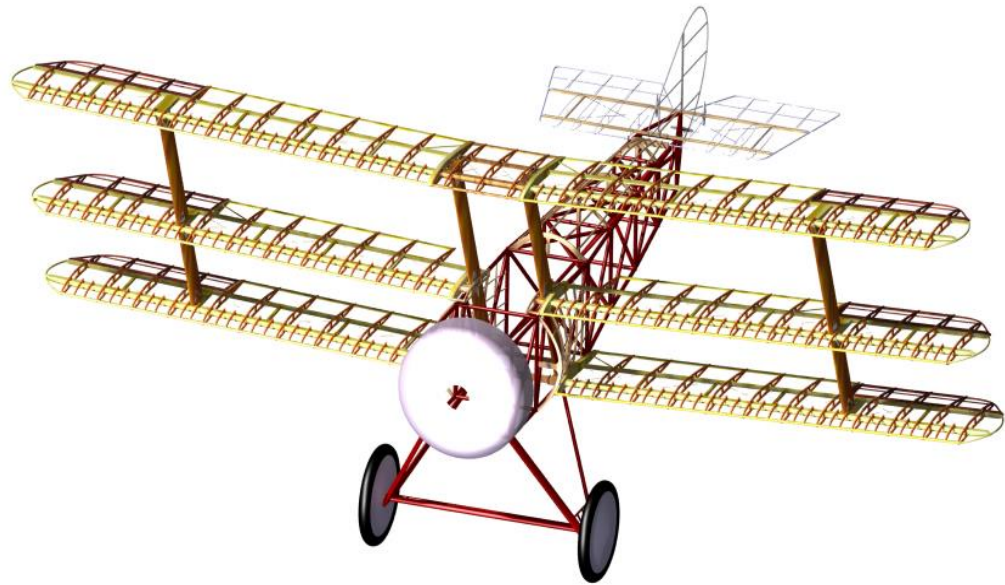


Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Aeroespacial



Recreación Virtual y Modelado del Avión Triplano Sopwith en CATIA V5 R19. Recuperación del Patrimonio Histórico.

Autor: Francisco Molero Garrido

Tutora: Laura García Ruesgas

**Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla**

Sevilla, 2016



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

Recreación Virtual y Modelado del Avión Triplano Sopwith en CATIA V5 R19. Recuperación del Patrimonio Histórico.

Autor:

Francisco Molero Garrido

Tutora:

Laura García Ruesgas

Profesora colaboradora

Departamento de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2016

Proyecto Fin de Carrera: Recreación Virtual y Modelado del Avión Triplano Sopwith en CATIA V5 R19. Recuperación del Patrimonio Histórico.

Autor: Francisco Molero Garrido

Tutora: Laura García Ruesgas

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 familia.

A mis amigos.

Agradecimientos

Como se dice: “Lo bueno, si breve, dos veces bueno.”

Agradezco a mi familia y amigos ese apoyo y amor incondicional ante todo tipo de situaciones.

Gracias a mi tutora por guiarme y corregirme.

Resumen

El objetivo de este proyecto es la digitalización de patrimonio histórico y la conservación de éste en caso de que los modelos físicos desaparezcan. Se pretende obtener una réplica digital del avión de la primera guerra mundial Triplano Sopwith.

Otro objetivo secundario es el aprendizaje y familiarización con el entorno CATIA V5 R19.

Abstract

The aim of this project is the historic heritage digitization and its conservation just in case physical models disappear. A digital replica of First World War plane, Triplane Sopwith, is expected to be obtained.

Another secondary objective is learning and familiarization with the CATIA V5 R19 environment.

Índice

Agradecimientos	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice	ix
Índice de Tablas	xii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Ecuaciones	xviii
1. INTRODUCCIÓN	20
1.1. <i>OBJETIVO DEL PROYECTO.</i>	20
1.2. <i>HISTORIA DEL CAD</i>	21
1.2.1. <i>HISTORIA DE CATIA</i>	21
1.3. <i>HISTORIA DE LA AVIACIÓN EN EL CONTEXTO DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL.</i>	25
1.4. <i>HISTORIA DEL TRIPLANO SOPWITH.</i>	31
2. MODELADO DE LAS PARTES DEL AVIÓN.	36
2.1. <i>CATIA V5 R19. MÓDULOS. ÓRDENES MÁS UTILIZADAS.</i>	36
Part Design:	36
Assembly Design:	38
Wireframe and Surface Design:	39
2.2. <i>PLANOS, MATERIAL DE REFERENCIA Y ANOTACIONES PARA EL MODELADO.</i>	40
2.3. <i>MODELADO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.</i>	41
2.4. <i>MODELADO DEL TIMÓN DE PROFUNDIDAD.</i>	46
Estabilizador.catpart:	47
Elevador.catpart:	50
Mangueta.catpart (2)	51
Bisagra.catproduct (4):	52
Uniondetimondeprofundidadconestructurafuselaje.catpart	54
2.5. <i>MODELADO DEL TIMÓN DE DIRECCIÓN.</i>	55
Timondedireccion1.catpart (1):	55
Timondedireccion2.catpart (1):	56
Bisagra.catproduct (2):	56
Mangueta.catpart (1):	56
2.6. <i>MODELADO DE "MONTANTES CON LISTONES Y COSTILLAS".</i>	58

Montantes.catpart (1)	60
Costillas_con_listones_para_montantes_inferior.catpart (1)	61
Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart (1)	63
Costillas_para_parte_superior.catpart (3)	63
Conexión_ala_de_en_medio.catpart (1)	64
Costilla_para_conexion_de_en_medio.catpart (1)	65
Symmetry_of_conexion_ala_de_en_medio.catpart (1)	66
Symmetry_of_Costilla_para_conexion_de_en_medio.catpart (1)	66
2.7. MODELADO DE LAS ALAS.	67
Ala superior	67
Ala inferior:	78
Ala del medio:	79
2.8. MODELADO DE TREN DE ATERRIZAJE.	80
tren_de_aterrizaje_1.catpart: formado por diferentes partes o elementos.	80
tren_de_aterrizaje_2.catpart: Segunda parte del tren que modela las ruedas y la barra que las une.	82
2.9. MODELADO DE UNIONES ENTRE PARTES ESTRUCTURALES.	85
2.9.1. ENSAMBLAJE DE TIMÓN DE PROFUNDIDAD CON ESTRUCTURA DE FUSELAJE.	85
2.9.2. ENSAMBLAJE DEL TIMÓN DE DIRECCIÓN CON ESTRUCTURA DEL FUSELAJE.	87
2.9.3. ENSAMBLAJE DEL TREN DE ATERRIZAJE CON ESTRUCTURA DEL FUSELAJE.	88
2.9.4. ENSAMBLAJE DE MONTANTES CON LISTONES Y COSTILLAS CON ESTRUCTURA DEL FUSELAJE.	89
2.9.6. ENSAMBLAJE DE ALAS CON “MONTANTES CON LISTONES Y COSTILLAS.CATPRODUCT”.	94
2.9.7. ENSAMBLAJE DE MONTANTES AUXILIARES CON GRUPO ALAR.	98
2.10. TRIPLANOSOPWITH.catproduct	99
La estructura del fuselaje (1):	99
Para el timón de profundidad (2)	99
El timón de dirección (3)	99
Montante con listones y costillas (4)	99
Mitad de ala 1 y 3 (5), Mitad de ala 1 y 3 (6)	99
Simétrico de mitad de ala 1 y 3 (7), Simétrico de mitad de ala 1 y 3 (8)	99
Mitad de ala 2 (9)	100
Simétrico de mitad de ala 2 (10)	100
Bisagra de timón de dirección (11) y otra bisagra de timón de dirección (12)	100
Elementos de unión entre montantes y listones superior (13), inferior (14) y de en medio (15)	100
Barrote (16) para conexión de ala de en medio	100
Montantes auxiliares (17)	100
Uniones (18) de “montantes con listones y costillas” con la estructura del fuselaje	100
Uniones de montantes auxiliares con grupo alar (19) (20) (21)	100
Tren de aterrizaje (22)	100
3. CONCLUSIONES	102
4. FUTURAS AMPLIACIONES	103
5. ANEXO DE PLANOS	104
5.1. PLANO 1	104
5.2. PLANO 2	105
5.3. PLANO GENERADO DESDE CATIA.	106

REFERENCIAS	107
<i>ARTÍCULOS</i>	<i>107</i>
<i>PÁGINAS WEBS</i>	<i>107</i>

Índice de Tablas

Tabla 1. Tabla de especificaciones de triplano Sopwith de la version N500.

