

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Aeroespacial

Modelado y Ensamblaje en CATIA V5 del Conjunto Alar del Flyer I de los Hermanos Wright

Autor: Antonio Velo Sirgo

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha

Juan Martínez Palacios

Dep. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

Modelado y Ensamblaje en CATIA V5 del Conjunto Alar del Flyer I de los Hermanos Wright

Autor:

Antonio Velo Sirgo

Tutores:

María Gloria del Río Cidoncha

Juan Martínez Palacios

Dep. Ingeniería Gráfica

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016

Trabajo Fin de Grado: Modelado y Ensamblaje en CATIA V5 del Conjunto Alar del Flyer I de los Hermanos Wright

Autor: Antonio Velo Sirgo

Tutores: María Gloria del Río Cidoncha
Juan Martínez Palacios

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal

A mi sobrina Alejandra

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer el trabajo realizado por mis tutores, María Gloria del Río Cidoncha y Juan Martínez Palacios. Gracias a ellos ha sido posible este proyecto conjunto. Además, su predisposición a ayudar y amabilidad han sido constantes durante el trato con ellos.

En segundo lugar, he de agradecer a mi familia el hecho de haberme apoyado durante todo este proceso. Les estoy muy agradecido por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera y hacerme valer por mí mismo. Todo el esfuerzo personal y económico que esto ha supuesto se está empezando a ver recompensado ahora, y eso es solo gracias a ellos.

Otra increíble persona a la que debo dar las gracias es mi pareja, Natalia. Ella ha sido el apoyo fundamental durante este trabajo y, sin ella, tampoco hubiera sido posible este. Juntos hemos vivido todo este proceso universitario que ahora llega a su fin, y vivirlo a su lado ha sido mi mayor suerte.

Por último, agradecer a todos los profesores, compañeros y amigos que, de una u otra forma, han hecho de mi etapa universitaria una experiencia inolvidable.

Resumen

El objetivo principal de este proyecto es el modelado y ensamblaje de las alas del *Flyer I* de los hermanos Wright a partir de los planos (1) del *National Air and Space Museum*.

Adicionalmente, se realiza un recorrido histórico por los primeros pasos de la aviación, desde las primeras cometas chinas hasta el primer vuelo controlado y sostenido de una aeronave más pesada que el aire y sus repercusiones en la historia.

Además de este proyecto, existen otros proyectos similares sobre el modelado de las otras partes del *Flyer I*. El objetivo común es el ensamblaje y animación de la aeronave completa.

Abstract

The main aim of this project is the modeling and assembly of the wings of the Wright brothers' *Flyer I* from the drawings (1) of the *National Air and Space Museum*.

Additionally, it gives an historical overview of the first steps in aviation, from the first Chinese kites to the first sustained and controlled flight of a heavier-than-air aircraft and its impact in the history.

In addition to this project, there are other similar projects about modeling the other parts of the *Flyer I*. The common aim is the modeling, assembly and animation of the whole aircraft.

Índice

Agradecimientos	I
Resumen	III
Abstract	V
Índice	VII
Índice de Ilustraciones	IX
1 Introducción	1
1.1 <i>Objetivo</i>	1
1.2 <i>Justificación</i>	2
2 Computer Aided Design (CAD)	3
2.1 <i>Evolución histórica</i>	4
2.2 <i>CATIA V5 y justificación de su elección</i>	5
3 El Flyer I	7
3.1 <i>Antecedentes históricos</i>	7
3.2 <i>Los hermanos Wright y el primer vuelo</i>	12
3.3 <i>El Flyer I de Kitty Hawk</i>	15
3.4 <i>Repercusiones</i>	17
4 Planos de partida y decisiones de diseño	19
4.1 <i>Adquisición de planos</i>	19
4.2 <i>Organización</i>	20
4.3 <i>Errores de acotación</i>	21
4.4 <i>Unidades utilizadas</i>	22
4.5 <i>Errores</i>	23
4.6 <i>Elementos de fijación</i>	23
4.7 <i>Ángulo de diedro</i>	25
4.8 <i>Recubrimiento</i>	26
4.9 <i>Costillas</i>	26
4.10 <i>Materiales</i>	26
4.11 <i>Derecha e izquierda</i>	28
4.12 <i>Ejes de la aeronave</i>	28
5 Modelado y ensamblaje del conjunto alar	29
5.1 <i>Ribs</i>	30
5.1.1 <i>Engine Support Bearers (B6)</i>	31
5.1.2 <i>Pilot Support Bearers (B7)</i>	34
5.1.3 <i>Rib A (B5)</i>	36
5.1.4 <i>Rib B (B5)</i>	40
5.1.5 <i>Rib C (B5)</i>	41
5.1.6 <i>Rib D (B5)</i>	44
5.1.7 <i>Rib E (B5)</i>	45
5.1.8 <i>Rib F (B5)</i>	46

5.2	<i>Wing Structure</i>	47
5.2.1	Lower Center Wing Structure (B1)	47
5.2.2	Upper Center Wing Structure (B2)	51
5.2.3	Right Wing Structure (B3)	53
5.2.4	Left Wing Structure (B4)	57
5.2.5	Wing Hinge Plates (B8)	59
5.3	<i>Wing Coverings (B9)</i>	63
5.4	<i>Wing Struts (B8)</i>	67
5.4.1	Strut fittings	68
5.4.2	Struts	71
5.5	<i>Wing Trussing (B10)</i>	73
6	Comparación del modelo con el avión real	79
7	Conclusiones	83
7.1	<i>Mejoras</i>	83
7.2	<i>Nuevos planos</i>	84
7.3	<i>Reconstrucción</i>	84
7.4	<i>Cultura</i>	84
7.5	<i>CATIA V5</i>	84
7.6	<i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i>	85
7.7	<i>Evolución del ala</i>	86
7.8	<i>Futuro del proyecto</i>	87
	Referencias	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 3-1: Kite Flying (Suzuki Harunobu, 1766) (14)	8
Ilustración 3-2: Diseño de una máquina voladora de Leonardo da Vinci, 1488 (18)	9
Ilustración 3-3: Modelo a escala 1/10 del Montgolfière, construido por Alex Morton (20)	9
Ilustración 3-4: Planeador de 1852 de George Cayley (Mechanics' Magazine) (24)	10
Ilustración 3-5: Otto Lilienthal realizando un vuelo desde una colina en 1894 (27)	11
Ilustración 3-6: Modelo a vapor <i>Aerodrome No. 5</i> realizando un vuelo exitoso en 1896 (30)	12
Ilustración 3-7: Los hermanos Wright probando el planeador de 1901 como cometa (34)	13
Ilustración 3-8: Wilbur Wright volando con el planeador de 1902 (35)	14
Ilustración 3-9: Orville Wright terminando el tercer vuelo del 17 de diciembre de 1903 (36)	14
Ilustración 3-10: <i>1903 Wright Flyer</i> en el <i>National Air and Space Museum</i> (39)	15
Ilustración 3-11: Interior del ala del Flyer I (40)	16
Ilustración 3-12: Controles del Flyer I (41)	16
Ilustración 4-1: Índice de los planos del <i>Wright Flyer</i> (44)	21
Ilustración 4-2: Unidades de medidas de los planos (1)	22
Ilustración 4-3: Medida con error (1)	23
Ilustración 4-4: Indicación de las características de un tornillo (1)	23
Ilustración 4-5: Relación del número de rosca americana con el diámetro (49)	24
Ilustración 4-6: Tornillo de cabeza redondeada y tuerca cuadrada	25
Ilustración 4-7: Ángulo de diedro de una aeronave (50)	25
Ilustración 4-8: Dirección de la veta en el larguero trasero	27
Ilustración 4-9: Ejes de la aeronave (51)	28
Ilustración 5-1: Distribución de las costillas del ala inferior	30
Ilustración 5-2: Distribución de las costillas del ala superior	30
Ilustración 5-3: Engine support bearers	31
Ilustración 5-4: Perfil del soporte del motor	32
Ilustración 5-5: Refuerzo del soporte del motor	32
Ilustración 5-6: Soportes transversales para el magneto	33
Ilustración 5-7: Fijación delantera del soporte del motor	33
Ilustración 5-8: Fijación trasera del soporte del motor	34
Ilustración 5-9: Pilot support bearers	34
Ilustración 5-10: Fijación delantera del soporte del piloto	35
Ilustración 5-11: Parte trasera del soporte del piloto	35
Ilustración 5-12: Bloque separador del soporte del piloto	36

Ilustración 5-13: Costilla tipo A	36
Ilustración 5-14: Perfil de la costilla tipo A	37
Ilustración 5-15: Fijación delantera de la costilla tipo A	37
Ilustración 5-16: Fijación trasera de la costilla tipo A	38
Ilustración 5-17: Corte de la fijación trasera de la costilla tipo A	38
Ilustración 5-18: Bloque trasero de la costilla tipo A	38
Ilustración 5-19: Bloques intermedios de la costilla tipo A	39
Ilustración 5-20: Parte trasera de la costilla tipo A	39
Ilustración 5-21: Costilla tipo B	40
Ilustración 5-22: Parte delantera de la costilla tipo B	40
Ilustración 5-23: Fijación al larguero trasero de la costilla B	41
Ilustración 5-24: Costilla tipo C	41
Ilustración 5-25: Fijación al larguero delantero de la costilla tipo C	42
Ilustración 5-26: Bloque de madera intermedio de la costilla tipo C	42
Ilustración 5-27: Fijación al larguero trasero de la costilla tipo C	43
Ilustración 5-28: Parte trasera de la costilla tipo C	43
Ilustración 5-29: Costilla tipo D	44
Ilustración 5-30: Parte trasera de la costilla tipo D	44
Ilustración 5-31: Costilla tipo E	45
Ilustración 5-32: Parte trasera de la costilla tipo E	45
Ilustración 5-33: Costilla tipo F	46
Ilustración 5-34: Fijación al larguero trasero de la costilla tipo F	46
Ilustración 5-35: Parte central de la estructura del ala inferior	47
Ilustración 5-36: Detalle de los soportes del motor y del piloto	48
Ilustración 5-37: Fijación de una costilla al larguero delantero	49
Ilustración 5-38: Fijación de unas costillas al larguero trasero	49
Ilustración 5-39: Detalle de la unión del soporte del piloto al larguero trasero	50
Ilustración 5-40: Extremo de la parte central del ala inferior	50
Ilustración 5-41: Parte central de la estructura del ala superior	51
Ilustración 5-42: Listón trasero del ala superior	52
Ilustración 5-43: Unión del listón trasero a una costilla	52
Ilustración 5-44: Punto de anclaje del timón de dirección	53
Ilustración 5-45: Parte derecha de la estructura del ala inferior	53
Ilustración 5-46: Curva en el borde de salida de la punta del ala inferior	54
Ilustración 5-47: Soporte del extremo derecho de la estructura del ala inferior	55
Ilustración 5-48: Unión del listón curvo derecho con el larguero trasero inferior	55
Ilustración 5-49: Unión del listón curvo derecho con el larguero delantero superior	56
Ilustración 5-50: Refuerzo del larguero trasero derecho inferior	56
Ilustración 5-51: Refuerzo del larguero delantero derecho inferior	57

Ilustración 5-52: Parte izquierda de la estructura del ala inferior	57
Ilustración 5-53: Refuerzo del larguero delantero izquierdo superior	58
Ilustración 5-54: Refuerzo del larguero trasero izquierdo inferior	59
Ilustración 5-55: Pletina delantera del larguero trasero	59
Ilustración 5-56: Unión de los largueros delanteros central e izquierdo	60
Ilustración 5-57: Unión de los largueros traseros central e izquierdo	61
Ilustración 5-58: Sección de la unión de los largueros delanteros central e izquierdo	61
Ilustración 5-59: Estructuras del ala superior (a la derecha) e inferior (a la izquierda)	62
Ilustración 5-60: Alas con recubrimiento	63
Ilustración 5-61: Recubrimiento de las partes centrales de las alas	64
Ilustración 5-62: Recubrimiento de la parte izquierda del ala superior	65
Ilustración 5-63: Planta del extremo izquierdo del ala superior con recubrimiento	65
Ilustración 5-64: Alambres de unión de dos recubrimientos	66
Ilustración 5-65: Alambre trasero para fijación del recubrimiento	66
Ilustración 5-66: Bolsillos del recubrimiento de intradós	67
Ilustración 5-67: Tachuelas del larguero delantero	67
Ilustración 5-68: Fijación de una riostra delantera	68
Ilustración 5-69: Fijación de una riostra trasera	69
Ilustración 5-70: Fijación de un extremo trasero inferior	69
Ilustración 5-71: Fijación delantera sobre una pletina de unión	70
Ilustración 5-72: Fijación para una riostra soporte del eje de una hélice	70
Ilustración 5-73: Riostra	71
Ilustración 5-74: Conexión de una riostra con su fijación	72
Ilustración 5-75: Conjunto alar sin tirantes	72
Ilustración 5-76: Fijación con una riostra y tirantes	73
Ilustración 5-77: Alzado del conjunto alar	74
Ilustración 5-78: Perfil del conjunto alar	74
Ilustración 5-79: Alambre horizontal atravesando a una riostra	75
Ilustración 5-80: Listón del alambre horizontal trasero	75
Ilustración 5-81: Extremo del alambre horizontal trasero	76
Ilustración 5-82: Conjunto alar	77
Ilustración 6-1: Comparación del lado izquierdo de un ala real (38) con su modelo	80
Ilustración 6-2: Comparación de la fijación de una riostra real (38) con su modelo	80
Ilustración 6-3: Comparación del alambre horizontal real (38) con su modelo	81
Ilustración 6-4: Comparación del conjunto alar real (38) con su modelo	81
Ilustración 7-1: Ejemplo de análisis en <i>Fluent</i> (52)	85
Ilustración 7-2: Uso de <i>FloEFD</i> dentro de la interfaz de <i>CATIA V5</i> (53)	86

1 INTRODUCCIÓN

We are human and our nature is to fly.

Stephen Hawking

En la conferencia en la que se dio a conocer el proyecto *Breakthrough Starshot*, Stephen Hawking dijo: “We are human and our nature is to fly”. (2)

Este ha sido el leitmotiv que, en la historia del ser humano, ha hecho que este pusiera siempre la vista al cielo y que haya intentado, con muchísimos fracasos en el camino, cumplir tal objetivo.

Durante el último siglo la aeronáutica se ha desarrollado a un ritmo vertiginoso, y el punto de inflexión fue, sin duda, el primer vuelo libre, controlado y sostenido de una aeronave más pesada que el aire. Ese 17 de diciembre de 1903, los hermanos Wright lograban cumplir el ansiado sueño de surcar los cielos. Desde entonces, los avances y los estudios sobre aeronáutica han sido innumerables.

En este trabajo se realiza un recorrido histórico desde los primeros intentos de vuelo hasta el *Flyer I* de los hermanos Wright y sus repercusiones. Esto sirve como base para entender la importancia que tuvo esta aeronave en la historia de la aeronáutica.

Una vez establecido el marco histórico se presentará el modelado de la estructura alar completa del *Flyer I* a partir de planos, realizado en *CATIA V5 R19*. Se comentarán, además, las decisiones tomadas durante el modelado, así como información diversa sobre los planos.

Finalmente, se establecerán las diferentes conclusiones que se obtienen de este trabajo.

1.1 Objetivo

El fin principal de este trabajo consiste en el modelado y ensamblaje en *CATIA V5* de las alas del *Flyer I* de los hermanos Wright. Sin embargo, también se desarrollará la historia aeronáutica previa a su diseño para tener constancia de la importancia de tal aeronave.

Este trabajo es, a su vez, parte de un objetivo mayor. El modelado completo del avión ha sido dividido en varias partes, debido a que los planos contenían 50 hojas de tamaño superior al DIN A1, y esto sobrepasaba varias veces la carga de trabajo necesaria para un Trabajo Fin de Grado. Por lo tanto, el primer objetivo sería modelar las diferentes partes del avión.

El objetivo final consistiría en el ensamblaje de cada una de las partes y en su posterior animación, que sería realizado por otro estudiante una vez se hayan finalizado todos los modelados.

1.2 Justificación

La elección de este tema proviene de la superposición del gusto por la aeronáutica y del diseño por ordenador. Deseaba realizar un modelado de alguna aeronave antigua, tanto por su mayor simplicidad como por la estética de la aviación histórica.

Sin embargo, encontrar algún plano completo y detallado resultaba muy difícil. Tras contactar con la tutora del presente Trabajo Fin de Grado, María Gloria del Río Cidoncha, y comentarle lo que necesitaba para realizar el trabajo, ella logró proporcionarme unos enlaces a través de los que pude llegar a encontrar lo que buscaba. Los planos del *Flyer I* pertenecían al *National Air and Space Museum* y, por unos 85 euros, pude solicitar una copia.

Tras la llegada, y al comprobar la gran carga de trabajo que contenía, se decidió dividir el estudio de forma que otros compañeros también participaran modelando otras partes de este avión, como se comentó anteriormente.

El tema elegido cobra su importancia de la aeronave que se modela, ya que esta marcó un antes y un después en la historia de la aviación. La elección del programa *CATIA V5 R19*, por su parte, viene de su uso más acorde con aplicaciones aeronáuticas, además de tratarse del programa de CAD estudiado durante el grado en Ingeniería Aeroespacial. El hecho de ser una herramienta que trabajaba muy bien con superficies y la que mejor sabíamos utilizar, han sido los principales motivos para su elección como programa para modelar el *Flyer I*. Además, se acordó con el resto de compañeros la utilización de una misma versión del programa, a fin de evitar problemas de compatibilidad en el futuro ensamblaje de las diferentes partes del avión. Más adelante, en el apartado 2.2, se ofrece una justificación más detallada de la elección de este programa.

2 COMPUTER AIDED DESIGN (CAD)

No temo a los ordenadores; lo que temo es quedarme sin ellos.

Isaac Asimov

El empleo de equipos informáticos en el desarrollo de gran parte de las tareas cotidianas del ser humano se encuentra tan instaurado en nuestros días que resultaría difícil pensar en un mundo sin su presencia. (3)

Uno de los campos en el que los equipos informáticos han tomado cada vez más protagonismo hasta el punto de ser herramientas indispensables es el de la ingeniería.

El CAD/CAM (Computer Aided Design/ Computer Aided Manufacturing) es una disciplina que estudia el uso de estos “sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de cualquier tipo de producto”. El CAD/CAM ha pasado a ser “un requisito indispensable para la industria actual, que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costes y acortar los tiempos de diseño y producción”. Para lograr estos objetivos se hace necesario usar toda la “potencia de las herramientas informáticas actuales e integrar todos los procesos”. (4)

La utilización de estas herramientas ha propiciado la aparición de la denominada “Fabricación Integrada por Ordenador” (“Gestión Integrada por Ordenador” como término general para todas las empresas), consistente en “la gestión integral de todas las actividades y procesos desarrollados dentro de una empresa mediante un sistema informático”. (4)

Así, esta tecnología ha cobrado tal importancia que en la actualidad se buscan, de manera constante, formas de optimización de estos sistemas. (5)

Por su parte, el CAD es una “tecnología implicada en el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño”. El CAM, por otra parte, “se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción”. (6)

En relación al CAD, cabe destacar que comprende un amplio espectro de herramientas, abarcando desde las “de modelado geométrico hasta aplicaciones a medida para el análisis u optimización de un producto específico”. Entre ambos se sitúan “herramientas de modelado y análisis de tolerancias, cálculo de propiedades físicas (masa, volumen, momentos, etc.), modelado y análisis de elementos finitos, ensamblado, etc”. Su función principal “es la definición de la geometría del diseño (pieza mecánica, arquitectura, circuito

electrónico, etc.), ya que la geometría es esencial para las actividades subsecuentes en el ciclo de producto". (6)

Además del CAD/CAM, habría que mencionar el CAE (Ingeniería asistida por Ordenador o Computer Aided Engineering), que se refiere "a las tareas de análisis, evaluación, simulación y optimización desarrolladas a lo largo del ciclo de vida del producto". (4)

Relacionando todo lo anterior con el presente trabajo, cabría destacar que la aeronáutica fue una de las "primeras industrias en asimilar las técnicas y tecnologías que ofrece el CAD/CAM". Su uso es muy importante en "proyectos aeroespaciales, donde se requiere el desarrollo de superficies complejas". Tal es la relevancia del CAD/CAM en la aeronáutica, que "hoy en día es prácticamente impensable desarrollar un proyecto de avión" sin su utilización. A su vez, la aeronáutica ha contribuido "de forma muy activa" al desarrollo del CAD/CAM. (7)

Para la aeronáutica, la adopción del ordenador como herramienta representó un salto tecnológico considerable (7). Esto supuso avances en las aeronaves como el uso de ordenadores para la ayuda al vuelo y la gestión de los diferentes sistemas, pero también, y de igual importancia, como herramienta de soporte a la ingeniería.

En este apartado se comentará muy brevemente la evolución histórica del CAD y se justificará la elección de *CATIA V5* como programa de diseño para este trabajo.

2.1 Evolución histórica

Los sistemas CAD hunden sus raíces en los años 50 del pasado siglo XX, cuando comenzaron elaborando dibujos técnicos bidimensionales que mejoraron en tiempo y en almacenamiento los clásicos dibujos a mano. (8)

Fue en estos años cuando apareció el primer sistema de gráficos, el *SAGE (Semi Automatic Ground Environment)*, que era un sistema de defensa aérea de la *USAF (United States Air Force)* desarrollado en colaboración con el *MIT (Massachusetts Institute of Technology)*. Este sistema permitía la visualización de datos de radar. (9)

En los años 60 comenzaron a usarse los CAD para tareas como el diseño de espacios interiores de oficina. Aparecieron los sistemas CAD 2D, aunque funcionaban en mainframes, computadoras grandes, potentes y costosas. (9)

Inicialmente estas herramientas no tuvieron una gran difusión, dado el reducido sector que tenía acceso a las mismas, si bien poco a poco fueron implementándose mejoras en las mismas y, con ellas, su grado de expansión. (8)

Durante la siguiente década algunas "compañías empezaron a ofrecer sistemas de diseño/dibujo automatizado", teniendo sus inicios en estos años productos como *CATIA* o *CADLink*. Comienzan a aparecer ya "algunas capacidades 3D en programas de cálculo de sistemas HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning)". Para el final de esta década, "un sistema típico de CAD consistía en un mini-ordenador de 16 bits con un máximo de 512 Kb de memoria y de 20 a 300 Mb de disco duro". (9)

En los años 80 aparece *Autodesk* "con el objetivo de crear un programa de CAD que funcione sobre un PC", llegando *Autocad* a convertirse en el programa de CAD más popular. Otras compañías comenzaron a hacer lo mismo con sus programas. En estos años, principalmente se usaban los programas de CAD para desarrollos de ingeniería. (9)

En los años 90 se comienzan a generalizar las visualizaciones en 3D, convirtiéndose la versión 12 de *Autocad* en "el programa de CAD sobre Windows más vendido". A mediados de esta década, aparecen numerosos "programas de CAD para una gran variedad de usos y aplicaciones". En los últimos años de la década de los 90, ya son muchas las personas que hacen uso de estos programas, ya que se desarrollaban programas de CAD tanto sencillos como otros mejores "para satisfacer las necesidades crecientes de la industria". El mercado se llena de programas de CAD 3D, que "ofrecen soluciones a segmentos verticales aportando soluciones específicas para cada uno de ellos". (9)

Actualmente, "el uso de estas técnicas ha dejado de ser una opción dentro del ámbito industrial, para

convertirse en la única opción existente”. (4)

2.2 CATIA V5 y justificación de su elección

CATIA V5 (Computer Aided Three Dimensional Interactive Application) “es un programa CAD/CAM/CAE de gama alta” que “proporciona nuevas soluciones de diseño y fabricación”. (10)

Este programa, que tiene sus orígenes en Francia a manos de los ingenieros que trabajaban para Marcel Dassault y su empresa aeronáutica, *Dassault Aviation*. (10)

Debido a que fue creado para diseñar aviones, este software cuenta con “una habilidad especial para crear superficies complejas que permitan definir los contornos de las alas y el fuselaje”. (10)

Actualmente, *CATIA* se ha convertido en una herramienta indispensable en el sector del diseño en tres dimensiones gracias a la potencia y rapidez de su sistema. A modo de resumen, *CATIA* no es una simple herramienta, sino “un conjunto de utilidades que asisten al ingeniero en las distintas fases que conducen a la concepción y fabricación de un nuevo producto”. (8)

Este software es el más usado de su tipo en la industria aeronáutica, siendo el elegido por empresas como *Airbus* y *Boeing*. (10)

La versión *V5* de este software se comenzó a comercializar en 2002 a manos de *IBM* (10), y es la que se ha usado para la realización de este trabajo.

La elección de este software viene determinada por varios motivos. En primer lugar, dado que es el programa de CAD más usado en la ingeniería aeronáutica, se trata del más apropiado para este trabajo, ya que el fin del mismo es demostrar los conocimientos en aeronáutica. Además, el hecho de haber usado y aprendido a usar este programa durante la carrera hace que sea el idóneo, pues es positivo partir de una base para reducir los errores y el tiempo al modelar.

Otro gran punto a favor es, como se ha comentado, su potente uso con superficies. En esta línea, ya que es un programa diseñado para aviones, era la opción más llamativa para ser usada en este trabajo.

Dado que el proyecto conjunto de modelar el *Flyer I* al completo debía hacerse tomando una decisión conjunta entre los compañeros, se optó por usar *CATIA V5* y, concretamente su versión 19, para evitar incompatibilidades en el ensamblaje final. La elección fue fácil por todo lo descrito anteriormente y por tener todos esa misma base de conocimientos recibida durante la carrera.

Por último, cabe destacar que los módulos de *CATIA* que se han usado para este trabajo han sido: *Part Design*, *Assembly Design*, *Wireframe & Surface Design*, *Generative Shape Design* y *Drafting*.

3 EL *FLYER I*

Nobody will fly for a thousand years!

Wilbur Wright, 1901

El 17 de diciembre de 1903 se produjo un hecho insólito: se consiguió, por primera vez en la historia, el vuelo controlado de una aeronave más pesada que el aire. Tan solo 66 años más tarde, el hombre conseguía poner el pie en La Luna. Sin duda, la ingeniería aeroespacial se ha desarrollado a un ritmo vertiginoso, motivado en gran parte por razones políticas y bélicas, pero también por su papel comercial en el transporte.

Todo ello fue posible gracias a pioneros como los hermanos Wright. Sin embargo, la historia de la aeronáutica comienza mucho antes, por lo que en este apartado se resumirá esta para establecer el contexto y cómo se llegó a esos primeros intentos de vuelo de los hermanos Wright. También se comentará la evolución del trabajo de estos, haciendo hincapié en el modelo objeto de este documento, el *Flyer I* (o *Wright Flyer*) de 1903. Por último, se verán las repercusiones que este y los consiguientes diseños tuvieron en la aeronáutica y cómo avanzó esta durante los siguientes años.

3.1 Antecedentes históricos

La humanidad ha soñado con volar desde hace muchísimo tiempo. Muchos han sido los que intentaron realizar avances en este campo, tanto de forma práctica como teórica. Con estas diferentes contribuciones a lo largo de la historia, la ciencia aeronáutica ha ido tomando forma poco a poco hasta ser lo que es hoy en día.

Los primeros acercamientos al cielo de los que hay registro datan de hace más de 2000 años y se sitúan en Shandong, en el este de China. Esto fue gracias a las cometas, cuyas estructuras se construían con bambú y se cubrían con piel o papel. Su uso más importante se llevó a cabo en el campo militar, con diferentes aplicaciones que iban desde medir distancias a asustar a los enemigos. Existen también evidencias de cometas de madera que eran capaz de elevar a un centinela, adquiriendo así una clara ventaja táctica en las batallas. (11) (12) (13)



Ilustración 3-1: Kite Flying (Suzuki Harunobu, 1766) (14)

En Europa, el primer caso registrado de cometa no se encuentra hasta muchos siglos más tarde. Aunque fue Marco Polo quien trajo y documentó la construcción de las cometas chinas, es en un libro del siglo XIV en el que aparece su uso en Europa por primera vez. En este caso su uso fue también bélico, planteándose en dicha obra como transporte de bombas para atacar los castillos. No fue hasta mucho tiempo después cuando se popularizó su uso como juguete para niños. (12) (13) (15)

Algunos quisieron dar un paso más e intentar ser ellos los que volaban, pero desafortunadamente tuvieron finales trágicos. Un ejemplo es el de un hombre de Constantinopla que, en 1178, murió al saltar de una torre con un manto endurecido. (11) (16)

A finales del siglo XV, el polímata Leonardo da Vinci realizó numerosos diseños de máquinas voladoras. Según él, un pájaro era “una máquina que funciona según las leyes matemáticas, y el hombre tiene el poder de crear una máquina como esta, con todos sus movimientos”. En base a esto, diseñó varios “ornitotteri”, aeronaves de alas abatibles que, mediante elementos mecánicos, imitaban el movimiento de las aves. También fue el responsable del diseño del tornillo aéreo, un “helicóptero” con una estructura de cañas revestidas con forma espiral. Sin embargo, estos inventos no llegaron a volar debido a diferentes motivos, principalmente a la falta de potencia específica, es decir, la fuerza que podía realizar el piloto en relación al peso completo. (11) (17)

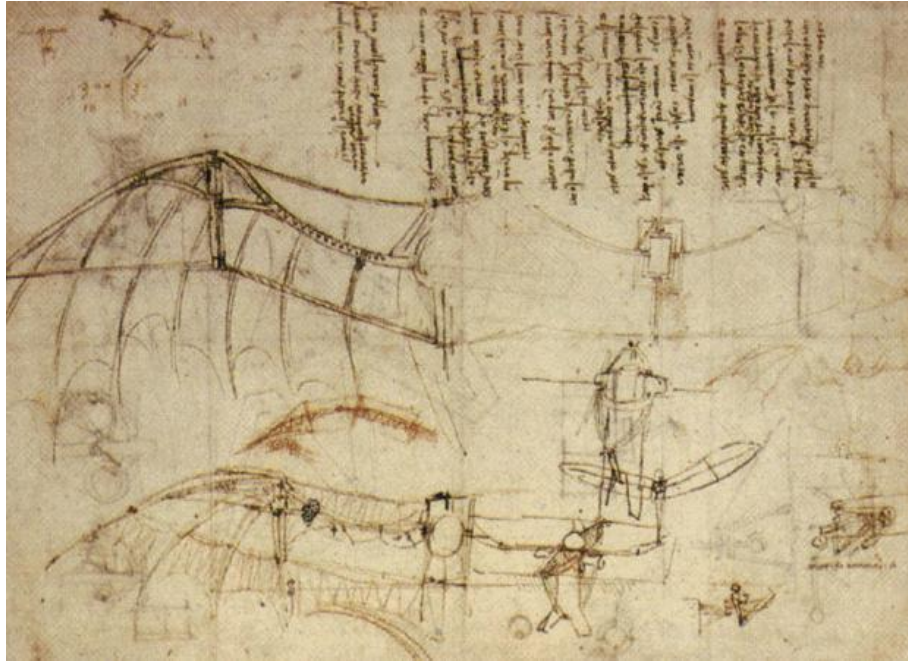


Ilustración 3-2: Diseño de una máquina voladora de Leonardo da Vinci, 1488 (18)

El siguiente gran paso en la historia de la aeronáutica vino de manos de los hermanos Montgolfier. Estos hermanos franceses comprobaron que, al poner bolsas de papel al revés sobre el fuego, estas ascendían hasta el techo. Durante 1782 hicieron pruebas con diferentes materiales y tamaños, llegando a lanzar una bolsa de 18 m³ hasta los 250 metros de altura. Un año más tarde, empezaron a realizar demostraciones públicas y a realizar experimentos de mayor envergadura. Comenzaron a lanzar bolsas con peso y, luego, con seres vivos, para ver de qué manera les afectaba el aire a más altura. (19)

Finalmente, el 21 de noviembre de 1783 tuvo lugar el primer vuelo con humanos sin dejar atado el globo. Pilâtre de Rozier y el marqués d'Arlandes sobrevolaron París a unos 900 metros de altura durante 25 minutos, tocando suelo a unos 9 kilómetros del punto inicial. (20)



Ilustración 3-3: Modelo a escala 1/10 del Montgolfière, construido por Alex Morton (20)

Sin embargo, científicos como George Cayley siguieron investigando otras vías, y los diseños de aeronaves diferentes no cesaron. Cayley observó “cómo los pájaros se elevaban bastante con solo girar sus alas arqueadas” (21). A raíz de esto, descubrió en 1799 que, cuando el aire fluía sobre un ala fija y curvada, se producía una fuerza hacia arriba, la sustentación (22). Esto le llevó a realizar diferentes experimentos que mejoraron sus conocimientos sobre el vuelo.

