación).
- El conductor de la máquina debe poner máxima prudencia y prestar especial atención a lo que le rodea, respetar las señales u usar señales sonoras cuando la máquina esté funcionando.
- Debe realizarse y asegurarse el buen funcionamiento de la máquina mediante una correcta programación de su mantenimiento.
- Formación específica de los conductores y manipuladores de las máquinas y vehículos correspondientes.
- Colocar la máquina en terreno llano para realizar la operación.
- Bloquear las ruedas o las cadenas.
- No permanecer entre las ruedas, sobre las cadenas, bajo la cuchara o el brazo.
- No utilizar nunca un mechero o cerillas para mirar el motor de una máquina.
- No colocar nunca ninguna pieza metálica sobre el motor o los bornes de la batería de la máquina.

- Disponer de un buen estado de funcionamiento y conocer el funcionamiento de cada extintor.
- Conservar la máquina en un estado de limpieza aceptable. No dejar cargas suspendidas al acabar los trabajos.

Las medidas de protección individual son:

- Casco de seguridad.
- Guantes de seguridad, para manipulación mecánica.
- Calzado de seguridad.
- Cinturón de seguridad.
- Pantallas protectoras.

7.2.4.- Manipulación de cargas.

7.2.4.1.- Manipulación manual de cargas.

Los riesgos derivados de la manipulación manual de cargas son los siguientes:

- Riesgos de lesiones musculares debidos a cargas excesivamente pesadas.
- Riesgos de lesiones musculares debidas a malos procedimientos de trabajo.
- Caídas de las cargas sobre las personas que la transportan o sobre las que las rodean.
- Caídas producidas por el abandono de las cargas en lugares inadecuados.

Las medidas a tomar en el levantamiento manual de las cargas son las siguientes:

- No se manipularán manualmente por un solo trabajador cargas con un peso mayor a 25 Kg.
- Asentar los pies firmemente manteniendo entre ellos una distancia similar la anchura entre los hombros, acercándose lo más posible a la carga.
- Flexionar las rodillas manteniendo la espalda erguida.
- Agarrar el objeto o carga firmemente con ambas manos si es posible. El esfuerzo de levantar el peso lo deben de realizar los músculos de las piernas.
- Durante el transporte la carga debe permanecer lo más cerca posible del cuerpo, debiendo evitarse los giros de la cintura.

Para el manejo de cargas largas por una sola persona se actuará según los siguientes criterios preventivos:

- Llevará carga inclinada por uno de sus extremos hasta la altura del hombro.
- Avanzará desplazando las manos a lo largo del objeto hasta llegar al centro de gravedad de la carga.
- Se colocará la carga en equilibrio sobre el hombro.
- Durante el transporte mantendrá la carga en posición inclinada con el extremo delantero levantado.
- Es obligatoria la inspección visual del objeto pesado para eliminar aristas afiladas.

Los equipos de protección individual para la manipulación de cargas son los siguientes:

- Cinturón lumbar.
- Guantes de seguridad.

- Calzado de seguridad.

7.2.4.2. Manipulación de cargas mediante medios mecánicos.

Los riesgos de la manipulación de cargas mediante aparatos mecánicos son los siguientes:

- Caídas de las cargas sobre las personas o instalaciones.
- Golpes provocados por las cargas en movimiento.

En todas aquellas operaciones que conlleven el empleo de aparatos elevadores, es recomendable la adopción de las siguientes normas generales:

- Señalar de forma visible la carga máxima, que puede elevarse mediante el aparato elevador utilizado.
- Acoplar adecuados pestillos de seguridad a los ganchos de suspensión de los aparatos elevadores.
- Las eslingas estarán homologadas y llevarán placas de identificación donde constará la carga máxima para la cual están recomendadas.
- De utilizar cadenas estas serán de acero forjado, con un factor de seguridad no inferior a 5 de la carga nominal máxima. Estarán libres de nudos y se enrollarán en tambores adecuados.
- Para la elevación y transporte de piezas de gran longitud, se emplearán palonniers o vigas de reparto de cargas, de forma que permitan esparcir la luz entre apoyos, de forma que permita de esta forma que permita garantizar la horizontalidad y estabilidad.

- No dejar cargas suspendidas al acabar los trabajos.

7.2.5 Lugares y espacios de trabajo.

En los lugares de trabajo se deben de evitar la falta de limpieza y el desorden.

El desorden y la falta de limpieza no surgen de repente, sino que esta situación se va generando día a día y poco a poco. Este es un factor de riesgo importante ya que es el origen de otros riesgos como:

- Caídas a un mismo nivel.
- Caídas a distinto nivel.
- Pisada contra objetos mal colocados.
- Choque contra objetos móviles.
- Incendios y explosiones por acumulación de sustancias incompatibles.

Asimismo la falta de orden y limpieza provocan otras consecuencias, como son:

- El deterioro de herramientas y del lugar de trabajo.
- Bajo rendimiento de cada trabajador al realizar su tarea, y un empeoramiento de la calidad y de las condiciones de trabajo.

Para prevenir estos riesgos es necesario:

- Mantener la zona de trabajo limpia de material innecesario.
- Filosofía House Kipping (guardar los materiales y herramientas en el interior de las cajas y en los lugares o áreas destinados a ellos, después de la jornada de trabajo.
- Evitar dejar piezas o materiales alrededor de las máquinas, deben dejarse en un lugar seguro.
- Recoger cualquier objeto que pueda ocasionar un accidente.
- No dejar herramientas ni materiales en las zonas de tránsito, ni obstaculizar las salidas de emergencias, ni acceso a elementos contra incendios.

7.2.6. Agentes Físicos.

Los agentes físicos a los que se está expuesto son:

- Exposición a temperaturas extremas.
- Exposición a ruidos.
- Exposición a vibraciones.
- Iluminación adecuada.
- Radiación.

Los métodos de prevención son los siguientes:

- Temperatura: debe ser adecuada para el organismo humano durante el tiempo de trabajo, teniendo en cuenta el método de trabajo y la carga física impuesta.

- Ante situaciones de frío es convenientes abrigarse. Ante los primeros síntomas de hipotermia es vital: buscar alimentos, calor y refugio.
- Evitar estar bajo el sol durante horas de más calor, y durante periodos prolongados, beber en estos casos abundante agua para evitar la deshidratación.
- Factores atmosféricos: deberá e protegerse a los trabajadores contra las inclemencias atmosféricas que puedan comprometer su seguridad y su salud.
- Todos los equipos que generen vibraciones deberán tener un mantenimiento adecuado.
- Los lugares de trabajo, los locales y las vías de circulación de obras deberán de disponer de suficiente iluminación natural, (si es posible) y de una iluminación artificial adecuada durante la noche y cuando no sea suficiente la natural.
- Utilizar los EPI's adecuados cuando se utilicen equipos que emitan radiaciones.

Los equipos de protección a utilizar son:

- Ropa de trabajo adecuada.
- Protectores auditivos (tapones o auriculares).
- Guantes.
- Calzado (con suela de goma para evitar las vibraciones).
- Equipos antivibración.

7.2.7.- Incendio y explosión:

Los riesgos ocasionados por los riesgos y las explosiones son:

- quemaduras.
- Intoxicación o asfixia.
- Golpes con objetos despedidos en las explosiones.