35

Índice de Figuras

Ilustración 1. Ingenieros de Dassault Systèmes probando uno de sus primeros paquetes CAD.	21
Ilustración 2. Plano de la intersección de cilindros para recrear virtualmente como punto de partida de CATIA.	22
Ilustración 3. Diseño automovilístico (izq.) y diseño aeroespacial (der.) en CATIA en los años 80.	22
Ilustración 4. Entorno gráfico de CATIA V4.	23
Ilustración 5. Diseño naval en CATIA.	23
Ilustración 6. Entorno gráfico de Catia V5.	23
Ilustración 7. Motor modelado en Catia V5 para empresas automovilísticas.	24
Ilustración 8. Entorno gráfico de CATIA V6.	24
Ilustración 9. Caza británico BE 2.	26
Ilustración 10. Caza alemán Fokker Eindeckers.	26
Ilustración 11. Caza británico FE 2.	27
Ilustración 12. Caza alemán Albatros.	27
Ilustración 13. Caza británico SE 5.	28
Ilustración 14. Caza británico triplano Sopwith.	28
Ilustración 15. Caza alemán triplano Fokker.	29
Ilustración 16. Caza británico Sopwith Camel.	29
Ilustración 17. Caza alemán Fokker D VII.	30
Ilustración 18. Comparativa de tasas de velocidad de subida de varios cazas tras el azote de Fokker(1916).	33
Ilustración 19. Tasas de velocidades de giro de los cazas más importantes tras el ‘azote’ de Fokker (1916).	33
Ilustración 20. Tasas de velocidades de giro de los cazas más importantes en 1917.	34
Ilustración 21. Tasas de velocidades de subida de los cazas más importantes en 1918.	34
Ilustración 22. Tasas de velocidades de giro de los cazas más importantes en 1918.	34
Ilustración 23. Módulos y submódulos de Catia V5.	36
Ilustración 24. Perfil izquierdo del triplano Sopwith.	41
Ilustración 25. Diferentes secciones de la estructura del fuselaje del triplano Sopwith.	41
Ilustración 26. Secuencia de construcción de estructura de fuselaje mediante superficies.	42
Ilustración 27. Aplicación de Orden Sweep para crear barras de espesor constante.	43
Ilustración 28. Superficies que recubren juntas en la estructura de barras del fuselaje.	43

Ilustración 29. Barras cuadradas para unir con tren de aterrizaje	44
Ilustración 30. Estructura tubular con elementos de madera del fuselaje de una réplica del Sopwith.	45
Ilustración 31. Modelado de Estructura tubular con elementos de madera del fuselaje en Catia.	45
Ilustración 32. Vista frontal y de perfil derecho del timón de profundidad.	46
Ilustración 33. Estructura del ala, donde se pueden observar listones de sección cuadrada de madera.	46
Ilustración 34. Modelado de costilla del estabilizador en Catia.	48
Ilustración 35. Utilización de la orden extrude.	48
Ilustración 36. Utilización de la orden <i>'thick Surface'</i> .	49
Ilustración 37. Elementos de unión entre listones de madera y barra de acero del contorno (izquierda), y Modelado de los mismos (derecha).	49
Ilustración 38. Modelado de estabilizador en Catia.	50
Ilustración 39. Modelado de elevador en Catia.	51
Ilustración 40. Plano de mangueta de Fokker.	51
Ilustración 41. Modelado de mangueta en Catia.	52
Ilustración 42. Unión entre partes del timón de profundidad del triplano Fokker.	52
Ilustración 43. <i>Bisagra.catproduct</i> montada y desmontada.	53
Ilustración 44. Bisagras uniendo estabilizador y elevador.	53
Ilustración 45. Modelado del timón de profundidad en Catia.	54
Ilustración 46. Alzado (izquierda) y vista frontal (derecha) del timón de dirección.	55
Ilustración 47. Modelado del primer elemento del timón de dirección.	55
Ilustración 48. Modelado del segundo elemento del timón de dirección.	56
Ilustración 49. Modelado de timón de dirección en Catia.	57
Ilustración 50. Timón de dirección del triplano Sopwith.	57
Ilustración 51. Perfil derecho de los “montantes con listones y costillas”.	58
Ilustración 52. Planta de los “montantes con listones y costillas”.	58
Ilustración 53. Detalles de la pieza a modelar (“montantes con listones y costillas”).	59
Ilustración 54. Modelado “explotado” (izquierda) y montado (derecha) de montantes con listones y costillas.	59
Ilustración 55. Aplicación de la orden <i>'Rib'</i> , con sketches, para travesaños.	60
Ilustración 56. Modelado de los travesaños en Catia.	60
Ilustración 57. Aplicación de la orden <i>'pad'</i> .	61
Ilustración 58. Aplicación de la orden <i>'mirror'</i> .	62
Ilustración 59. Modelado en Catia de Costillas_con_listones_para_montantes_inferior.catpart	62
Ilustración 60. Modelado en Catia de Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart	63
Ilustración 61. Modelado de costillas para Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart.	

	63
Ilustración 62. Modelado de <i>Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart</i> con costillas.	64
Ilustración 63. Modelado de la conexión con ala del medio en Catia.	64
Ilustración 64. Modelado de costilla para conexión de ala del medio con montantes.	65
Ilustración 65. Modelado de elemento para conectar el ala del medio con los montantes en Catia.	65
Ilustración 66. Modelado en Catia de <i>montantes_con_listones_y_costillas.catproduct</i> .	66
Ilustración 67. Parte del plano correspondiente a las alas.	67
Ilustración 68. Modelado de la mitad del ala superior en Catia.	68
Ilustración 69. Plano de perfil aerodinámico sin agujeros.	68
Ilustración 70. Aplicación de orden ' <i>Fill</i> '.	69
Ilustración 71. Perfiles de réplica del triplano (izquierda), aplicación orden ' <i>split</i> ' (derecha).	69
Ilustración 72. Modelado de perfil aerodinámico en Catia.	70
Ilustración 73. Modelado de semi-costilla en Catia.	70
Ilustración 74. Perfiles y refuerzos del ala.	70
Ilustración 75. Modelado de refuerzo de ala en Catia.	71
Ilustración 76. Modelado de <i>barra_ala</i> en Catia.	71
Ilustración 77. Volumen macizo con sección de perfil.	72
Ilustración 78. Listones de madera en la estructura alar del triplano.	72
Ilustración 79. Prisma de madera, en las alas, para enganchar montantes auxiliares.	73
Ilustración 80. Pletina de unión entre barra y listón en ala.	73
Ilustración 81. Listón pequeño de madera en ala.	74
Ilustración 82. Elementos de unión con la pieza central.	74
Ilustración 83. Modelado de <i>Barraala2</i> en Catia.	75
Ilustración 84. Modelado en Catia de Alero del triplano Sopwith.	75
Ilustración 85. Unión de alerón con ala mediante bisagras.	76
Ilustración 86. Modelado de Barras traseras y delanteras (naranja)	77
Ilustración 87. Modelado de la mitad del ala superior en Catia.	77
Ilustración 88. Modelado del ala superior en Catia.	78
Ilustración 89. Modelado del ala superior e inferior en Catia.	78
Ilustración 90. Modelado de grupo alar en Catia.	79
Ilustración 91. Plano del tren de aterrizaje del triplano Sopwith.	80
Ilustración 92. Modelado de tren de aterrizaje del triplano Sopwith en Catia.	80
Ilustración 93. Detalle de barras centrales del tren de aterrizaje.	81
Ilustración 94. Ruedas del tren de aterrizaje.	82

Ilustración 95. Utilización de la orden Shaft para construcción de ruedas.	82
Ilustración 96. Aplicación de orden <i>'revolute'</i> para la cubierta de las ruedas.	83
Ilustración 97. Modelado del tren de aterrizaje en Catia.	83
Ilustración 98. Tren de aterrizaje de réplica Sopwith.	84
Ilustración 99. Uniones utilizadas en el encastre del avión.	85
Ilustración 100. Modelado de uniones del timón de profundidad con estructura del fuselaje.	86
Ilustración 101. Unión del timón de profundidad a la estructura.	86
Ilustración 102. Unión entre timón de dirección y fuselaje del Fokker.	87
Ilustración 103. Fotografías del timón de dirección del Sopwith.	87
Ilustración 104. Conexión entre timón de dirección y estructura del fuselaje.	88
Ilustración 105. Unión de tren de aterrizaje con estructura de fuselaje de réplica de Sopwith.	88
Ilustración 106. Modelado de uniones entre tren de aterrizaje y estructura del fuselaje en Catia.	89
Ilustración 107. Unión entre montantes con listones y costillas y estructura del fuselaje de réplica.	89
Ilustración 108. Modelado de unión entre montantes con listones y costillas y estructura del fuselaje en Catia (I).	90
Ilustración 109. Modelado de unión entre montantes con listones y costillas y estructura del fuselaje en Catia (II).	90
Ilustración 110. Plano de uniones entre montantes y listones.	90
Ilustración 111. Uniones entre montantes y listones de réplica del Sopwith (I).	91
Ilustración 112. Uniones entre montantes y listones de réplica del Sopwith (II).	91
Ilustración 113. Modelado de unión, en plano de ala superior, que ensambla montante con listón.	92
Ilustración 114. Modelado de unión, en plano del ala del medio, que ensambla montante con listón.	92
Ilustración 115. Modelado de unión, en plano del ala inferior, que ensambla montante con listón.	93
Ilustración 116. Sketch de pletina.	93
Ilustración 117. Pletina de forma cuadrada.	94
Ilustración 118. Aplicación de orden <i>pocket</i> con opción hasta superficie.	94
Ilustración 119. Encastre del avión.	95
Ilustración 120. Modelado en Catia de tacos y pletinas en el encastre.	96
Ilustración 121. Modelado de parte del encastre superior del triplano Sopwith en Catia.	96
Ilustración 122. Modelado del encastre superior del triplano Sopwith en Catia (I).	97
Ilustración 123. Modelado del encastre del triplano Sopwith en Catia (II).	97
Ilustración 124. Modelado de Grupo alar con montantes auxiliares.	98
Ilustración 125. Modelado en Catia de elementos de unión entre montantes auxiliares y grupo alar.	98