En 1804 Caley diseñó un modelo de planeador, teniendo ya este una configuración similar a la de aviones actuales. Realizó importantes descubrimientos, como el de la mayor estabilidad lateral al introducir ángulo de diedro en las alas. Continuó realizando pruebas con diferentes diseños y aprendiendo sobre las leyes del vuelo hasta que, en 1849, logró que uno de dichos diseños realizara un vuelo corto con un niño a bordo. En 1853, con un planeador más grande, logró llevar a cabo otro vuelo corto, aunque esta vez con su cochero como piloto. (23)

Cayley contribuyó de manera importante a la aeronáutica y predijo que el vuelo sostenido se lograría cuando un motor de poco peso proporcionara el empuje suficiente. (11)

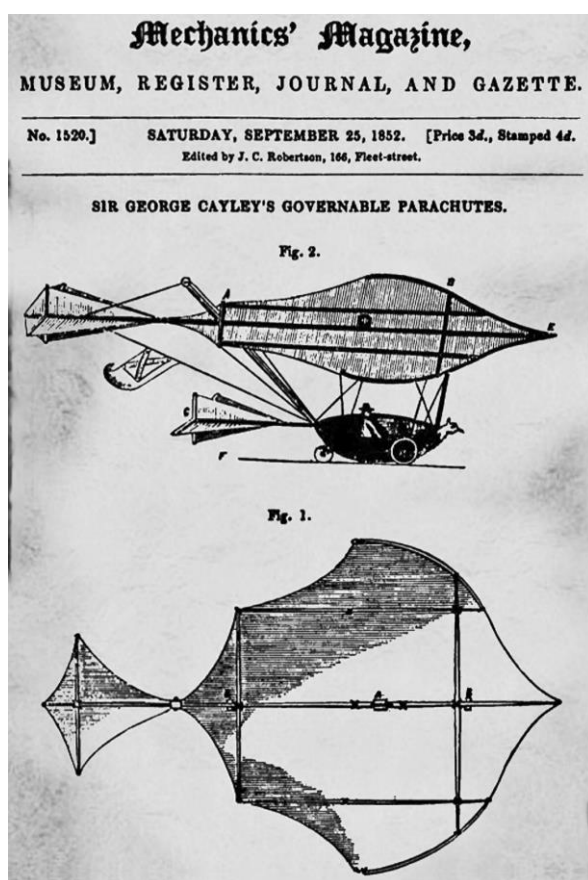


Ilustración 3-4: Planeador de 1852 de George Cayley (Mechanics' Magazine) (24)

En los años que seguían, otros continuaron contribuyendo al desarrollo de la aeronáutica. Jean-Marie Le Bris probó un planeador de alas móviles, y William Samuel Henson y Clément Ader crearon aeronaves propulsadas con motores de vapor, aunque no lograron mantener un vuelo sostenido. (11)

A finales del siglo XIX, el ingeniero alemán Otto Lilienthal realizó investigaciones sobre aerodinámica y varios vuelos exitosos con planeadores. En 1891 tuvieron lugar sus primeros saltos, con vuelos que cubrían unos 25 metros de distancia. En 2 años de mejoras logró realizar vuelos de 250 metros de distancia desde unas colinas. Continuó llevando a la práctica experimentos hasta que, en 1896, sufrió un accidente con uno de sus planeadores. Lilienthal murió un día más tarde en Berlín, habiendo realizado grandes avances y estudios sobre el vuelo. (25) (26)



Ilustración 3-5: Otto Lilienthal realizando un vuelo desde una colina en 1894 (27)

En ese mismo año, Octave Alexandre Chanute comenzaba a realizar también experimentos con planeadores en Chicago. Diseñó planeadores de múltiples alas que pivotaban para controlar la estabilidad. Además, apoyó a los hermanos Wright y les proporcionó información sobre los últimos avances en la aeronáutica. De hecho, en 1899 la Smithsonian Institution recomendó a Wilbur Wright el libro *Progress in Flying Machines* de Chanute. (28)

Contemporáneamente con algunos de los anteriores pioneros del vuelo, Samuel Pierpont Langley estuvo también realizando sus propios experimentos en dicho campo sobre el río Potomac. Comenzó sus experimentos a principios de 1887, desarrollando ese mismo año un modelo impulsado con una banda elástica llamado “rubber-pull aerodromes”. Consiguió que modelos de ese tipo realizaran vuelos de unos 25-30 metros de distancia y de 6-8 segundos de duración. (29)

En 1891 Langley comenzó a experimentar con aviones de motor a vapor y sin piloto, iniciando con ello la serie *Aerodrome*. Los primeros modelos de la serie, iniciada por el *Aerodrome No. 0*, fracasaron o no tuvieron mucho éxito. En 1893 comenzó a probar el *Aerodrome No. 4* desde la parte superior de una casa flotante que había construido. Los primeros intentos con este modelo también fracasaron, pero en octubre del 1894 realizó un vuelo de unos 40 metros. A mediados de 1896, con el *Aerodrome No. 5*, que tenía una estructura hecha mayormente de acero, logró llevar a cabo dos vuelos circulares a una altura de unos 25-30 metros y cubriendo en total 700 y 1000 metros de distancia, respectivamente. A finales de ese mismo año, el *Aerodrome No. 6* conseguía cubrir la distancia de unos 1300 metros, permaneciendo alrededor de un minuto en el aire. (29)

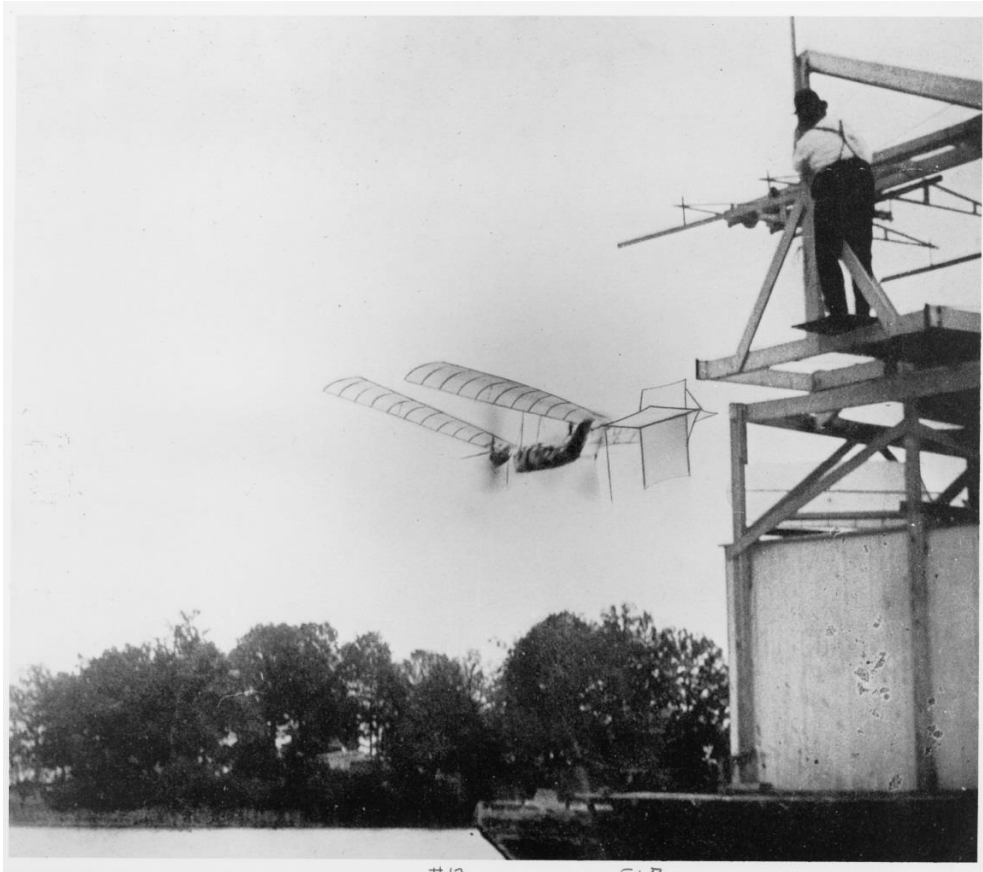


Ilustración 3-6: Modelo a vapor *Aerodrome No. 5* realizando un vuelo exitoso en 1896 (30)

En diciembre de 1898 Langley accedió a recibir fondos del Ejército de los Estados Unidos para desarrollar un *Aerodrome* capaz de llevar a un piloto. Para ello, retomó los experimentos de sus anteriores *Aerodromes* y comenzó a probar el *Quarter-Size Aerodrome*, que era un modelo a escala $\frac{1}{4}$ del avión que pretendía desarrollar. (29)

Tras muchas pruebas, comenzó a probar el *Large Aerodrome A*, el cual lograría llevar a un piloto. Contaba con un motor radial de 5 cilindros que proporcionaban 52 h.p. a 950 revoluciones por minuto. Tras numerosos intentos que terminaron en fracaso, Langley decidió abandonar los experimentos. Sin embargo, en 1914, años después de su muerte, Glenn Curtiss modificó el *Large Aerodrome A* para que lograra volar, cumpliendo así el ansiado sueño de Langley (29) (31). Pero, para esa fecha, los hermanos Wright ya habían conseguido realizar muchos vuelos pilotados con éxito, como se relatará a continuación.

3.2 Los hermanos Wright y el primer vuelo

En los mismos años en los que los anteriores ingenieros realizaban sus experimentos, Wilbur y Orville Wright también ponían en práctica los suyos, que desembocarían en el primer vuelo propulsado y controlado de una aeronave más pesada que el aire. Al igual que en el caso de los hermanos Montgolfier, fue también una pareja de hermanos los que dieron este salto tan importante en la historia de la aeronáutica.

Wilbur y Orville nacieron en 1867 y 1871, respectivamente, y se criaron en Dayton (Ohio), donde pasarían la mayor parte de sus vidas. Fue allí mismo donde, en 1892, decidieron alquilar un local y montar una tienda de bicicletas tras adquirir cada uno una de ellas. Este modesto negocio, en el que pronto se dedicaron también a la reparación y fabricación de su propia marca de bicicletas, les permitió económicamente llevar a cabo la mayoría de los experimentos aeronáuticos. (32)

En 1896, la muerte de Otto Lilienthal los motivó a estudiar sus trabajos y otros del mismo campo que habían

intentado encontrar una solución al problema del vuelo (32). “Wilbur encontró uno de los principales problemas: una gran cantidad de información engañosa e inexacta” (11). En relación a ello escribió:

“Thousands of men had thought about flying machines and a few had even built machines which they called flying machines, but these were guilty of almost everything except flying. Thousands of pages had been written on the so-called science of flying, but for the most part the ideas set forth, like the designs for machines, were mere speculations and probably 90 percent [were] false. Consequently those who tried to study the science of aerodynamics knew not what to believe and what not to believe. Things which seemed reasonable were often found to be untrue, and things which seemed unreasonable were sometimes true. Under this condition of affairs students were accustomed to pay little attention to things they had not personally tested.” (33)

Durante los siguientes años, los hermanos Wright se centraron en el problema del vuelo, leyendo sobre los experimentos de Lilienthal, Caley y otros. En 1899 escribieron a la *Smithsonian Institution* solicitando más publicaciones aeronáuticas y ese mismo año construyeron y volaron una cometa biplana para estudiar el control lateral. Sin embargo, dado que en Dayton el terreno era plano y había poco viento, escribieron a la oficina meteorológica de Estados Unidos pidiendo información sobre los mejores sitios para realizar sus experimentos. (11) (32)

En 1900, Wilbur contacta por correo con Octave Chanute, con quien continuará manteniendo el contacto e intercambiando información sobre los avances de sus experimentos. En septiembre de ese año Wilbur y Orville viajan a Kitty Hawk, lugar que le recomendaron para llevar a cabo los experimentos. Tan solo un mes más tarde comenzaron los experimentos con un planeador, probándolo de dos formas diferentes: como cometa y con piloto. (32)

En 1901, con una versión mejorada del planeador que contaba con más superficie alar, realizaron muchos vuelos, llegando a cubrir distancias cercanas a los 120 metros. Sin embargo, no volaba tan bien como predecían sus cálculos y parecía que los problemas de control no estaban aún resueltos. Por ello, decidieron construir un pequeño túnel de viento para obtener información del comportamiento del flujo de aire sobre diferentes modelos de alas. En dicho túnel probaron unos 200 diseños de alas, consiguiendo información sobre las eficiencias de diferentes perfiles. (11) (32)

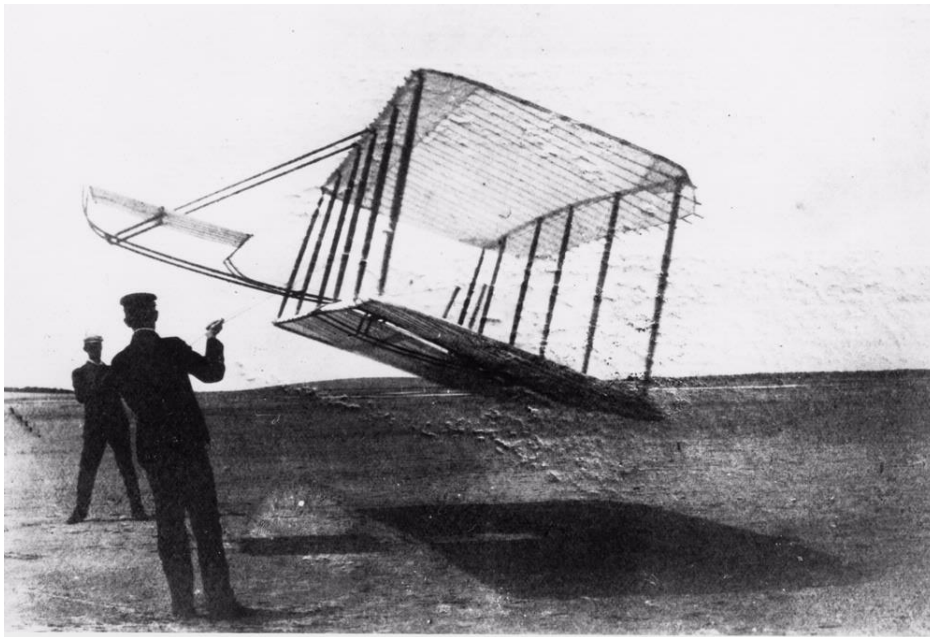


Ilustración 3-7: Los hermanos Wright probando el planeador de 1901 como cometa (34)

En 1902, con los conocimientos adquiridos gracias al túnel de viento, los Wright diseñaron y construyeron su tercer planeador, con el que realizaron numerosos vuelos con un control mejorado, cubriendo distancias de más de 180 metros y que duraban hasta 26 segundos. (11)

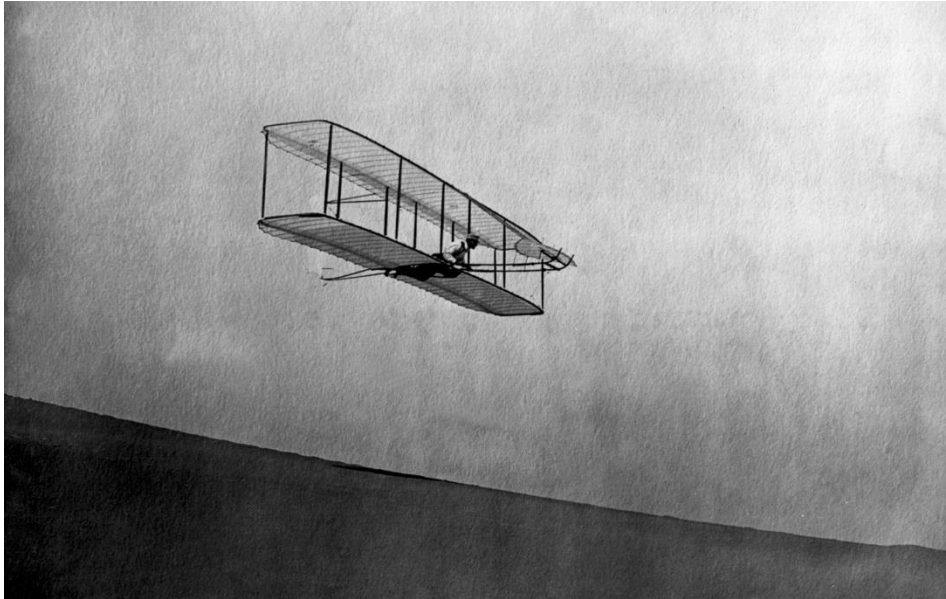


Ilustración 3-8: Wilbur Wright volando con el planeador de 1902 (35)

Tras esto, decidieron dar un paso más y construir su primer diseño propulsado: el *Flyer I*. Para ello, construyeron un motor de combustión interna de 4 cilindros y diseñaron las aspas como si fueran alas rotatorias. Además, fabricaron otro túnel de viento para mejorar la exactitud de las medidas. El primer intento de vuelo lo llevó a cabo Wilbur el 14 de diciembre de 1903, pero la aeronave entró en pérdida a los 3 segundos y medio del despegue. Como consecuencia, la parte delantera de la aeronave quedó dañada y pasaron 3 días llevando a cabo reparaciones y esperando a que hiciera buen tiempo. (11) (32)

Finalmente, el 17 de diciembre de 1903, Wilbur y Orville consiguieron realizar los primeros vuelos libres, propulsados, controlados y sostenidos, con una aeronave más pesada que el aire. En este caso, realizaron 2 vuelos cada uno. El primero de ellos, con Orville como piloto, duró 12 segundos y cubrió unos 35 metros. El último de estos primeros vuelos, con Wilbur al control, fue el más largo. Duró 59 segundos y recorrió más de 250 metros. (32)



Ilustración 3-9: Orville Wright terminando el tercer vuelo del 17 de diciembre de 1903 (36)

De esta forma, ese 17 de diciembre de 1903 la humanidad lograba cumplir un sueño de miles de años de antigüedad gracias a los hermanos Wilbur y Orville Wright, pero también a todos aquellos que aportaron su grano de arena con sus experimentos y estudios sobre el vuelo.

3.3 El *Flyer I* de Kitty Hawk

El *Flyer I*, aeronave protagonista de la hazaña contada anteriormente, tenía una longitud de 6.43 metros, una envergadura de 12.27 metros y una masa de unos 274 kilogramos. Contaba con 2 alas cuyas cuerdas eran de casi 2 metros, lo que daba lugar a una superficie alar de unos 47 m². Los perfiles alares eran curvos, con una curvatura máxima del 5% y la bahía o espacio entre ambas alas era de 1.88 metros. En relación a los timones horizontal y vertical, tenían un área de 4.46 m² y 1.95 m² respectivamente (37). Los materiales elegidos tenían que ser ligeros pero resistentes, por lo que los hermanos Wright optaron por madera de picea y fresno, sin usar barniz para así ahorrar peso. (38)

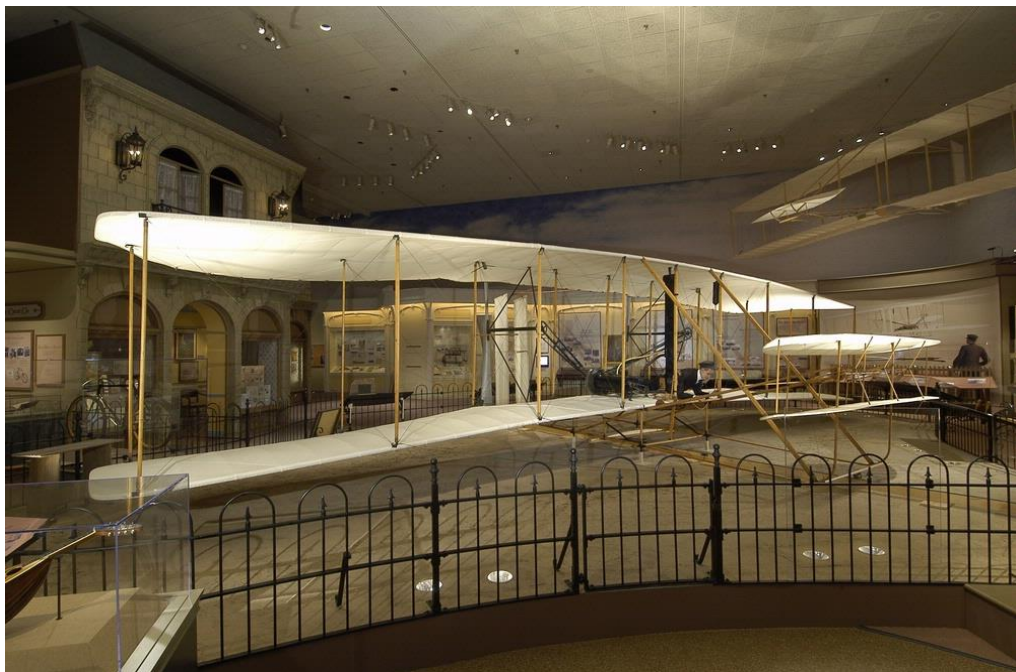


Ilustración 3-10: 1903 *Wright Flyer* en el *National Air and Space Museum* (39)

El avión contaba con una configuración alar de biplano, con las alas unidas con cables. La madera usada para la estructura del ala fue del mismo tipo que la del resto del avión. Para el recubrimiento se usó tela de muselina sin blanquear, la cual servía también como componente estructural del ala. Este recubrimiento tenía cosidos trozos de tela que formaban unos huecos por los que se insertaban las costillas. La forma de las alas y los perfiles fueron el resultado de todos los experimentos que llevaron a cabo los hermanos Wright en su túnel de viento los años anteriores. (38)



Ilustración 3-11: Interior del ala del Flyer I (40)

Los hermanos Wright realizaron una importante innovación al introducir en su *Flyer I* un control sobre los 3 ejes: alabeo, cabeceo y guiñada. El control de alabeo se conseguía deformando los bordes de salida de cada semiala en un sentido, mediante el uso de cables y poleas. Estos cables y poleas conectaban los bordes de salida del ala con una base sobre la que se apoyaba el piloto y esto le permitía, mediante movimientos de cadera, controlar el alabeo del avión. La diferencia de presiones que se producía entre las semialas izquierda y derecha, que causaban el giro sobre ese eje, se consigue hoy en día con el uso de los alerones. El control de cabeceo se conseguía mediante el giro de una superficie de control en la parte delantera, por lo que tenía una configuración canard. Mediante una palanca, el piloto controlaba su giro y esto hacía rotar el avión sobre el eje de cabeceo. Por último, el control de guiñada se realizaba con el mismo movimiento que el de alabeo, ya que el timón vertical estaba conectado a la misma base del piloto. Esto permitía al piloto controlar ambos ejes con un solo movimiento. Uniendo el control de cada uno de estos 3 ejes se lograba un vuelo libre en las 3 dimensiones del espacio. (38)



Ilustración 3-12: Controles del Flyer I (41)

Los Wright sabían qué potencia exacta necesitaban para lograr el vuelo sostenido. El motor, de combustión interna, era capaz de producir una potencia de 12 caballos y estaba conectado a las palas mediante cadenas. Las palas fueron diseñadas por los hermanos Wright concibiéndolas como alas rotatorias. Cabe señalar que la eficiencia de las mismas se acerca a las de hoy en día. Estas se fabricaron de picea, siendo talladas a mano, y se reforzaron sus puntas con tela. (38)

El tren de aterrizaje estaba formado por patines en lugar de ruedas. Esto se debe a que las pruebas las realizaban sobre unas dunas de arena, donde las ruedas no eran lo más adecuado para aterrizar. Los primeros planeadores se lanzaban a mano con ayuda, pero el *Flyer* de 1903 requería una carretilla que rodaba hacia abajo por un carril de lanzamiento. (38)

Finalmente, otra parte importante del *Flyer I* fue el piloto. A pesar de no ser un elemento mecánico, su habilidad, creada a base de entrenamiento, fue otro de los grandes avances que hicieron posible el vuelo. (38)

3.4 Repercusiones

El hito de los primeros vuelos de los hermanos Wright marcó un punto de inflexión en la historia de la humanidad y en la aeronáutica en particular. Sin embargo, este cambio no se produjo inmediatamente después de la realización de los vuelos.

Durante los siguientes años, la mayoría de la gente se mostraba incrédula, al haber sido vistos los vuelos por muy pocas personas y esta se acrecentaba además por el hecho de que los hermanos Wright no daban muchos detalles de su invento. No fue hasta 1908 cuando recibieron la aclamación del público de todo el mundo, al realizar vuelos de demostración en Francia. (11)

La era del vuelo había llegado, pero, a pesar de que en 1911 ya tuvo lugar el primer vuelo transcontinental de Estados Unidos, parecía que nunca se verían flotas de aviones de pasajeros surcando el cielo. Muchos estadounidenses veían los aviones solo como una moda o como una máquina militar. (11)

Mientras, en Europa había gobiernos que financiaban grandes proyectos de investigación y la empresa privada comenzaba a crear la siguiente generación de aeronaves. En Estados Unidos no se financiaban muchos proyectos de investigación aeronáutica, pero esto cambió repentinamente con el estallido de la Primera Guerra Mundial. (11)

En las siguientes décadas quedaría patente el legado de los hermanos Wright: una gran cantidad de aviones surcaría los cielos en épocas de guerra y paz. (11)

4 PLANOS DE PARTIDA Y DECISIONES DE DISEÑO

Piensa más, diseña menos.

Ellen Lupton

En este apartado se explicarán las decisiones más importantes tomadas a la hora de realizar el modelado en *CATIA V5*. Para ello se enumerarán las características de los planos de los que se parte y se comentará cómo están organizados estos. Además, se relatará cómo fue el proceso de adquisición de los mismos.

También se usará este apartado para resumir las decisiones más importantes que se han tomado a la hora de modelar, así como para mencionar algún punto importante en relación a la nomenclatura usada en la aeronave.

4.1 Adquisición de planos

Como se comentó en la introducción de este documento (apartado 1), el tema del trabajo se acordó con la tutora. Gracias a su ayuda se pudieron encontrar los planos del *Flyer I* en la página web del *National Air and Space Museum (NASM)*.

El *NASM* es un museo situado en Washington, D.C. perteneciente a la *Smithsonian Institution*. Es considerado el museo aeroespacial más importante del mundo, ya que contiene la mayor colección de aeronaves históricas. Además, el *National Air and Space Museum* es un centro de investigación de la historia de la aviación y el vuelo espacial. (42)

Una de las colecciones de planos más importantes del *NASM* es la del *1903 Wright Flyer*. Los hermanos Wright no hicieron planos de la aeronave cuando la construyeron originalmente y, además, esta fue continuamente modificada durante los flight tests en Dayton, Ohio y Kitty Hawk. Dado que el *1903 Flyer* fue gravemente dañado en su último vuelo (1903) y en una inundación en Dayton (1913) tuvo que ser reconstruido en 1916 y de 1925 a 1927. Debido a ello, existen algunas dudas sobre la configuración exacta de la aeronave durante los vuelos de 1903. El *Science Museum* de Londres creó unos planos de la aeronave tal y como se encontraba tras las reconstrucciones. También crearon planos la Ford Motor Company (supervisada por Orville Wright y Charles Taylor) y Louis Christman (quien consultó a Orville Wright y otras fuentes). (43)

En 1985 el *NASM* restauró la aeronave, y para ello se desmontó esta completamente. Esto permitió medir cada componente y encontrar numerosos errores en el set de planos existente, por lo que se decidió crear uno nuevo

de 50 planos. Este último set es el más actual que ofrece el *NASM* y en el que se basa el presente trabajo. Sin embargo, también se ofrecen los planos del *Science Museum* de Londres (1928, 1938), de Ford (1939), y de Christman (1950). (44) (47)

4.2 Organización

El set de planos creados por el *National Air and Space Museum* está compuesto por 50 planos, en los que se representa tanto la estructura como el motor del *Flyer* de 1903. No obstante, tal y como se menciona en el apartado anterior, aparece representada la situación en la que se encontraba la aeronave en el año 1985. (44)

Los planos tienen un tamaño de 24 x 36 pulgadas (60.96 x 91.44 cm), es decir, que tienen unas dimensiones superiores a las del formato DIN A1. Llegaron grapados por un lateral y enrollados dentro de un paquete cilíndrico de cartón. Debido a su gran tamaño, fue necesario disponer un lugar de trabajo espacioso para poder tener abiertos los planos y, a la vez, trabajar con el ordenador.

Tal y como se muestra en la Ilustración 4-1, el set de planos se divide en 10 bloques, conteniendo cada uno de ellos un número diferente de hojas. En el bloque A se representan las 3 vistas de la aeronave. En el B, se detalla todo el conjunto referente a las alas y es en el que se basa el presente documento. El bloque C es el más extenso, con 14 planos del motor y sus componentes. En el D se representa la estructura de los patines. Los bloques E y F contienen los planos del timón delantero (de profundidad) y trasero (de dirección), respectivamente. En el bloque G se detallan las palas y las cadenas que permiten transmitirles la fuerza del motor. Los instrumentos de vuelo están contenidos en el bloque J. Por último, en el bloque K aparecen la pista de monorraíl y el carro portador.

Entrando en detalle en el bloque que compete a este trabajo, cabe señalar que está compuesto por 10 planos. El primero de ellos, el B1, muestra la parte central del ala de abajo, distinguiéndose de la parte central superior (B2) por tener los soportes para el motor y el piloto. En los planos B3 y B4 se detalla la parte derecha (B3) e izquierda (B4) del ala, tanto superior como inferior, debido a que existen muy pocas diferencias entre ellas. El plano B5 contiene los diferentes tipos de costilla, exceptuando las que funcionan como soporte del motor (B6) y del piloto (B7). En el B8 se halla la distribución de las riostras, así como los elementos de unión de las diferentes partes del ala. En el B9 se indica cómo realizar el recubrimiento del ala con piel y en el B10 se muestra la distribución de los cables de refuerzo.

WRIGHT BROTHERS 1903 FLYER DRAWINGS

National Air and Space Museum Drawings

#	Code	Description	#	Code	Description
	A1	Three View Drawing		D1	Skid Structure Assembly and Details
	B1	Lower Center Wing Structure		D2	Detail Structural Views & Fittings - Right Side
	B2	Upper Center Wing Structure		D3	Detail Structural Views & Fittings - Left Side
	B3	Right Wing Structure, Upper and Lower, Outer		D4	Landing Skid, Cross Ties & Fittings
	B4	Left Wing Structure, Upper and Lower, Outer		E1	Front Rudder Outrigger Assembly
	B5	Wing Ribs, Center and Outer Wings		E2	Outrigger Sub-Assembly and Details
	B6	Engine Support Bearers, Lower Center Wing		E3	Outrigger Struts, Cross Tie, and Fittings
	B7	Pilot Support Bearers, Lower Center Wing		E4	Front Rudder Covering and Installation
	B8	Wing Struts, Strut Fittings, Wing Hinge Plates		E5	Front Rudder Structure and Mounting
	B9	Wing Coverings, All Wing Structures		E6	Control Shaft Assembly and Details
	B10	Wing Trussing, Truss Wire Diagram		E7	Operating Control Shaft Assembly and Details
	C1	Drawing Index – Engine		F1	Rear Rudder Assembly and Installation
	C2	Engine Assembly and Installation, Left Side Elevation		F2	Rear Rudder Structure and Fitting
	C3	Engine Assembly and Installation, Front and Rear Elevations		F3	Rear Rudder Upper and Lower Outrigger Struts
	C4	Engine Assembly and Installation, Plan View		G	First Flights Propeller (NASM revision 01/06/87)
	C5	Engine Details; Crankcase		G1	Propellers and Drive Chains Installation
	C6	Engine Details; Crankshaft, Flywheel, Pistons, Drive Sprockets, Connecting Rods		G2	Propellers and Propeller Drive Shafts
	C7	Engine Details; Valve Housing; Valves and Ignition		G3	Shaft Sprockets, Chains, and Right Side Chain Guide
	C8	Engine Details; Exhaust and Ignition Camshafts		G4	Left Side Chain Guide Casing
	C9	Engine Details; Crankcase Cover, Fuel Line, Intake Manifold		G5	Propeller Shaft Bearing Housing and Strut Assemblies
	C10	Low Tension Magneto		H1	Wing Warping and Rear Rudder Control Assembly
	C11	Water Cooling Radiator and Hose Connections		H2	Control Wire and Fitting Details
	C12	Fuel Tank, Fuel Control Valves, Engine Control Lever		H3	Pilot's Control and Operating Cradle and Footrest
	C13	Miscellaneous Details		J1	Instruments and Mounting Details
	C14	Miscellaneous Details		K1	Monorail Track and Carrier Dolly

Ilustración 4-1: Índice de los planos del *Wright Flyer* (44)

4.3 Errores de acotación

Es normal que, durante la realización de un set de planos de 50 hojas, se introduzcan errores (en el sentido de erratas y no de errores numéricos) en los mismos. Además, al estar realizado sobre el primer avión, que ha sido construido con mucha menos precisión que los actuales, ciertas medidas que deberían ser iguales no coinciden. Si además tenemos en cuenta que este set de planos ha sido realizado entre varias personas dividiendo el trabajo, los errores pueden multiplicarse.