Para prevenir deben tenerse en consideración las siguientes normas básicas:

- Mantener el orden y limpieza del lugar de trabajo.
- No fumar en los lugares que está expresamente prohibido.
- No colocar cerca de una fuente de calor productos o materiales que puedan arder fácilmente.
- Mantener con cuidado los productos inflamables.
- No sobrecargar las líneas eléctricas.

Detección y lucha contra incendios:

Según las características de la obra y las dimensiones, y usos de los locales y equipos presentes, las características físicas y químicas de las sustancias y el número de personas que puedan hallarse presentes, se dispondrá de un número suficiente de dispositivos contra incendios y, si fuera necesario detectores y sistemas de alarma. Dichos dispositivos deberán revisarse y mantenerse con regularidad.

Vías y salidas de emergencia:

Las vías y salidas de emergencia deberán permanecer expeditas y deberán desembocar lo más directamente posible en una zona de seguridad. En caso de peligro todos los lugares de trabajo deberán poder ser evacuados rápidamente y en condiciones de máxima seguridad para los trabajadores.

El número, la distribución y las dimensiones de las vías y salidas de emergencia dependerán del uso y de las dimensiones de la obra y de los locales, así como del número máximo de personas que puedan trabajar en ellos.

Las vías y salidas específicas deberán señalarse conforme al R.D. 485/97. Dicha señalización deberán fijarse en el lugar adecuado y tener una resistencia suficiente.

Las vías y salidas de emergencia, así como las de circulación y las puertas que den acceso a ellas, no deberán estar obstruidas por algún objeto para que puedan ser utilizadas sin trabas en todo momento.

En caso de avería del sistema de alumbrado, las vías de salida y de emergencia deberán disponer de iluminación de seguridad de suficiente intensidad.

7.2.8.- Electricidad:

Las características de la electricidad obligan a tomar en consideración, importante medidas de seguridad, por ser esta muy peligrosa.

Las instalaciones deberán proyectarse, realizarse y utilizarse de manera que no entrañen peligro de incendio ni de explosión, y de modo que las personas estén debidamente protegidas contra los riesgos de electrocución por contacto directo o indirecto.

Las medidas preventivas que se seguirán para evitar los riesgos derivados del contacto con líneas eléctricas serán los siguientes:

- Utilizar los elementos de protección adecuados.
- Desconectar el equipo si se interrumpe el trabajo, evitando así una descarga accidental de corriente, un sobrecalentamiento y riesgo de incendio.
- Mantener seco el equipo de trabajo (ropa, cables, zona de trabajo, etc.).
- Las máquinas de soldar y las herramientas eléctricas dispondrán de separadores de circuito.
- La manipulación de instalaciones eléctricas debe realizarse por trabajadores cualificados.

En caso de accidente por descarga eléctrica, las medidas a tomar serán las siguientes:

Cortar la corriente eléctrica (si fuera posible), o separar a la víctima utilizando un material aislante que evite el contacto directo con el accidentado. Si después de cortada la corriente la víctima no ha perdido la consciencia, y respira con normalidad, se le llevará a un centro médico con la mayor brevedad posible; si el accidentado está consciente o la respiración es muy débil o inexistente, se realizará aspiración artificial a la espera de la llegada de los servicios médicos correspondientes.

Los equipos de protección individual son:

- Calzado aislante.
- Guantes aislantes.
- Herramientas con la debida protección aislante.

7.2.9 legislación aplicable:

- Ley de prevención de riesgos laborales (Ley 31/195 del 8/11/95).
- Reglamento de los servicios de prevención (R.D 39/97 del 7/1/97).
- Disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo. (R.D 485/97 del 14/4/97).
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (R.D 486/97 del 14/4/97).
- Disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en el trabajo relativas a la manipulación de cargas que entrañen riesgos, en particular dorsolumbares para los trabajadores (R.D 487/97 del 14/4/97).
- Disposiciones mínimas en materia de seguridad y salud en el trabajo relativas a la utilización por parte de los trabajadores de los equipos de protección personal (R.D 773/97 del 30/5/97).
- Disposiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (R.D 1295 /97 de 18/7/97).
- Ordenanza general de higiene y seguridad en el trabajo (O.M de 9/3/71), (O.M de 31/1/40).
- ITC-BT-19 Instalaciones interiores o receptoras.

- Reglamento electrotécnico para baja tensión (R.D 2413 del 20/9/71).

7.2.10.- Normativa:

- Norma UNE 81 002 85. Protectores auditivos. Tipos y definiciones.
- Norma UNE 81 101 85. Equipos de protección de la visión. Terminología, clasificación y uso.
- Norma UNE 81 200 77. Equipos de protección personal de las vías respiratorias. Definición y clasificación.
- Norma UNE 81 208 77. Filtros mecánicos. Clasificación, características y requisitos.
- Norma UNE 81 250 80. Guantes de protección. Definiciones y clasificación.
- Norma UNE 81 353 80. Cinturones de seguridad. Clase A: Cinturón de sujeción. Características y ensayos.

PRESUPUESTO

1. ALCANCE DEL PRESUPUESTO

Descrito todo el proceso de fabricación del compensador en la memoria descriptiva, procederemos ahora a describir el presupuesto general necesario para llevar a cabo esta fabricación.

En esta memoria descriptiva se ha completado el alcance técnico de la ingeniería básica necesaria. Se pretende disponer de una aproximación del coste real del proceso de fabricación, si bien; partimos de una situación inicial en la que disponemos ya de las instalaciones y maquinaria necesaria.

El presupuesto se agrupa en una serie de partidas que constituyen el coste real. Dichas partidas se han agrupado por grupos para un mejor seguimiento de los mismos. Este coste se calcula en base a gráficas que se fundamentan en la experiencia.

Una vez que conozcamos el presupuesto, estudiaremos la viabilidad financiera del proyecto.

2. COSTES DE FABRICACIÓN

1. COSTES DEL UTILLAJE PRINCIPAL.

1.1. UTILLAJE APILAMIENTO Y CIERRE DE COENCOLADO

- 1.1.1. DISEÑO
- 1.1.2. FABRICACIÓN
- 1.1.3. MATERIALES
- 1.1.4. TRANSPORTE

1.2. UTILLAJE CIERRE EN C

- 1.2.1. DISEÑO
- 1.2.2. FABRICACIÓN
- 1.2.3. MATERIALES
- 1.2.4. TRANSPORTE

2. COSTES DE ENSAYOS Y DESARROLLO.

- 2.1. COSTE ENSAYOS ESTANQUEIDAD .
- 2.2. COSTE ENSAYOS INSPECCIÓN DE ULTRASONIDOS
POR TRANSMISIÓN
- 2.3. COSTE ENSAYOS INSPECCIÓN DE ULTRASONIDOS
POR ECO-PULSO
- 2.4. COSTE ENSAYOS MECÁNICOS.

3. COSTES DE PROCESO E INSTRUMENTACIÓN.

- 3.1. COSTES ELÉCTRICOS.
- 3.2. COSTES NITRÓGENO.
- 3.3. COSTES DE MANTENIMIENTO.

Procederemos a continuación a detallar con detalle el coste de cada uno de ellos:

1. COSTE DEL UTILLAJE PRINCIPAL.

1.1 Coste del utillaje de apilamiento y cierre de coencolado:

- 1.1.1. DISEÑO.
- 1.1.2. FABRICACIÓN.
- 1.1.3. MATERIALES
- 1.1.4. TRANSPORTE.