Ilustración 126. Análisis de los grados de libertad del elevador.	99
Ilustración 127. Modelado de TriplanoSopwith.catproduct sin material.	101

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Eficiencia aerodinámica.	31
Ecuación 2. Relación de aspecto de la aeronave (triplano, $K=3$).	31
Ecuación 3. Coeficiente de resistencia parásita.	31
Ecuación 4. Coeficiente de resistencia.	31
Ecuación 5. Potencia del motor (CV) dependiendo del nivel de vuelo.	32
Ecuación 6. Coeficiente de resistencia inducida.	32
Ecuación 7. Velocidad de entrada en pérdidas.	32
Ecuación 8. Factor de carga.	32
Ecuación 9. Velocidad de giro.	32
Ecuación 10. Radio de giro.	32

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO DEL PROYECTO.

El objetivo principal de este proyecto es la creación de una réplica digital del avión de la Primera Guerra Mundial, Triplano Sopwith. Para ello, se ha utilizado el entorno Catia V5 ya que por su versatilidad y robustez permite abordar la recreación de dicho avión. Se presentará un modelo que sirva como referencia a cualquier constructor amateur que desee llevarlo a cabo, realizando las pruebas de certificación necesarias, facilitando el aprendizaje, manejo y familiarización con el entorno Catia V5 R19.

Para este fin, se van a mostrar capturas de la aplicación de las órdenes de los submódulos más utilizadas en el proyecto y que han permitido dar forma al Triplano.

1.2. HISTORIA DEL CAD

El diseño asistido por ordenador siempre ha aprovechado la evolución de la ingeniería informática para incorporarla y superarse así mismo.

Comenzó con el desarrollo de los ordenadores de primera generación, pero se completó con la llegada de la cuarta generación ya que los procesadores de ésta última permitieron el desarrollo de tareas de forma paralela.

CAD supuso una revolución a nivel empresarial permitiendo el ahorro de costes. Este ahorro consistió en fabricar piezas sabiendo cómo y la cantidad de material que se iba a utilizar por lo que no se desaprovechaban recursos. Más tarde, CAD se extendió a la simulación de procesos, lo cual hizo ahorrar a las empresas tiempo que sus trabajadores perdían debido a la falta de planificación que suplió esta nueva herramienta.

Los primeros desarrollos de CAD surgieron de manera individual tanto en institutos tecnológicos como en universidades. En sus inicios, no había una conciencia del aprovechamiento de esta filosofía de diseño en el entorno empresarial. Fue en el año 1965 cuando se comercializó el primer paquete de CAD pero no se comenzó a integrar en la forma de producción hasta los años 70, cuando empresas aeronáuticas comenzaron a adquirirlo. En el año 1981 surge la empresa Dassault Systèmes de la división del equipo de ingenieros de Dassault Aviation. Esta empresa fue pionera en diseño 3D y creó paquetes de CAD que revolucionaron los sectores de producción mundial.



Ilustración 1. Ingenieros de Dassault Systèmes probando uno de sus primeros paquetes CAD.

1.2.1. HISTORIA DE CATIA

En 1981, la empresa se embarca en un proyecto de CAD orientado a la simulación 3-D, línea diferente a la seguida hasta aquel momento, la cual iba dirigida a la creación de planos 2-D y al diseño arquitectónico. A partir de este momento la historia de CATIA sigue la siguiente evolución esquemática.

El comienzo de su paquete de datos insignia CATIA (1981) se llevó a cabo con la simulación de la intersección de dos cilindros. Dassault Systèmes firma un contrato con la exitosa multinacional IBM (dedicada al desarrollo de hardware, software y consultoría). También entabla relaciones comerciales, mediante su paquete CATIA, con empresas constructoras del sector de automoción como BMW, Mercedes-Benz y HONDA.

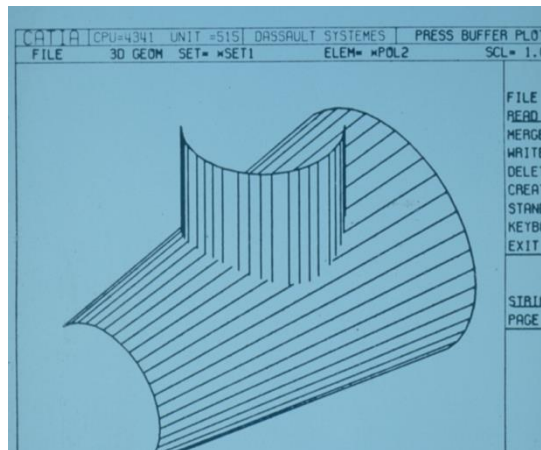


Ilustración 2. Plano de la intersección de cilindros para recrear virtualmente como punto de partida de CATIA.

En 1982 se lanza CATIA V1 orientado al modelado de superficies y a programas de control numérico. Dos años más tarde, en 1984 se lanza CATIA V2 incluyendo funcionalidades 2-D. CATIA se convierte en programa CAD líder mundial de diseño en la industria aeroespacial y Boeing comienza a utilizarlo. En 1988 CATIA se convierte en el líder mundial de diseño en la industria de la automoción y lanza la versión tres (V3) con funcionalidades AIC para diferentes plataformas.

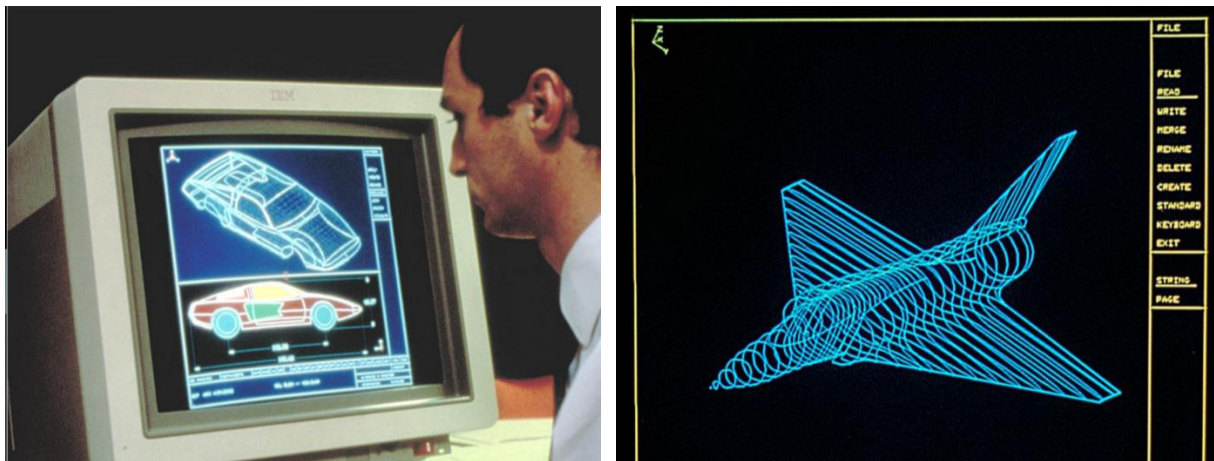


Ilustración 3. Diseño automovilístico (izq.) y diseño aeroespacial (der.) en CATIA en los años 80.

A comienzos de los noventa (1993), Dassault Systèmes lanza la versión 4 rompiendo con la antigua apariencia de sus diseños. Con esta versión se quería conseguir que el cliente tuviera una visión más realista del producto a modelar, para reducir gastos en la cantidad de prototipos físicos que tenía que fabricar.

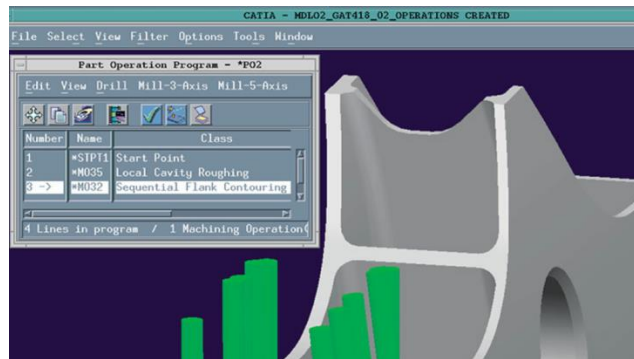


Ilustración 4. Entorno gráfico de CATIA V4.