Sin embargo, aún con estos supuestos, el número de errores encontrados en los planos es injustificablemente grande. Una entidad de la importancia de la *Smithsonian Institution*, junto con el *National Air and Space Museum* en particular, deberían haberse asegurado de que los planos han sido revisados, aumentando así la calidad de los mismos.

En esta línea, durante el modelado del ala se han encontrado numerosos errores. La mayoría de ellos provenían de la sobrecotación, no coincidiendo el resultado si se elegían unas medidas u otras. Un ejemplo se puede ver en las medidas del soporte del motor, donde la distancia entre largueros no coincide con la suma de las

distancias entre sus diferentes elementos. Además, ninguna de estas distancias es la correcta.

Otro gran problema se deriva de las incongruencias entre medidas iguales dadas en diferentes hojas. A modo de ejemplo, en una medida tan importante como es la distancia entre los largueros delantero y trasero, es posible encontrar al menos tres medidas diferentes, variando en más de una pulgada, algo inadmisibles.

A la hora de realizar los modelados, se ha intentado siempre usar las medidas que no interfirieran con el resto de partes del avión. En el caso del soporte del motor, por ejemplo, se ha priorizado la distancia de separación entre los agujeros a los que se atornilla el motor y los ángulos que forma para fijarse en los largueros.

Cuando ha sido posible, y cuando no quedaba claro cuál de las medidas era la correcta, se ha decidido hacer uso de los parámetros. Por ejemplo, para los anclajes del timón de dirección, que se sitúan en el ala superior, se ha dejado como parámetros sus distancias respecto al *centro*_y de la aeronave.

Todo esto permitirá ahorrar futuros errores durante el ensamblaje del avión completo. Además, la utilización de parámetros permite realizar estos cambios aún más rápido. No obstante, aun así es posible que sea necesario realizar alguna modificación en el conjunto alar o en otra parte si se comprueba, al ensamblarlo todo, que existen más discrepancias entre las medidas.

Todos estos errores han supuesto una pérdida considerable del tiempo disponible de trabajo, pues ha sido necesario rehacer y modificar muchas partes, al haber tomado anteriormente medidas erróneas. Es por ello que una de las cosas más importantes que se puede sacar en claro de este trabajo es la necesidad de un nuevo set de planos donde dichas erratas sean corregidas.

4.4 Unidades utilizadas

CATIA “por defecto trabaja con unidades pertenecientes al sistema métrico decimal. No obstante, todas las unidades se pueden cambiar”. (48)

En el caso en que se produzca este cambio, “el sistema adopta la nueva unidad como unidad de referencia y ajusta las precisiones a la unidad cambiada”. (48)

Para dicha precisión, se ha usado la *Standard Scale*, ya que se trata de la más conveniente, dadas las medidas del modelo a representar. La precisión que ofrecía el programa en este modo era mucho mayor que la de fabricación de la aeronave.

Al haber sido realizados los planos por el *National Air and Space Museum* de Estados Unidos, las unidades usadas han sido las del sistema anglosajón. Principalmente se han escrito las medidas de longitud en pulgadas y fracciones de pulgadas con potencias de 2 en el denominador. No obstante, para las medidas mayores se usó además el pie, pero este cambio solo ha ocurrido cuando la longitud era de 5 o más pies. En caso contrario, la unidad quedaba reflejada en únicamente en pulgadas. Un ejemplo sobre las unidades utilizadas puede verse en la Ilustración 4-2.

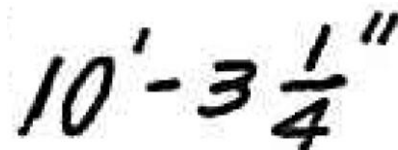


Ilustración 4-2: Unidades de medidas de los planos (1)

Para el modelado se ha decidido cambiar las unidades de trabajo de *CATIA* a pulgadas, para así evitar transformar todas las medidas y, principalmente, evitar errores de redondeo de las medidas en milímetros.

Únicamente se han usado los milímetros como unidad para los elementos de fijación, como se explicará en el apartado 4.6.

4.5 Errores

En las medidas de los planos existen errores, normalmente expresados en fracciones de pulgadas, que no se han tenido en cuenta a la hora de realizar el modelado. Estos errores se deben a varios motivos:

Por un lado, al existir componentes que se repiten y no ser la construcción tan precisa, existe un error debido a las posibles diferencias entre unos y otros.

Por otro lado, algunas longitudes largas también presentan dichos errores, a pesar de encontrarse en una sola pieza. Esto puede deberse al propio error de la medición usada.

$$29\frac{1}{8} \pm \frac{1}{4}''$$

Ilustración 4-3: Medida con error (1)

Un ejemplo de estos errores se encuentra en la Ilustración 4-3, en la cual se aprecia la medida en pulgadas seguida del error. En el modelado en 3 dimensiones estos errores se han omitido, ya que para que todas las piezas encajen es necesario usar las mismas medidas.

4.6 Elementos de fijación

Los tirafondos, clavos, tuercas y el resto de elementos de fijación vienen determinados en los planos en pulgadas y haciendo uso de la rosca americana. Un ejemplo es el que se muestra en la Ilustración 4-4, en la que se especifica que se requieren 4 tornillos para madera de cabeza plana, de longitud 1.25 pulgadas y de número 8 (rosca americana unificada).

1/4" - #8 FLAT HEAD
WOOD SCR. 4 REQD

Ilustración 4-4: Indicación de las características de un tornillo (1)

Para conocer el tamaño del diámetro en pulgadas se ha utilizado la tabla de la Ilustración 4-5, que relaciona el número de rosca americana con el diámetro del cuello. En el caso de los tirafondos, este diámetro se corresponde con el del cuello; es decir, aquel que hay entre la cabeza y el inicio de la rosca.

En algunas ocasiones, en lugar del número de rosca americana aparece directamente la medida del diámetro en pulgadas. Estos diámetros en pulgadas, obtenidos de los planos a partir del número, se han convertido a milímetros para seleccionar el tornillo adecuado en rosca métrica. La regla que se ha seguido consiste en utilizar el tornillo de tamaño inmediatamente superior según la rosca métrica. Por tanto, a partir del valor en pulgadas se ha usado o bien la métrica superior para tornillos con tuercas, o bien el tamaño de cuello superior en milímetros para tirafondos.

No.	Threads per Inch	Shank Diameter *	
		Decimal	Fractional
2	26	0.086	3/32
3	24	0.099	7/64
4	22	0.112	7/64
5	20	0.125	1/8
6	18	0.1375	9/64
7	16	0.151	5/32
8	15	0.164	5/32
9	14	0.177	11/64
10	13	0.19	3/16
12	11	0.216	7/32
14	10	0.242	1/4
16	9	0.268	17/64
18	8	0.294	19/64
20	8	0.320	5/16
24	7	0.372	3/8

Ilustración 4-5: Relación del número de rosca americana con el diámetro (49)

Dado que en el catálogo de *CATIA V5* no aparecen tirafondos y otros elementos de fijación necesarios, se decidió en un principio utilizar otros modelos en CAD creados por diferentes empresas fabricantes. Esto podría facilitar su utilización en la construcción de una posible futura réplica. Aun así, fue necesaria la creación de algunos elementos de fijación, por no estar disponible el modelo deseado o por no encontrarse de la misma forma en los planos, como por ejemplo los clavos con las puntas dobladas. Sin embargo, finalmente se optó por cambiar de los conjuntos todos los elementos de creación ajena por equivalentes de diseño propio para que, de esta forma, todo los todos y cada uno de los modelos tuvieran autoría. Esta fue, posiblemente, una de las peores decisiones tomadas, ya que supuso un retraso muy grande en el trabajo. Esto puede explicarse teniendo en cuenta que hay 8 tipos de costillas y la mayoría cuenta con más de 40 clavos, cada uno de los cuales atraviesan varios *Parts*. Al haber hecho los *Removes* uno a uno dentro de cada *Part*, la tarea de borrar cada *Remove*, colocar los nuevos clavos y otros elementos y volver a hacer los *Removes* era una tarea bastante tediosa. Y dicha operación tenía que repetirse para los clavos o tornillos de cada una de las costillas.

El tamaño de los modelos creados ha sido, como se comentó anteriormente, el inmediatamente superior en milímetros (de las medidas usuales), tanto en diámetro como en longitud. Es decir, para el ejemplo de la Ilustración 4-4, tornillo para madera de rosca del número 8 y 1.25 pulgadas de longitud, se ha usado un cuello de 4.5 *mm* de diámetro y una longitud total de 3.5 *mm*. La longitud se ha tenido en cuenta según el tipo de tornillo, por ejemplo, para tirafondos se ha tomado como longitud total mientras que para tornillos de rosca sin avellanado se ha tomado la longitud desde la parte baja de la cabeza hasta la punta.

Dado que la mayor parte de estos elementos se fijan a madera, como los tirafondos y los clavos, se ha decidido hacer los agujeros en las partes a las que se fijan mediante la herramienta *Remove* de operaciones booleanas.

Se expone en la Ilustración 4-6 un ejemplo, en el que se ha modelado un tornillo de cabeza redondeada junto con una tuerca cuadrada que se le ha insertado después. Ambos están roscados, siendo sendas roscas compatibles.

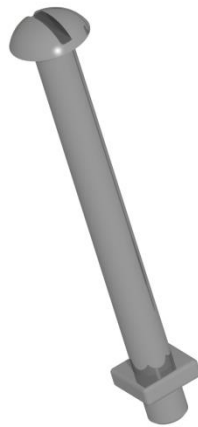


Ilustración 4-6: Tornillo de cabeza redondeada y tuerca cuadrada

4.7 Ángulo de diedro

En una aeronave las semialas no tienen por qué estar contenidas en el mismo plano horizontal, sino que estas pueden estar giradas respecto al eje longitudinal de la aeronave, formando un determinado ángulo con este. A este ángulo se le llama ángulo de diedro, y tiene efectos importantes en la estabilidad de la aeronave.

Si este ángulo es positivo, como ocurre en el ejemplo de la Ilustración 4-7, la estabilidad lateral de la aeronave se ve mejorada debido a que, ante un deslizamiento lateral, un semiala crearía mayor sustentación que otra, lo que originaría un momento que restauraría la actitud de la aeronave.

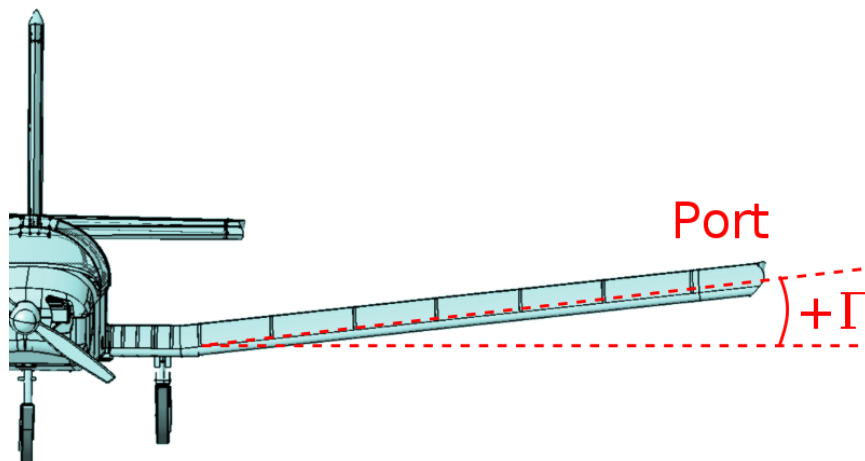


Ilustración 4-7: Ángulo de diedro de una aeronave (50)

En caso de tener diedro negativo, dicha estabilidad empeoraría, aunque esto tiene la ventaja de dotar a la aeronave con una mayor maniobrabilidad, siempre que se garantice su control.

Debido a que existe un pequeño espacio entre las uniones de las partes del ala, a que en esas uniones existe una bisagra para permitir el control y a la propia flexión de la estructura, la aeronave en reposo se muestra con un pequeño ángulo de diedro negativo. Este ángulo no es constante, sino que va creciendo conforme se acerca a las puntas de ala. No obstante, dado que en los planos B1, B2, B3 y B4 aparece cada parte del ala recta, se ha decidido modelar las uniones tal y como aparecen, es decir, de forma que queden los largueros en un plano horizontal.

4.8 Recubrimiento

Para el recubrimiento se han realizado algunas simplificaciones, las cuales se describirán con mayor detalle en el apartado de modelado correspondiente.

Principalmente, cabría destacar que no se han incluido en el modelo algunos dobladillos de la tela, así como las costuras y los nudos de los cordeles para unir las diferentes partes de la misma.

No obstante, se han modelado el resto de elementos, como los bolsillos por los que se introducen las costillas o los alambres que ayudan a fijar y mantener tensa la tela.

La forma de la tela se ha modelado de la forma más realista posible. Sin embargo, dada la escasa experiencia previa en modelado con superficies, el resultado es mejorable.

4.9 Costillas

En las costillas ha sido necesario realizar algunas simplificaciones. Dado que los Wright construyeron las costillas sin ser cada tipo de ellas exactamente igual, muchas medidas que deberían ser iguales varían. Las medidas, como se comentó anteriormente, tienen un error grande asociado, el cual no se ha tenido en cuenta y se han modelado todas sin dicho error.

En el caso de la costilla de tipo C, al ser solo 2 las que aparecen de este tipo en la aeronave, han tenido en cuenta en los planos una pequeña diferencia en sus fijaciones delanteras. Dicha diferencia era totalmente despreciable, siendo la anchura de una fijación de $\frac{3}{4}$ in y otra de $\frac{11}{16}$ in. Es por ello que se ha decidido poner ambas con la misma anchura, $\frac{11}{16}$ in, ahorrando así la repetición innecesaria de archivos.

Otra simplificación que se ha realizado en las costillas proviene del material de construcción. Como se comentará más adelante, existen ocho tipos de costillas y estas pueden ser de fresno o de picea. Además, no tienen que ser del mismo material, sino que pueden tener la parte delantera de uno y la parte trasera de otro. La distribución de las costillas no muestra una simetría respecto al tipo de madera usado, si no que la elección de la misma es un tanto aleatoria.

Los planos recogen algún que otro cambio minúsculo en las medidas, como el comentado de la costilla tipo C, según la madera usada en cada parte. Debido a la inapreciable diferencia, y a la distribución más o menos aleatoria de la madera usada, se ha decidido usar unas medidas iguales e independientes del material. Su uso ahorrará la creación innecesaria de muchos archivos, ya que de cada tipo de costilla se tendrían que diferenciar varias opciones, según sea de un tipo de madera, de otro o de posibles combinaciones de ambos.

Por último, teniendo en cuenta que los planos se crearon muchos años después de esos primeros vuelos, existen varias reparaciones que se realizaron en algunas de las costillas, diferenciándolas así del resto. Dichas reparaciones son similares y consisten en añadir un bloque entre los listones superior e inferior y entre estos y la fijación trasera. Existen tres costillas con estas reparaciones, dos de ellas de tipo A y una de tipo D. Estas reparaciones no se han realizado principalmente por modelar el avión original sin dichos “parches”. Además, se evita así la creación de los archivos de tres nuevos tipos de costillas que no aportan nada nuevo al avión.

4.10 Materiales

Además del modelado y ensamblaje de las diferentes partes del conjunto alar, a cada una de ellas se le ha aplicado un material a cada *Part* en sí, y no a cada *Part* dentro del *Product*, para que cada vez que se use dicha parte en un conjunto aparezca con dicho material.

El material usado en cada parte ha sido el que recogían los planos, siempre que ha sido posible. Sin embargo, en muchos casos esto no ha sido factible, debido a la ausencia de determinados materiales en el catálogo de *CATIA*. Aunque es cierto que se pueden crear nuevos materiales en *CATIA*, se ha decidido usar materiales similares, ya que la función que se le dará en este caso será meramente estética.

Por otro lado, en muchos casos no aparecía el material de un componente determinado. Para afrontar esto se ha

hecho uso de la lógica y se ha aplicado el material más adecuado o el mismo que tuviera un componente similar. Por ejemplo, para la mayoría de los tornillos y clavos, en los que no aparecía material, se ha utilizado el acero.

A continuación se justificará la elección del material para las diferentes partes del conjunto alar:

Para los elementos de madera, cuyo material real es la madera de picea y fresno, se ha empleado madera de cedro (cedar) como material en *CATIA*. Dado que los tipos de madera reales no se encontraban en el catálogo de este programa, se ha usado la madera de cedro, al tener esta un aspecto similar a la del avión real.

En relación a la dirección de la veta, se ha tenido en cuenta en los pocos casos que aparecían en los planos. En el resto de piezas, se ha usado siempre la lógica para determinar la dirección de la misma, ya que la elección de esta dirección tiene un fuerte componente estructural.

A la hora de representarlo, no siempre se ha podido dibujar la veta en la dirección deseada, a pesar de probar diferentes modos en la pestaña *Rendering* del material. El problema era que en algunas caras no quedaba la dirección de la veta deseada. No obstante, se ha implementado la dirección de la misma de la manera más real posible.

Un ejemplo de esto se puede ver en la Ilustración 4-8, que muestra el larguero central trasero con la veta en su dirección longitudinal.



Ilustración 4-8: Dirección de la veta en el larguero trasero

El acero ha sido el material más usado para los componentes metálicos. Este material está presente en elementos de fijación como clavos, tirafondos, tuercas y arandelas entre otros. Además, también se ha empleado en las fijaciones para las riostras y los tirantes, así como en todos los alambres usados. En algunos casos en los que no aparecía el material indicado en los planos, también se ha utilizado este material, ya que se había aplicado a elementos similares.

El estaño también ha sido un material importante, ya que muchos refuerzos soldados eran de este material. Dado que no aparece en *CATIA* y que había que distinguirlo del acero en algunas zonas, se ha usado este último como material, aunque con sus propiedades gráficas cambiadas. También en este caso se ha aplicado el material a componentes sin material en los planos, como es el caso de los refuerzos en los extremos de los largueros.

4.11 Derecha e izquierda

Cuando se habla en el documento de partes derecha o izquierda del ala o de la aeronave, se hará teniendo en cuenta que se realiza según la situación de la vista del piloto, es decir, mirando hacia la dirección (y sentido) de vuelo. Haciendo el símil con las embarcaciones acuáticas, cuando en el documento se mencione a la parte derecha se haría referencia a “estribor”, mientras que el lado izquierdo se correspondería con “babor”.

Esta nomenclatura es la misma que se usa en grandes empresas del sector aeronáutico, como *Airbus*. Es por ello por lo que se ha optado por diferenciar de esta manera a ambas mitades de la aeronave.

4.12 Ejes de la aeronave

Los ejes de la aeronave usados en el modelado de las alas se han establecido como se usan habitualmente en ingeniería aeronáutica en general, y en la mecánica del vuelo en particular. A la hora de modelar las costillas y las diferentes partes del ala se han tenido en cuenta estos ejes para simplificar el posterior ensamblaje.

De esta forma, los ejes de la aeronave que se han usado para el modelado y el ensamblaje de las alas son los que se ven en la Ilustración 4-9, que se detallan a continuación:

- El eje x coincidente con el eje longitudinal, sobre el que se controla el alabeo (roll).
- El eje y coincidente con el eje transversal, sobre el que se controla el cabeceo (pitch).
- El eje z coincidente con el eje vertical, sobre el que se controla la guiñada (yaw).

Sin embargo, por simplicidad y costumbre de situar el eje z en sentido positivo ascendente, se le ha cambiado a este el sentido respecto al usado en mecánica del vuelo, lo que ha derivado en el cambio de sentido del eje y también.

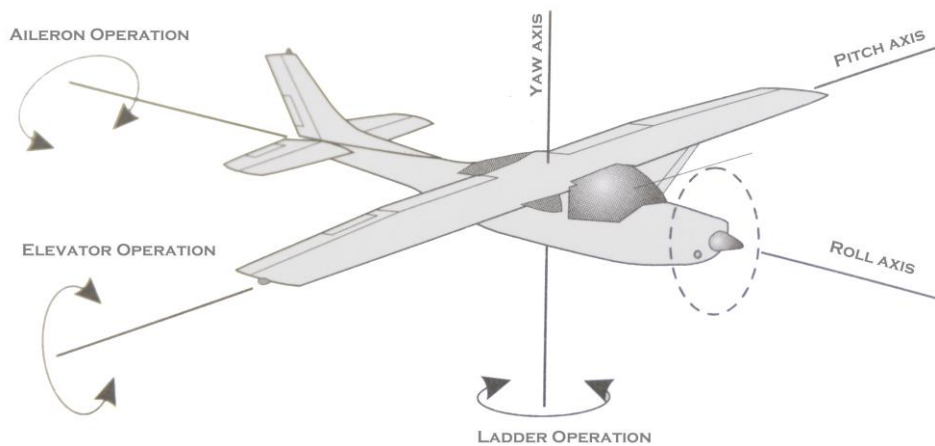


Ilustración 4-9: Ejes de la aeronave (51)

5 MODELADO Y ENSAMBLAJE DEL CONJUNTO ALAR

*The desire to fly is an idea handed down to us by our ancestors
who... looked enviously on the birds soaring freely through
space... on the infinite highway of the air*

Wilbur Wright

En este apartado se detallarán los componentes que se han modelado, así como los conjuntos que se han formado con dichos componentes. Para ello, no se describirá detalladamente cómo ha sido modelada cada pieza, sino que se explicarán aquellas más importantes o las que hagan uso de herramientas más complejas o menos habituales.

Se irán comentando las diferentes partes aproximadamente en el mismo orden en el que han ido siendo modeladas. Esto se debe a que los planos no permiten el modelado en el orden en el que aparecen, esto es, del B1 al B10.

Se comenzará por los diferentes tipos de costillas o ribs (plano B5), grupo en el que también se han añadido los soportes para el motor (plano B6) y el piloto (plano B7). Luego se ensamblarán dichas costillas en los largeros y se formarán las diferentes partes de la estructura del ala (planos B1, B2, B3 y B4). Tras esto, se unirán usando pletinas de acero (plano B8) y tornillos para formar así el ala superior e inferior, y se le aplicará el recubrimiento de piel (plano B9). Finalmente, se le colocarán las riostras o struts con sus fijaciones (plano B8) y los tirantes (plano B10).

La estructura de carpetas que se ha seguido ha consistido en crear una de ellas con el nombre de cada plano. Dentro de cada una se han guardado los archivos relativos al *Product* de dicho plano. Sin embargo, algunos planos han dado como resultado varios *Products*, por lo que se han creado carpetas para cada uno de ellos dentro de la relativa a dicho plano. Además, para algunos planos no se han creado *Products*, sino que los propios elementos se han insertado directamente en el *Product* final. Para estos casos se ha seguido guardando los *Parts* en las carpetas relativas a su plano.

Se decidió seguir esta estructura y no otra debido a su claridad a la hora de comparar los planos con los modelos de *CATIA*. Además, dado que algunos tipos de costilla se repetían mucho y aparecían dentro de diferentes *Products*, el hecho de tener su *Product* en una carpeta independiente de dichos *Products* evitaba la duplicación innecesaria de archivos.

Los diseños se han realizado trabajando cada *Part* dentro del *Product*, ya que así se evitaban errores y se tenía una visión global de cada conjunto. Cada tipo de costilla se ha creado de esta forma como un *Product*. Luego se han creado los *Products* de las estructuras del ala central, derecha e izquierda (tanto superior como inferior), las cuales contenían a su vez los *Products* de las costillas y otros *Parts*. Finalmente, se han unido todas estas

estructuras del ala en el *Product* principal del conjunto alar del *Flyer I* y se han insertado el resto de elementos, ya sea como *Product* o *Part*, como es el caso del recubrimiento o de las riostras.

La estructura de árbol que se ha seguido hace el que *Product* principal contenga a 7 *Products* y 241 *Parts*, que se corresponden con los elementos independientes que se colocaban entre las alas, como cada uno de los tirantes o las pletinas de unión. Los *Products* se corresponden con las diferentes partes de la estructura del ala y el recubrimiento.

Dentro de cada del *Product* del recubrimiento solo existen *Parts* relativas a las diferentes partes del mismo, aunque en total son 86. Su gran número de *Parts* se debe principalmente a los bolsillos de las costillas. Por su parte, cada *Product* de las partes de la estructura alar contiene un número variable de *Products* y *Parts*. Contienen un *Product* para cada costilla o soporte y varios *Parts* para elementos de refuerzo o de fijación.

En relación al número de archivos *.CATProduct* y *.CATPart*, habría un total de 23 archivos *.CATProduct* y 290 *.CATPart*. Sin embargo, no tienen por qué representar a diseños realizados desde cero, ya que algunos se deben a simetrías y otros, como es el caso de los tirantes, tienen un diseño muy similar, variando solo en la longitud.

5.1 Ribs

Los ribs o costillas son elementos estructurales que aportan rigidez y permiten mantener la forma de los perfiles a lo largo del ala. El ala cuenta con diferentes tipos de costilla debido a la función de cada una de ellas.

Excepto los soportes para el motor y el piloto, la disposición de las costillas muestra una simetría respecto al plano que contiene a los ejes longitudinal y vertical de la aeronave. La disposición de cada tipo de costilla en las alas inferior y superior puede verse en la Ilustración 5-1 y en la Ilustración 5-2, respectivamente.

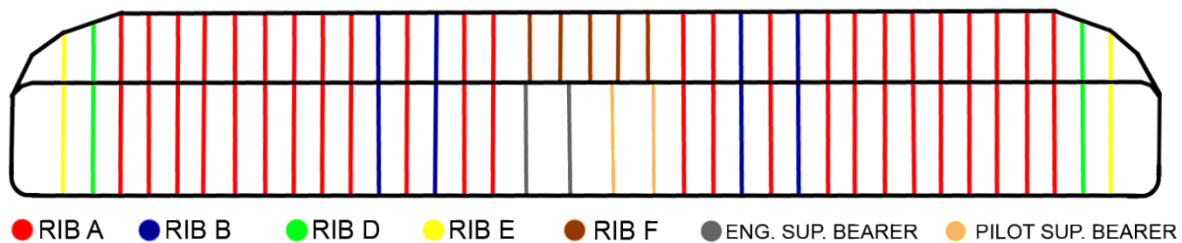


Ilustración 5-1: Distribución de las costillas del ala inferior

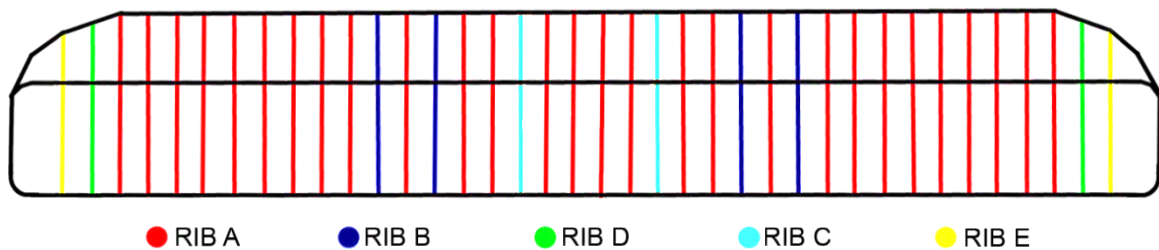


Ilustración 5-2: Distribución de las costillas del ala superior

Como se puede comprobar en la Ilustración 5-1 y en la Ilustración 5-2, la costilla más usada, con diferencia, es la tipo A. En los extremos se encuentran las costillas tipo D y E, que son un poco más cortas y le dan al ala esa forma en planta. Las de tipo B y C son más anchas que las anteriores, por lo que su diseño tenía un componente estructural mayor que estas. Por último, en la parte central del ala inferior se encuentran las

costillas que actúan como soporte del motor y del piloto. Dado que estas solo van desde el larguero delantero al trasero, se colocan las costillas tipo F desde el larguero trasero hasta el final del ala, proporcionándole a esta la forma curva que tiene en toda la envergadura.

Las costillas van fijadas tanto al larguero delantero como al trasero, exceptuando la costilla tipo F que, como se ha comentado anteriormente, solo va fijada al trasero.

A pesar de sus parecidos y su aparente simplicidad, cada una de ellas ha requerido bastante trabajo. Se han usado parámetros para agilizar un poco el proceso en algunos cambios rápidos, pero este método no ha servido para realizar las modificaciones más importantes.

La principal dificultad a la hora de trabajar con las costillas ha sido forma curva. Esto ha dificultado cualquier operación sobre ella, ya que había que tener en cuenta dicha curvatura.

A continuación se mostrará cada tipo de costilla y se comentarán sus diferentes peculiaridades.

5.1.1 Engine Support Bearers (B6)

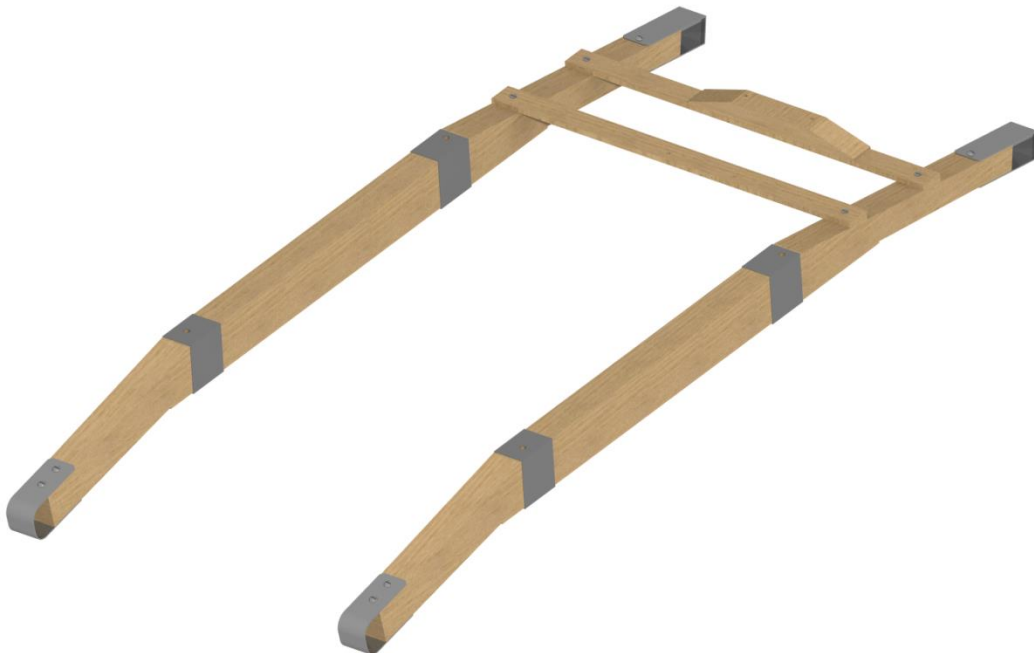


Ilustración 5-3: Engine support bearers

Los engine support bearers (Ilustración 5-3), como su nombre indica, son unas costillas especiales que actúan como soporte para el motor, y son las costillas con mayor anchura. Van situadas en la parte central del ala inferior. Dado que el motor se fija en dicho soporte, su forma es diferente del resto de costillas, estando este formado por tramos rectos en lugar de tener forma curva. Lo componen dos costillas, sobre las que se atornilla el motor y sobre las que se apoyan transversalmente los soportes del magneto.

Al estar formada por tramos rectos, su modelado fue mucho más sencillo que el resto de costillas, usando principalmente el comando *Pad* sobre diferentes *Sketches* dibujados en el plano XZ. Al ser idénticas las dos costillas, se ha modelado una de ellas y luego se ha creado la otra con el comando *Symmetry*. Por último se crearon los soportes transversales para el magneto.

No obstante, a pesar de su sencillez, en la hoja de los planos relativa a esta parte pueden encontrarse numerosas incoherencias y sobreacotaciones que no coinciden, como puede ser la distancia entre los largueros delantero y trasero. Esto ha provocado mucha pérdida de tiempo para solucionarlos. Teniendo en cuenta además, que en estos soportes se fija el motor, se ha priorizado en las medidas que le afectaban, para que los agujeros donde se

fija estén situados correctamente. Esto ayudará a que en un futuro, cuando se ensamble el avión completo, los fallos se reduzcan.

Los tramos rectos de madera anteriormente citados, que pueden diferenciarse en el perfil de la Ilustración 5-4, van pegados entre sí y sujetos con unas láminas de refuerzo.