1.1.1. Diseño.

El estudio de esta partida se divide en dos partes, las cuales pasamos a detallar:

- **Diseño en CATIA V5 del modelo CAT PART de utillaje.**
- **Posicionamiento del riscado del utillaje.**

Estas partidas dan como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Coste de diseño de Utillaje	GLOBAL	4.500 €	9.000 €
Posicionamiento del riscado	GLOBAL	1.500 €	3.000 €
Total		7.000 €	12.000 €

TABLA 1.1.1: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por el *diseño* (partida 1.1.1) de **12.000 €**.

1.1.2. Fabricación.

El estudio de esta partida se divide en dos partes, la cual pasamos a detallar:

- **Fabricación del utillaje.**
- **Riscado del útil.**

Todas estas partidas dan como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Fabricación Utillaje	2	9.010 €	18.020 €
Riscado del utillaje	2	1.500 €	3.000 €
Total		10.510 €	21.020 €

TABLA 1.1.2: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por la *fabricación* (partida 1.1.2) de **21.020 €**.

1.1.3. Materiales.

El estudio de esta partida se divide en dos partes, las cuales pasamos a detallar:

- **Acopio de materiales.**
- **Ensayos de conformidad de materiales.**

Todas estas partidas dan como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Acopio de materiales	1	9.535 €	9.535 €
Ensayos de conformidad	1	1.230 €	1.230 €
Total		10.765 €	10.765 €

TABLA 1.1.3: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por el *suministro de materiales (partida 1.1.3)* de **10.765 €**.

1.1.4. Transporte.

El estudio de esta partida se divide en una parte, la cual pasamos a detallar

- **Transporte y suministro del utillaje hasta las instalaciones.**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Transporte	2	1.092 €	2.184 €
Total			2.184 €

TABLA 1.1.4: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por el *transporte y suministro del utillaje (partida 1.1.4)* de **2.184 €**.

Los cuadros de precios anteriores dan un total en la partida referente a **coste del utillaje de apilamiento y coencolado (PARTIDA 1.1) UN TOTAL DE 48.969 €**

1.2. Coste del utillaje en C:

- 1.2.1. DISEÑO.
- 1.2.2. FABRICACIÓN.
- 1.2.3. MATERIALES
- 1.2.4. TRANSPORTE.

1.2.1. Diseño.

Es estudio de esta partida se divide en dos partes, las cuales pasamos a detallar:

- **Diseño en CATIA V5 del modelo CAT PART de utillaje.**
- **Posicionamiento del riscado del utillaje.**

Estas partidas dan como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Coste de diseño de Utillaje	GLOBAL	2.500 €	5.000 €
Posicionamiento del riscado	GLOBAL	1.500 €	3.000 €
Total		4.000 €	8.000 €

TABLA 1.2.1: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por le *diseño* (partida 1.2.1) de **8.000 €**.

1.2.2. Fabricación.

El estudio de esta partida se divide en dos partes, las cuales pasamos a detallar:

- **Fabricación del utillaje.**
- **Riscado del útil.**

Estas partidas dan como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Fabricación Utillaje	2	6.010 €	12.020 €
Riscado del utillaje	2	1.500 €	3.000 €
Total			15.020 €

TABLA 1.2.2: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por la *fabricación* (partida 1.2.2) de **15.020 €**.

1.2.3. Materiales.

El estudio de esta partida se divide en dos partes, las cuales pasamos a detallar:

- **Acopio de materiales.**
- **Ensayos de conformidad de materiales.**

Estas partidas dan como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Acopio de materiales	1	6.275 €	6.275 €
Ensayos de conformidad	1	1.230 €	1.230 €
Total			7.505 €

TABLA 1.2.3: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por el *suministro de materiales (partida 1.1.3)* de **7.505 €**.

1.2.4. Transporte.

El estudio de esta partida se divide en una parte, la cual pasamos a detallar:

- Transporte y suministro del utillaje hasta las instalaciones.

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Transporte	2	1.092 €	2.184 €
Total			2.184 €

TABLA 1.2.4: Cuadro de precios parciales.

Según el cuadro resumen anterior, resulta un total por el *transporte y suministro del utillaje (partida 1.1.4)* de **2.184 €**.

Los cuadros de precios anteriores dan un total en la partida referente a coste del **utillaje en C (PARTIDA 1.1) UN TOTAL DE 32.709 €**

El precio total de los dos útiles asciende a un total de 81.678 €

2. COSTE DE ENSAYOS Y DESARROLLO.

- 2.1. COSTE ENSAYOS ESTANQUEIDAD .
- 2.2. COSTE ENSAYOS INSPECCIÓN DE ULTRASONIDOS POR TRANSMISIÓN
- 2.3. COSTE ENSAYOS INSPECCIÓN DE ULTRASONIDOS POR ECO-PULSO
- 2.4. COSTE ENSAYOS MECÁNICOS.

2.1. Coste de los ensayos de estanqueidad:

Este estudio se divide en el siguiente apartado, el cual pasamos a detallar:

- **Ensayo de inmersión.**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Ensayo de Inmersión	2	1.235 €	2.470 €
Total		1.235 €	2.470 €

TABLA 2.1: Cuadro de precios parciales.

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a coste del **coste de los ensayos de estanqueidad (PARTIDA 2.1) UN TOTAL DE 2.470 €**

2.2. Coste de los ensayos de inspección de ultrasonidos por transmisión:

Este estudio se divide en el siguiente apartado, el cual pasamos a detallar:

- **Ensayo de inspección de ultrasonidos por transmisión.**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Ensayo de Inspección por ultrasonido	2	1.050 €	2.100 €
Total		1.050 €	2.100 €

TABLA 2.2: Cuadro de precios parciales

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a coste del **coste de los ensayos de inspección de ultrasonidos por transmisión (PARTIDA 2.2) UN TOTAL DE 2.100 €**

2.3. Coste de los ensayos de inspección por eco-pulso:

Este estudio se divide en el siguiente apartado, el cual pasamos a detallar:

- **Ensayo de inspección por eco-pulso (automático).**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Ensayo de Inspección por ultrasonido	2	550 €	1.100 €
Total		550 €	1.100 €

TABLA 2.3: Cuadro de precios parciales.

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a coste de los **ensayos de inspección por eco-pulso (PARTIDA 2.3) UN TOTAL DE 1.100 €**

2.4. Coste de los ensayos mecánicos:

Este estudio se divide en los siguientes apartados, las cuales pasamos a detallar:

- **Ensayo de tracción de probetas.**
- **Ensayo de Compresión de probetas.**
- **Ensayo de Cortadura interlaminar de probetas.**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Ensayo de tracción de probetas.	TOTAL	195 €	390 €
Ensayo de Compresión de probetas.	TOTAL	125 €	250 €
Ensayo de Cortadura interlaminar de probetas.	TOTAL	155 €	310 €
Total		425 €	950 €

TABLA 2.4: Cuadro de precios parciales.

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a coste de **costes de ensayos y desarrollo** (PARTIDA 2.4) UN TOTAL DE 950€

El precio total de los costes de ensayo y desarrollo asciende a un total de 6.620 €

3. COSTE ENERGÉTICOS.

- 3.1. COSTES ELÉCTRICOS.
- 3.2. COSTES NITRÓGENO.
- 3.3. COSTES DE MANTENIMIENTO.