Un año más tarde (1994), CATIA se expande a nuevos sectores industriales como el naval, la fabricación y ensamblaje, o la energía.

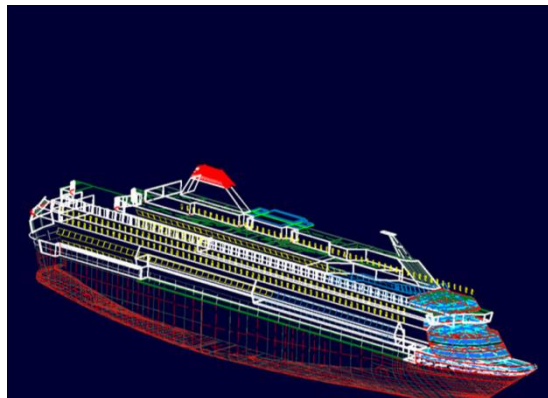


Ilustración 5. Diseño naval en CATIA.

En 1997 hay una reorganización de Dassault Systèmes en dos corrientes según las necesidades de sus clientes. Por una parte, se tiene CAD dedicado a la simulación de gestión de procesos, por lo que se crea el grupo PLM gestión del ciclo de vida de un producto. Por otra, el centrado en el diseño 3-D de productos por parte del cliente, para lo que se crea el grupo Solidwork, en el que va incluido CATIA.

Posteriormente, en 1999, se lanza la versión 5 destinada al mercado de la gestión del ciclo de vida de un producto, diseñada principalmente para salir del entorno unix y pasar a entorno windows. Se puede apreciar un nuevo entorno gráfico diferente a las versiones anteriores.

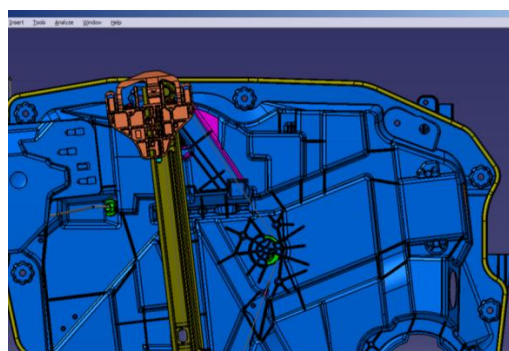


Ilustración 6. Entorno gráfico de Catia V5.

En 2000, la empresa responsable del software Catia firma un contrato con AIRBUS S.A. para el despliegue de CATIA V5.

En 2003, hay una importante firma de contratos con empresas automovilísticas y aeroespaciales comercializando CATIA V5.

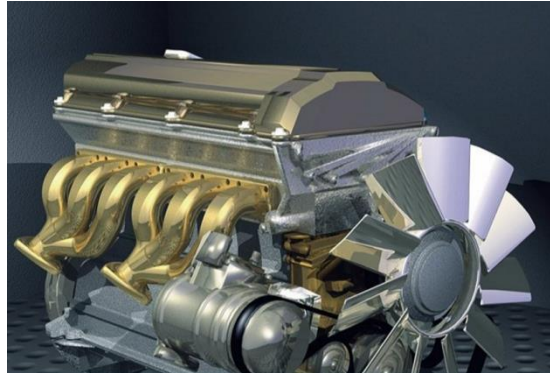


Ilustración 7. Motor modelado en Catia V5 para empresas automovilísticas.

En 2004 se llega a un acuerdo para utilizar CATIA V5 en el diseño del avión puntero 787 Dreamliner, fabricado por la empresa Boeing.

Las versiones de CATIA V5 se fueron actualizando con el paso del tiempo mediante release. La más utilizada en la Universidad de Sevilla, por su historia y su conocimiento es la R19, versión en la que se ha realizado este proyecto.

En 2013 se lanzó la última versión conocida hasta el momento, V6 con mejoras, sin contar las releases. Algunas de estas mejoras fueron simulaciones precisas del comportamiento de fibras de material compuesto, aprobación de soportes de formatos que permiten intercambiar modelos entre los diferentes sectores que utilizan CATIA, entorno gráfico y algunas más.



Ilustración 8. Entorno gráfico de CATIA V6.

1.3. HISTORIA DE LA AVIACIÓN EN EL CONTEXTO DE LA PRIMERA GUERRA MUNDIAL.

En Agosto de 1914 estalla la Primera Guerra Mundial, 10 años más tarde del primer vuelo de una aeronave. Hubo potencias que pensaron que el aire podía ser una nueva herramienta para ganar la guerra y la aviación se convirtió en una ayuda importante a la hora de realizar ataques bélicos. Debido a que las aeronaves en este tiempo eran algo primitivas, sólo se utilizaban para realizar reconocimientos aéreos. Esta forma de operar duró poco tiempo ya que todas las potencias seguían el mismo ‘modus operandi’, por lo que la estrategia cambió a intentar derribar a los aviones enemigos. De este cambio, nace el ‘rol’ bélico conocido como ‘caza’. Estos aviones se dedicaban a intentar descubrir las estrategias de los oponentes y derribar al enemigo.

Los cazas también evolucionaron junto con la guerra. Los propios pilotos llevaban armas con las que intentaban derribar al oponente, estrategia que no mostró buenos resultados por lo que se comenzaron a construir aviones con capacidad para un artillero. Tampoco se consiguieron buenos datos con respecto al número de oponentes derribados debido al rápido cambio de trayectoria de los enemigos y las vibraciones del propio avión. Se descartó por ello la idea de seguir portando un tirador y se fijó el arma en el avión. El posicionamiento del arma del avión también evolucionó hasta conseguir un alto número de oponentes derribados. Sin embargo, el problema principal residía en que en la posición óptima para el piloto se disparaba a la hélice. Por ello, el arma se colocó en el ala superior, a cambio el piloto no tuviera la precisión óptima para derribar. Posteriormente y realizando una significativa mejora, se patentó un sistema de sincronización entre el disparo y el giro de la hélice para que fuese posible posicionar el arma en el lugar óptimo para poder apuntar sin dañar la hélice.

Al cabo de algunos meses, la función del ‘caza’ no era suficiente para lograr avanzar posiciones y por esto, surgió la idea de crear aviones con capacidad de cargar munición y detonarla en sitios estratégicos. De esta forma apareció el ‘rol’ de avión ‘bombardero’, cuya función era la de llevar la máxima carga posible para intentar dañar una zona específica.

Los cazas y los bombarderos se diseñaron de diferente manera ya que fueron concebidos para finalidades distintas. El caza se diseñó para luchar en el aire, lo que exigía buena maniobrabilidad, tasas de ascenso rápidas y mayor velocidad, mientras que el bombardero debía de soportar la máxima carga de munición y no tenía por qué maniobrar demasiado rápido ni llegar a altos niveles de vuelo.

Los aviones más importantes en esta Primera Guerra Mundial fueron:

- **Caza BE 2:** Se comenzó a utilizar al principio de la Guerra (1914) por parte del ejército británico para visualizar desde el aire las tácticas de los enemigos. Poseía capacidad para dos personas, un observador que iba delante y el piloto detrás. Era lento y frágil a las ráfagas de viento, una ráfaga más fuerte de lo normal hacía que el piloto perdiera el control de la aeronave durante algunos segundos. Alcanzaba una velocidad máxima de 115 Km/h. No poseía ningún tipo de equipo de comunicación por lo que los tripulantes apuntaban anotaciones en papeles y los dejaban caer sobre puntos estratégicos del mismo bando. Más tarde se le dotó de radio Morse para comunicarse con los artilleros de tierra y de cámara, sujeta al fuselaje, para realizar fotografías del enemigo.



Ilustración 9. Caza británico BE 2.

- **Caza Fokker Eindeckers:** utilizado por el ejército alemán, pionero en conseguir sincronizar los disparos de la ametralladora con la rotación de la hélice, para así conseguir optimizar la puntería del piloto. Alcanzaba una velocidad máxima de 140 km/h. No era superior en características a los aviones contemporáneos pero la buena puntería de la ametralladora proporcionada por el mecanismo de sincronización hizo que fuese mejor que los cazas espías ingleses.



Ilustración 10. Caza alemán Fokker Eindeckers.

- **Caza FE-2:** Se construyó en enero de 1916 como respuesta de la Royal Air Force británica al ‘azote’ del caza Fokker Eindeckers. El FE-2, conocido como el empujador, llevaba el motor en la parte trasera y la ametralladora en la delantera. Se diseñó así debido a que los ingleses no hallaron forma de encontrar un mecanismo de sincronización entre motor y hélice y al disparar dañaban esta última, por lo tanto optaron por poner la hélice detrás para optimizar la puntería de la ametralladora, ya que posicionar el arma en otro lugar del avión disminuía el número de aviones derribados.