Ilustración 5-4: Perfil del soporte del motor

Dichos refuerzos no sirven solo para fijar estas uniones, sino también para sujetar el motor con tornillos una vez se monte. Para sujetar al motor cuenta con unos agujeros por los que se insertarán los tornillos. Estos refuerzos, que se pueden apreciar con más detalle en la Ilustración 5-5, son de estaño y van soldados en la parte de abajo, parte a la que se le ha dado un mayor grosor.

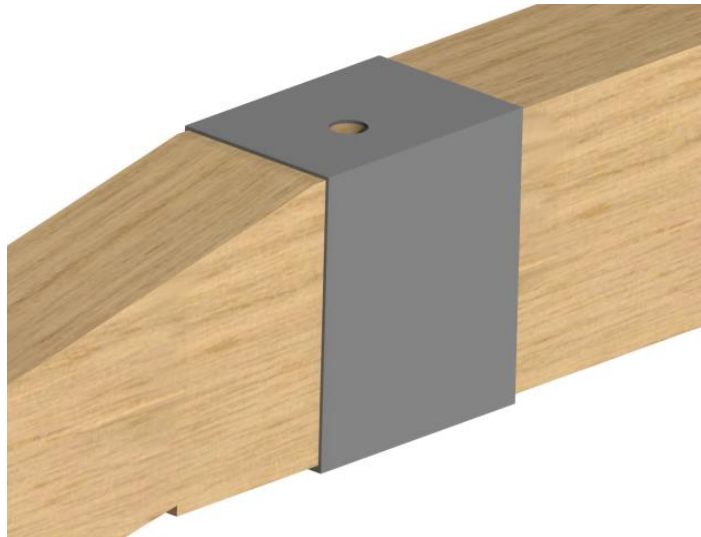


Ilustración 5-5: Refuerzo del soporte del motor

Los soportes transversales que lleva (Ilustración 5-6) sirven para sostener y fijar el magneto, para lo que cuentan con 4 pequeños agujeros donde se atornillará con tirafondos. Debido a que los soportes no están a la misma altura, el soporte transversal trasero lleva otra pieza que sirve para situar los agujeros a la misma altura que el delantero. Esta pieza no está centrada respecto a las dos costillas, sino que está situada ligeramente hacia el centro de la aeronave. Va pegada al soporte y unida además a él mediante 3 tirafondos insertados por debajo, que no se aprecian en la imagen. Por otro lado, los soportes transversales van unidos al resto del conjunto mediante otros 4 tirafondos. Estos soportes se fijan realmente después de montar la tela en la estructura, pero al no tener los planos en cuenta el grosor de la misma y a que dicho los soportes tiene un grosor mayor que la tela, se modelarán con las medidas dadas en el plano y en más tarde se le realizará el *Remove* de la tela.

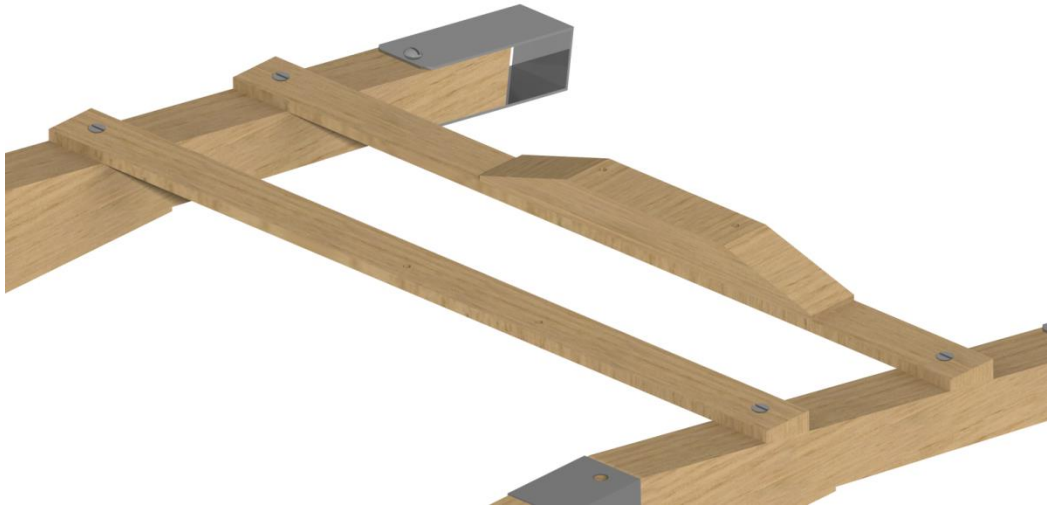


Ilustración 5-6: Soportes transversales para el magneto

Las fijaciones delanteras (Ilustración 5-7) sirven para unir el soporte del motor al larguero delantero. Estas, a su vez, se fijan al soporte del motor con tornillos de cabeza redondeada y tuercas cuadradas, con rosca de métrica 5. Su forma encaja con la del larguero delantero, como se verá en el apartado 5.2.1.

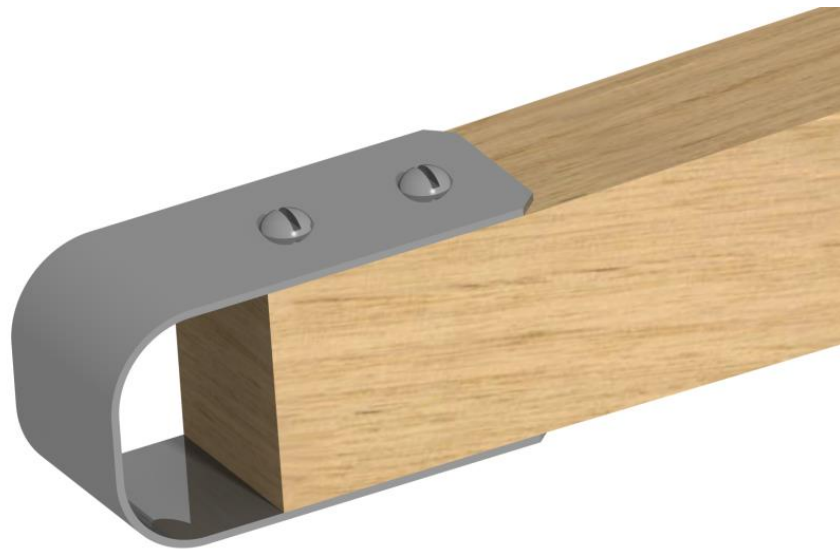


Ilustración 5-7: Fijación delantera del soporte del motor

Las fijaciones traseras (Ilustración 5-8) tienen la función equivalente a la anterior pero para el larguero trasero. Llevan también tornillos y tuercas cuadradas de igual métrica, aunque la mitad que en el caso anterior. Dado que el larguero trasero tiene sección cuadrada, también encaja perfectamente con él.

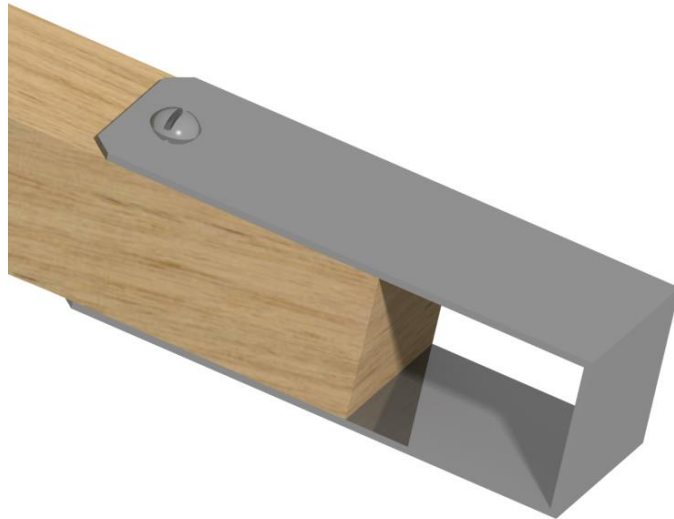


Ilustración 5-8: Fijación trasera del soporte del motor

5.1.2 Pilot Support Bearers (B7)



Ilustración 5-9: Pilot support bearers

Las costillas sobre las que descansa el peso del piloto son también diferentes al resto, como se puede apreciar en la Ilustración 5-9. Sin embargo, su estructura es muy similar a la mayoría de las costillas. Su anchura es igual que las costillas tipo B y C. Cada una de estas costillas está formada por dos listones de madera curvados, unidos mediante bloques y clavos. Se sitúan en la parte central del ala inferior.

Los listones se han modelado dibujando una *Spline* por los puntos dados en el plano, y luego se ha hecho el sólido haciendo pasar un *Sketch* de su sección por dicha *Spline* con el comando *Rib*. Luego se han borrado con *Pockets* las partes sobrantes que interferían con la posición de los largueros y se han modelado los últimos

detalles de forma.

Al igual que en el caso anterior, cuentan con unas fijaciones de acero en la parte delantera que sirven para fijar dichas costillas al larguero delantero. Como se puede ver en la Ilustración 5-10, en este caso la fijación se curva para quedar entre los 2 bloques y los listones. Además, va remachada en dichos bloques. Los remaches han sido creados con clavos, es decir, cortándolos y golpeándolos hasta formar los remaches. Estos se han modelado como si fueran clavos con dos cabezas iguales. Debido a que la costilla pierde altura desde el borde de ataque hacia el borde de salida, han tenido que usarse diferentes medidas para que los remaches se adecuaran a ella.

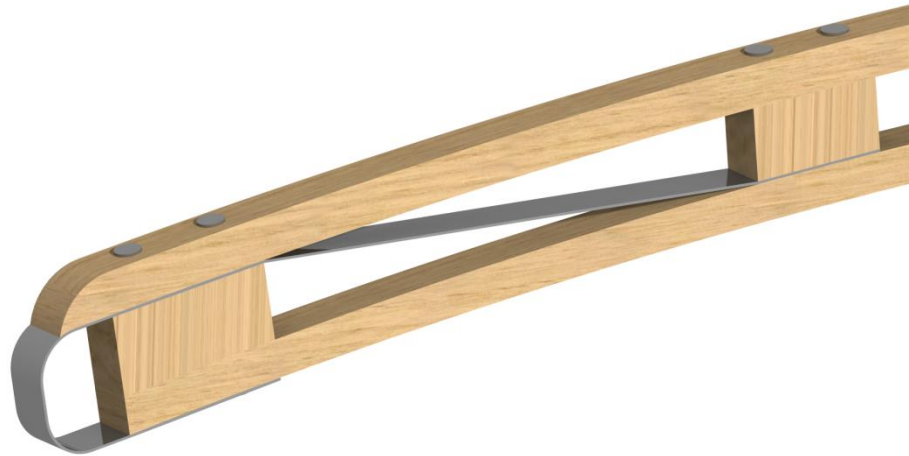


Ilustración 5-10: Fijación delantera del soporte del piloto

En la parte trasera, por el contrario, no llevan fijaciones, sino que adquiere la forma y ángulo preciso para apoyarse sobre el larguero trasero, donde en un futuro se atornillará. Esto puede observarse en la Ilustración 5-11, donde además se puede comprobar que tiene una pequeña hendidura, aparentemente sin uso.



Ilustración 5-11: Parte trasera del soporte del piloto

Estas dos costillas no son completamente iguales, ya que tienen los tres bloques interiores con separaciones diferentes, cosa que afecta además a la fijación delantera. Cada uno de estos bloques lleva dos remaches hechos con clavos, al igual que en el caso de la fijación delantera. El bloque central puede apreciarse como ejemplo en la Ilustración 5-12. Se ha elegido mostrar el bloque central porque justo detrás tiene un pequeño

agujero que es donde se fijará en un futuro uno de los controles del piloto.



Ilustración 5-12: Bloque separador del soporte del piloto

5.1.3 Rib A (B5)



Ilustración 5-13: Costilla tipo A

Las costillas tipo A (Ilustración 5-13) son el tipo de costilla más común en la aeronave. A partir de esta se modelarán las otras, por lo que en los sucesivos apartados se comentarán principalmente los cambios que presentan respecto a este tipo. Cuenta, junto con los tipo D, E y F, con la menor anchura.

Los listones se han modelado como en el caso anterior, es decir, dibujando una *Spline* por los puntos dados en el plano, y usando luego el comando *Rib*, haciendo, de esta forma, honor a su nombre. Para trabajar correctamente en cada bloque, se ha construido un plano para cada uno que sea tangente a la curva por esos

puntos.

Su perfil es el que aparece en la Ilustración 5-14, curvatura que también tienen las costillas restantes. Por ello solo se representará el perfil de este tipo. En él se puede ver que la costilla, a diferencia de los tipos anteriores, continúa por detrás del larguero trasero.

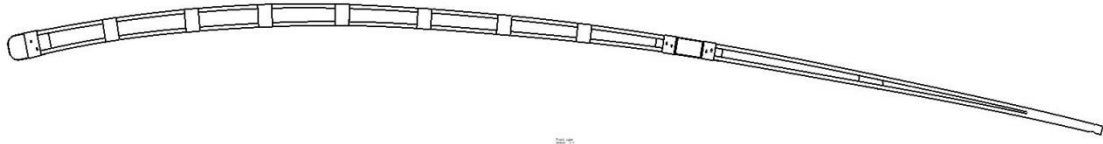


Ilustración 5-14: Perfil de la costilla tipo A

Al igual que los tipos anteriores, cuenta con una fijación al larguero delantero, como se ve en la Ilustración 5-15. En este caso va reforzada con una lámina de estaño soldada y se incrusta en ambos listones con sus extremos doblados. Además cuenta con dos clavos superiores, dos inferiores y otros dos laterales a los que se les ha plegado la parte sobrante.

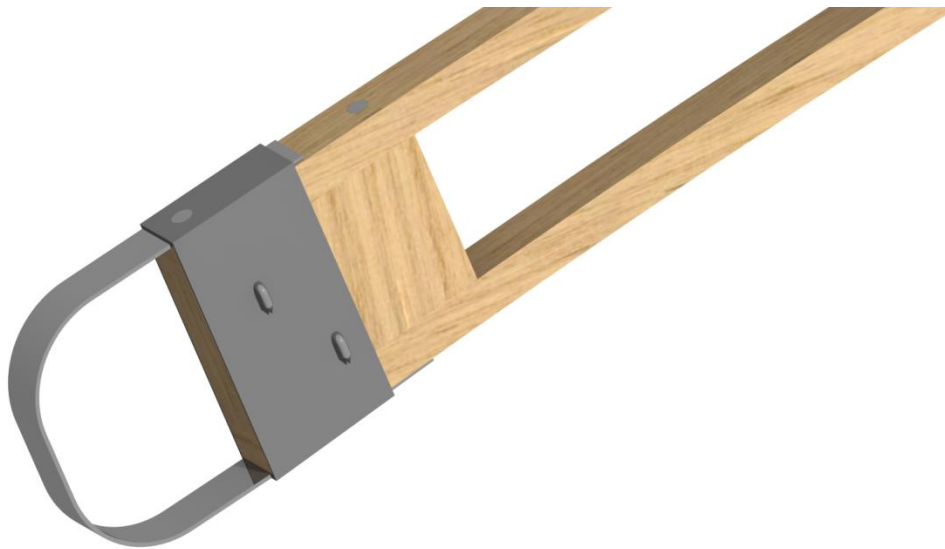


Ilustración 5-15: Fijación delantera de la costilla tipo A

La fijación trasera en este caso no solo sirve para fijar la costilla al larguero trasero, sino también para unir las partes trasera y delantera de esta. Como se puede ver en la Ilustración 5-16, tienen también refuerzos de estaño soldados y clavos. Dichos clavos se ven mejor en el corte de la Ilustración 5-17, en el que quedan coloreadas de marrón las partes de madera y rallado el resto de componentes. Como se puede observar, para el clavo trasero se ha usado una longitud menor e igual a los usados en el último bloque, como se verá más adelante. Esto se debe a que la altura de la costilla va reduciéndose conforme se avanza hacia el borde de salida. Las láminas de acero van incrustadas en los listones también en este caso.

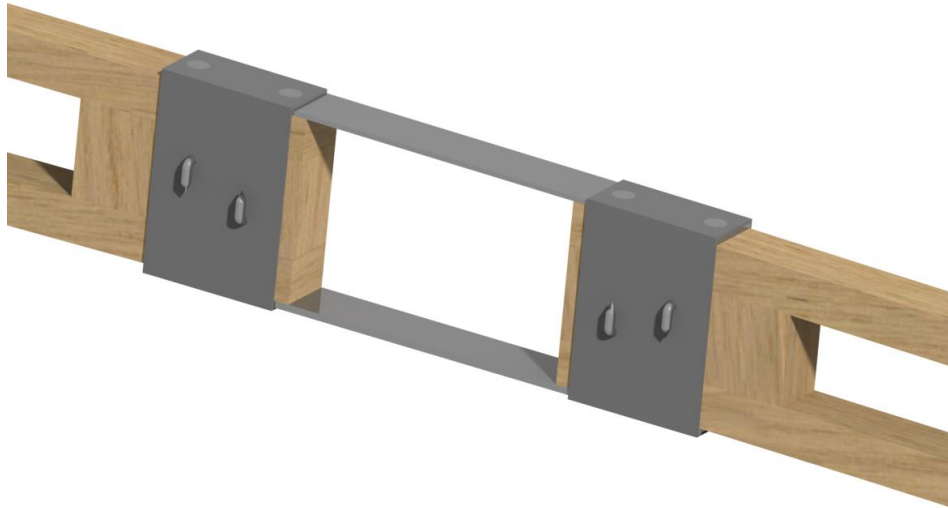


Ilustración 5-16: Fijación trasera de la costilla tipo A

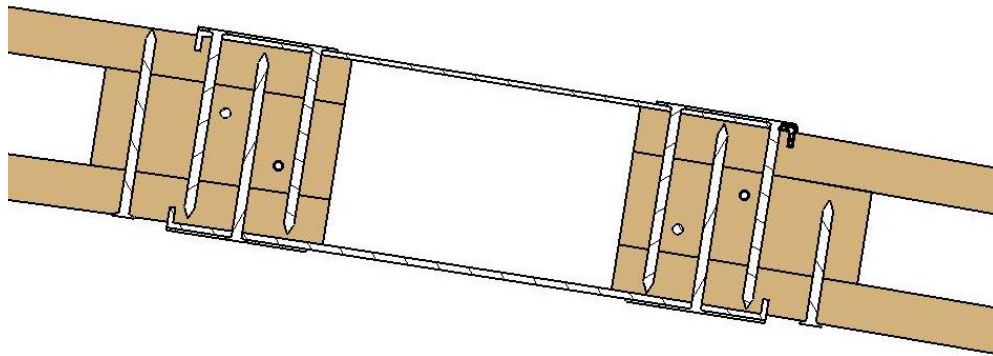


Ilustración 5-17: Corte de la fijación trasera de la costilla tipo A

El bloque de madera trasero (Ilustración 5-18) tiene una longitud mayor que el resto y es el único que no lleva alrededor refuerzos de papel o estaño. Va unido a los listones mediante cuatro clavos de 20 *mm*, 2 superiores y 2 inferiores.



Ilustración 5-18: Bloque trasero de la costilla tipo A

Los bloques de madera que se encuentran entre ambas fijaciones van recubiertos de tiras de papel pegado alrededor de ellos. Además, como se aprecia en la Ilustración 5-19, van unidos a las costillas con clavos de manera similar al caso anterior. Sin embargo, en este caso los clavos son de 30 *mm* de longitud en lugar de los 20 *mm* anteriores.



Ilustración 5-19: Bloques intermedios de la costilla tipo A

Por último, en la parte trasera se encuentran unas hendiduras para hacer pasar el alambre con el que se fijará la tela a la costilla por la parte trasera. Este cable iría por el hueco superior, mientras que el de abajo, que ha sido hecho con un cuchillo, sirve para poder amarrarlo con cuerda y que esta no deslice. De este modo, es posible darle la forma al borde de salida entre las diferentes costillas. En esta parte se unen además los dos listones, como se aprecia en la Ilustración 5-20.



Ilustración 5-20: Parte trasera de la costilla tipo A

5.1.4 Rib B (B5)



Ilustración 5-21: Costilla tipo B

La costilla tipo B (Ilustración 5-21) tiene una anchura mayor por la parte comprendida entre los largueros, así como una sección de forma diferente, como también puede observarse en la Ilustración 5-22. Se usan en la aeronave ocho costillas de este tipo, tanto en el ala superior como en el inferior. La parte que va desde el larguero trasero hasta el final tiene la misma anchura y sección que la costilla tipo A.

Los clavos transversales tienen, en este caso, una longitud mayor, ya que la costilla es más ancha. Los refuerzos de estaño y papel se adaptan a la nueva sección, mientras que la fijación de acero delantera permanece con la misma anchura.



Ilustración 5-22: Parte delantera de la costilla tipo B

La fijación al larguero trasero sería en este caso como se muestra en la Ilustración 5-23. La fijación une la nueva sección delantera con la parte trasera idéntica a la costilla tipo A.

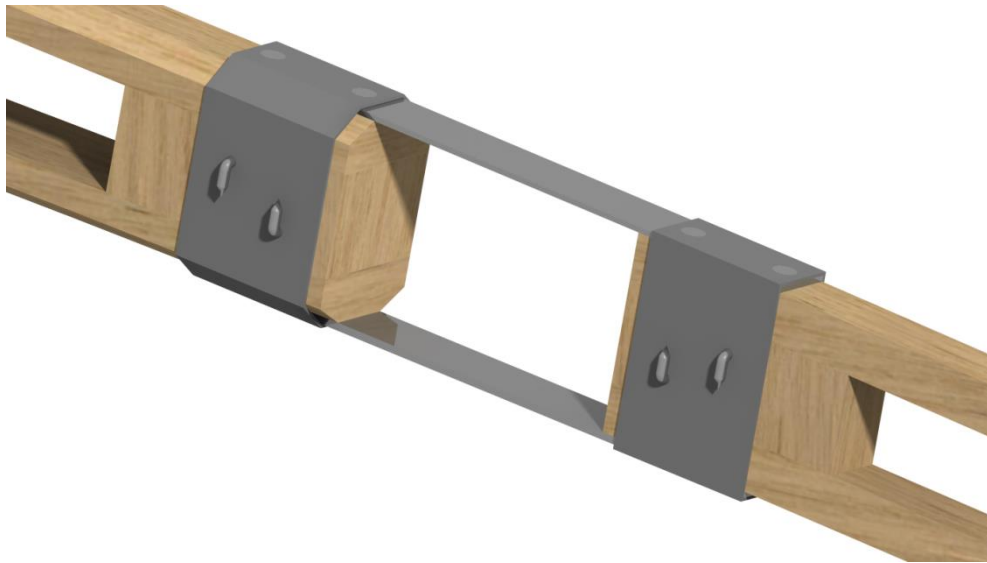


Ilustración 5-23: Fijación al larguero trasero de la costilla B

5.1.5 Rib C (B5)



Ilustración 5-24: Costilla tipo C

La costilla C tiene una sección delantera diferente a las anteriores y una sección trasera parecida a la de la costilla tipo A, aunque el doble de ancha. Se usan solo dos costillas de este tipo, que van situadas en la parte central del ala superior.

En la Ilustración 5-25 se puede ver cómo la sección es rectangular pero, tras el primer bloque de madera, el listón superior toma la forma del equivalente de la costilla tipo B. Sin embargo, el listón de abajo permanece rectangular. La fijación de acero en este caso es más ancha y el grosor de la lámina también es mayor.

La fijación de acero tiene un grosor mayor en este tipo de costilla, así como una anchura también considerablemente mayor.

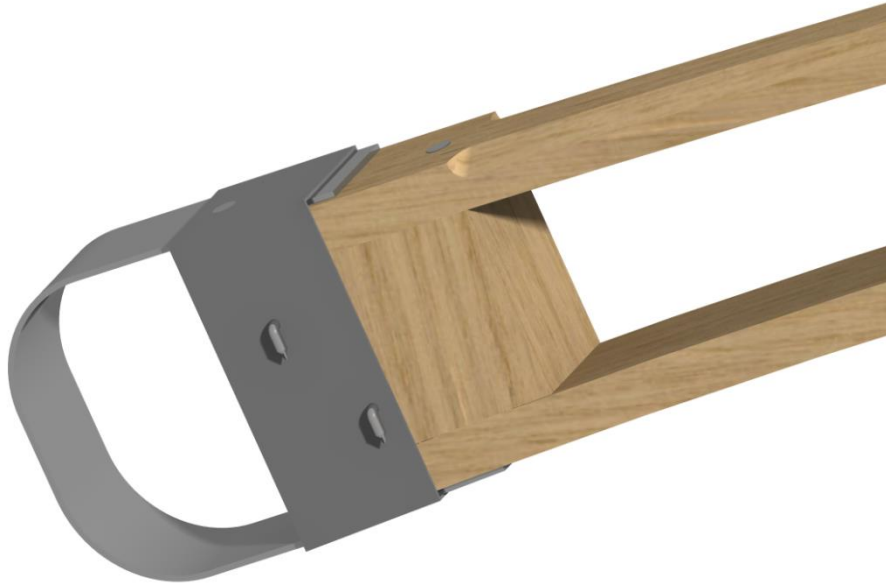


Ilustración 5-25: Fijación al larguero delantero de la costilla tipo C

Los bloques intermedios entre ambos largueros continúan con estas secciones, por lo que los refuerzos de papel también se adaptan a ellas, como se puede observar en la Ilustración 5-26.

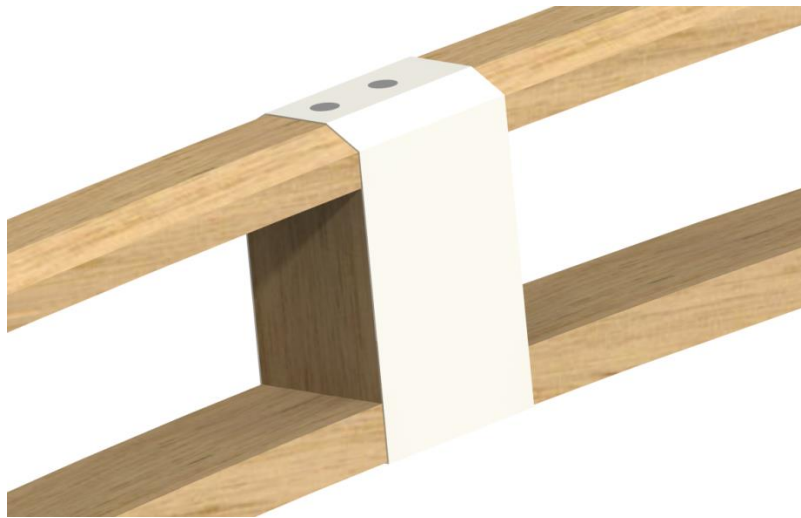


Ilustración 5-26: Bloque de madera intermedio de la costilla tipo C

En cuanto a la fijación al larguero trasero, esta se muestra en Ilustración 5-27. En ella se puede observar cómo las secciones vuelven a cambiar a la forma inicial y se mantienen así hasta el final de la costilla. En este caso los refuerzos de estaño tienen mayor longitud que en los casos anteriores y las placas de acero son más anchas.

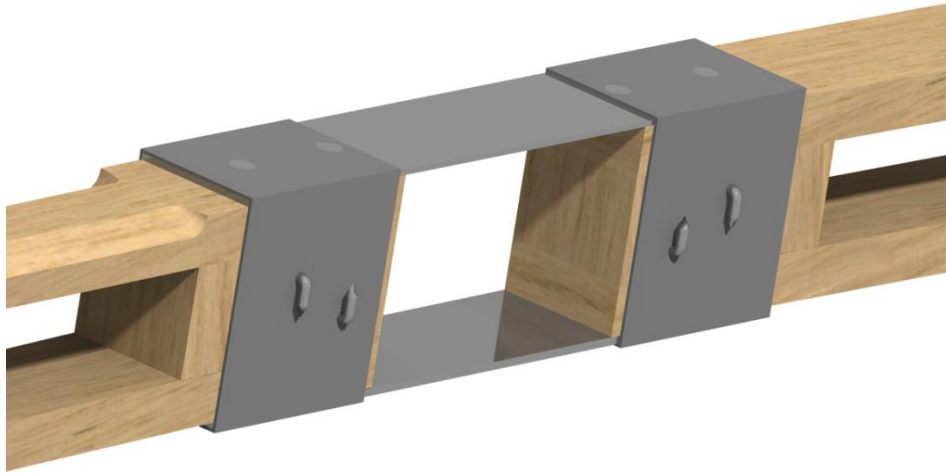


Ilustración 5-27: Fijación al larguero trasero de la costilla tipo C

Finalmente, otro cambio de esta costilla respecto al resto se encuentra en el borde de salida del perfil. Aquí se halla otro refuerzo de estaño soldado, como se observa en la Ilustración 5-28. La marca en la parte de abajo se ha hecho más pequeña en esta costilla para que no interfiriera con el refuerzo, ya que en los planos no vienen medidas para dicha marca. El agujero que se aprecia proviene de un tirafondo usado para atornillar un listón a este tipo de costilla. El uso y modelado de este listón se explicará y mostrará detalladamente en el apartado 5.2.2.



Ilustración 5-28: Parte trasera de la costilla tipo C

5.1.6 Rib D (B5)



Ilustración 5-29: Costilla tipo D

La costilla tipo D (Ilustración 5-29) va situada en la punta del ala, siendo la segunda costilla contando desde los extremos. En la aeronave se usan cuatro de este tipo en total. Su principal diferencia respecto al tipo A se encuentra en su longitud, siendo la tipo D unas pulgadas más corta. Además, también cambia su parte trasera, como se aprecia en la Ilustración 5-30. Concretamente cambian tanto la posición como la longitud del bloque de madera trasero. La longitud de la parte donde ambos listones permanecen unidos también cambia, siendo en este caso menor.



Ilustración 5-30: Parte trasera de la costilla tipo D

5.1.7 Rib E (B5)



Ilustración 5-31: Costilla tipo E

La costilla tipo E (Ilustración 5-31) va situada en la punta del ala, siendo la costilla situada en los extremos. En la aeronave se usan cuatro de este tipo, como en las de tipo D. Respecto a la costilla D presenta algunos cambios menores. Es unas pulgadas más corta y también cambia su parte trasera, como se observa en la Ilustración 5-32. Los cambios vuelven a ser en la posición y longitud del bloque trasero y en la longitud de la parte en la que ambos listones van unidos.

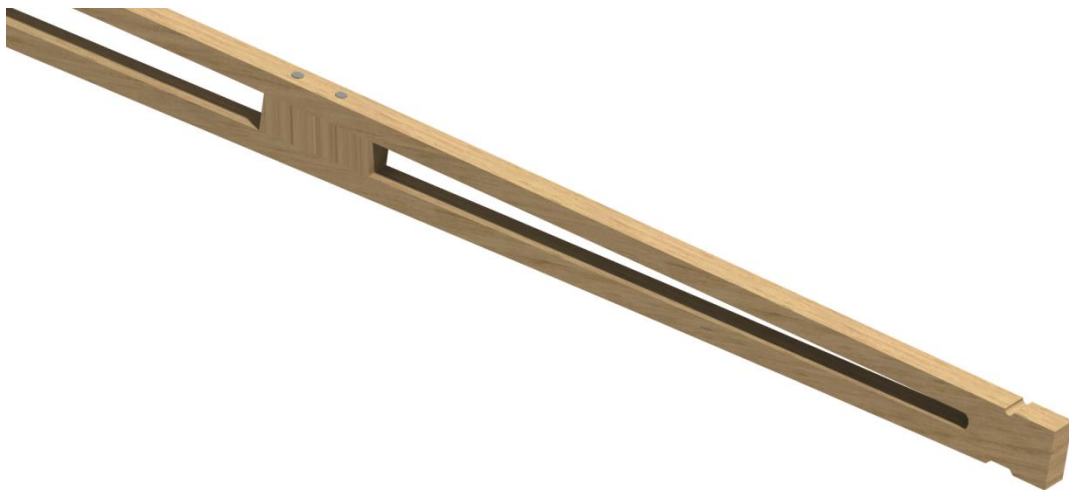


Ilustración 5-32: Parte trasera de la costilla tipo E

5.1.8 Rib F (B5)



Ilustración 5-33: Costilla tipo F

La costilla tipo F (Ilustración 5-33) está presente en la parte central del ala inferior. Concretamente detrás de los soportes del motor y el piloto, ayudando de esta manera a dar forma a la parte trasera del ala. Se usan un total de cinco costillas de este tipo.

Al ser solo el perfil de la parte trasera del ala, solo va fijada al larguero trasero. Dicha fijación puede verse en la Ilustración 5-34.