3.1. Costes Eléctricos:

Los costes eléctricos que se van a consumir por ciclos de producción de dos compensadores por avión, y serán los siguientes.

- **Consumo eléctrico en sala limpia (ciclo productivo de 24 horas), producción de 1 AV (2 compensadores).**
- **Consumo eléctrico en ciclo de autoclave (ciclo productivo de 5 horas), producción de 1 AV (2 compensadores).**
- **Consumo eléctrico en zona de producción (ciclo productivo de 24 horas), producción de 1 AV (2 compensadores).**
- **Consumo eléctrico en cámara frigorífica (ciclo productivo de 24 horas), producción de 1 AV (2 compensadores).**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
Consumo en Ciclo de Autoclave	TOTAL	171,38 €	171,38 €
Consumo en Sala Limpia	TOTAL	246 €	246 €
Consumo en Cámara frigorífica	TOTAL	281,08 €	281,08 €
Consumo en Zona de Producción	TOTAL	549,38 €	549,38 €
Total			1.247,84 €

TABLA 3.1: Cuadro de precios parciales.

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a *coste eléctrico* **(PARTIDA 3.1) UN TOTAL DE 1.247,84 €**

3.2. Costes en consumo de Nitrógeno:

Los costes eléctricos que se van a consumir por ciclos de producción de dos compensadores por avión, y serán los siguientes.

- **Consumo Nitrógeno en ciclo de autoclave (ciclo productivo de 5 horas), producción de 1 AV (2 compensadores).**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	CONSUMO / CICLO	COSTE TOTAL
Consumo de Nitrógeno en Ciclo de Autoclave	TOTAL	6,7 m ³	770, 50 €
Total			770,50 €

TABLA 3.2: Cuadro de precios parciales.

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a coste de *coste en consumo de nitrógeno* (**PARTIDA 3.2**) **UN TOTAL DE 770,50 €**

3.3. Costes de Mantenimiento

Este estudio se divide en los siguientes apartados, las cuales pasamos a detallar:

- **Mantenimiento del autoclave.**
- **Mantenimiento de la sala limpia.**
- **Mantenimiento de la zona de producción.**
- **Mantenimiento de la cámara frigorífica.**

Esta partida da como resultado el siguiente cuadro resumen:

PARTIDA	UNIDAD	COSTE TOTAL
Mantenimiento del autoclave.	TOTAL	5.625 €
Mantenimiento de la sala limpia.	TOTAL	1.950 €
Mantenimiento de la zona de producción.	TOTAL	3.360 €
Mantenimiento de la cámara frigorífica.	TOTAL	1255 €
Total		12.200 €

TABLA 3.3: Cuadro de precios parciales.

El cuadro de precios anterior da un total en la partida referente a coste de **mantenimiento (PARTIDA 3.3) UN TOTAL DE 12.200 €**

El precio total de los costes energéticos asciende a un total de 14.217 €

CUADRO DE PRECIOS FINALES

PARTIDA GLOBAL	PARTIDA	DESCRIPCIÓN	COSTE TOTAL
COSTE DEL UTILLAJE PRINCIPAL	1.1	Útil en Coencolado	48.969 €
	1.2	Útil de cierre	32.709 €
COSTE DE ENSAYOS Y DESARROLLO	2.1	Coste ensayos Estanqueidad	2.470 €
	2.2	Coste ensayos inspección por ultrasonido	2.100 €
	2.3	Coste ensayos inspección por eco- pulso	5.100 €
	2.4	Coste ensayos mecánicos	950 €
COSTE DE HERRAMIENTAS Y ELEMENTOS AUXILIARES	7.1	Coste eléctrico	1.247,84 €
	7.2	Coste Nitrógeno	770,50 €
	7.3	Coste de mantenimiento	8.095 €
TOTAL			109.316,34 €

TABLA 4: Cuadro de precios final.

Donde el total refleja el precio de ejecución material (P.E.M.) se obtiene como resultado de la suma del coste de suministro del utillaje, el

coste de lo ensayos y los costes de procesos. En esta suma no se incluye los gastos generales y el beneficio global del proyecto.

$$\text{P.E.M.} = 109.316,34 \text{ €}$$

Precio de ejecución por contrata:

El precio de ejecución por contrata (P.E.C.) tiene en cuenta el beneficio industrial de la contrata que realiza la obra, y su valor se determina incrementando en un 15% el precio de ejecución material. Esto es:

$$\text{P.E.C.} = 1.15 * \text{P.E.M.} = 1.15 * 109.316,34 \text{ €} = 125.713,4 \text{ €}$$

Impuesto sobre el valor añadido:

El valor del impuesto sobre el valor añadido (IVA) se determina como el 16% del precio de ejecución por contrata. Esto es:

$$\text{IVA} = 0.16 * \text{P.E.C.} = 0.16 * 125.713 \text{ €} = 20.114,14 \text{ €}$$

Honorarios profesionales:

El valor al que asciende los honorarios profesionales que corresponden al beneficio del autor del presente proyecto, en concepto de realización de cálculos, diseño de planos y redacción de los documentos del

proyecto, se determina como un porcentaje del precio total denominado “precio de ejecución corregido”.

El valor del precio material corregido se determina a partir del precio de ejecución material (P.E.M.) por aplicación de una serie de coeficientes a distintas cantidades en las que este se divide, estando dichas cantidades y sus correspondientes coeficientes reflejados en la siguiente tabla:

Todos estos datos se incluyen en una serie de tablas que se dan a continuación:

CANTIDAD	PRECIO	COEFICIENTE	P. CORREGIDO
Hasta 6000 €	6.000 €	1	6.000 €
6000-30000 €	24.000 €	0.6	14.400 €
30000-150000 €	120.000 €	0.5	60.000 €
150000-300000 €	150.000 €	0.4	60.000 €
300000-600000 €	300.000 €	0.3	90.000 €
Resto	1.627.673 €	0.2	325.534 €

TABLA: Honorarios profesionales.

Los honorarios profesionales para este proyecto corresponden al 50% del precio de ejecución material.

Honorarios profesionales = $0.50 * 109.316,34 = 54.658 \text{ €}$

Presupuesto total:

El valor al que asciende el costo total del proyecto, se obtiene como resultado de sumar las cantidades correspondientes al precio de ejecución por contrata, el impuesto sobre el valor añadido y los honorarios profesionales.

Asciende el PRESUPUESTO del proyecto titulado:“SISTEMA DE REPARACIÓN DE ELEMENTOS DE MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS POR FIBRA DE CARBONO PARA LA INDUSTRIA AERONÁUTICA” a la cantidad de “**DOS CIENTOS MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS**” (200.485 €).

Esto es:

**COSTE TOTAL = P.E.C. + I.V.A. + H. Profesionales =
(125.713 + 20.114 + 54.658) € = 200.485 €**

Conocido el presupuesto total, procedemos ahora a estudiar la viabilidad financiera del proyecto.

3. VIABILIDAD FINANCIERA

3.1. Inversión a realizar.

La inversión necesaria para llevar a cabo esta producción viene completamente detallada en el capítulo del Presupuesto de este proyecto. Un cuadro resumen de la Inversión a realizar es el siguiente:

Designación	Presupuesto
-P.E.C	125.713,4 €
2.-Honorarios Profesionales	54.658 €
TOTAL EJECUCIÓN DEL MATERIAL	180.371,4 €
+15% GASTOS GENERALES	27.055,71 €
+ 6% BENEFICIO INDUSTRIAL	10.822,3 €
TOTAL	37.888 €
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	218.249,4 € (SIN I.V.A)

El total de estos gastos se traduce en un Presupuesto General de 218.249,4 € (sin IVA), esta inversión fija se amortizará en 7 años de forma lineal, por lo que se amortizarán 31.178,48 € anuales.