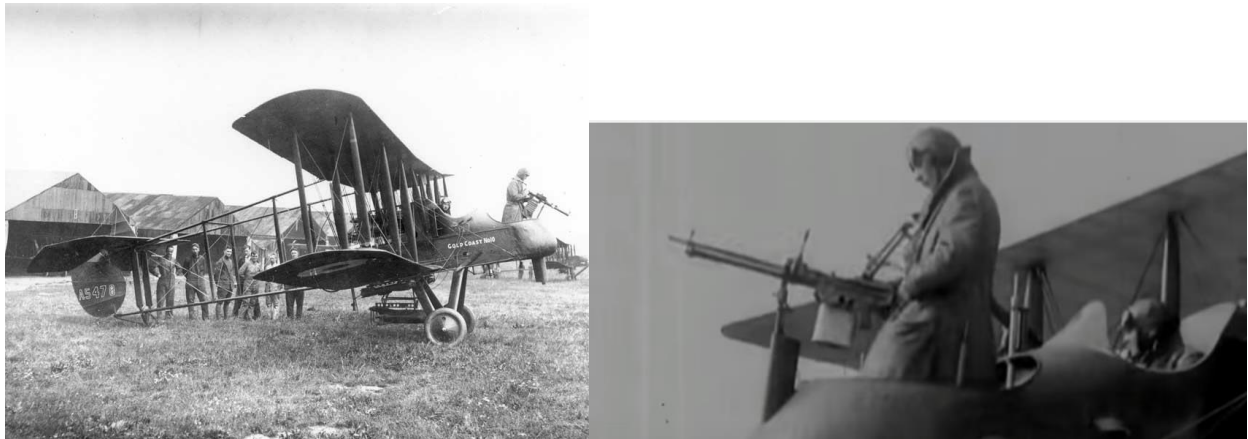


Ilustración 11. Caza británico FE 2.

- **Caza Albatros:** usado por las fuerzas alemanas, poseía un diseño totalmente novedoso respecto de los cazas de la época y portaba dos ametralladoras, hecho que propició que las fuerzas alemanas fueran superiores a las inglesas durante cierto tiempo. Poseía un motor de 140 CV.



Ilustración 12. Caza alemán Albatros.

- **Caza SE 5:** Diseñado en respuesta al Albatros, a principios de 1917, era más potente (200 CV) y más maniobrable (menor radio de giro). Montaba dos ametralladoras, una justo delante del piloto y otra en el ala superior con mecanismo de sincronización entre ametralladora y hélice.



Ilustración 13. Caza británico SE 5.

- **Caza Sopwith Triplane:** llegó al campo de batalla debido al estancamiento de las batallas entre el Albatros y el SE5. La Royal Air Force necesitaba un caza más maniobrable y con una tasa de subida y bajada más rápida, por lo que decidió aumentar la superficie alar añadiendo una tercera ala.



Ilustración 14. Caza británico triplano Sopwith.

- **Caza alemán Fokker:** fabricado en mayo de 1917 para hacer la competencia directa al triplano Sopwith. Ofrecía rápida tasa de ascenso y buena maniobrabilidad.



Ilustración 15. Caza alemán triplano Fokker.

- **Caza Sopwith Camel:** En junio de 1917, las fuerzas británicas incorporaron otro modelo con características similares a las del SE 5. Con estos dos modelos aseguraron su supremacía aérea.



Ilustración 16. Caza británico Sopwith Camel.

- **Fokker D VII:** Se envió al campo de batalla en mayo de 1918 en respuesta a SE 5 y a Sopwith Camel. Seguía montando dos ametralladoras y sus características eran similares a los cazas SE 5 y Camel.



Ilustración 17. Caza alemán Fokker D VII.

1.4. HISTORIA DEL TRIPLANO SOPWITH.

El triplano Sopwith se forjó en el seno de la carrera bélica de la Primera Guerra Mundial. Ya se habían fabricado diferentes modelos de cazas en ambos bandos intentando igualar las características de sus adversarios. El 28 de mayo de 1916, el departamento experimental de Sopwith, por encargo de la Royal Air Force británica, aprobó el diseño de un nuevo modelo con una gran tasa de velocidad de subida y buena maniobrabilidad. Éste no se llegó a fabricar debido a la supremacía bélica de la que disponían, ya que contaban con muchos más cazas SE 5 que los alemanes de Albatros. A final de 1916 la situación bélica cambió y los británicos necesitaron reforzar su aviación con algún caza de diseño puntero, por lo que se comenzó a fabricar el triplano Sopwith. El triplano montó un motor rotatorio de 9 cilindros Clerget 9Z con 110 CV. La primera versión de este caza se denominó N500. Al poco tiempo cambió el motor por un Clerget 9B constituyendo una nueva versión N504 que aumentó su tasa de velocidad de subida llegando y elevando el techo de vuelo hasta los 22000 pies.

El triplano Sopwith otorgó de nuevo la superioridad bélica a la Royal Air force debido a sus rápidas tasas de velocidad de subida y giro. Su aparición sucedió después del ‘azote’ de Fokker (entrada del caza Albatros a la batalla) y la respuesta de la Royal Air Force a la supremacía de los alemanes. Estas buenas características se deducen de las siguientes fórmulas:

$$\frac{L}{D}\Big|_{\text{Max}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi e AR}{C_{Do}}}$$

Ecuación 1. Eficiencia aerodinámica.

$$AR = \begin{cases} \frac{b^2}{S} \\ K \frac{b^2}{S} \end{cases}$$

Ecuación 2. Relación de aspecto de la aeronave (triplano, K=3).

$$C_{Do} = C_D - C_{Di}$$

Ecuación 3. Coeficiente de resistencia parásita.

$$C_D = \frac{550 \eta_p HP}{\frac{1}{2} \rho V^3 S}$$

Ecuación 4. Coeficiente de resistencia.

$$HP = \frac{\rho}{\rho_o} HP_o$$

Ecuación 5. Potencia del motor (CV) dependiendo del nivel de vuelo.

$$C_{Di} = \frac{C_L^2}{\pi e AR}$$

Ecuación 6. Coeficiente de resistencia inducida.

Introduciendo las ecuaciones desde la 6 a la 1 de forma progresiva se obtiene la eficiencia aerodinámica. Los cazas de la época tenían parámetros parecidos debido a la competitividad del conflicto por lo que una superficie tres veces mayor que la del resto de cazas hizo que la eficiencia aerodinámica del triplano fuera notablemente mayor que la de sus rivales, incluso compensando el exceso de peso de la tercera ala.

La mejora en el radio de giro proviene de las siguientes ecuaciones:

$$V_{s,t} = \left[\frac{1100 \eta_p HP}{\rho S \left(C_{Do} + \frac{C_{Lmax}^2}{\pi e AR} \right)} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 7. Velocidad de entrada en pérdidas.

$$n = \frac{\rho V_{s,t}^2 S C_{Lmax}}{2W}$$

Ecuación 8. Factor de carga.

$$\dot{\chi} = \frac{g(n^2 - 1)^{\frac{1}{2}}}{V}$$

Ecuación 9. Velocidad de giro.

$$r = \frac{V}{\dot{\chi}}$$

Ecuación 10. Radio de giro.

Sustituyendo progresivamente de la ecuación 7 a la 10 se obtiene el radio de giro. De la ecuación 8 se deduce que a mayor superficie, mayor factor de carga y por consiguiente, en la ecuación 9 mayor

velocidad de giro. Debido a que la velocidad de giro es inversamente proporcional al radio de giro, a mayor velocidad de giro se podrá virar con un radio de giro más pequeño.

En la imagen donde se analizan las actuaciones de los cazas más importantes de 1916, se puede corroborar que la velocidad vertical del triplano correspondiente a velocidad horizontal de 60 millas por hora es mucho mayor que los cazas biplanos Sopwith y Eindeckers.

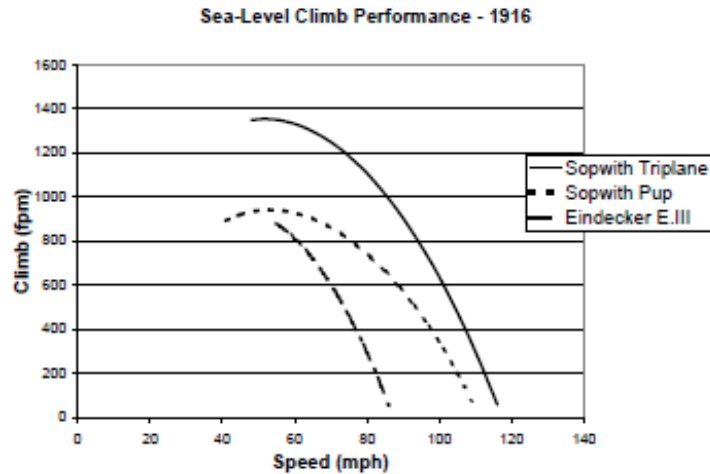


Ilustración 18. Comparativa de tasas de velocidad de subida de varios cazas tras el azote de Fokker(1916).