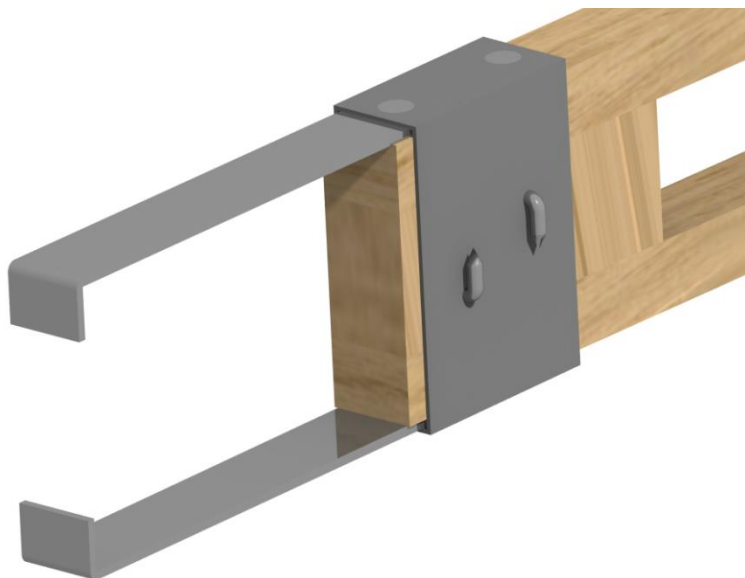


Ilustración 5-34: Fijación al larguero trasero de la costilla tipo F

5.2 Wing Structure

La estructura del ala está formada principalmente por costillas y largueros, configuración que se ha mantenido hasta hoy día. La distribución de costillas es la que se dio anteriormente en la Ilustración 5-1 y en la Ilustración 5-2.

En este apartado se acoplarán las costillas anteriormente creadas a los largueros delanteros y traseros que se modelarán a continuación. Además se modelarán otros elementos de la estructura alar, como el listón arqueado en la punta del ala.

La estructura está dividida en seis partes: tres del ala superior y tres del ala inferior. Las partes se han modelado por separado y posteriormente se han unido los largueros de las diferentes partes usando placas de acero para conformar la estructura de cada ala completa.

Se comenzará modelando la parte central del ala inferior, donde se encuentran los soportes del motor y del piloto. Luego, la parte central superior, que cuenta con un listón trasero donde va anclado el timón de dirección. Una vez terminadas las partes centrales, se modelarán las partes exteriores. Cada una de estas cuatro partes exteriores es diferente. Sin embargo, las partes exteriores superiores son muy similares a sus equivalentes inferiores, variando solo en algunas medidas.

5.2.1 Lower Center Wing Structure (B1)

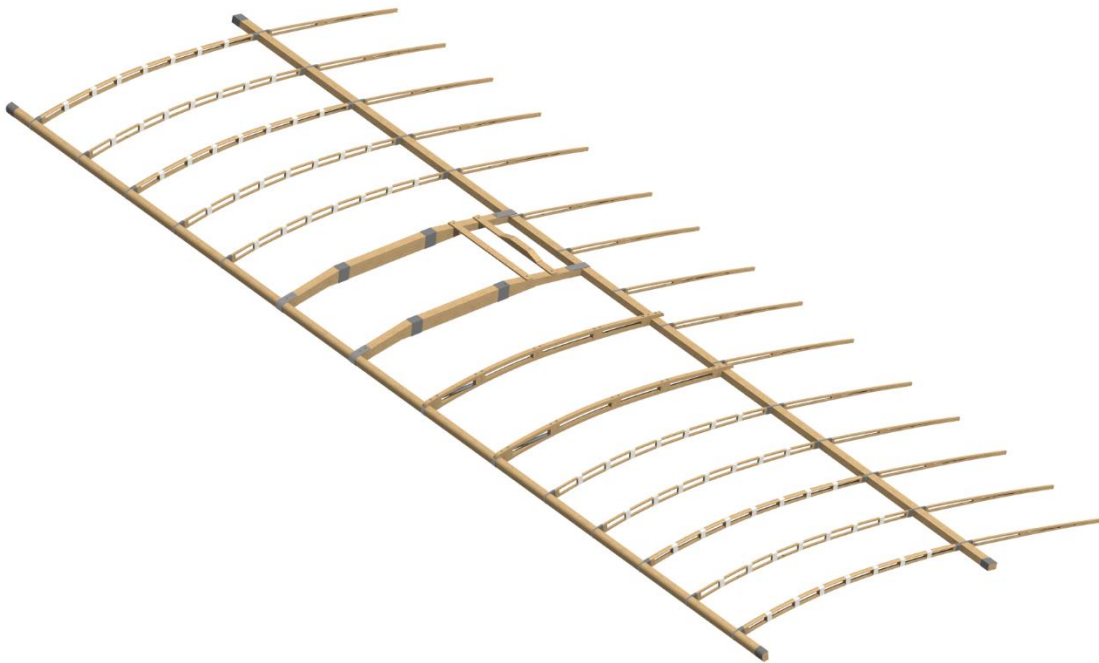


Ilustración 5-35: Parte central de la estructura del ala inferior

La parte central del ala inferior (Ilustración 5-35) es, posiblemente, la que cuenta con una mayor importancia. Esto se debe principalmente a que actúa como soporte para el motor y para el piloto. Además, a ella se fijan otras partes de la aeronave, como los patines.

Para su modelado se ha partido de las medidas de la componente *y* del centro de la aeronave. Dicho *centro*, de la aeronave no coincide exactamente con el homónimo de la estructura del ala, sino que este último está situado ligeramente a la derecha del primero. Esto es debido a que la parte derecha del ala es un poco más larga que la izquierda. En los planos aparece una diferencia entre ambos puntos de $\frac{1}{2}$ in, aunque en ese caso solo se debe referir al centro de la parte central de la estructura, y no a la estructura del ala como aparece escrito. Esta diferencia de $\frac{1}{2}$ in en la parte central se debe a que los largueros se extienden 1 in más hacia la

derecha que hacia la izquierda.

Si a esto le sumamos la diferencia entre las medidas de las partes derecha e izquierda respecto al *centro*, de la aeronave, la diferencia real entre ambos centros es aún mayor. Sin embargo, entre las hojas de los planos se encuentran numerosas discrepancias sobre las medidas relativas a las diferencias entre las partes.

Esta parte está formada por seis costillas de tipo A, cinco de tipo F, cuatro de tipo B y los soportes del motor y del piloto, que cuentan con dos costillas cada uno. Además, tiene los largueros delantero y trasero. Las costillas no están todas a la misma distancia respecto a sus contiguas, sino que existen unas pequeñas diferencias en la situación de las mismas.

Las costillas tipo B se sitúan en las posiciones primera y tercera contando desde los extremos. Las costillas tipo F y los soportes del motor y del piloto se sitúan en la parte central, tal y como se muestra en la Ilustración 5-36. En ella se puede ver cómo ambos soportes solo se encuentran entre los largueros, mientras que son las costillas tipo F las que sirven de continuación para dar la forma completa al ala. Las costillas más numerosas, las de tipo A, se encuentran en el resto de posiciones.

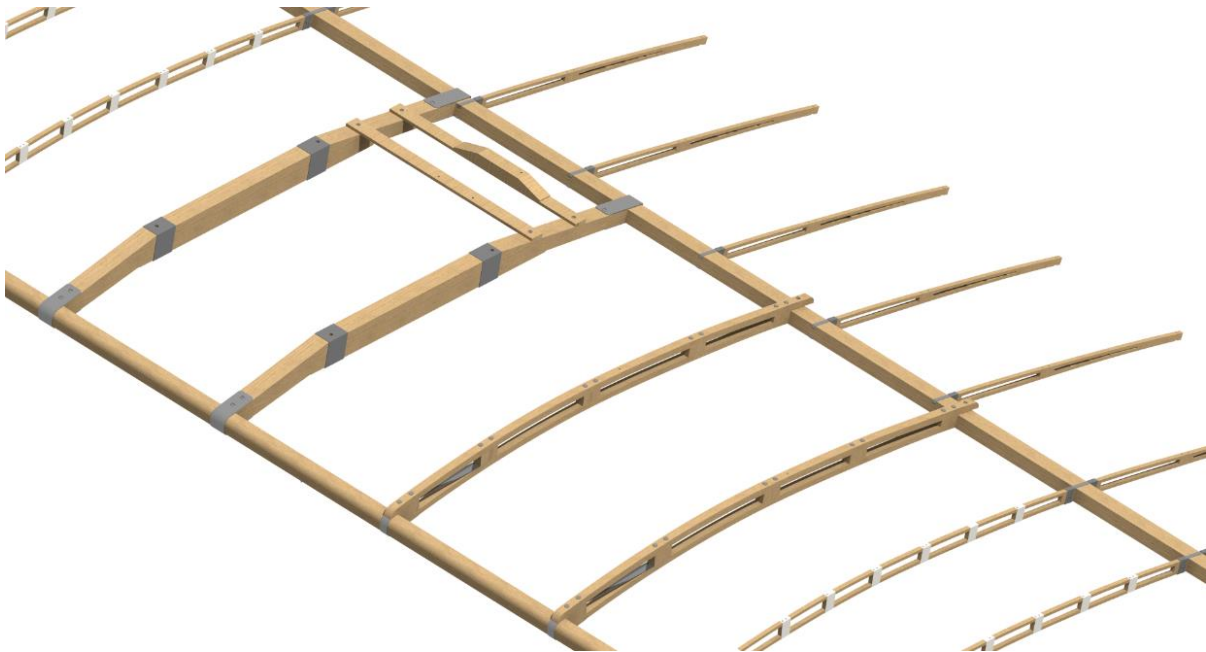


Ilustración 5-36: Detalle de los soportes del motor y del piloto

Las fijaciones de las costillas al larguero delantero se consiguen mediante unas placas de acero, como se aprecia en la Ilustración 5-37. El hueco que se dejó al modelar estas es exactamente igual a la sección del larguero delantero y llevan la misma inclinación de 11 grados, por lo que todas las costillas encajan perfectamente.

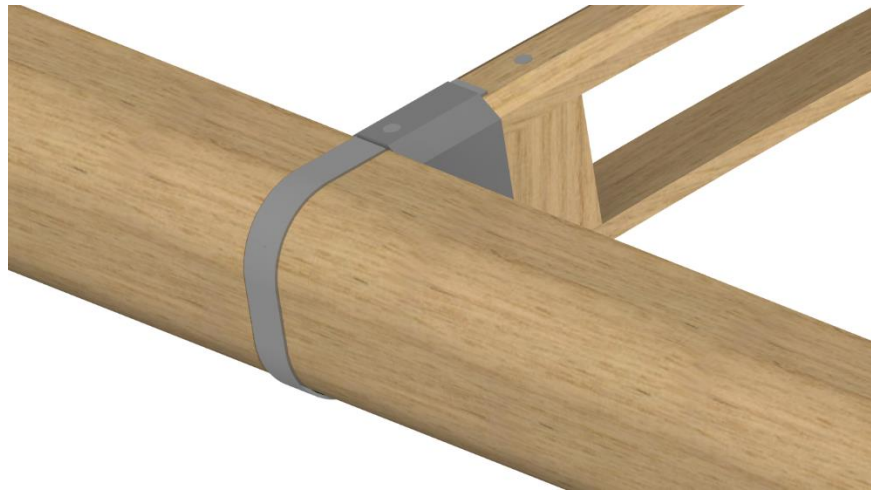


Ilustración 5-37: Fijación de una costilla al larguero delantero

Las fijaciones al larguero trasero también se realizan mediante placas de acero, como se puede observar en la Ilustración 5-38, que muestra dichas fijaciones para el caso de los soportes del motor, una costilla tipo A y una de tipo F. Sin embargo, en el caso del soporte del piloto se usa un par de tirafondos para fijarlo al larguero trasero, aunque su tamaño y posición exacta no venían determinados en los planos. Esto puede verse en la Ilustración 5-39, donde además se vuelve a apreciar la fijación de una costilla tipo F. Para este caso, los planos mostraban muchas discrepancias en cuanto a las dimensiones del hueco a dejar para el larguero trasero, por lo que en algunas uniones con determinados tipos de costillas quedan partes sin estar completamente en contacto. No obstante, se ha elegido el larguero trasero para que coincida con la mayoría de costillas y se ha intentado solventar dicho problema en la medida de lo posible.

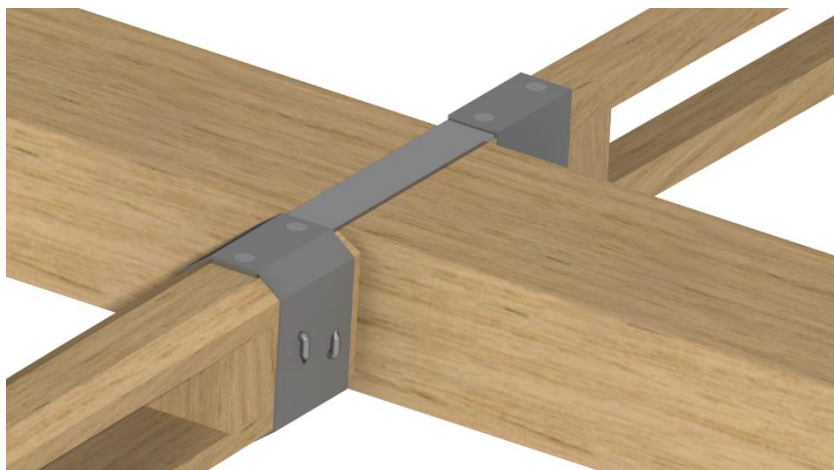


Ilustración 5-38: Fijación de unas costillas al larguero trasero

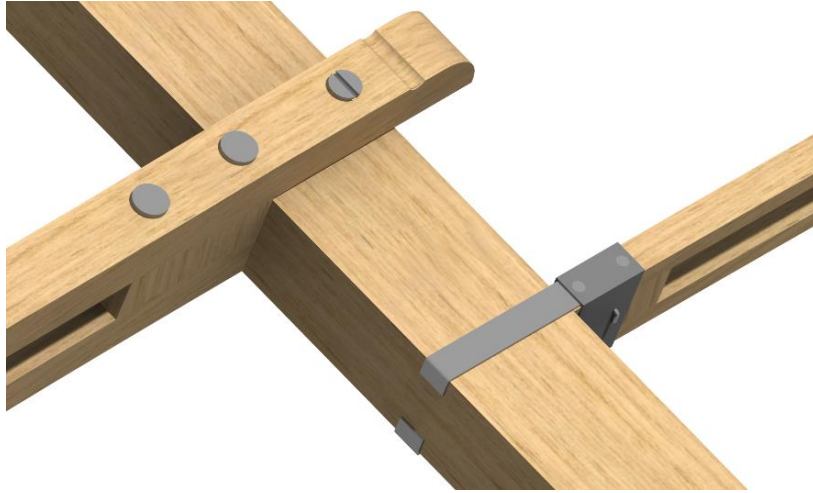


Ilustración 5-39: Detalle de la unión del soporte del piloto al larguero trasero

Finalmente, cabe destacar que los largueros llevan en sus extremos unos refuerzos de estaño soldados, que es donde se unirán a los otros largueros mediante placas de acero. Dichos refuerzos se pueden ver en la Ilustración 5-40, donde también se puede ver la diferencia entre las secciones de ambos largueros, así como la diferencia entre las costillas tipo A y tipo B. También puede apreciarse, aunque con algo de dificultad debido a su tamaño, que el larguero trasero tiene dos agujeros cerca de cada extremo cuyo uso está relacionado con el control de la aeronave. No obstante, estos se mostrarán con mayor detalle más adelante.

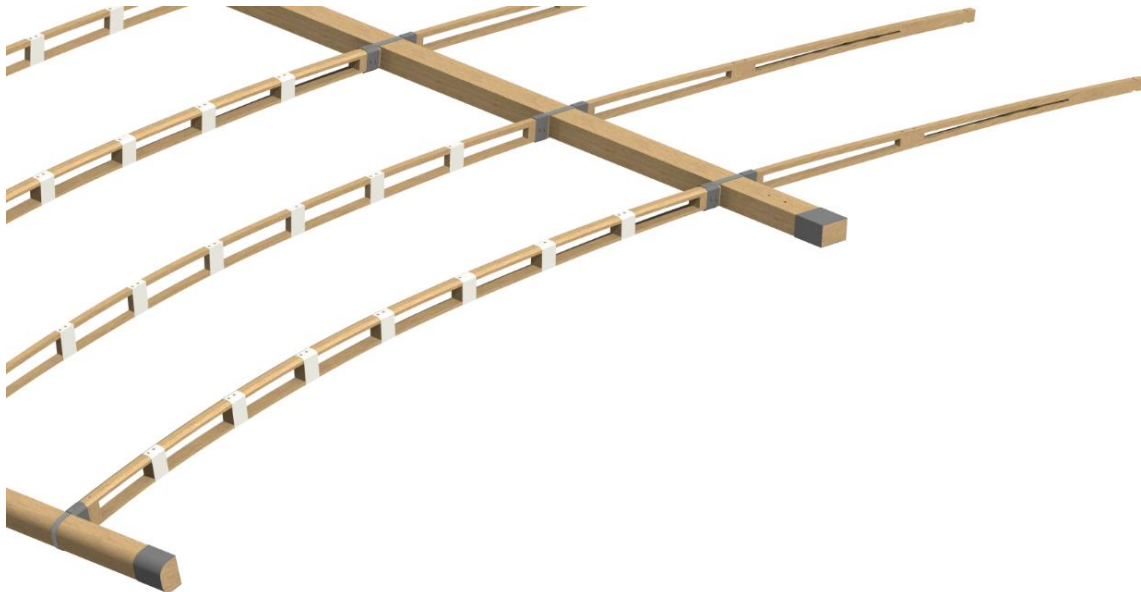


Ilustración 5-40: Extremo de la parte central del ala inferior

5.2.2 Upper Center Wing Structure (B2)

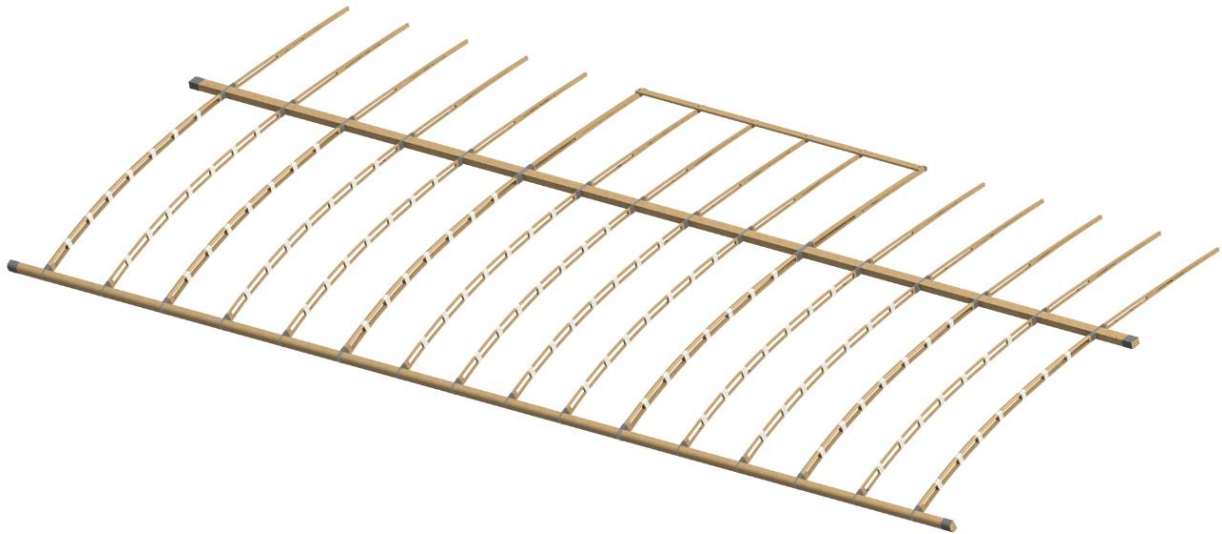


Ilustración 5-41: Parte central de la estructura del ala superior

La parte central de la estructura del ala superior (Ilustración 5-41) presenta similitudes con la anterior. Sin embargo en esta no aparecen los soportes del motor y del piloto ni la costilla tipo F. En cambio, lleva el tipo de costilla C y un listón en la parte trasera que cubre seis costillas.

En este caso también se ha modelado tomando como centro el *centro_y* de la aeronave, es decir, no en el centro exacto de los largueros.

Esta parte cuenta con diez costillas de tipo A, cuatro de tipo B y dos de tipo C. Además de los largueros delantero y trasero, esta parte tiene el listón trasero antes mencionado. Las costillas tipo B se sitúan en las posiciones 1 y 3 contando desde los extremos, mientras que las de tipo C se sitúan en la posición 6. Las de tipo A se sitúan en las restantes.

Al igual que en la parte central inferior, las costillas no se encuentran todas a la misma distancia respecto a sus contiguas. Además, dichas posiciones no coinciden tampoco con las de la parte central inferior.

El listón trasero (Ilustración 5-42) está situado entre ambas costillas tipo C, cubriendo también a las cuatro costillas interiores, que son de tipo A. El listón va unido a las seis costillas mediante tirafondos, como se puede observar en la Ilustración 5-43. Este listón, al igual que ocurría en el caso del soporte del magneto, se fija realmente una vez la tela ha sido montada en la estructura, pero dado que los planos no tienen en cuenta el grosor de la misma y a que dicho listón tiene un grosor mucho mayor que la tela, se diseñará el listón con las medidas dadas en el plano y en un futuro se le realizará el *Remove* de la tela.

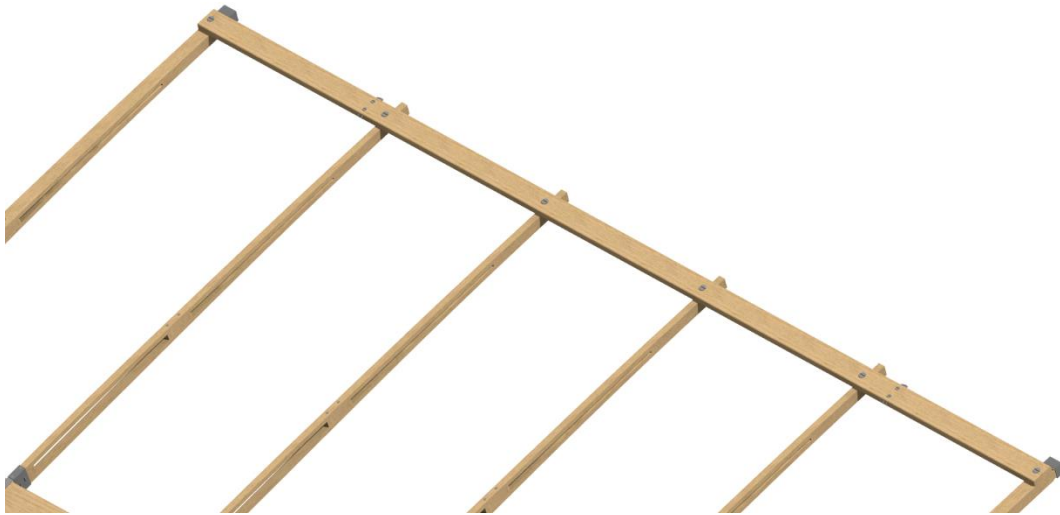


Ilustración 5-42: Listón trasero del ala superior

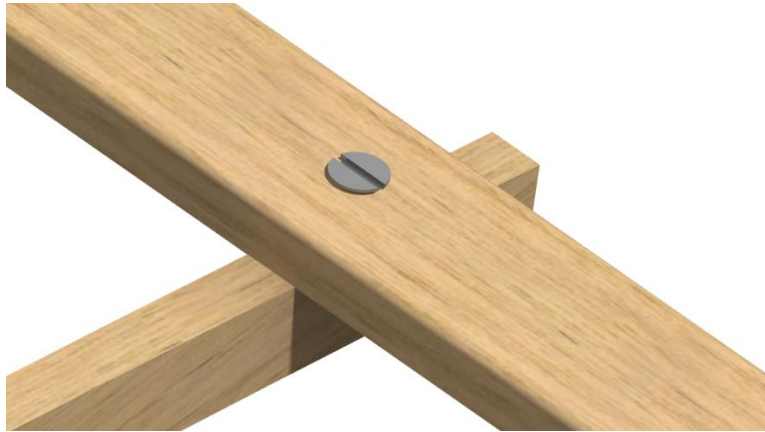


Ilustración 5-43: Unión del listón trasero a una costilla

El listón trasero tiene tirafondos también en las costillas tipo A y esto conlleva a que se le realicen los pertinentes *Removes* a dichas costillas. Para poder realizar dicho *Remove* solo a las costillas necesarias, y no a todas las de tipo A, ha sido necesario duplicar la parte que lleva el *Remove* y usar un *Product* diferente. De esta forma se tendría unas costillas tipo A normales y otras tipo A con el *Remove*, que serían las situadas entre las de tipo C.

Este listón también lleva unos puntos de anclaje, como se puede observar en la Ilustración 5-44. En estos puntos de anclaje se fija el timón de dirección, el cual también va unido a los patines. Como es habitual en este plano, su posición exacta no podía determinarse al existir incongruencias y sobreacotación en el plano. Por ello, se han situado respetando las distancias entre los mismos, para que sea igual a la que aparecen en los planos del timón.



Ilustración 5-44: Punto de anclaje del timón de dirección

No obstante, no queda claro en los planos si dichos puntos son simétricos respecto al centro de la aeronave o están situados ligeramente hacia uno de los lados. Por ello se han modelado situándolos a la misma distancia del centro de la aeronave. Sin embargo, se han utilizado dos parámetros para las distancias entre los planos y el centro de la aeronave para facilitar un cambio cuando en un futuro se ensamble el avión al completo. De esta forma, cambiar la posición de dichos puntos será una tarea fácil y rápida, ya que con solo variar los dos parámetros es posible cambiar la posición los puntos de anclaje y sus tirafondos. Solo tendrán que rehacerse los *Removes* de dichas partes al listón trasero.

Estos puntos de anclaje están formados por alambre de acero y tirafondos, insertados en el listón. El alambre está doblado hacia abajo en ambos extremos, ayudando esto también a su fijación al listón.

Los largueros son iguales que los de la parte central del ala inferior, cuentan con la misma sección y longitud y también llevan refuerzos de estaño de iguales características. Así mismo, el larguero trasero posee también dos agujeros en cada extremo, aunque no están colocados exactamente en la misma posición ni tienen el mismo diámetro.

5.2.3 Right Wing Structure (B3)

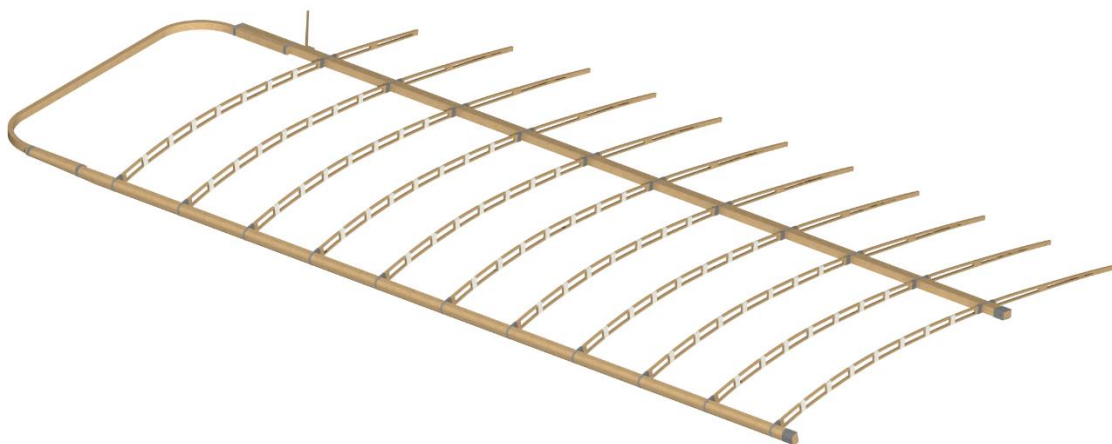


Ilustración 5-45: Parte derecha de la estructura del ala inferior

La parte derecha de la estructura del ala (Ilustración 5-45) está compuesta por los extremos derechos del ala

superior e inferior. Estas partes son prácticamente iguales, aunque presentan algunas diferencias en algunas medidas que se comentarán en este apartado. Por ello, solo se explicará una de ellas, aunque haciendo hincapié en dichas diferencias.

Cada uno de estos extremos está compuesto por un total de 12 costillas situadas todas ellas a la misma distancia unas de otras. La costilla situada en el extremo del ala es de tipo E, siendo la que le sigue de tipo D y el resto de tipo A. La costilla de tipo D es algo más corta que la de tipo A y, a su vez, la de tipo E es más corta que la de tipo D. Esto permite darle forma curva a la planta del ala por su borde de salida cuando se acerca hacia la punta de la misma, como se puede apreciar en la Ilustración 5-46, donde se ha dibujado sobre la estructura la forma que tendrá.

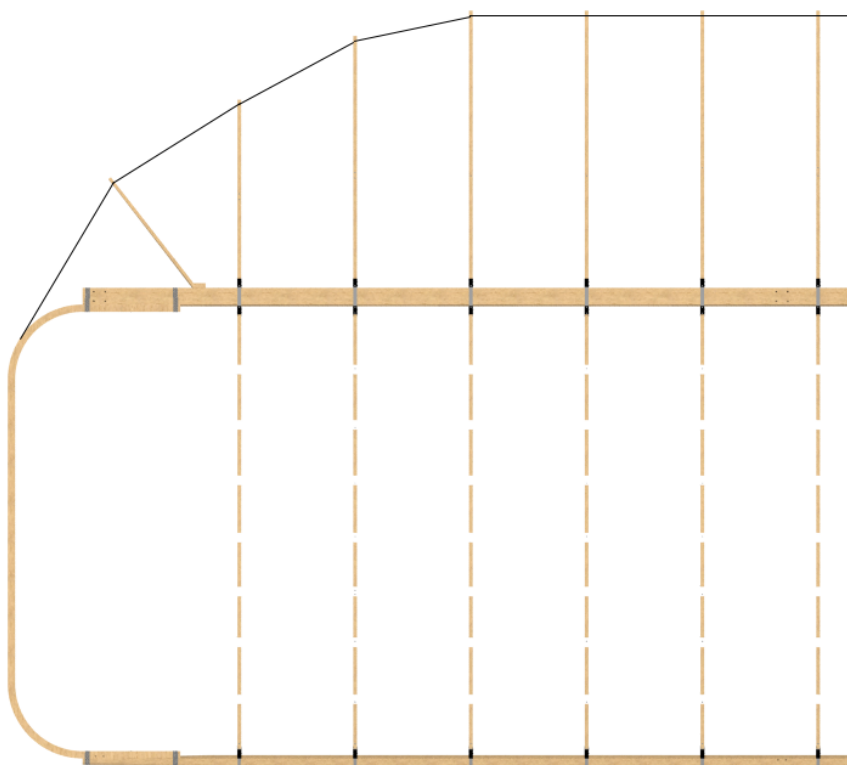


Ilustración 5-46: Curva en el borde de salida de la punta del ala inferior

Además de las costillas D y E, se puede observar que esta parte de la estructura contiene un soporte que sirve también para darle dicha forma a la tela del ala y unirla al listón curvo del extremo. Esta forma se consigue haciendo pasar el alambre de la tela por las hendiduras que poseen dichas costillas y el soporte. Dicho soporte puede verse en la Ilustración 5-47, y presenta algunas variaciones de medidas entre las estructuras del ala superior e inferior. En concreto, cambian tanto su posición como su longitud.



Ilustración 5-47: Soporte del extremo derecho de la estructura del ala inferior

Como se ha comentado, en la punta del ala tiene un listón curvo que le da también forma a la misma. Este listón es de fresno y ha sido doblado con vapor y secado al horno, lo que ha permitido conferirle esta forma con curvas. El listón va unido a los largueros delantero y trasero con alambre enrollado alrededor de ambos. Además, van unidos con clavos.

La unión del listón curvo con el larguero trasero puede observarse en la Ilustración 5-48. En ella se ve cómo queda sujeto en dos puntos con alambre enrollado, aunque también lleva ambas caras unidas con pegamento. En el plano aparece escrito que existen unas mellas para dichos alambres, por lo que se han dibujado estos un poco incrustados en el larguero y el listón curvo y luego se les ha aplicado el *Remove* correspondiente a los mismos. Además, puede apreciarse cómo un clavo ayuda a fijar dicha unión, encontrándose este con la misma inclinación que el larguero trasero respecto al plano horizontal.