Se consideran, dentro del presupuesto calculado para el proyecto, la mano de obra directa e indirecta necesaria para la fabricación, todos los

materiales necesarios para su elaboración y todos los ensayos necesarios para su puesta en funcionamiento.

3.2- Fuentes de Financiación.

Una vez que conocemos la inversión que tenemos que realizar, hemos de buscar ahora los medios financieros que avale nuestro proyecto.

La inversión total para este proyecto la podíamos definir como la suma del capital total de inversión en fijo, más los fondos necesarios para poner en marcha la instalación.

TOTAL INVERSIÓN EN FIJO: 218.249,4 €

+

FONDOS DE OPERACIÓN: 30.000 €

INVERSIÓN TOTAL: 248.249,4 €

A la hora de realizar la financiación, siempre es necesario suponer una cantidad superior a la inversión prevista. De esta forma evitaremos imprevistos que pudieran surgir dentro del periodo productivo.

Las fuentes de financiación previstas son las siguientes:

Fuentes de financiación	Cuantía (€)	%
Capital social	127.500	50 %
Endeudamiento bancario	102.000	40 %
Subvenciones	25.500	10 %
Total Financiación	255.000 €	100 %

3.3. Gastos

En este apartado tendremos en cuenta los gastos DE EXPLOTACIÓN necesarios para llevar a cabo el proceso productivo así como los gastos financieros que conlleva la contratación de un préstamo hipotecario con una entidad bancaria.

3.3.1. Gastos de explotación:

Para considerar los gastos de este sistema de fabricación, se ha procedido a promediar el número de aviones que portan este compensador que se han fabricado en los últimos 7 años, y las expectativas del cliente para los 7 siguientes.

Según estas estimaciones, se prevé que la carga anual en este sistema de fabricación sea aproximadamente entre 180 y 200 elementos anuales.

Por todo lo descrito anteriormente, se estima un tiempo anual de 3696 horas de trabajo (estimando 7,75 horas al día/ turno simple dos operarios). A este respecto se considerará un número de horas muertas que en nuestro caso, suponemos será del 15% que suponen un total de 554 horas.

Elementos Fabricados/ Año	180-200 Elementos
Horas Productivas	3.696 Horas
Horas Muertas	554 Horas
Total horas Productivas	3.141 Horas

Para este volumen de producción se contratarán a 2 operarios que habrán sido formadas previamente para la realización de las tareas propias en un sistema de estas características. Además, el sistema contará con un Ingeniero Superior que será el responsable tanto de la supervisión del personal, como de la cadena operativa, así como de la planificación de todos los trabajos que se lleven a cabo en el sistema.

Así, los **gastos anuales en recursos humanos**, son los que se muestran a continuación:

Gastos de personal	Nº	Sueldo (€)	S.Social (€)	Total (€)
Operarios	2	28.600 €	5.720 € (20%)	34.320 €
Ing.Superior	1	22.425 €	4.485 € (20%)	26.910 €
Total Gastos (€)	3	51.025 €	10.205 €	61.230 €

Como bien describiremos en el presupuesto, los **gastos generales del diseño y desarrollo de la pieza**, serán los que se detallan a continuación:

- **Materias Primas:** la materia prima necesaria en la elaboración de un compensador se divide en material avionable y no avionable. La cantidad, coste unitario y coste total de cada uno de ellos, se muestra a continuación:

Como materia prima auxiliar, hemos de tener en cuenta herramientas necesarias para el proceso productivo, tales como tijeras, cuters, boquillas de vacío, termopares.... así como la indumentaria necesaria para los operarios, tanto en sala de recorte como en sala limpia. Una **estimación anual de esta partida es de 435.755 €.**

Gastos de material	Total (€)
Materia Prima y Auxiliar	389.880€
Material auxiliar	45.875 €
Total Gastos (€)	435.755€

- **Mantenimiento:** los gastos de mantenimiento se destinan al control periódico y calibración de los distintos dispositivos que componen este proceso productivo por técnicos especializados. Esta partida de gastos se compone de los gastos de autoclave, sala limpia, zona de producción y cámara frigorífica.

El total de esta partida asciende a 12.200 €/anuales:

Partida	Total
Mantenimiento autoclave	5.625
Mantenimiento zona producción	3.370
Mantenimiento sala limpia	1.950
Mantenimiento cámara frigorífica	1.255
Total Gastos (€)	12.200 €

- **Alquiler de la nave:** la totalidad anual del alquiler de la nave será de: 12.000 €

- **Impuesto de Actividades Económicas:** este impuesto asciende a la cantidad anual de 1.800 €

- **Costes de calidad:** dentro de los costes de calidad se consideran todos y cada uno de los apartados del número 2 del PRESUPUESTO de este proyecto, como por ejemplo pueden ser los ensayos de calidad que se le hagan al elemento, para asegurar el óptimo de calidad, fuera de la empresa. El coste anual será de 12.200 €/año.

- **Costes de prevención:** en estos se incluyen los estudios realizados por un técnico en prevención, sobre los riesgos laborales. El coste anual de estos estudios asciende a 3.000 €/anuales.

En el siguiente cuadro podemos ver un resumen de todos estos precios:

GASTOS GENERALES	IMPORTE (€)
Materias Primas	435.755 €
Mantenimiento	12.200 €
Consumos anuales de Suministros	6.000 €
Alquiler de la nave	12.000 €
Impuestos de Actividades Económicas	1.800 €
Costes de Calidad	12.000 €
Costes de Prevención	3.000 €
TOTAL GASTOS GENERALES	482.755 €

3.3.2. Gastos Financieros:

Contratos con la entidad bancaria un préstamo por un importe de 102.000 €, con una amortización de siete años y con una anualidad constante (método francés), a un tipo de interés anual del 9%.

A continuación se muestran los cuadros de amortización y prestamos bancarios.

	Anualidad	Cuota Amortización	Interés	Capital Pendiente
Año 0				102.000 €
Año 1	20266,5	11.086,50 €	9.180,00 €	90.913,50 €
Año 2	20266,5	12.084,29 €	8.182,22 €	78.829,22 €
Año 3	20266,5	13.171,87 €	7.094,63 €	65.657,34 €
Año 4	20266,5	14.357,34 €	5.909,16 €	51.300,01 €
Año 5	20266,5	15.649,50 €	4.617,00 €	35.650,51 €
Año 6	20266,5	17.057,95 €	3.208,55 €	18.592,55 €
Año 7	20266,5	18.593,17 €	1.673,33 €	0,00 €

3.4. Ingresos obtenidos

A partir del valor facturado y con el total de 3.141 horas productivas que se estiman en la sistema global, se obtendrán unos beneficios de 1.299.600 €/anuales, a un precio de 3.610 €/compensador por la fabricación de 180 aviones/año y dos compensadores por avión.