Sin embargo, la velocidad de giro del triplano no es la mayor, pero si consideramos el conjunto de velocidad de subida y giro, el triplano Sopwith es superior a sus cazas contemporáneos

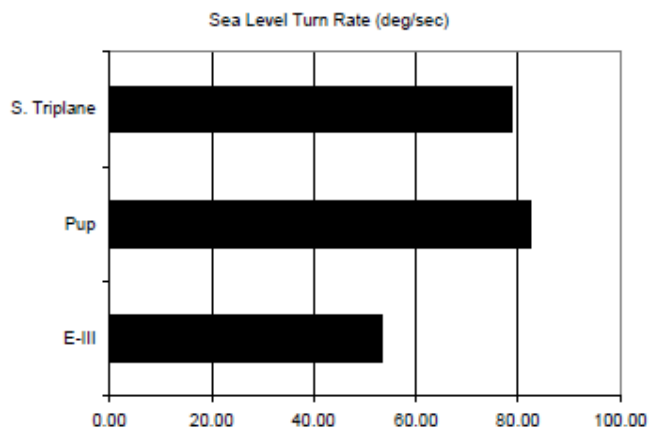


Ilustración 19. Tasas de velocidades de giro de los cazas más importantes tras el 'azote' de Fokker (1916).

En cuanto el triplano Sopwith apareció en el campo de batalla, los enemigos alemanes se percataron de sus buenas especificaciones y comenzaron a crear sus diseños de triplanos de los cuales nació el Triplano Fokker Dr I. La tasa de subida del triplano Fokker fue similar a la del Sopwith, pero la de velocidad de giro fue algo superior. Los triplanos seguían liderando a los cazas en cuanto a estas dos características, mientras que los demás cazas eran más veloces horizontalmente.

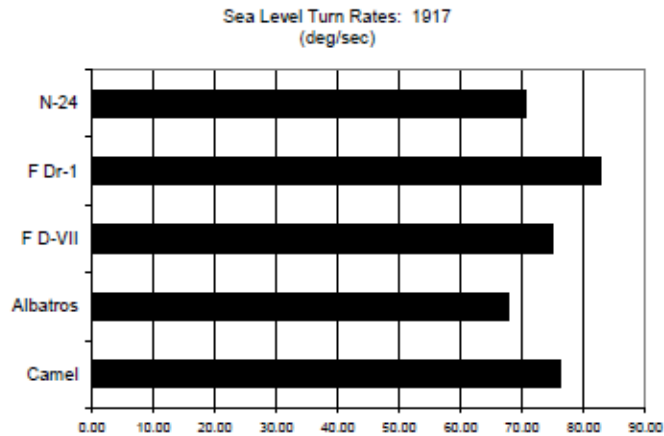


Ilustración 20. Tasas de velocidades de giro de los cazas más importantes en 1917.

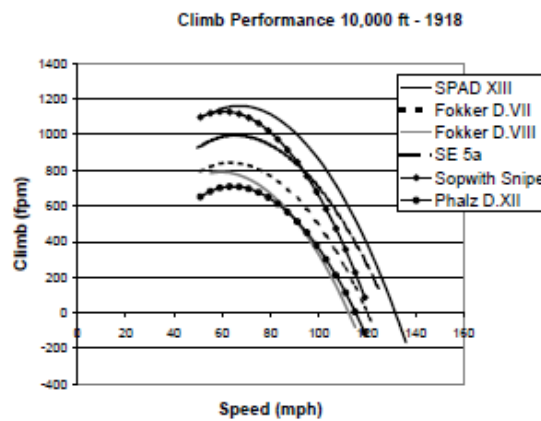


Ilustración 21. Tasas de velocidades de subida de los cazas más importantes en 1918.

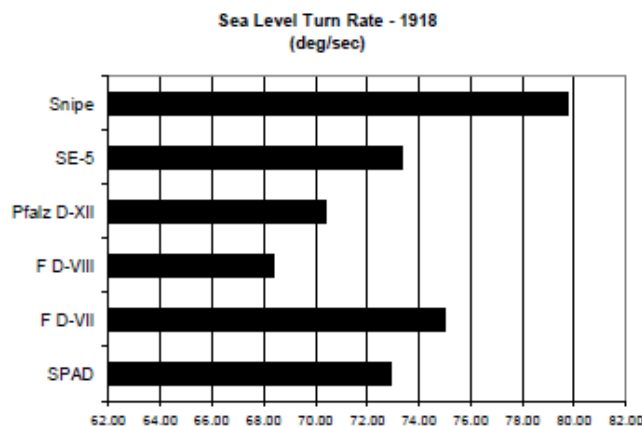


Fig. 12: Turn Performance – 1918

Ilustración 22. Tasas de velocidades de giro de los cazas más importantes en 1918.

Pasados unos meses y llegando de nuevo a la igualdad en el campo aéreo, el comportamiento bélico cambió y las dos características más significativas de los triplanos dejaron de ser relevantes y se dejaron de utilizar debido a que se fabricaron biplanos más potentes y veloces horizontalmente.

Especificaciones del triplano Sopwith	N 500
Longitud (m)	5,73
Envergadura (m)	8
Altura (m)	3,2
Superficie alar (m^2)	21,46
Peso vacío (libras)	1135
Peso cargado (libras)	1502
Carga alar (Kg/m^2)	29,92
Velocidad máxima a : (millas por hora)	3000 (pies): 122
	6500 (pies): 119
	10000 (pies):119
Tiempos de subida (segundos) hasta:	10000 (pies): 9,3
	13000 (pies): 13
Planta motriz	1 motor rotativo de 9 cilindros Clerget 9B de 132 CV.
Armamento	1 ametralladora Vickers de calibre 7.7 mm.
Material de construcción	<ul style="list-style-type: none"> Madera de abedul ($E=14250$ MPa, Resistencia a tracción 100 MPa y densidad=630 Kg/m^3). Acero.

Tabla 1. Tabla de especificaciones de triplano Sopwith de la versión N500.

2. MODELADO DE LAS PARTES DEL AVIÓN.

2.1. CATIA V5 R19. MÓDULOS. ÓRDENES MÁS UTILIZADAS.

En primer lugar, se presenta una imagen de la interfaz de los diferentes submódulos del módulo Mechanical Design de Catia V5 con el que se realizará el modelado de las diferentes partes del avión que se presenta en este proyecto. A continuación, se explican brevemente los submódulos empleados con el objeto de poder hacer referencia a ellos en su justificación.

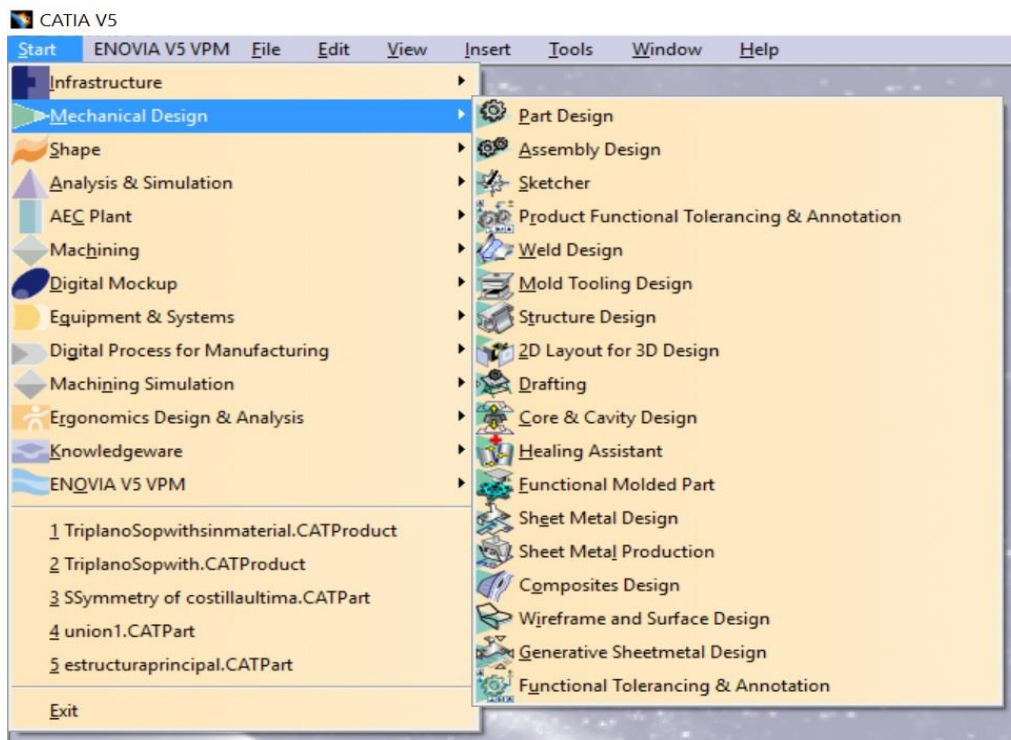


Ilustración 23. Módulos y submódulos de Catia V5.