Para el modelado del alambre enrollado se ha usado el módulo *Wireframe and Surface Design*. Dado que para este caso no valdría una espiral simple, se ha creado una superficie que cubriera tanto el listón como el larguero trasero, pero con redondeos en las aristas para formar la curva del alambre. Luego se ha proyectado un segmento sobre dicha superficie, formando este un ángulo determinado respecto al plano transversal al larguero. Más tarde, con el comando *Extrapolate*, se ha continuado la proyección del segmento de manera que quede enrollado en la superficie. Finalmente, para formar el sólido del alambre, se ha cambiado al módulo de *Part Design* y se ha hecho recorrer la sección del mismo por toda esa espiral mediante el comando *Rib*.



Ilustración 5-48: Unión del listón curvo derecho con el larguero trasero inferior

La unión con el larguero delantero se muestra en la Ilustración 5-49, donde se ha representado dicha unión para el caso del ala superior, ya que es diferente de la del ala inferior. Lo más destacable de esta unión es que se produce un estrechamiento en el larguero delantero conforme este se acerca a la punta del ala. Dicho estrechamiento también es diferente para el ala superior y el inferior y se ha realizado con la herramienta *Multisection Solid*. La unión en este caso se consigue también con pegamento, alambre y un clavo, aunque también en ese aspecto hay diferencias entre el ala inferior y superior. Mientras el ala inferior lleva alambre enrollado en dos puntos, la superior lo lleva en tres.

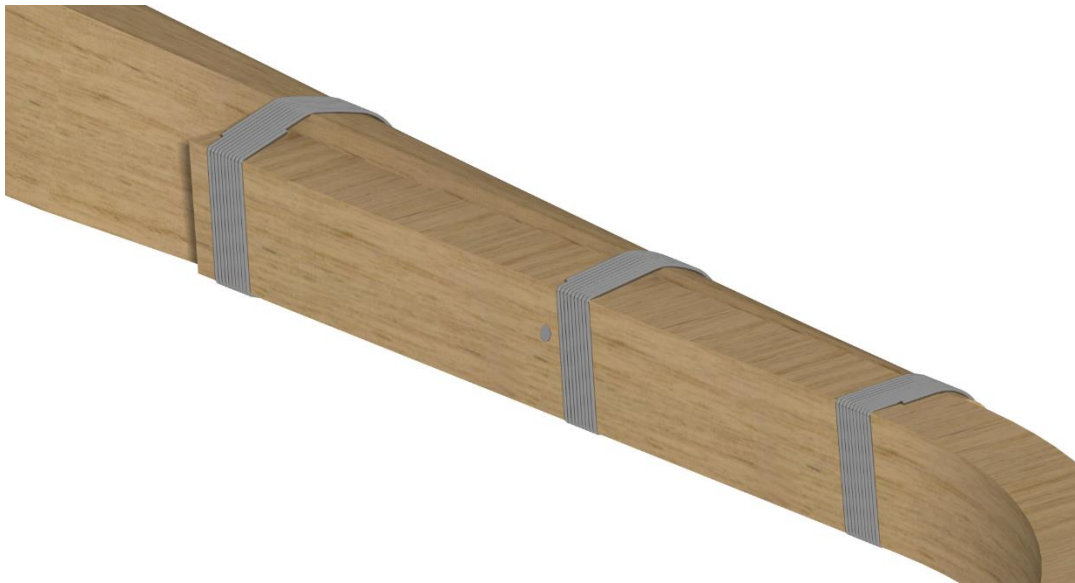


Ilustración 5-49: Unión del listón curvo derecho con el larguero delantero superior

Por último, cabe destacar que los largueros llevan unos refuerzos por su parte interior, es decir, la parte por la cual se unen a las estructuras centrales. Dichos refuerzos son láminas que envuelven a los largueros hasta dar más de una vuelta y llevan unos remaches para fijarlos.

El refuerzo del larguero trasero se puede apreciar en la Ilustración 5-50. En dicha imagen se ve que existe un agujero que atraviesa tanto el refuerzo como el larguero trasero. Este agujero contendrá más adelante al tornillo que actúe como bisagra entre ambas partes del ala.

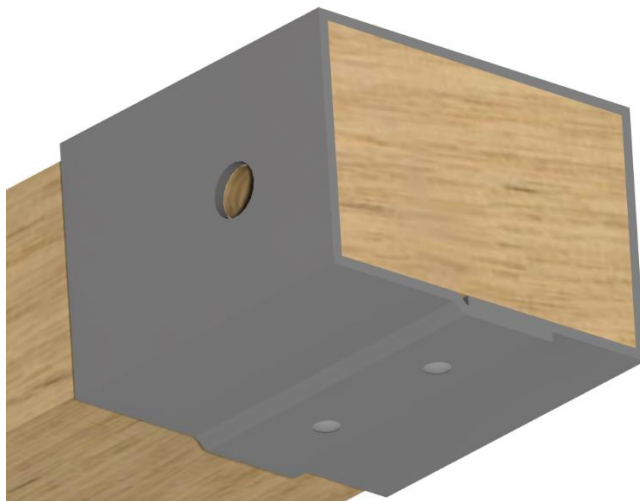


Ilustración 5-50: Refuerzo del larguero trasero derecho inferior

Por su parte, el refuerzo del larguero delantero (Ilustración 5-51) tiene también dicho agujero para la misma función. Sin embargo, para este caso existe una diferencia entre las alas superior e inferior. Dicha diferencia consiste en la existencia de un pequeño agujero en el refuerzo del ala inferior, aunque su función no queda clara en los planos.



Ilustración 5-51: Refuerzo del larguero delantero derecho inferior

5.2.4 Left Wing Structure (B4)

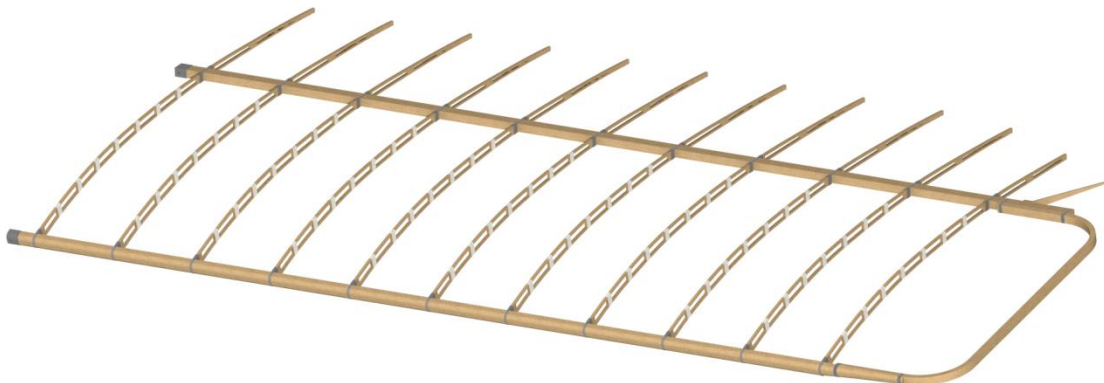


Ilustración 5-52: Parte izquierda de la estructura del ala inferior

La estructura izquierda del ala, en la Ilustración 5-52, es algo más corta que la derecha, aunque muy similar a esta. A pesar de presentar varias diferencias respecto a ella, se ha decidido trabajar sobre una copia de la parte derecha, haciéndole los cambios oportunos para que quede con las mismas medidas de la parte izquierda presentada en los planos. Luego, se le ha realizado una simetría a este conjunto con la herramienta *Symmetry*. Esto ha permitido ahorrar bastante tiempo.

Dado que la parte izquierda está formada por elementos procedentes de la simetría, las posiciones de los mismos no se pueden modificar, sino que cambian al modificar los elementos originales de la simetría. Es por ello por lo que se ha decidido dejar de forma oculta la parte derecha, es decir, la parte original a la que se ha realizado dicha simetría. Esta quizás no sea la solución más correcta, pero permitirá realizar cualquier pequeño cambio en un futuro. De esta forma, si al ensamblar el avión completo es necesario llevar cualquier pequeña modificación, esta sería más fácil de realizar. Siempre será posible eliminar la parte derecha si se necesitan conocer las propiedades físicas del conjunto, como las inercias.

A su vez, las partes superior e inferior de la izquierda del ala son también muy parecidas. Al igual que para el

caso anterior, se explicarán generalmente y se comentarán las diferencias que existan entre dichas partes.

La principal diferencia entre los extremos izquierdo y derecho es la longitud, más corta en el primer caso, de los largueros. Además de esto existen algunos cambios menores que se detallarán a continuación.

La costilla situada más hacia el interior está un poco más separada del mismo, mientras que, al ser esta estructura más corta, el listón curvo de la punta queda más cerca de la costilla situada en el extremo. La unión de dicho listón con los largueros es algo más corta, y en este caso tanto el ala superior como el inferior llevan los alambres en solo dos puntos de cada larguero.

El soporte diagonal que ayuda a formar la curva en el borde de salida está situado en otra posición y su longitud es diferente para los extremos superior e inferior.

En el caso del larguero delantero, su estrechamiento es diferente, aunque en este caso es igual para las partes superior e inferior. Además, su refuerzo de la parte interior tiene menor longitud en la dirección del propio larguero.

En relación a los agujeros de dichos refuerzos, cabe destacar la presencia de algunos cambios. El larguero trasero del ala inferior tiene un agujero extra, mientras que el agujero del larguero delantero del ala superior cambia su posición, pasando a situarse en la parte superior del mismo.

Los refuerzos y largueros llevan en esta parte izquierda un estrechamiento de 1° , que se ha decidido despreciar al no presentar simetría con la otra parte y al producir más complicaciones futuras de modelado, cuando la exactitud de dicha medida es dudosa y no representa un cambio visual ni funcional.

Los refuerzos del larguero delantero superior y trasero inferior se presentan en la Ilustración 5-53 y en la Ilustración 5-54, respectivamente. En dichas imágenes se pueden apreciar los nuevos agujeros pequeños, los cuales, al igual que en la parte derecha, no tienen aparentemente ninguna función.

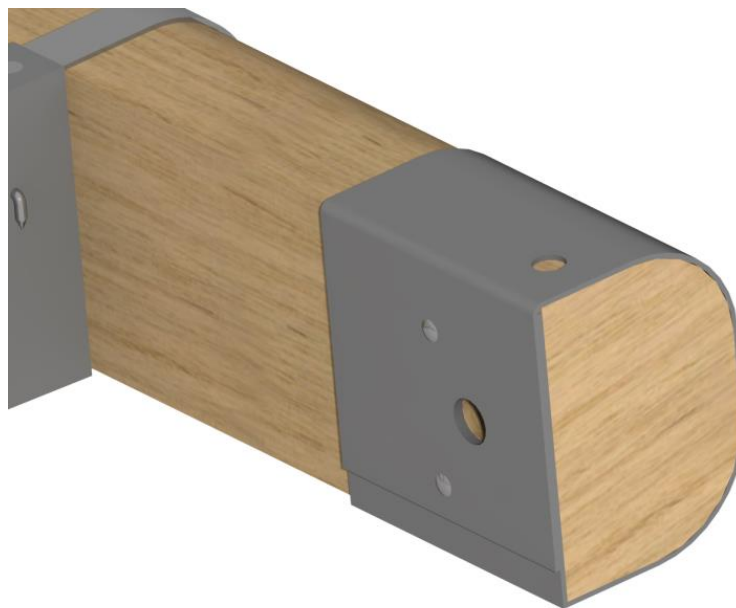


Ilustración 5-53: Refuerzo del larguero delantero izquierdo superior

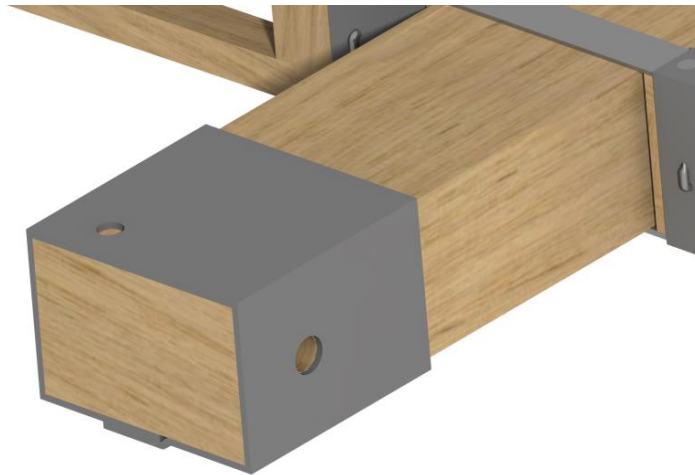


Ilustración 5-54: Refuerzo del larguero trasero izquierdo inferior

5.2.5 Wing Hinge Plates (B8)

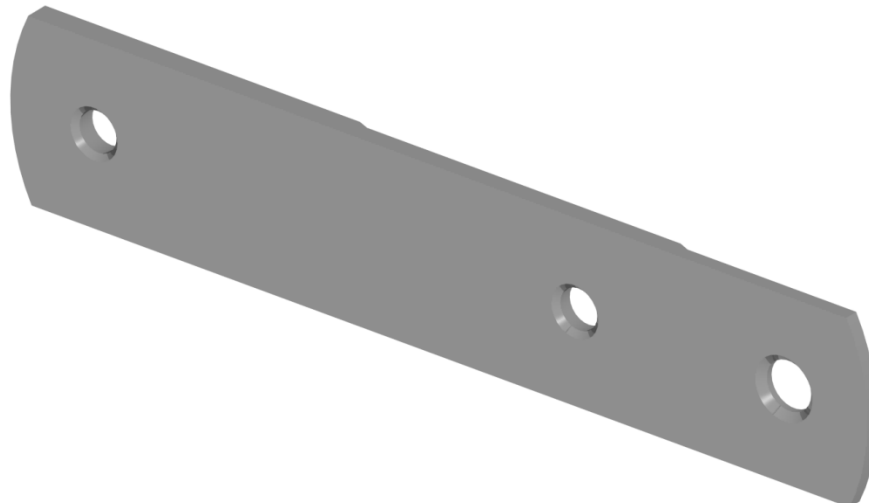


Ilustración 5-55: Pletina delantera del larguero trasero

Los wing hinge plates (Ilustración 5-55) son unas pletinas de acero cuya función es servir de unión entre los largueros de las diferentes partes del ala para formar cada ala al completo. La unión se consigue atornillando dicha pletina a los extremos de los dos largueros a unir. En el larguero perteneciente a la estructura central lleva tirafondos mientras que el perteneciente a la estructura del extremo del ala lleva un tornillo con tuerca.

Como se puede comprobar, el nombre inglés contiene la palabra bisagra. Esto se debe a que lleva en los largueros exteriores un tornillo con tuerca en la dirección X de la aeronave. Esto, junto al hecho de que los largueros se unan dejando un pequeño margen entre ellos, le confiere a este componente una función similar a la de una bisagra, aunque con muy poco juego. Esto permite también el control de la aeronave mediante esta flexión alar.

Como se comentó en las decisiones de diseño, el avión en reposo se debería mostrar con un ángulo de diedro, es decir, que las puntas caen respecto al centro del ala. Esta bisagra ayuda en parte a ello, aunque la caída se debe también a que el peso de la propia estructura produce una flexión en los largueros. Como bien se mencionó antes, se ha decidido modelar las uniones tal y como aparecen en los planos B1 y B2, es decir, dejando la separación igual en toda la altura de la sección de unión de los largueros, y dejando estos en posición completamente horizontal.

Existen un total de 16 pletinas, que se dividen en cinco tipos diferentes. Hay cuatro pletinas en la parte trasera

de los largueros traseros, que son iguales entre sí. Otras cuatro también iguales se sitúan en la parte delantera de los largueros traseros, siendo una de ellas la que se muestra en la Ilustración 5-55.

En la parte trasera de los largueros delanteros vuelve a haber otro grupo de cuatro pletinas iguales. Sin embargo, en la parte delantera de estos largueros existen dos tipos de pletinas, contando con dos de cada tipo.

Los cinco tipos de pletinas tienen características similares. Todas cuentan con dos agujeros avellanados a 90° para los tirafondos y otro agujero de mayor diámetro para el tornillo que actuará como bisagra, también avellanado. La forma de cada una se ha tenido que moldear para que no interfiriera con los otros elementos, es decir, los refuerzos de los largueros.

La pletina delantera del larguero delantero es la que presenta más diferencias respecto al resto, ya que se sitúa en una parte con curvas a la que debe adaptarse y tiene, además, una estrechez para no interferir con las fijaciones de las riostras, que se describirán más adelante. Aunque estas fijaciones se coloquen encima de la tela se deja esta estrechez para dejar un mayor espacio a estas. Las dos versiones de esta pletina difieren en que cada una de ellas presenta la estrechez en un lado diferente. Una de estas versiones se usa en la parte superior derecha e inferior izquierda, mientras que la otra en las dos posiciones restantes. Esto se debe a que las fijaciones de las riostras se colocan en la parte superior del larguero inferior y en la parte inferior del superior.

En la Ilustración 5-56 se observa, a modo de ejemplo, la unión del larguero delantero central inferior con el larguero delantero izquierdo inferior. Como se aprecia, la pletina queda fijada al larguero central con dos tirafondos, mientras que lleva un tornillo y una tuerca en su unión con el larguero izquierdo. Este último tornillo, situado a la derecha, es el que se comentó anteriormente que actúa como bisagra.

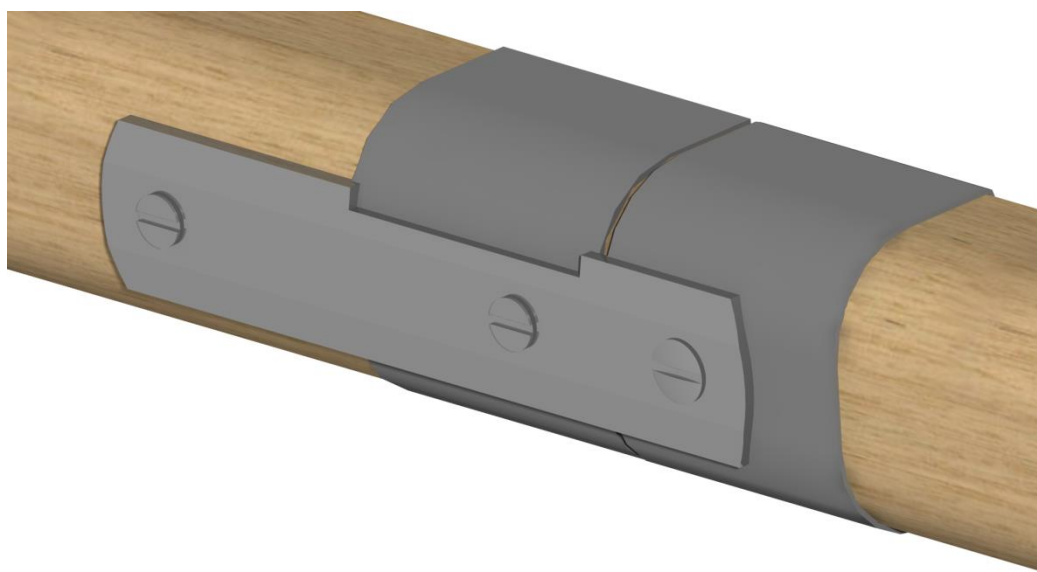


Ilustración 5-56: Unión de los largueros delanteros central e izquierdo

También se muestra a continuación la Ilustración 5-57, en la que se aprecia mejor la separación de $\frac{1}{16}$ pulgadas entre los largueros, además de la tuerca que no se veía en la anterior imagen. Las roscas usadas en el tornillo y la tuerca son de rosca métrica M6 y se ha decidido utilizar en este caso una tuerca hexagonal, aunque no se tenía información del tamaño ni de la forma exacta de estos elementos



Ilustración 5-57: Unión de los largueros traseros central e izquierdo

El resto de uniones son muy similares y no presentan una diferencia justificable para su representación. Al igual que las uniones explicadas, llevan tirafondos en los largueros centrales y tornillos y tuercas en los largueros extremos.

El motivo de la diferencia en tamaño y posición de los agujeros de las pletinas es el de impedir la interferencia entre los tirafondos una vez dentro de los largueros. Se puede ver a modo de ejemplo una de las secciones interiores, en la Ilustración 5-58, en la que observa cómo los tornillos no colisionan.

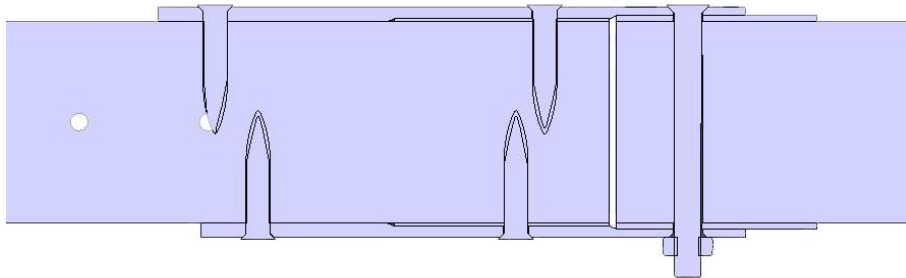


Ilustración 5-58: Sección de la unión de los largueros delanteros central e izquierdo

Finalmente, se muestra en la Ilustración 5-59 la vista completa de la estructura del ala superior e inferior, una vez se han realizado todas las uniones de los largueros. Hay que tener en cuenta que ya aquí se ha trabajado dentro del *Product* final y se ha establecido la distancia entre ambas alas, conocida como bahía.

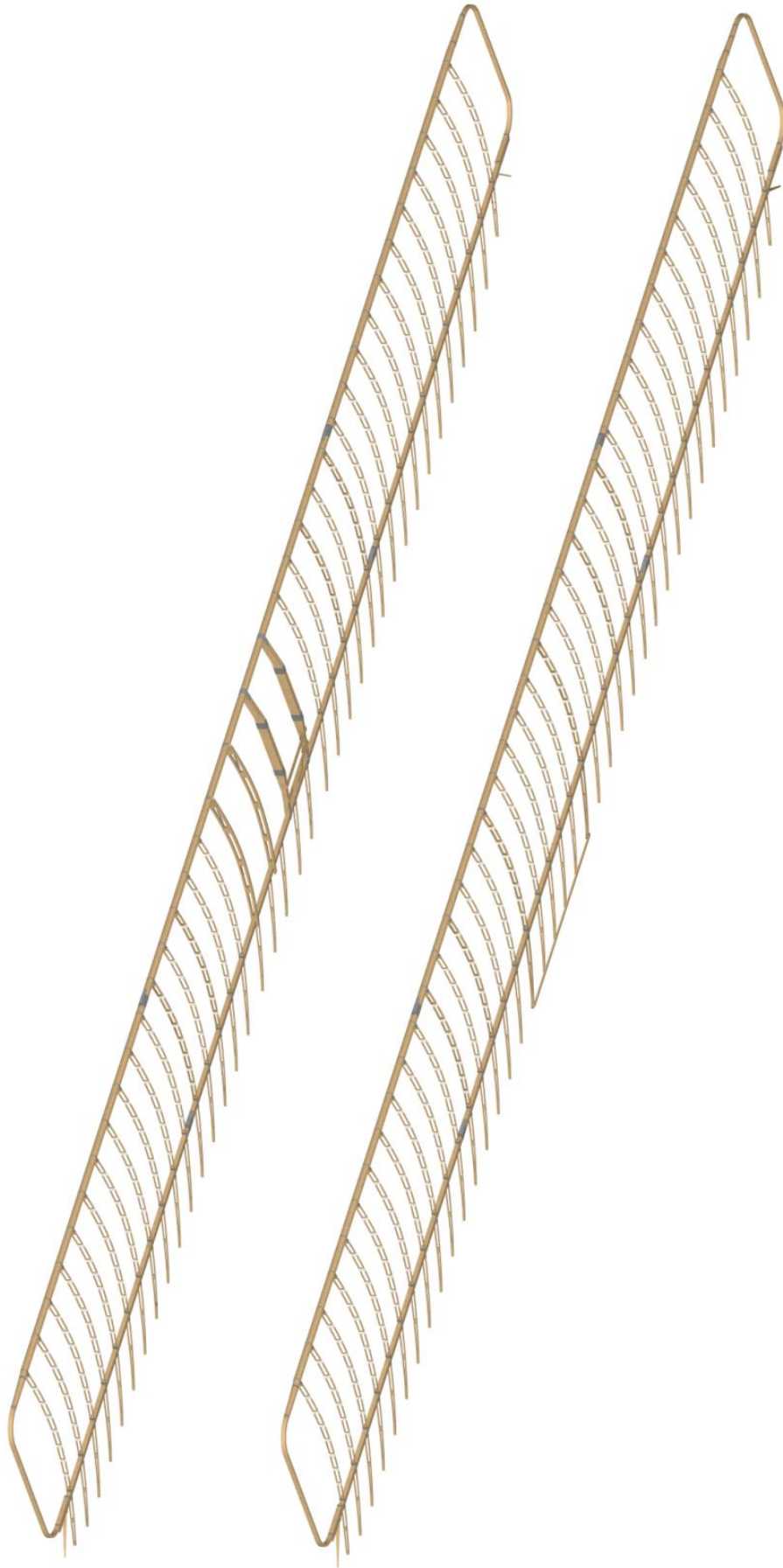


Ilustración 5-59: Estructuras del ala superior (a la derecha) e inferior (a la izquierda)

5.3 Wing Coverings (B9)



Ilustración 5-60: Alas con recubrimiento

Una vez ensamblada la estructura interna del ala, se procederá a aplicarle el recubrimiento, tal y como se muestra en la Ilustración 5-60.

El material usado para dicho recubrimiento es muselina sin blanquear, como se comentó anteriormente. Cada parte exterior del ala tiene un recubrimiento independiente, mientras que las partes centrales cuentan con dos recubrimientos independientes cada una.

A su vez, cada uno de estos recubrimientos está compuesto por tramos de muselina solapados entre sí en sus extremos y formando un ángulo de 37° respecto a los largueros.

En los extremos de unión con otros recubrimientos, estos llevan un dobladillo en el que encierran un alambre. Estos sirven para, mediante cordeles atados e hilo cosido, poder unir los diferentes recubrimientos. En los extremos traseros también llevan un dobladillo con otro alambre, el cual permite, en este caso, fijar el recubrimiento a la parte trasera de las costillas. Este alambre trasero sigue los surcos que se crearon en la parte trasera de las costillas, como se vio anteriormente.

Para fijar la parte del intradós, se colocan unos bolsillos cosidos, en los cuales se insertarán las diferentes costillas, exceptuando los soportes del motor y del piloto.

Finalmente, se termina de fijar la parte delantera mediante el uso de numerosas tachuelas.

Dada la complejidad para modelar en *CATIA* todos estos elementos, se ha decidido realizar una serie de simplificaciones, de modo que se ha modelado la tela sin separar las diferentes partes, sin darle forma a los dobladillos, y sin modelar las costuras y los nudos de los cordeles de fijación. El resto de elementos sí han sido modelados.

Otra simplificación justificable ha sido la ausencia de inclusión de *Removes* de diferentes partes de las costillas que interferían con la tela, como cabezas de tornillos y clavos. El motivo ha sido que en total la aeronave dispone de más de 3500 clavos que habría que restar individualmente. Dado que esto era inviable, no se ha evitado completamente la interferencia con el recubrimiento.

Una vez explicadas dichas simplificaciones se mostrarán los modelados en imágenes y se comentarán las

particularidades de cada uno. El módulo que se ha usado principalmente ha sido el de *Generative Shape Design*, trabajando con diversas herramientas, como *Multisection Surface*, *Multisection Volume*, *Fill*, *Join*, *Extrude Surface*, *Extrude Volume*, *Thick Surface*, etc.

En primer lugar, en la Ilustración 5-61 puede verse en mayor detalle la parte central de ambas alas. En la parte superior lleva el listón trasero sobre la tela, aunque como se instaló anterior mente ahora se le ha restado la misma.

En la parte trasera, al encontrarse los soportes del piloto y del motor, la tela toma formas diferentes. Por un lado el soporte del piloto se sitúa a una altura mayor, y se apoya por encima de los largueros delantero y trasero, por lo que se puede apreciar que la tela se ensancha en dichos sitios. Por otra parte, el soporte del motor, al estar formado por tramos rectos, le confiere a la tela dicha forma. Además los soportes del magneto se colocarían en este caso también por encima de la tela, por lo que, de la misma forma, se le han realizado los pertinentes *Removes*. Por último, las costillas tipo F sobresalen por detrás un poco más que el resto, por lo que también se ve afectada la tela por esta parte.



Ilustración 5-61: Recubrimiento de las partes centrales de las alas

En el resto de costillas interiores, la tela queda con el mismo perfil, debido a que la mayoría de las costillas cuentan con la misma curvatura. Sin embargo, en los extremos la tela vuelve a sufrir cambios en su perfil para adaptarse a la estructura del ala. Esto se puede ver en la Ilustración 5-62, en la que se aprecia cómo evoluciona desde la última costilla para adaptarse al listón arqueado de la punta del ala. Además, se puede ver cómo se adapta al estrechamiento del larguero delantero.



Ilustración 5-62: Recubrimiento de la parte izquierda del ala superior

Dado que en la anterior imagen no se puede apreciar correctamente la forma que toma la curva del borde de salida del ala, se muestra a continuación la Ilustración 5-63, con la vista en planta de la punta del ala. Esta curva será diferente para cada uno de los extremos del ala. En esta imagen se observa además que el borde de salida de las costillas queda fuera del recubrimiento, ya que la tela llega hasta la hendidura donde se sujeta el alambre trasero.



Ilustración 5-63: Planta del extremo izquierdo del ala superior con recubrimiento

Para mostrar los alambres de los extremos, se ha decidido ocultar todos los recubrimientos. En primer lugar se

muestran los alambres de unión entre dos partes del ala, como se aprecia en la Ilustración 5-64. Van tanto por el recubrimiento del extradós como por el del intradós. Para unir las partes, se coserían ambas telas y se pasaría un cordel entre la tela amarrando ambos alambres, aunque como se explicó anteriormente, estas costuras y nudos de cordeles no se han representado.

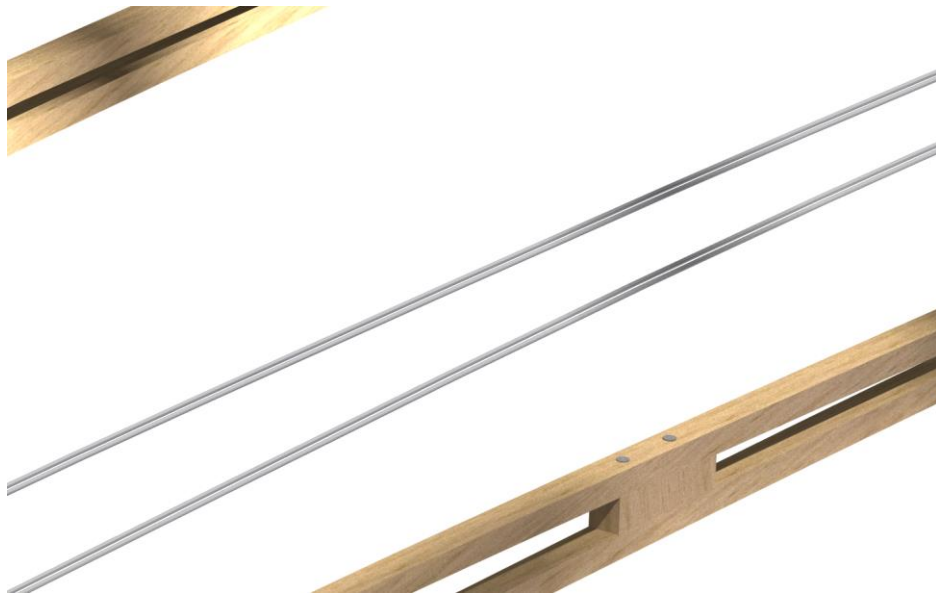


Ilustración 5-64: Alambres de unión de dos recubrimientos

El alambre trasero se puede ver en la Ilustración 5-65. Este alambre se adapta para pasar por las diferentes hendiduras de las costillas. Aunque no se han modelado, también existen cordeles, en este caso para amarrar el alambre y la tela a la parte trasera de las costillas. Aprovecha también, de esta forma, la hendidura inferior para que el nudo no resbale. Este alambre también se ha simplificado un poco en relación a la unión de sus diferentes partes.