3.5. Cuentas de Pérdidas y Ganancias Provisionales.

Para la realización de estas cuentas de ganancias y pérdidas, se ha actualizado los valores conforma a un IPC del 3% y se ha supuesto una amortización de 7 años.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ingresos(€)	1.299.600,00 €	1.338.588,00 €	1.378.745,64 €	1.420.108,01 €	1.462.711,25 €	1.506.592,59 €	1.551.790,36 €
Gastos (€)							
Materias primas	435.755,00 €	448.827,65 €	462.292,48 €	476.161,25 €	490.446,09 €	505.159,47 €	520.314,26 €
Mantenimiento	12.200,00 €	12.566,00 €	12.942,98 €	13.331,27 €	13.731,21 €	14.143,14 €	14.567,44 €
Suministros	6.000,00 €	6.180,00 €	6.365,40 €	6.556,36 €	6.753,05 €	6.955,64 €	7.164,31 €
Alquiler de la nave	12.000,00 €	12.360,00 €	12.730,80 €	13.112,72 €	13.506,11 €	13.911,29 €	14.328,63 €
Imp. Act. Económicas	1.800,00 €	1.854,00 €	1.909,62 €	1.966,91 €	2.025,92 €	2.086,69 €	2.149,29 €
C. Calidad	12.000,00 €	12.360,00 €	12.730,80 €	13.112,72 €	13.506,11 €	13.911,29 €	14.328,63 €
C. Prevención	3.000,00 €	3.090,00 €	3.182,70 €	3.278,18 €	3.376,53 €	3.477,82 €	3.582,16 €
C. Personal	78.000,00 €	80.340,00 €	82.750,20 €	85.232,71 €	87.789,69 €	90.423,38 €	93.136,08 €
Amortización	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €
Gastos financieros(€)	9.180,00 €	8.182,22 €	7.094,63 €	5.909,16 €	4.617,00 €	3.208,55 €	1.673,33 €
Gatos Totales (€)	601.113,48 €	616.938,35 €	633.178,09 €	649.839,77 €	666.930,17 €	684.455,76 €	702.422,61 €
Beneficio Bruto (€)	698.486,52 €	721.649,65 €	745.567,55 €	770.268,24 €	795.781,08 €	822.136,82 €	849.367,76 €
Impuestos 35% (€)	244.470,28 €	252.577,38 €	260.948,64 €	269.593,88 €	278.523,38 €	287.747,89 €	297.278,72 €
Beneficio Neto (€)	454.016,24 €	469.072,27 €	484.618,91 €	500.674,36 €	517.257,70 €	534.388,94 €	552.089,04 €

3.6. Viabilidad Económica Financiera (Cálculo del VAN y TIR).

El elemento crucial en el estudio económico y financiero, es la determinación de si el VAN (Valor Actual Neto) esperado va a ser positivo o no, y si la TIR supera al coste de los recursos financieros puestos a disposición de del proyecto.

Para ello es preciso analizar todos los factores que intervienen en la fijación de los flujos netos de caja, cuyo análisis permite determinar la rentabilidad que los proveedores del capital van a obtener por su contribución a la financiación del proyecto.

En el siguiente cuadro se muestra un resumen de los cálculos.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ingresos(€)	1.299.600 €	1.338.588 €	1.378.745 €	1.420.108 €	1.462.711 €	1.506.592 €	1.551.790 €
Restos de Gastos (€)	569.935,00 €	585.759,87 €	601.999,61 €	618.661,29 €	635.751,69 €	653.277,28 €	671.244,13 €
Amortización	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €	31.178,48 €
Bait (Bbruto+ Gasto Fin)	707.666,52 €	729.831,87 €	752.662,18 €	776.177,40 €	800.398,08 €	825.345,37 €	851.041,09 €
Impuestos 35% (€)	244.470,28 €	252.577,38 €	260.948,64 €	269.593,88 €	278.523,38 €	287.747,89 €	297.278,72 €
Bait (1-I)	463.196,24 €	477.254,49 €	491.713,54 €	506.583,52 €	521.874,70 €	537.597,49 €	553.762,37 €
Cash Flow	494.374,72 €	508.432,97 €	522.892,02 €	537.762,00 €	553.053,18 €	568.775,97 €	584.940,85 €

El **VAN** y el **TIR** se puede definir de la siguiente forma:

- VAN: Método de descuento de flujo de caja, se calcula descontando todos los pagos y cobros con una tasa de actualización al día de hoy.

- TIR: Método que calcula la rentabilidad de los flujos de caja previstos. Es la tasa de interés que iguala el VAN a cero.

La rentabilidad de este proyecto queda demostrada con los siguientes valores:

$$VAN = -A + \sum \frac{Q_j}{1+K}$$

Siendo:

A : Desembolso inicial de la inversión.

Q_j : Cash Flows o flujos de caja correspondiente al periodo j.

K : tasa de rentabilidad o tasa de descuento = 9 %.

$$VAN = -A + \sum \frac{Q_j}{1+K} = \text{€} > 0.$$

Después de este estudio se obtiene también otros índices

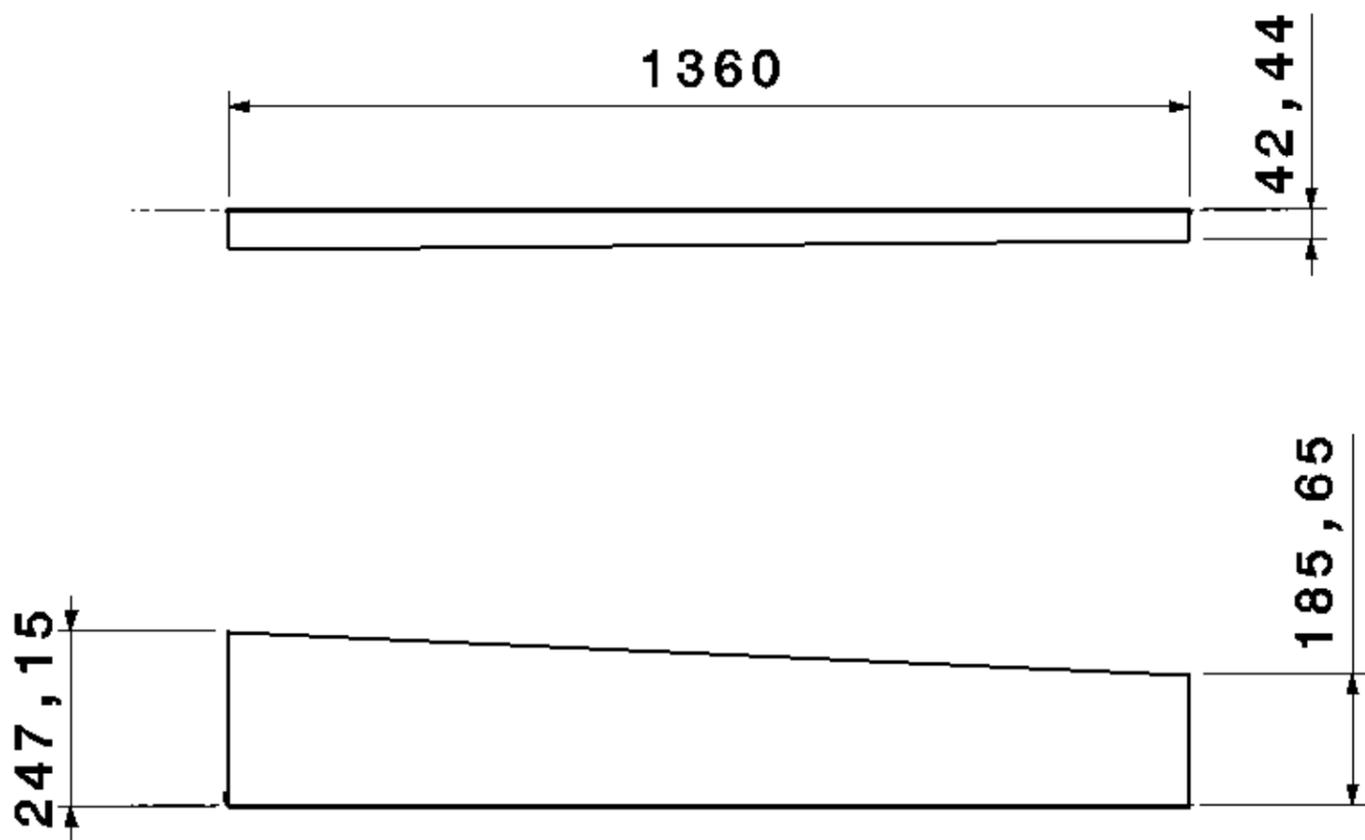
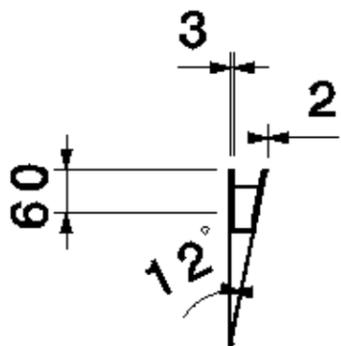
ATN (€) = I + G	1.900.713,48	1.955.526,35	2.011.923,73	2.069.947,78	2.129.641,42	2.191.048,35	2.254.212,97
INGRESOS(€)	1.299.600,00	1.338.588,00	1.378.745,64	1.420.108,01	1.462.711,25	1.506.592,59	1.551.790,36
GASTOS (€)	601.113,48	616.938,35	633.178,09	649.839,77	666.930,17	684.455,76	702.422,61
BAIT (BBRUTO + GASTO FIN)	708.575,39	730.090,51	752.221,39	774.983,82	798.393,83	822.467,68	847.221,82
TASA RENTABILIDAD	0,37	0,37	0,37	0,37	0,37	0,38	0,38