Los submódulos más utilizados han sido:

Part Design: modela con material “macizo”, es decir, a partir de un dibujo 2-D realizado con una de las órdenes del submódulo se genera material desplazando este dibujo 2-D según una traslación o giro respecto de las direcciones del espacio. El objeto creado se guarda en un fichero base de extensión *.catpart*.

Las órdenes y barras más utilizadas de este submódulo en el proyecto son:

- **Sketch:** dibuja bocetos 2-D en cualquier plano previamente definido. Incluye órdenes utilizadas de igual modo, ya que contiene sketches algo complejos:

- **Barra profile:** órdenes disponibles para dibujar los bocetos, rectas, circunferencias, etc...
- **Barra constraint:** en ésta se encuentran órdenes para establecer las medidas y características de los trazos realizados con la barra profile.
- **Barra operation:** dicha barra ofrece operaciones como simetría o espejo respecto a un eje, borrado de trazados y proyección de trazados residentes en otros planos, en el plano de trabajo.
- **Barra Sketch tools:** en ella, con la orden construction se puede conseguir que el trazado contenido en un sketch sea invisible fuera de éste, sin borrarlo. Las demás órdenes quedan referidas a características del sketch como rejilla, tener en cuenta otros elementos del sketch a la hora de crear uno nuevo, etc...
- **Barra Sketch-Based features:** contiene las órdenes que realizan operaciones básicas de modelado 3-D:
 - **Pad:** genera material trasladando un sketch en alguna dirección del espacio.
 - **Pocket:** retira material trasladando un sketch en alguna dirección del espacio.
 - **Rib:** genera material desplazando un trazado contenido en un sketch por una guía que debe ser creada en otro sketch.
 - **Slot:** retira material desplazando un trazado contenido en un sketch por una guía que debe ser creada en otro sketch.
- **Barra Transformation-features:** contiene órdenes que realizan operaciones de transformación de objetos, tales como:
 - **Traslacion, rotation y symmetry:** realiza esas operaciones respecto de ejes o planos, previamente definidos.
 - **Mirror:** efectúa una simetría del objeto respecto a un plano conservando dicho objeto. La diferencia con la orden simetría es que en ésta se conserva el objeto original y en la otra no.
 - **Scalling:** escalado de un objeto respecto de un punto.
- **Barra Reference-element:** en esta barra se encuentran las órdenes idóneas para crear puntos, rectas y planos en el espacio, siempre referenciados a algún ente geométrico (plano, línea y punto).
- **Barra View:** esta barra y las restantes hasta finalizar el apartado, se encuentran, tanto en este submódulo, como en el *Assembly* y *Wireframe and Surfaces Design*. Con ésta, se pueden visualizar los sólidos en las diferentes perspectivas, aumentar y rotar a conveniencia. También ofrece la posibilidad de ver el objeto de diversas formas: con material, sin material con brillo y sombras, sin sombras o sólo sus aristas.
- **Barra tools:** permite actualizar el objeto después de sufrir modificaciones.
- **Barra measure:** ofrece la posibilidad de tomar medidas entre elementos del objeto, por ejemplo, la distancia entre caras.
- **Barra apply material:** con ésta se puede aplicar material a los objetos, arrastrando el material al Part Body.

- **Barra Render:** permite capturar los objetos exhibiendo su material, en caso de que lo tengan, con buena calidad. También permite la opción de introducir un fondo en la captura, así como luz y sombras para mejorar el realismo del diseño.
- **Barra standar:** realiza todas las operaciones de apertura de archivos y salvado de los mismos. Es posible dar marcha hacia atrás y hacia adelante en cualquiera de las operaciones realizadas.
- **Barra surface based features:** contiene las siguientes órdenes:
 - **Thick surface:** proporciona material de un determinado espesor a uno o ambos lados de la superficie en cuestión.
 - **Closed surface:** genera material en el interior de una superficie cerrada o semicerrada.

Assembly Design: ensambla varias partes de un conjunto además de permitir trabajar con el submódulo *Part Design* dentro del submódulo *Assembly*, funcionalidad que resulta bastante útil cuando hay que diseñar piezas que se deben adaptar a otras.

Las órdenes y barras más utilizadas de este submódulo en el proyecto son:

- **Barra Product structure tools:** con sus diferentes órdenes permite introducir en el archivo *.catproduct* nuevos componentes, tanto *.catpart* como *.catproduct*.
- **Barra Move:** dentro de ésta se encuentra la orden *Manipulation*, que permite mover los sólidos.
- **Barra constraint:** contiene las órdenes necesarias para fijar cada componente a referencias intrínsecas del *product* o de otros componentes.

Las restricciones más usadas son:

- **Coincidence:** fuerza la coincidencia entre entidades geométricas (planos, puntos, ejes, etc.) de diferentes componentes.
- **Offset:** establece distancia entre entidades geométricas.
- **Angle:** establece ángulos entre entidades geométricas.
- **Fix:** fija un componente dentro del contexto de un *product*.
- **Barra Reference-element:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra View:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra tools:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra measure:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra apply material:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra Render:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra standar:** explicadas en "Part Design"

Wireframe and Surface Design: submódulo donde se trabaja con puntos, líneas y superficies carentes de material. Este concepto de trabajo es totalmente diferente al de '*Part Design*' que se basa en crear o quitar material.

Las barras de órdenes más utilizadas son:

- **Barra Surfaces:**
 - **Extrude:** trasladando un sketch por una dirección o por un sketch previamente definido genera una superficie.
 - **Sweep:** genera una superficie en forma de tubo mediante un sketch o una línea.
 - **Revolve:** genera una superficie girando un sketch alrededor de un eje.
 - **Fill:** crea una superficie en el interior de un sketch cerrado seleccionado.
- **Barra Wireframe:**
 - **Plane:** Crea un plano a partir de otro de referencia.
 - **Spline:** Genera una línea curva a partir de varios puntos.
- **Barra Operation:**
 - **Split:** Sustraer superficies definidas por sketches a otras superficies.
- **Sketch:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra tools:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra measure:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra Render:** explicadas en '*Part Design*'.
- **Barra standar:** explicadas en '*Part Design*'

2.2. PLANOS, MATERIAL DE REFERENCIA Y ANOTACIONES PARA EL MODELADO.

Tras un largo y complejo proceso de investigación en Internet, y descartando algún que otro material erróneo, se consiguieron dos planos que se asemejaban bastante al material fotográfico existente de este avión. Estos planos no se pudieron descargar en formato original, por lo que hubo que obtener su escala. La forma de obtenerla fue dividiendo la envergadura del avión medida en el plano entre la envergadura real del avión, que constaba en diferentes documentos. El resultado fue una escala de:

$$E = 0,0318$$

Para el modelado se han tomado las medidas del plano, se han multiplicado por la escala, pasado del sistema de unidades inglés al internacional y se han introducido en Catia.

Los planos se irán presentando de acuerdo a la secuencia de modelado para finalmente mostrarlos completos en el anexo de planos.

Se desconoce el motivo de la poca existencia de planos de este avión, aunque se intuye que puede ser debido a que fue el primer avión construido con 3 alas y tras él se diseñaron versiones mejoradas de las que se harían mayor número de réplicas, lo que hace que haya más información de los planos de éstas, como ocurre en el caso del famoso triplano Fokker.

Debido a la falta de información de algunos de los elementos de conexión entre partes muy concretas del avión, se ha tomado como referencia para esos elementos ciertas partes de los planos del triplano Fokker. De igual modo, se ha tomado también de referencia, en lo que respecta a elementos de conexión, el biplano Sopwith, antecesor del avión que se trata en este proyecto.

Respecto al material fotográfico, se pudo encontrar material de buena calidad debido a la existencia de una página web dedicada a la exposición de fotografías de aviones de la Primera Guerra Mundial.

Por tanto, entre los dos planos del triplano Sopwith, el material fotográfico del mismo y algunos detalles de los planos del triplano Fokker se han modelado todas las partes del triplano Sopwith.

En la descripción del proceso de modelado se expondrán los pasos seguidos en las diferentes partes, incluyendo capturas de Catia de las órdenes utilizadas. Éstas se harán en determinados casos para que el documento no resulte demasiado extenso. Se va a procurar que al final de la descripción todas las órdenes queden expuestas en las capturas.

La numeración de las órdenes en las descripciones de los procesos de modelado es orientativa, con el fin de dar coherencia a la explicación sin que resulte tedioso.