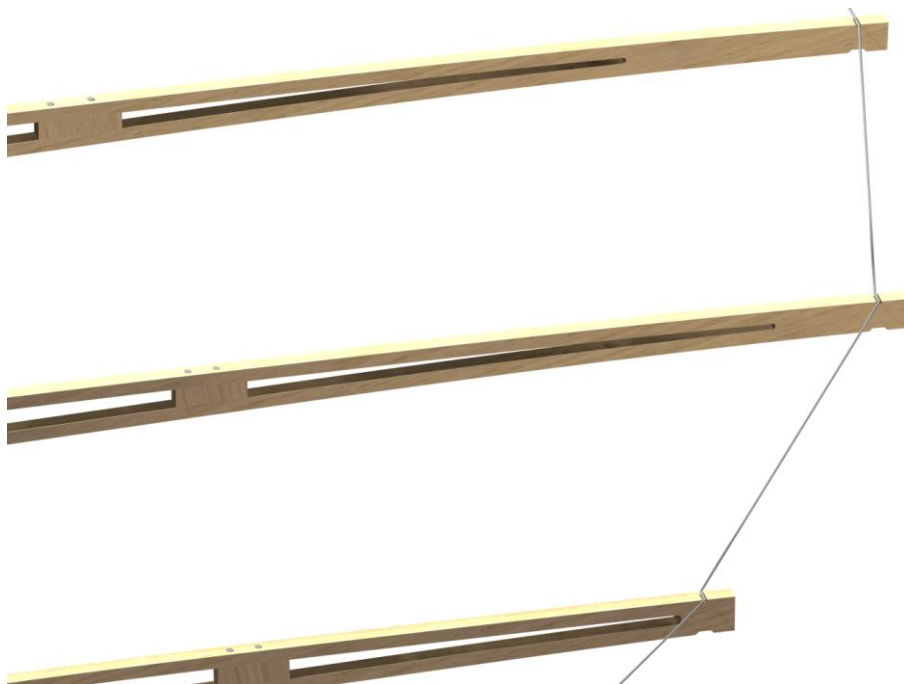


Ilustración 5-65: Alambre trasero para fijación del recubrimiento

Para ver el interior, se ocultará solo la parte superior del recubrimiento, lo que permitirá mostrar los bolsillos en los que se insertan las costillas para que la tela inferior se adhiera bien y tome la forma correcta del perfil alar. Estos bolsillos de tela están cosidos al recubrimiento inferior y se adaptan tanto a este como a la costilla a la que cubra. Es por ello que se han realizado diferentes variantes de este bolsillo, para que cubra correctamente a los diferentes tipos de costilla y para que quede unido al recubrimiento inferior incluso cuando este se deforma para adaptarse a los extremos o a la parte central del ala. A ambos lados de la línea de cosido sobresale un resto de tela, que también se han modelado. En la Ilustración 5-66 se muestran dos de estos bolsillos diferentes, para una costilla tipo A y otra tipo B. Además, también aquí se ven los alambres de unión superiores de los recubrimientos, ya que la tela superior se ha ocultado.



Ilustración 5-66: Bolsillos del recubrimiento de intradós

Finalmente, por las partes delantera y lateral, la tela se fija mediante el uso de numerosas tachuelas. Las tachuelas están espaciadas 1 pulgada, habiéndose modelado en total más de 500 tachuelas. En la Ilustración 5-67 se pueden ver las tachuelas situadas en el larguero delantero. Las del listón arqueado están colocadas de manera similar.

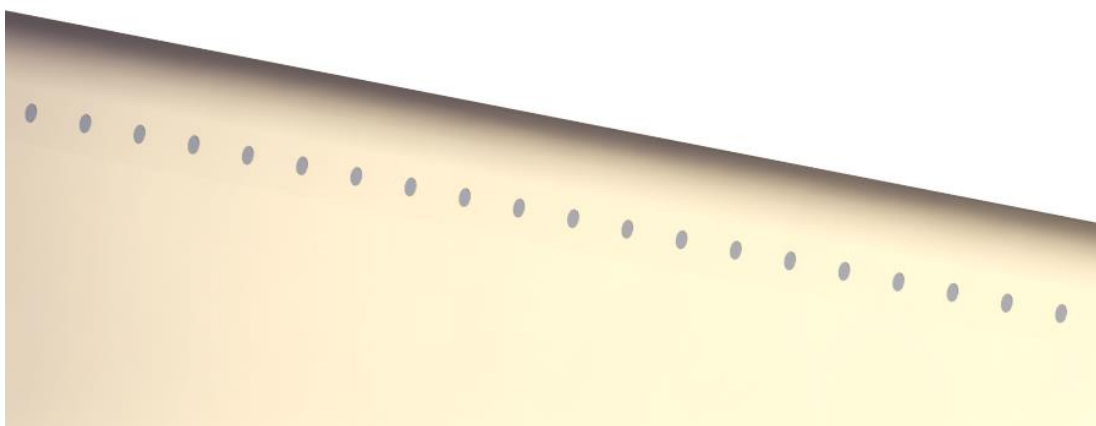


Ilustración 5-67: Tachuelas del larguero delantero

5.4 Wing Struts (B8)

Los struts o riostras sirven como unión estructural entre las alas superior e inferior. Existen un total de 18 riostras y van ancladas a unas fijaciones, las cuales a su vez están fijadas a los largueros. La mitad de las riostras están situadas entre los largueros delanteros, es decir, entre el superior y el inferior, mientras que la

otra mitad se encuentra entre los largueros traseros.

En primer lugar se detallarán las fijaciones, comentando los diferentes tipos que existen. Después se comentarán los struts y su colocación entre ambas alas.

5.4.1 Strut fittings

Los strut fittings o fijaciones de las riostras están formados una pieza de acero en la cual se engancharán las riostras y una pletina que permite atornillar dicha pieza a los largueros. Ambas están soldadas y existen diferentes tipos en función de su posición y orientación. En total, la aeronave cuenta con 36 de estas fijaciones, ancladas con un total de 144 tornillos.

En la Ilustración 5-68 se puede ver una de estas fijaciones. Al ser una de las que está situada en un larguero delantero inferior, tiene forma curva para adaptarse a este. Las fijaciones situadas en el larguero delantero superior tienen una forma específica para adaptarse a este. Además, dentro del mismo larguero existen fijaciones con una orientación u otra, es decir, la parte de la fijación que se dobla hacia su interior puede estar tanto en la derecha como en la izquierda.

Además, como también se aprecia en la Ilustración 5-68, existen unos orificios en la pieza curvada que permitirán asegurar el anclaje cuando se enganche la riostra.

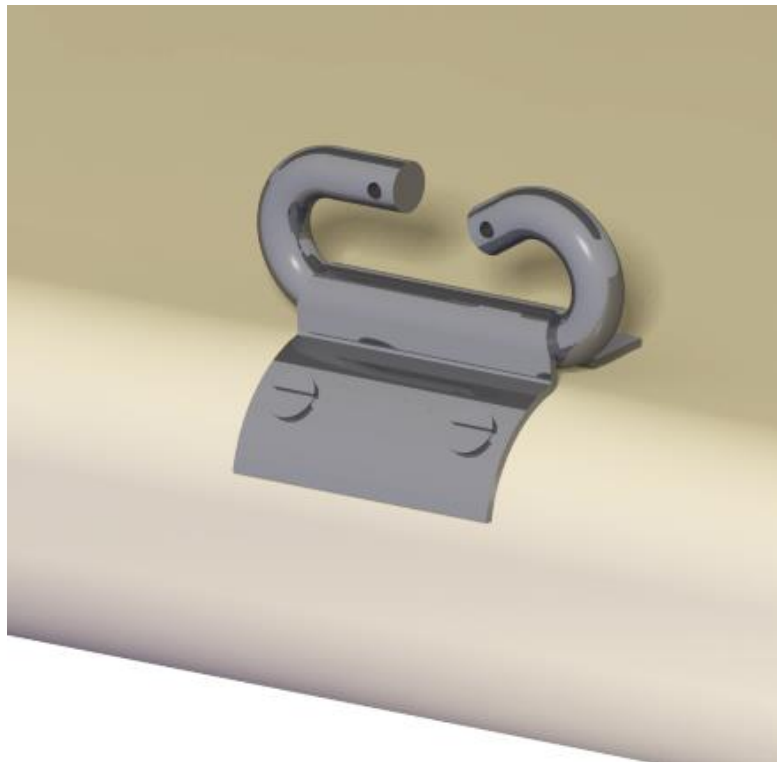


Ilustración 5-68: Fijación de una riostra delantera

En la Ilustración 5-69, por el contrario, se muestra una fijación anclada al larguero trasero. También en este caso su orientación cambia, aunque siempre coincidiendo con su equivalente en el larguero delantero. Las fijaciones traseras superiores son de la misma forma que la que se muestra.



Ilustración 5-69: Fijación de una riostra trasera

Además, cabe destacar que las fijaciones superiores tienen la misma orientación que sus equivalentes inferiores. Además, la pieza con curvatura siempre estará situada de forma perpendicular a la pletina, por lo que el ángulo que forma con el plano vertical cambia entre las diferentes fijaciones según su situación.

En los 8 extremos de los largueros se encuentran otros tipos de fijaciones. A modo de ejemplo, se muestra en la Ilustración 5-70 la fijación del extremo del larguero inferior izquierdo. Como se puede apreciar, en este caso la pieza soldada cambia, ya que no es necesaria su otra parte. La orientación de esta pieza siempre será con la curva apuntando hacia el interior de la aeronave. Su equivalente superior es igual, aunque situada hacia abajo, mientras que su homóloga delantera tiene forma curva para adaptarse al larguero delantero.

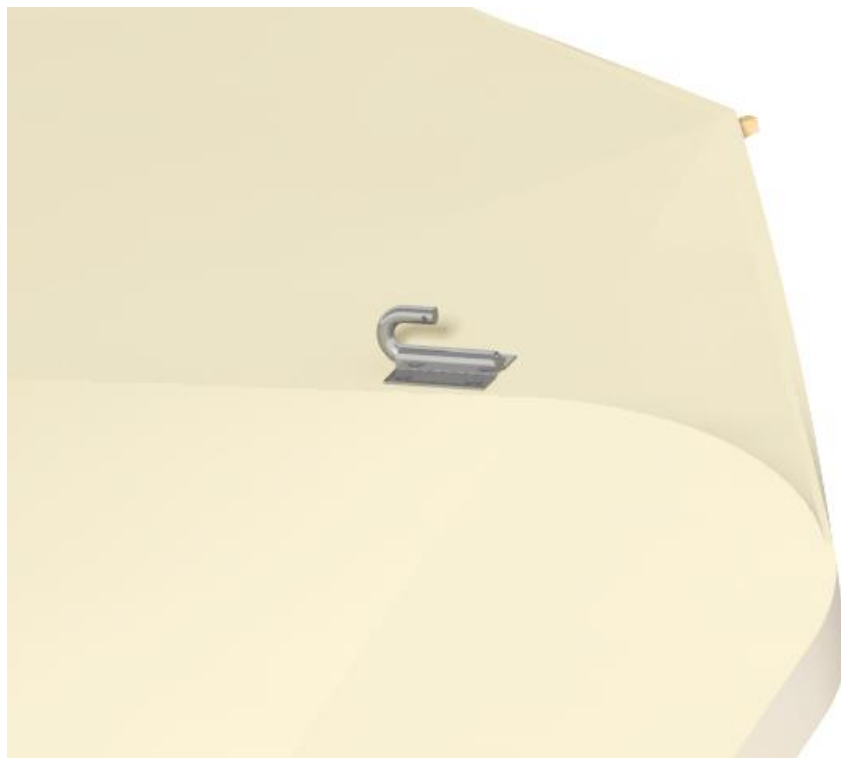


Ilustración 5-70: Fijación de un extremo trasero inferior

También cabe recordar la utilidad del estrechamiento en las pletinas que unían las diferentes partes del ala. Este estrechamiento que tenían las pletinas delanteras servía para dejar hueco a estas fijaciones. Aunque cada una de estas quede a un lado del recubrimiento, es necesario dicho espacio. En la Ilustración 5-71 se demuestra visualmente el propósito del estrechamiento.

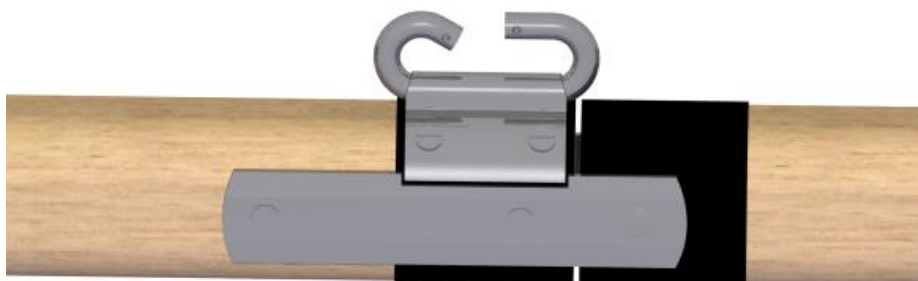


Ilustración 5-71: Fijación delantera sobre una pletina de unión

Lo último que cabría destacar de estas fijaciones sería que los tornillos con que se fijan a los largueros tienen una longitud de unos 20 mm . Esta longitud tan corta permite que no exista ningún tipo de interferencia con otros tornillos, como sería en el caso de las fijaciones que se sitúan justo en las posiciones de las pletinas de unión. Las pletinas, por su parte cuentan con taladros avellanados, en los cuales se insertan estos tornillos.

Además de las 36 fijaciones de las riostras que se mostrarán en el siguiente apartado, existen otras para otras riostras, las cuales van desde el larguero trasero inferior al larguero trasero superior. Existen cuatro de estas fijaciones, y su función es servir de anclaje a las riostras que actúan como soporte de los ejes de las hélices. Estas dos riostras están siendo modeladas en otra sección del avión, al encontrarse en los planos relativos a las hélices. Por lo tanto, se anclarán a estas fijaciones cuando en un futuro se ensamble el avión completo.

En la Ilustración 5-72 se muestra este otro tipo de fijación. Va atornillada al larguero trasero con dos tornillos más largos y con mayor diámetro que los anteriores. Al igual que en el caso anterior, los taladros en la pletina en los que van los tornillos mencionados son avellanados.

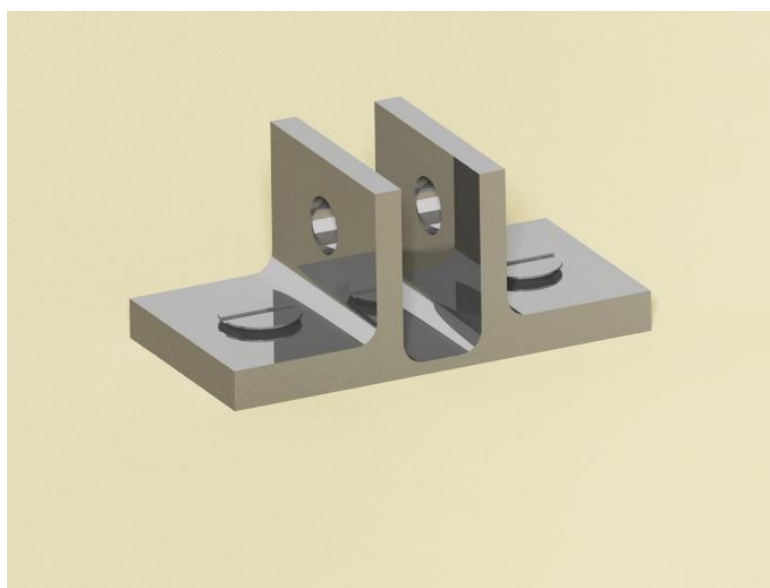


Ilustración 5-72: Fijación para una riostra soporte del eje de una hélice

5.4.2 Struts



Ilustración 5-73: Riostra

Entre cada una de las fijaciones y su equivalente superior se sitúan las riostras, que están formadas por un listón de madera, dos piezas metálicas y dos cabos. Como se puede apreciar en la Ilustración 5-73, el listón de madera se ensancha por la parte central. En ambos extremos se insertan las piezas con las que se conectará a las fijaciones, quedando estas piezas atadas con cabos a la riostra.

Al no estar las fijaciones orientadas de manera completamente vertical, las riostras tienen una pequeña inclinación, siendo su dirección distinta a la del eje z . Además, al no existir la misma distancia entre todas las fijaciones inferiores y sus equivalentes superiores, ha sido necesario modelar un total de 6 variantes. Esto se debe a que, por ejemplo, en los extremos de los largueros delanteros, el estrechamiento del mismo hace que las fijaciones se sitúen con mayor distancia. Otro motivo es que algunas de las riostras tienen agujeros por el que pasarán unos tirantes, como se comentará en el apartado 5.5.

Para el modelado las riostras no se ha usado, por lo comentado anteriormente, la longitud fija que aparecía en los planos. Por el contrario, se ha modelado concienzudamente para que su longitud fuera ajustable y, una vez situada cada variante, se ha modificado de tal forma que se respetaran las tangencias entre la riostra y la fijación. De esta forma, se ha asegurado que no quede ninguna interferencia ni hueco entre dichas partes, gracias a que tanto las dos fijaciones como el eje de la riostra estaban situadas en el mismo plano paralelo al ZX , mientras el cilindro de la fijación quedaba totalmente perpendicular al mismo. Esto puede verse con mayor claridad en la Ilustración 5-74.



Ilustración 5-74: Conexión de una riostra con su fijación

En la Ilustración 5-74 se puede ver, además, el extremo de la riostra con mayor detalle. La pieza metálica queda parcialmente insertada en el listón, introduciéndose completamente tras la curva que forma en la parte inferior de la imagen. El cabo se adapta mediante tangencias a ambas formas, creando una espiral con esa forma particular. Esto se ha conseguido modelar de la misma forma que el alambre enrollado de los extremos de los largueros, como ya se explicó en el apartado 5.2.3.

Una vez colocadas y ajustadas las longitudes de las diferentes versiones de riostra, quedaría la estructura del ala montada, faltando únicamente por añadir los tirantes. El ala en este estado queda tal y como se ve en la Ilustración 5-75.

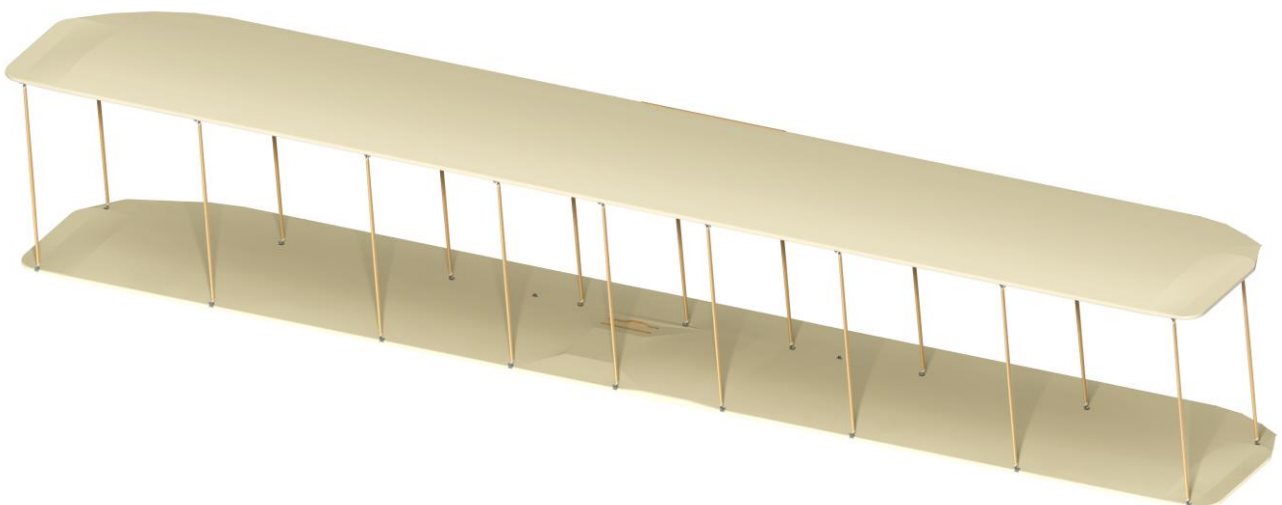


Ilustración 5-75: Conjunto alar sin tirantes

5.5 Wing Trussing (B10)

Los tirantes son alambres de acero que, al igual que las riostras, sirven como elemento estructural. Además, se colocan también entre las fijaciones de dichas riostras, aunque en este caso trazando diagonales.

Aparte de estos tirantes en diagonal, la aeronave también lleva unos alambres horizontales que atraviesan diferentes riostras, así como a unos listones de madera, como se verá más adelante.

Tal y como se aprecia en la Ilustración 5-76, los tirantes en diagonal forman un lazo en cada uno de sus extremos, por el cual se introducirá luego la fijación. Para que no se pierda dicha forma, existe un refuerzo de estaño que va soldado uniendo las dos partes del alambre. Finalmente, el extremo sobrante de alambre se dobla ligeramente hacia el exterior para ayudar a impedir el desplazamiento del mismo.

Cabe recordar que los agujeros que existen en los extremos de las fijaciones, los cuales también se pueden ver en la Ilustración 5-76, tienen como función impedir que los tirantes y las riostras se zafen de su correspondiente fijación. Esto se consigue introduciendo por ellos unos alambres, aunque estos no aparecen en los planos.

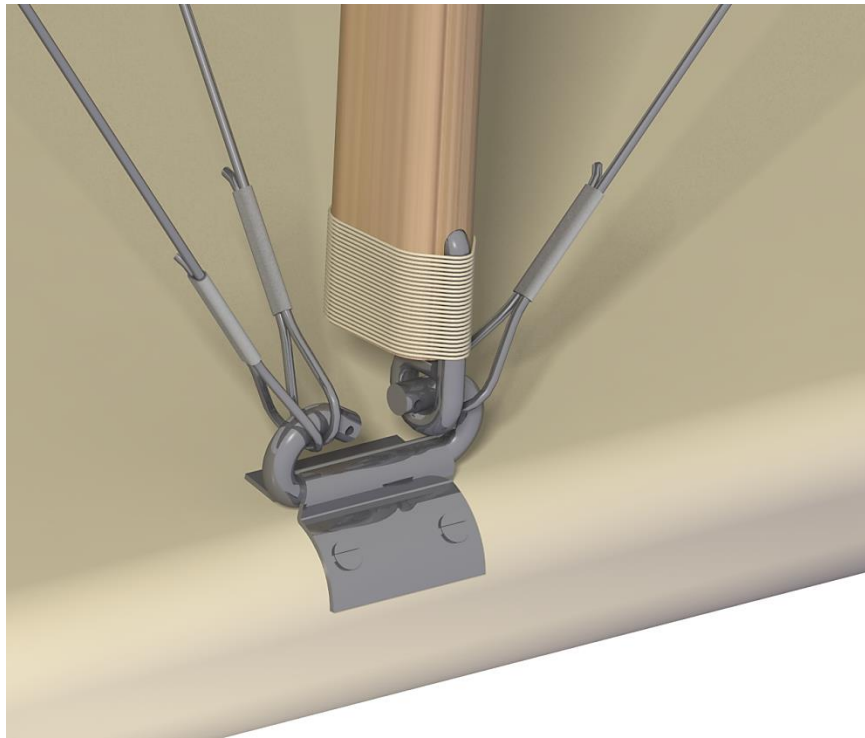


Ilustración 5-76: Fijación con una riostra y tirantes

Al igual que las riostras, estos tirantes han sido modelados para permitir cambios rápidos en su longitud, ya que existen diferentes distancias entre las fijaciones. Hay un total de 29 tirantes en diagonal, habiéndose modelado 18 variantes según su longitud. De estos 29 tirantes, 16 se sitúan entre las fijaciones de los largueros delanteros, como se aprecia en la Ilustración 5-77. En la parte trasera, por el contrario, solo se sitúan 8 tirantes, entre las fijaciones centrales. Se ha decidido elegir esta vista para mostrar con claridad la disposición de los tirantes, ya que, dada la cantidad existente de estos, otras vistas tridimensionales inducen a la confusión.

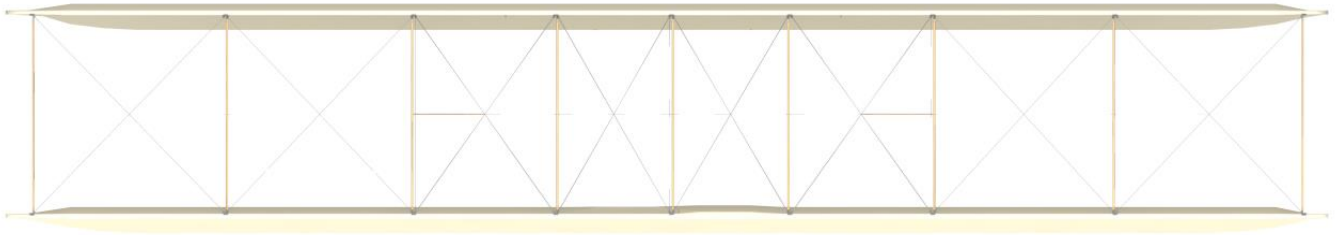


Ilustración 5-77: Alzado del conjunto alar

Los cinco alambres restantes se sitúan entre los largueros delanteros y los traseros. Cuatro de ellos se colocan entre las fijaciones que están sobre las pletinas de unión y el último se sitúa entre las centrales. La disposición de estos puede verse en la Ilustración 5-78.

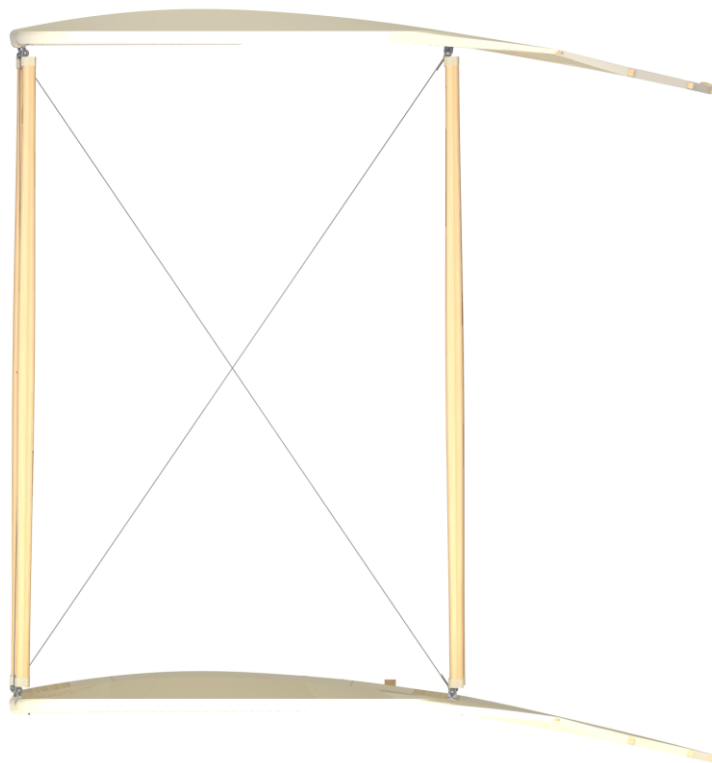


Ilustración 5-78: Perfil del conjunto alar

Existen dos alambres horizontales de menor diámetro que cruzan los alambres en diagonal. Uno de estos se sitúa en la parte delantera y el otro en la trasera. El alambre delantero se dispone entre los cruces de los alambres de los extremos y pasa por todos los cruces restantes. En cada uno de los cruces, cada conjunto de tres alambres se ata con un cuarto alambre. Dada la particularidad de este nudo, se ha decidido no modelarlo, debido a que el modelado no queda como en la realidad.

Este alambre horizontal atraviesa además todas las riostras por las que pasa, por lo que estas llevan un taladro de diámetro superior al del alambre. Además, en cada riostra se sitúan dos arandelas, mientras que sobre el alambre se enrolla otro y se suelda. Esto impide el desplazamiento lateral del alambre horizontal. Esto puede verse en la Ilustración 5-79.



Ilustración 5-79: Alambre horizontal atravesando a una riostra

El alambre horizontal trasero discurre entre las riostras de manera similar, aunque, a diferencia del delantero, empieza y termina en una de ellas. Un listón acompaña al alambre en cada extremo, desde la correspondiente riostra hasta el siguiente cruce de alambres en diagonal. Este listón se puede ver en la Ilustración 5-80, en la que se ve, además, que tiene una forma que se adapta al cruce de los alambres.

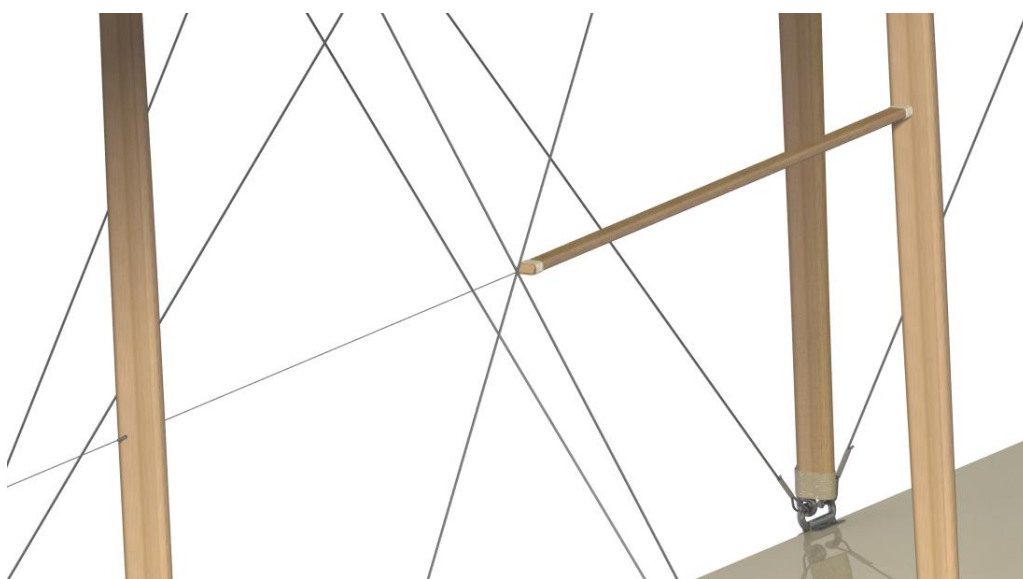


Ilustración 5-80: Listón del alambre horizontal trasero

En la Ilustración 5-81 se muestra uno de los extremos del alambre horizontal, sobre el cual también se ha soldado un alambre enrollado para impedir su desplazamiento. Además, en esta misma imagen se puede apreciar cómo existe una hendidura bajo el listón por el cual pasa el alambre. Esto explica también el motivo de los cabos amarrados en torno al listón.

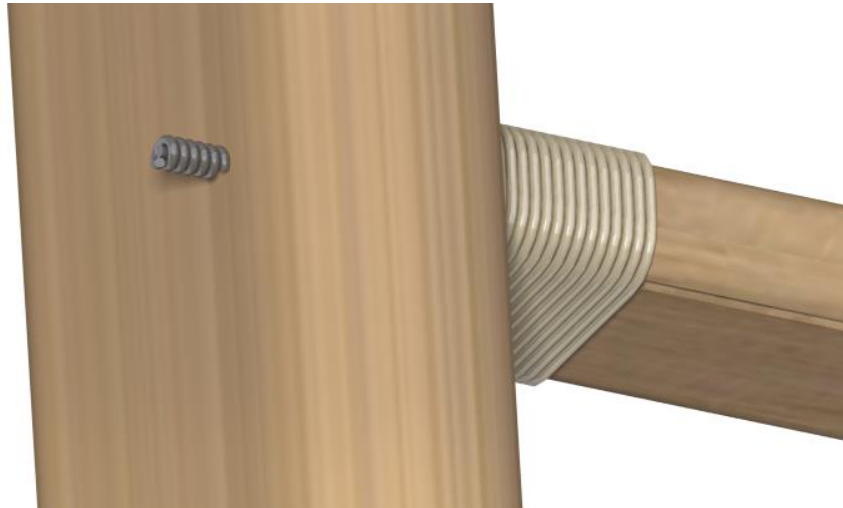


Ilustración 5-81: Extremo del alambre horizontal trasero

Finalmente, en la Ilustración 5-82 se muestra con el mayor detalle posible cómo quedaría el conjunto alar completo.