- Tasa rentabilidad media :

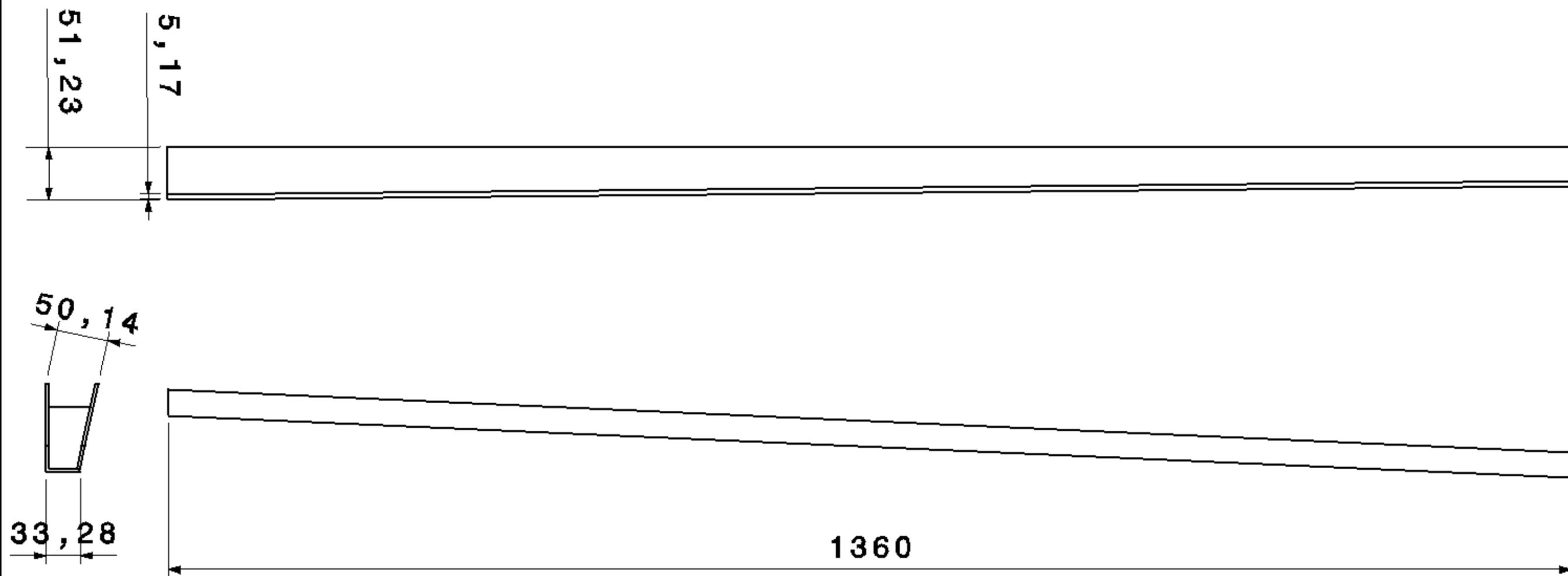
$$TIR = \frac{\sum T_i}{n} = 0,37$$

- o Por lo tanto podemos sacar las siguientes conclusiones:

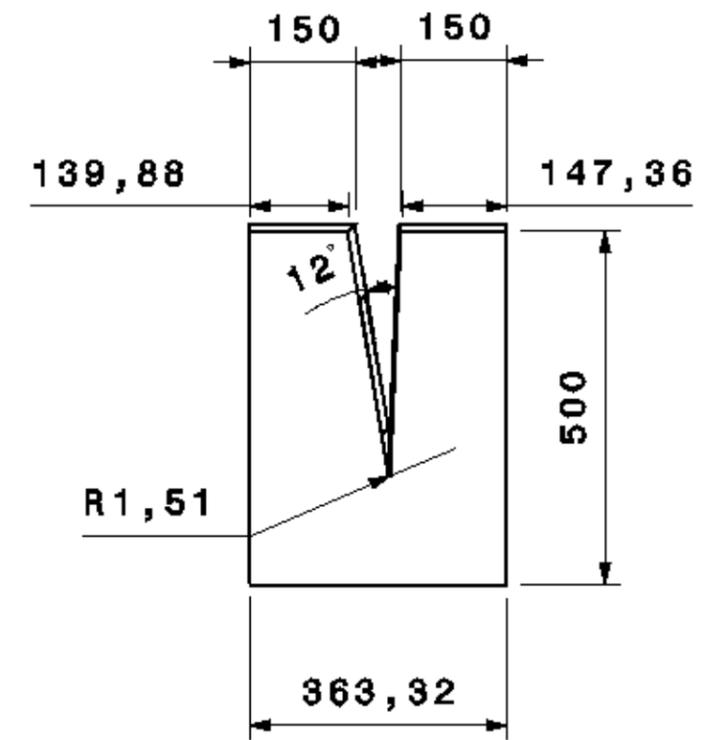
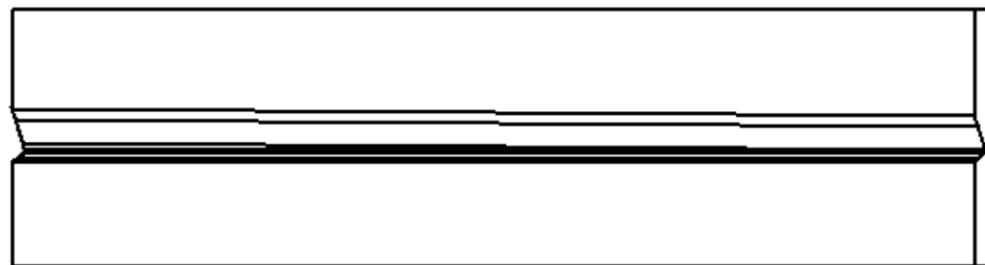
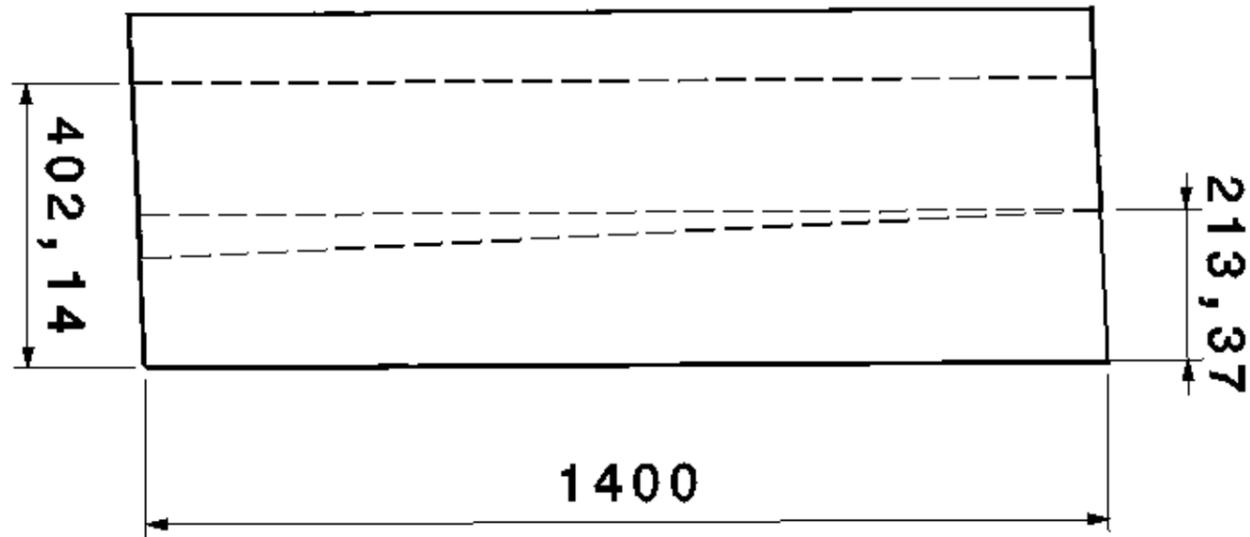
- VAN > 0, con lo cual el proyecto es viable.
- Podemos señalar, que el valor del VAN sale alto ya que los gastos representan aproximadamente el 50% y la amortización es a un plazo medio.
- TIR = 37% > 9% con lo cual el proyecto es rentable.
- Como conclusión podemos citar, que el valor del TIR es positivo y mayor que la tasa de actualización, la inversión para la realización del proyecto es rentable.



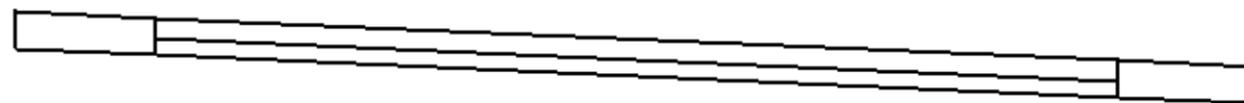
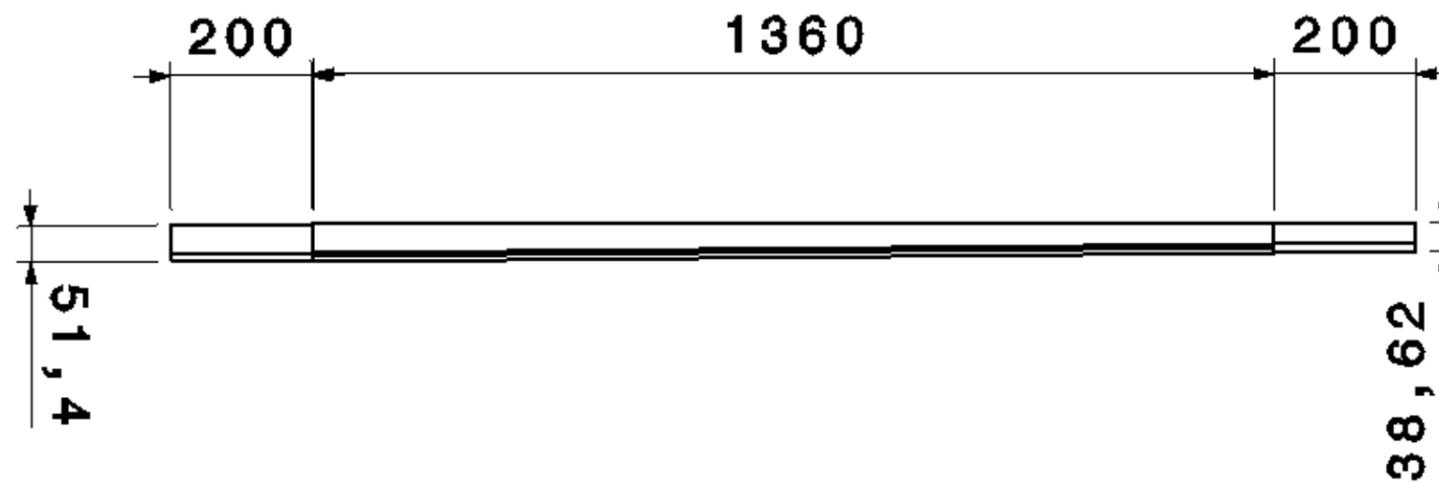
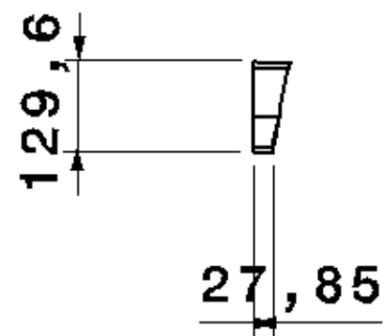
Universidad de Cádiz		
Proyecto: Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave		
Dibujado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Comprobado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Escala 1:10	COMPENSADOR	Revisión 1



Universidad de Cádiz		
Proyecto: Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave		
Dibujado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Comprobado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Escala 1:4	CIERRE	Revisión 1



Universidad de Cádiz		
Proyecto: Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave		
Dibujado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Comprobado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Escala 1:10	ÚTIL DE CURADO (PEAU)	Revisión 1



Universidad de Cádiz		
Proyecto: Diseño de fabricación en fibra de carbono de un compensador de giro de una aeronave		
Dibujado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Comprobado: Daniel Bey Ruiz	Fecha: 25/05/2006	Firma:
Escala 1:10	UTIL LAMINADO CIERRE	Revisión 1