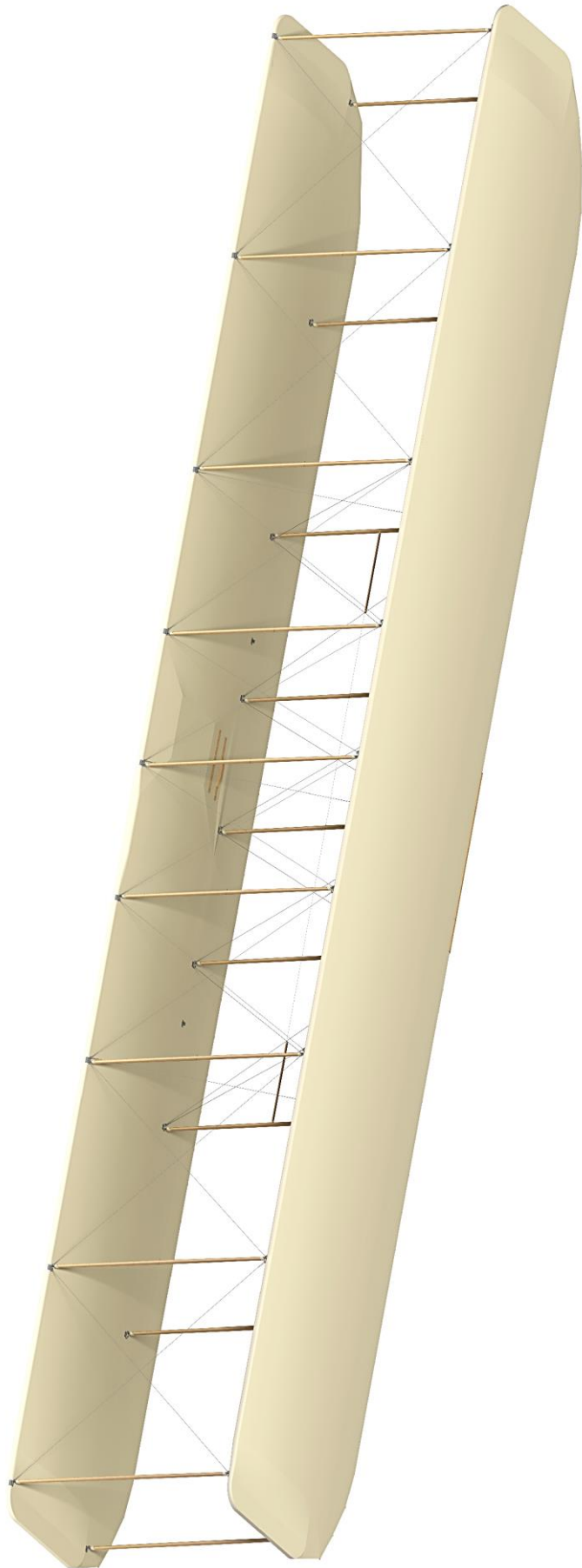


Ilustración 5-82: Conjunto alar

6 COMPARACIÓN DEL MODELO CON EL AVIÓN REAL

*El diseño gráfico no es lo que ves, sino lo que debes
hacer que otras personas vean*

Edgar Degas

En este apartado se usarán algunas fotografías del *Flyer I*, tanto históricas como actuales, para comparar los renders del modelo en *CATIA* con el avión original. En estos ejemplos se podrá comprobar el parecido y las diferencias entre ambas partes.

No obstante, debido a que dicho modelo se ha realizado a partir de los planos, hay algunas diferencias entre el modelo y la aeronave. Estas se pueden deber a diferentes cuestiones que se detallarán a continuación.

Por un lado, se deben a cuestiones de la propia construcción, que no tenía la precisión de la fabricación actual. En relación con ello, también cabe decir que los planos tuvieron que crearse para mostrar las dimensiones de muchos elementos que se repetían, pero que en realidad diferían un poco en las medidas. Un ejemplo de esto son las costillas de un mismo tipo. Por otro lado, se debe a decisiones de modelado o a partes no completamente detalladas en el plano. Un ejemplo serían los alambres de las fijaciones de las riostras que impiden que se salgan estas, los cuales no aparecían en los planos.

A continuación se mostrarán las imágenes comparativas, ilustrando algunos de los elementos modelados de los cuales se han encontrado fotografías reales pertenecientes *NASM*.

En primer lugar, en la Ilustración 6-1 Ilustración 6-1se muestra el lado izquierdo de una de las alas, con el recubrimiento superior quitado. La principal diferencia se encuentra en los bolsillos, que en el modelo están situados un poco más cerca del borde de ataque. Esto se debe a que en los planos no se daban las medidas necesarias para situar de manera inequívoca estos bolsillos. Por ello, se optó por situarlo de manera que cubriera a todos los bloques intermedios.



Ilustración 6-1: Comparación del lado izquierdo de un ala real (38) con su modelo

En la Ilustración 6-2, se comparan las fijaciones de las riostras y tirantes. El modelado de la cadena se ha realizado en otro de los proyectos relacionados, motivo por el cual no aparece en la imagen del modelo de *CATIA*.

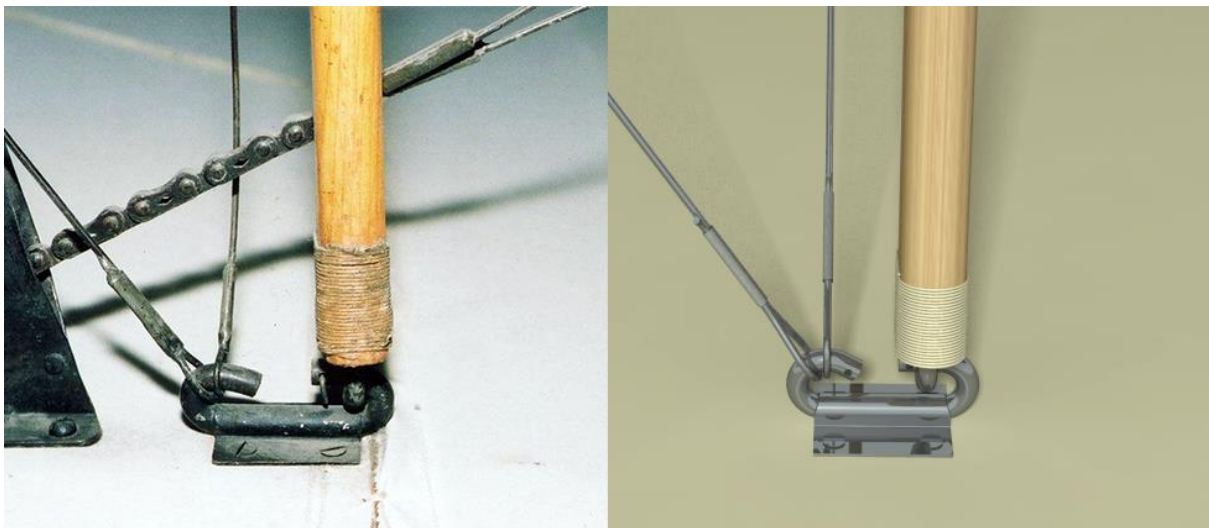


Ilustración 6-2: Comparación de la fijación de una riostra real (38) con su modelo

El alambre que atraviesa las riostras, así como la arandela y el alambre enrollado y soldado que lleva, se muestra en la Ilustración 6-3.



Ilustración 6-3: Comparación del alambre horizontal real (38) con su modelo

Finalmente, en la Ilustración 6-4, se compara la estructura de riostras y tirantes del ala, así como del conjunto alar en general. Aparecen diferencias importantes debido a que el modelado de muchos elementos es objetivo de otros proyectos.

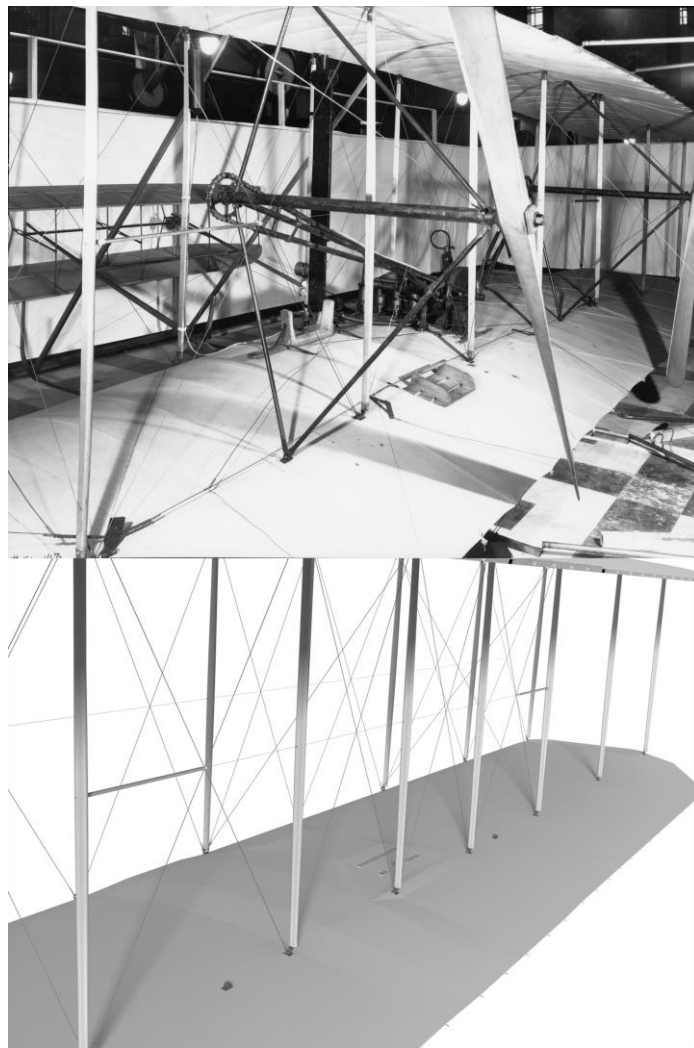


Ilustración 6-4: Comparación del conjunto alar real (38) con su modelo

7 CONCLUSIONES

Una vez hayas volado, caminarás por la tierra mirando al cielo, donde estuviste y donde tardarás en volver

Leonardo da Vinci

Son muchas las conclusiones que se pueden extraer de este proyecto, así como los usos que se le pueden dar a este modelo del conjunto alar del *Flyer I*. Durante el proceso de creación de este trabajo, ya sea creando el modelo en *CATIA V5* o leyendo sobre la historia de la aviación, se han adquirido muchos conocimientos generales que ahora permiten obtener una visión del proyecto muy diferente a aquella que se tenía al principio del mismo.

Si se hubiera comenzado ahora este trabajo, se podría reducir en gran medida el número de errores cometidos y el tiempo invertido en él.

En este apartado se expondrán las conclusiones obtenidas de la realización de este trabajo, así como el futuro del mismo y los posibles usos del modelo. También se explicará la evolución que siguió este diseño de alas, y cuáles son las principales similitudes y diferencias con las actuales.

7.1 Mejoras

En primer lugar cabría destacar la propia posible mejora del modelo. A pesar de haberse realizado de la mejor manera posible, la experiencia ayuda a encauzar el modelado desde el principio, reduciendo el tiempo de realización y obteniendo mejores resultados.

En relación al recubrimiento de la estructura del ala, por ejemplo, cabría decir que se ha modelado sin tener un profundo conocimiento sobre todas las herramientas relativas al trabajo con superficies, así como sin disponer de mucha experiencia trabajando con estas.

Además, en el tramo final del trabajo, una vez estaba montado el conjunto alar casi al completo, el rendimiento de *CATIA* cuando se intentaba mover la vista mostrando todo el ala dejaba que desear. Sin embargo, donde más se notó esta caída de rendimiento fue en el renderizado. Aunque renderizar el modelo completo demoraba igual que al principio del proyecto, al hacer zoom sobre ciertos detalles pequeños el tiempo de renderizado se disparaba, lo que ha dificultado la creación de algunas ilustraciones. Esto es hasta cierto punto comprensible teniendo en cuenta que el ordenador de trabajo no tenía una tarjeta gráfica potente, y que el modelo contaba con miles de elementos.

También se podría mejorar el modelo añadiendo otros elementos que no se han modelado, ya sea por no aparecer en los planos o por decisiones ya justificadas. Aquí entrarían principalmente algunos nudos de

cordeles y alambres.

Por lo comentado anteriormente, hay que reconocer que el modelo puede mejorarse y ser optimizado para ocupar menos espacio en disco.

7.2 Nuevos planos

Una de las conclusiones más claras que se puede sacar de este proyecto es, sin duda, la creación de un nuevo set completo de planos. Quedaría repetitivo volver a reseñar todos los errores encontrados en los planos durante su implementación en *CATIA*.

Además, estos errores no son exclusivos del conjunto de hojas que se han representado en este trabajo, sino que ha sido un tema comentado entre todos los compañeros que están modelando el resto de partes.

Es por ello por lo que se hace necesaria la creación de una nueva versión actualizada de los planos con los errores, sobreacotaciones y discrepancias corregidas.

Una forma rápida de crear estos planos sería a partir de los diferentes modelos creados. Sin embargo, dado que para modelarlos se han tenido que tomar decisiones en algunas medidas, lo más conveniente sería que se crearan de nuevo a partir del avión original.

Por lo tanto, lo aconsejable sería que el *NASM* se dispusiera a crear los planos en la próxima oportunidad, la cual posiblemente sería durante un trabajo de mantenimiento o restauración a la aeronave. Además, las medidas deberían ser tomadas con herramientas de medición precisas, siendo inasumibles algunos de los rangos de errores que existen en los planos actuales.

7.3 Reconstrucción

Uno de los usos que se le puede dar al futuro modelo completo del *Flyer I* sería el de usarlo como base para ayudar a una posible reconstrucción del modelo original, o a la construcción de una réplica, ya sea a tamaño real o a escala.

En este caso se podría usar para consultar las diferentes partes que tiene y las relaciones entre ellas. Al ser más intuitivo, se comprendería mejor toda la estructura que mirando los planos exclusivamente.

Aunque también se podría medir las distancias entre las partes, en este caso sería más directo usar los planos. Sin embargo, como se dijo en el apartado 7.2, estos planos tendrían que ser revisados y corregidos para poder ser usados correctamente.

7.4 Cultura

Otro de los usos que se le podría dar sería el cultural, en los campos de educación e historia.

En el ámbito educativo, el modelo serviría para conocer de manera más directa al primer avión que logró volar. Los alumnos podrían interactuar con el modelo para ver cada detalle desde las vistas elegidas.

También tendría este modelo importancia histórica, ya que en él se contendría abundante información relevante acerca de esta aeronave tan importante. Es una forma de perpetuar esta importante construcción y de actualizar su información en un formato actual.

7.5 CATIA V5

Sobre el software usado, *CATIA V5*, cabría puntualizar dos hechos relevantes.

En primer lugar, el aprendizaje del mismo. El tiempo dedicado a este trabajo y a rehacer y a corregir fallos ha dado como fruto un aprendizaje más profundo de *CATIA*. Sin embargo, dada la magnitud de este programa, la

sensación que da es la de estar arañando solo la superficie de todo su potencial. Es por ello por lo que queda muchísimo por aprender de este software, y parece que nunca se llegará a dominar del todo.

En segundo lugar cabe destacar *CATIA V5* como una herramienta muy potente, ya que ha demostrado gran precisión representando elementos diferentes y de tamaños muy diversos.

7.6 Computational Fluid Dynamics (CFD)

Un importante uso que se le puede dar al modelo es el probarlo en un túnel de viento computacional, es decir, usando la CFD (Computational Fluid Dynamics). Esto es posible importando el modelo de *CATIA V5* a algún programa para estudiar su aerodinámica, como puede ser el software *Fluent* de *ANSYS*. Un ejemplo de esto se muestra en la Ilustración 7-1: Ejemplo de análisis en *Fluent* Ilustración 7-1.

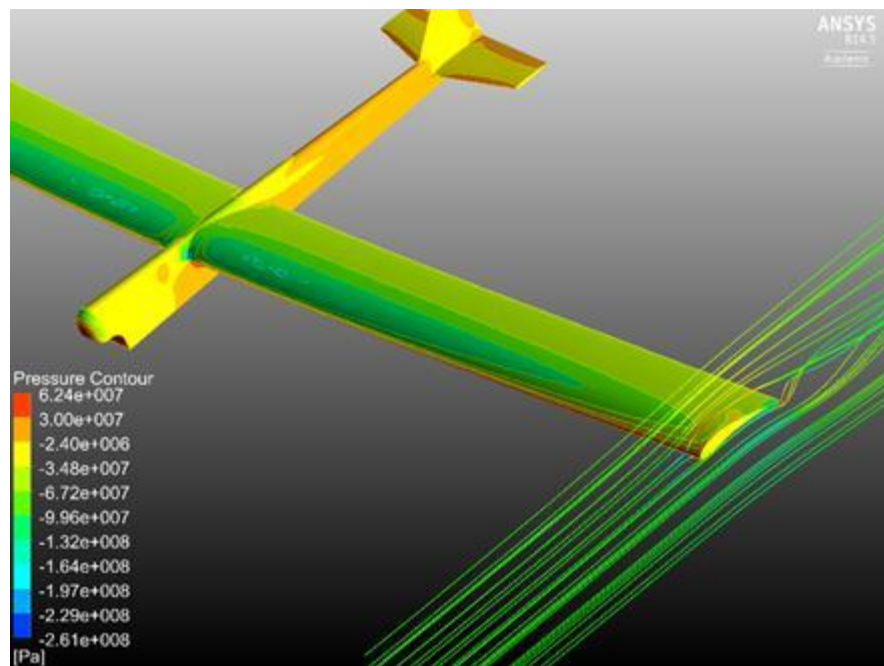


Ilustración 7-1: Ejemplo de análisis en *Fluent* (52)

Esto se pensó hacer como ejemplo para este trabajo, aunque se desistió debido a las complicaciones y a la falta de tiempo. Además, era algo opcional que se salía de los objetivos principales del trabajo.

Otra opción, es la de usar una herramienta creada conjuntamente por *ANSYS* y *Dassault Systèmes* en la que se permite el uso de *Fluent* dentro de la interfaz de *CATIA V5*.

Existen también otras herramientas de CFD que funcionan dentro de la interfaz de *CATIA V5*. Una de ellas, llamada *FloE*, se muestra en la Ilustración 7-2 a modo de ejemplo.

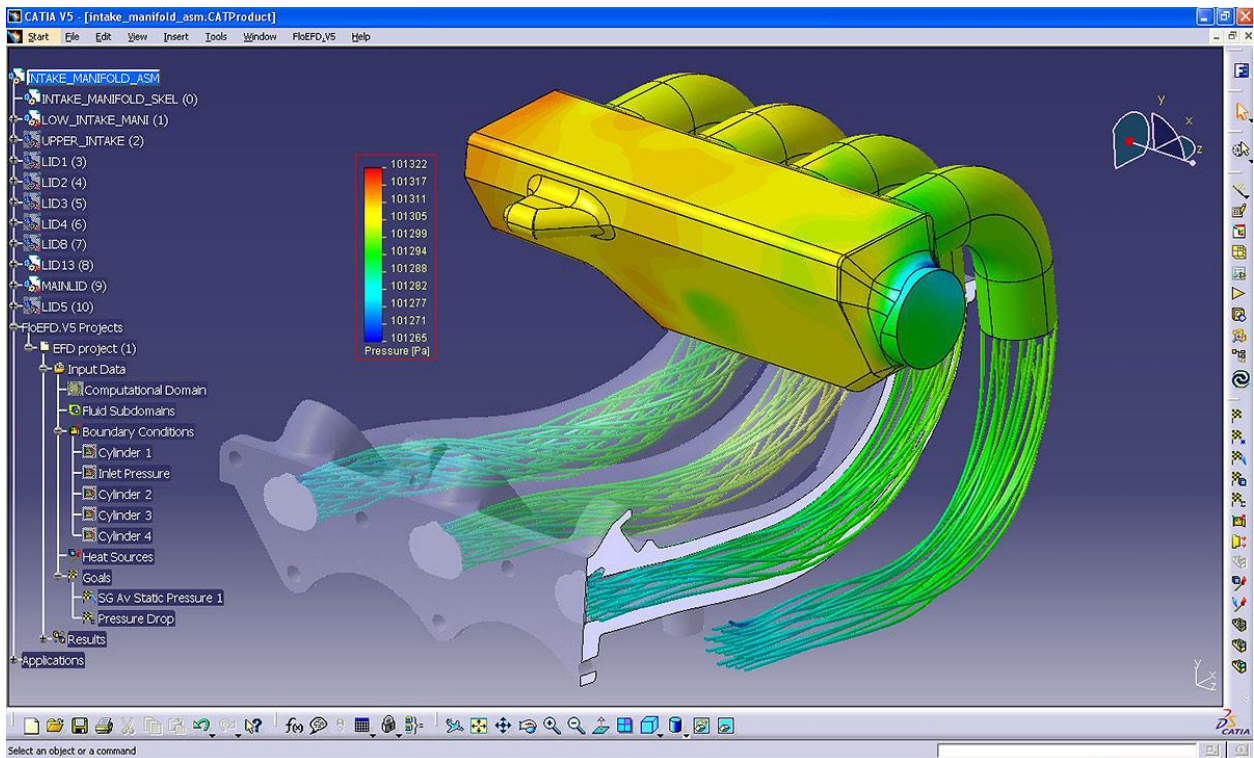


Ilustración 7-2: Uso de *FloEFD* dentro de la interfaz de *CATIA V5* (53)

7.7 Evolución del ala

Otro aspecto a destacar de este trabajo es la forma que tiene este modelo. El *Flyer I* era un biplano, como muchos de los aviones que fueron apareciendo posteriormente, un diseño que ha quedado relegado a campos especiales como el acrobático. Entre las similitudes que podemos encontrar con un ala actual estaría la estructura de costillas y largueros. Es, hasta cierto punto, sorprendente la similitud entre la estructura alar del *Flyer I* con la de un avión actual, salvando las diferencias obvias de tecnología. En contraposición, estaría esta configuración de biplano, que ha quedado en un segundo plano desde hace muchos años. La razón de ello se explicará a continuación.

En los primeros años de “la historia de la aviación, los únicos materiales disponibles para estructuras livianas eran la madera y la tela”, como es el caso del *Flyer I*. Aunque los primeros planeadores podían mantener una configuración de monoplano, “Octave Chanute llegó a la conclusión de que el vuelo con motor era más plausible con la configuración de biplano”. (54)

“Durante la Primera Guerra Mundial, los biplanos dominaron los cielos. Con el aumento de potencia de los motores, también apareció el uso de metal en las alas. No fue hasta inicios de la década de los treinta que los biplanos iniciaron su decadencia debido al bajo rendimiento final que alcanzaban a pesar de lo potente que fuera el motor”. (54)

Inicialmente se puede llegar a pensar que que un biplano proporciona el doble de sustentación al contar con dos superficies alares. Sin embargo, “el flujo de aire que pasa entre ellas proporciona una sustentación que no pasa más allá de un veinte por ciento de lo que proporcionaría un monoplano similar”. (54)

“Estos pares de alas no son estructuralmente fuertes, por lo cual necesitan soportes verticales que ayuden a soportar las fuerzas de compresión y tirantes diagonales que soporten las fuerzas de tensión. Estos grupos de elementos estructurales, que no proporcionan sustentación, así como la interacción de los flujos de aire entre los dos grupos de alas, terminan generando una resistencia al avance que afecta negativamente al avión”. (54)

Estos son los motivos de peso que llevó a esta evolución del ala. Cuando se consiguió un monoplano con una estructura metálica resistente, se redujo la resistencia que proporcionaban todos los elementos de refuerzos anteriores, que no era nada despreciable.

7.8 Futuro del proyecto

Por último, es necesario hablar del futuro del proyecto conjunto.

Dado que este trabajo se engloba dentro de un proyecto mayor, el siguiente paso de este modelo sería el de la integración con el resto de modelos para formar el avión completo.

Como ya se ha comentado en varias ocasiones, los errores en los planos ocasionarán, posiblemente, que las diferentes partes no terminen de encajar con exactitud. Cuando se ha visto alguna discrepancia que pudiera afectar al ensamblaje con otras partes de la aeronave, se han tomado decisiones para reducir los futuros errores al mínimo. Por ejemplo, se ha hecho uso de parámetros para situar unos anclajes del timón de dirección, cuyas distancias al centro de la aeronave presentan discrepancias.

Sin embargo, es muy posible que la futura persona encargada de ensamblar todo el conjunto tenga que realizar cambios en algunas de las partes para que todo encaje perfectamente.

Una recomendación para dicho proyecto conjunto sería la que contar con un ordenador que tenga una tarjeta gráfica potente, ya que el número de elementos será muy grande. Cabe recordar que solo en el modelo del conjunto alar hay varios miles de clavos.

Finalmente, quedaría desear que este proyecto siga adelante y poder disfrutar pronto de su resultado.

REFERENCIAS

1. **National Air and Space Museum.** Wright Airplane, 1903. *1903 Wright Flyer Drawings*.
2. **Radford, Tim.** Stephen Hawking and Yuri Milner launch \$100m star voyage. *The Guardian*. Abril 12 , 2016.
3. **Chaur Bernal, Jairo.** *Diseño conceptual de productos asistido por ordenador : Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa*. 2005. ISBN 8468931527.
4. Introducción al CAD/CAM. *Lenguaje de ingeniería*. [Online] <https://lenguajedeingenieria.files.wordpress.com/2013/02/introduccion3b3n-al-cad-cam.pdf>.
5. **Aguilar Rivera, Óscar.** Manual de prácticas para diseñar, programar y maquinar piezas en una máquina CNC de 4 ejes. [Online] 2015. <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/41515/1/AguilarRiveraOscar.pdf>.
6. **Albarrán Ligero, Justo.** Fundamentos del KBE (Knowledge Based Engineering). Aplicación a diseño de engranajes de ejes paralelos con CATIA V5. [Online] <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4483/>.
7. *Industrial Data*. **Instituto de Investigación de Ingeniería Industrial de la UNMSM**. 1, 2015, Vol. 18. ISSN versión electrónica : 1810-9993 ISSN Versión impresa : 1560-9146.
8. **Guinea Peñate, Miguel.** Un estudio comparativo de las versiones 5 y 6 de la aplicación de CAD-CAM CATIA. [Online] 2010. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4789/direccion/Memoria%252F>.
9. **Baldasano, José María, Gassó, Santiago and G. Colina, Fernando.** Diseño asistido por ordenador (CAD). Evolución y perspectivas de futuro en los proyectos de ingeniería. [Online] <http://www.unizar.es/aeipro/finder/INGENIERIA%20DE%20PRODUCTOS/BF04..htm>.
10. **del Río Cidoncha, María Gloria, et al.** *El libro de CATIA V5*. s.l. : TÈBAR, 2007. ISBN: 84-7360-249-8 ISBN: 978-84-7360-249-5.
11. **Schultz, James.** *CRAFTING FLIGHT - Aircraft pioneers and the contributions of the men and women of NASA Langley Research Center*. 2003. ISBN 978-1470012083.
12. History of Kites. *Kites*. [Online] <http://kites.com/history-of-kites.html>.
13. **Ojibwa.** Ancient China: Kites. *Daily Kos*. Noviembre 25, 2012.
14. **Harunobu, Suzuki.** *Kite Flying*. Metropolitan Museum of Art, s.l. : 1766.
15. The History of the Chinese Kite. *China Highlights*. [Online] <http://www.chinahighlights.com/travelguide/culture/kites.htm>.
16. Early Attempts. *Aircraft Aerodynamics and Design Group*. [Online] <http://adg.stanford.edu/aa241/intro/history/towerjumping.html>.
17. Inventos de Leonardo da Vinci. *Tecnologías*. [Online] <http://www.tecnologias.us/LEONARDO%20DA%20VINCI.htm>.
18. **Vinci, Leonardo da.** Design for a Flying Machine, c. 1488. *Drawings of Leonardo*. [Online] <http://www.drawingsofleonardo.org/images/fly3.jpg>.
19. Hermanos Montgolfier. *Wikipedia*. [Online] https://es.wikipedia.org/wiki/Hermanos_Montgolfier.
20. The Montgolfier Brothers' Balloon. *The Museum of Flight*. [Online] <https://www.museumofflight.org/exhibits/montgolfier-brothers-balloon>.
21. Sir George Cayley. *Aeronautics Learning Laboratory for Science Technology and Research*. [Online] <http://www.allstar.fiu.edu/aero/cayley.htm>.
22. George Cayley. *Wikipedia*. [Online] https://es.wikipedia.org/wiki/George_Cayley.

23. Sir George Cayley. *Flying Machines*. [Online] <http://www.flyingmachines.org/cayl.html>.
24. Sir George Cayley's governable parachutes. *Mechanics' Magazine*. [Online] Septiembre 25, 1852. <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Governableparachute.jpg>.
25. Breve biografía de Otto Lilienthal. *Lilienthal Museum*. [Online] http://www.lilienthal-museum.de/olma/s_biog.html.
26. Fotoarchiv Lilienthal. *Lilienthal Museum*. [Online] <http://www.lilienthal-museum.de/olma/barchi.htm>.
27. **Anschütz, Ottomar**. Otto Lilienthal mit Normalsegelapparat im Flug. *Lilienthal museum*. [Online] 1894. <http://www.lilienthal-museum.de/olma/f06501f.htm>.
28. Octave Alexandre Chanute & Augustus Moore Herring. *Flying Machines*. [Online] <http://www.flyingmachines.org/chan.html>.
29. Samuel Pierpont Langley. *Flying Machines*. [Online] <http://www.flyingmachines.org/lang.html>.
30. Langley Aerodrome No. 5 In Flight. *National Air and Space Museum*. [Online] <http://airandspace.si.edu/explore-and-learn/multimedia/detail.cfm?id=5786>.
31. Langley Large Aerodrome "A". *Flying Machines*. [Online] <http://www.flyingmachines.org/langaer.html>.
32. **Renstrom, Arthur George**. *A Reissue of a chronology commemorating the hundredth anniversary of the Birth of Orville Wright - August 19, 1871*. 2003. NASA Publication SP-2003-4532.
33. **Crouch, Tom D**. *The Bishop's Boys: A Life of Wilbur and Orville Wright*. New York : W. W. Norton and Company, 1989.
34. Kiting the 1901 Wright Glider. *National Air and Space Museum*. [Online] <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/5802hjpg?id=5802>.
35. Wright 1902 Glider In Flight. *National Air and Space Museum*. [Online] <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/si10461hjpg?id=54>.
36. The 1903 Wright Flyer Piloted by Orville Wright. *National Air and Space Museum*. [Online] <http://airandspace.si.edu/explore-and-learn/multimedia/detail.cfm?id=96>.
37. **Bowers, Al**. *The Wright Brothers and the Future of Bio-Inspired Flight*. Raleigh, NC : s.n., 2007.
38. **Jakab, Peter L**. 1903 Wright Flyer - In Detail. *Smithsonian X 3D*. [Online] Smithsonian National Air and Space Museum. <http://3d.si.edu/tour/1903-wright-flyer-detail>.
39. 1903 Wright Flyer. *National Air and Space Museum*. [Online] <http://airandspace.si.edu/explore-and-learn/multimedia/detail.cfm?id=151>.
40. Interior of 1903 Wright Flyer Wing. *National Air and Space Museum*. [Online] <https://airandspace.si.edu/multimedia-gallery/5814hjpg?id=5814>.
41. Wright Flyer Flight Controls and Instruments. *National Air and Space Museum*. [Online] <http://airandspace.si.edu/explore-and-learn/multimedia/detail.cfm?id=5819>.
42. National Air and Space Museum. *Wikipedia*. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/National_Air_and_Space_Museum.
43. 1903 Wright Flyer Drawings, 1928-1986. *National Air and Space Museum*. [Online] http://airandspace.si.edu/collections/artifact.cfm?object=siris_arc_226872.
44. Wright Brothers 1903 Flyer Drawings. *National Air and Space Museum*. [Online] <http://airandspace.si.edu/files/pdf/archives/wright-brothers.pdf>.
45. Wright Flyer. *National Air and Space Museum*. [Online] <http://airandspace.si.edu/collections/archival/wright-flyer.cfm>.
46. **Torrecilla Insagubre, Eduardo**. *El gran libro de CATIA*. s.l. : MARCOMBO, 2012. ISBN: 978-84-267-1890-7.
47. Wood Screw Sizing Chart. *Jet Tools*. [Online]

http://content.jettools.com/content/jet50/wood/freebies/jet_wood_screw_chart.pdf.

48. **Yin, Kerina.** Aircraft dihedral angle. *Wikimedia Commons*. [Online]
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aircraft_dihedral_angle.svg.

49. Begineer's Introduction to Flight Simulator School. *Computer Pilot Academy*. [Online]
http://www17.plala.or.jp/fox17/control_ENG.jpg.

50. Lebanese Students Overcome Many Challenges to Build an Unmanned Aircraft. *ANSYS Blog*. [Online]
<http://www.ansys-blog.com/wp-content/uploads/2014/10/image016.jpg>.

51. FloEFD CATIA V5. *Mentor Graphics*. [Online]
<https://www.mentor.com/products/mechanical/floefd/floefd-catia-v5/>.

52. Biplano. *Wikipedia*. [Online] <https://es.wikipedia.org/wiki/Biplano>.