2.3. MODELADO DE LA ESTRUCTURA PRINCIPAL.

Como punto de partida para modelar la estructura principal del triplano, se han utilizado los planos obtenidos en la investigación, en concreto, las siguientes partes:

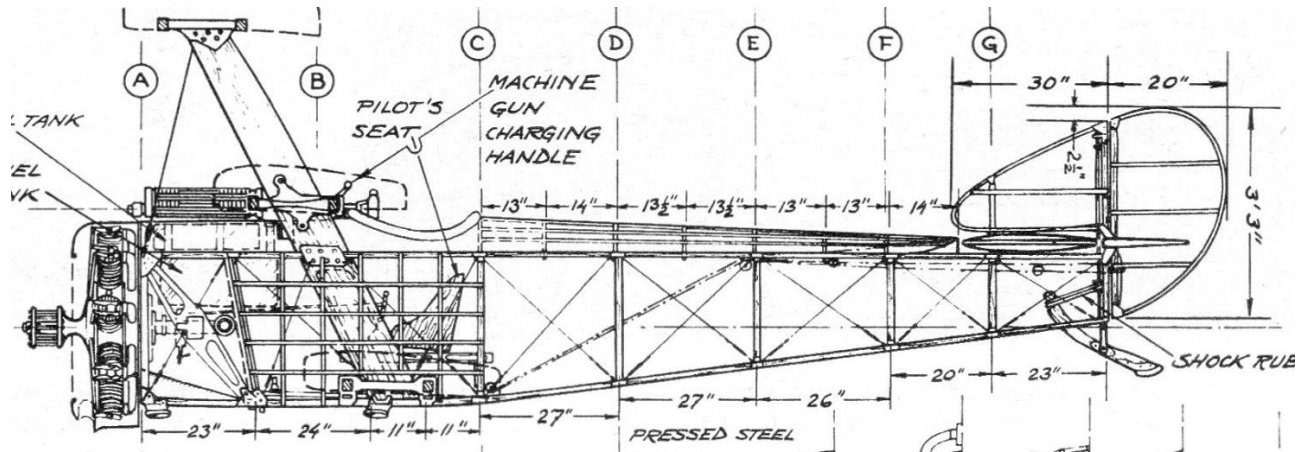


Ilustración 24. Perfil izquierdo del triplano Sopwith.

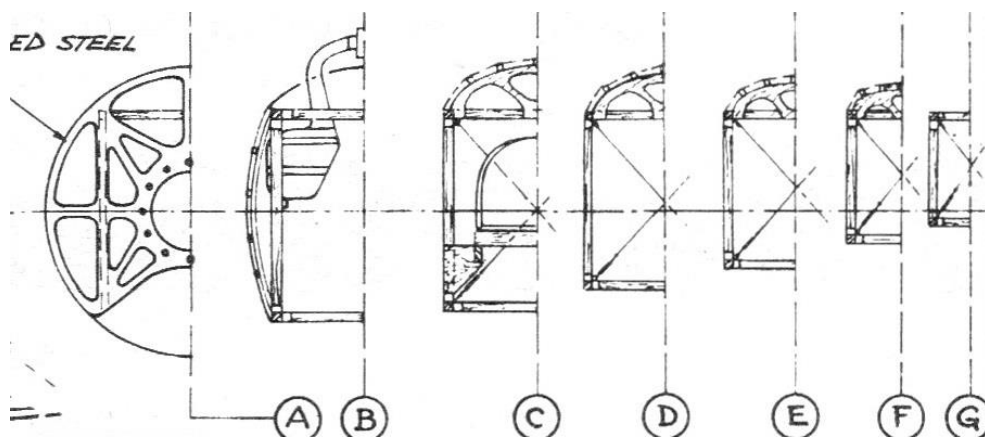


Ilustración 25. Diferentes secciones de la estructura del fuselaje del triplano Sopwith.

El modelado comenzó creando un archivo *.catpart* para esta parte del avión.

Dentro del submódulo 'Part Design', se introdujeron las medidas tomadas del plano en forma de puntos, líneas y sketches ubicados en diferentes planos paralelos.

Seguidamente se comenzó a estudiar cómo se podrían hacer las barras tubulares de la estructura y para ello se pensó en la orden 'Rib', pero tras un comportamiento inadecuado y tedioso para el desarrollo de los elementos se descartó.

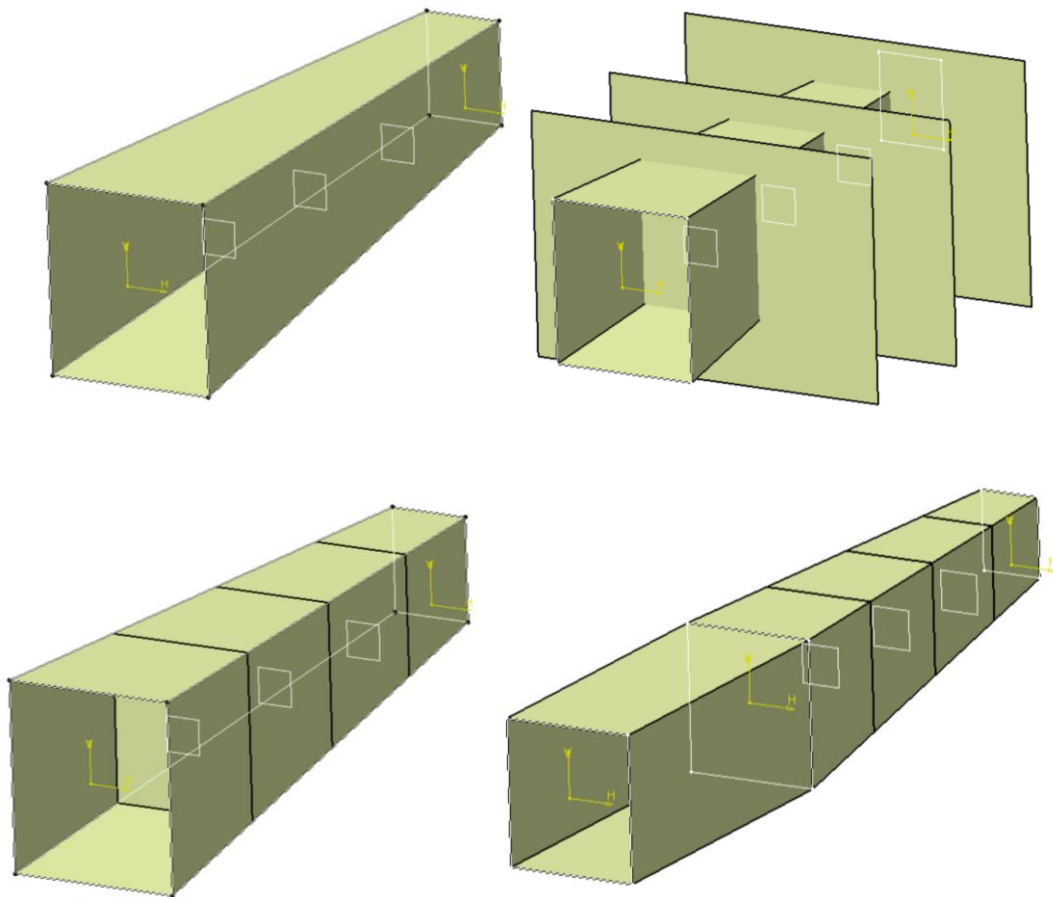


Ilustración 26. Secuencia de construcción de estructura de fuselaje mediante superficies.

Ante la imposibilidad de utilizar la orden 'Rib', se investigó en el submódulo 'Wireframe and Surfaces Design' y se comenzó a trabajar con superficies. En primer lugar se dibujaron los 'sketches' de la primera y última sección además de 4 guías que unían éstas y se ejecutó la orden 'multisection' para crear una primera superficie. Se continuó creando líneas en cada uno de los planos de las secciones del fuselaje para después desplazarlas y generar superficies mediante la orden 'extrude'. La intersección de la superficie principal con las perpendiculares se llevó a cabo con la orden 'split', con las intersecciones creadas y los sketches anteriores se pudieron crear las barras tubulares ejecutando la orden 'sweep'. Esta orden solamente requiere una línea y un radio para generar una barra tubular de superficie.

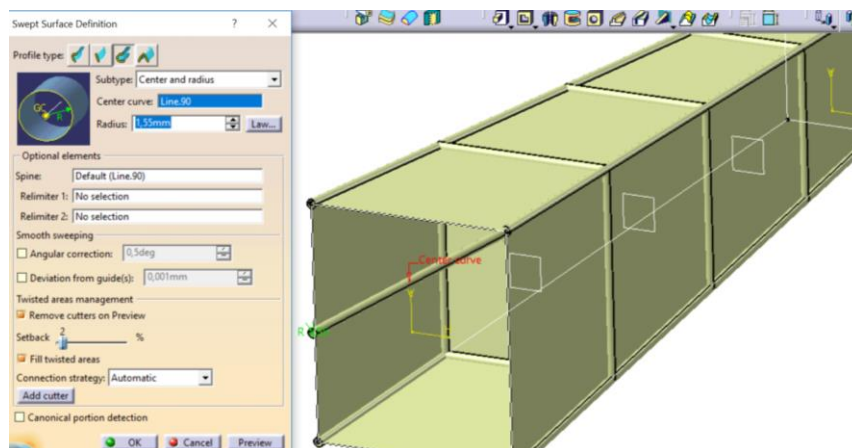


Ilustración 27. Aplicación de Orden Sweep para crear barras de espesor constante.

Para dar espesor a las barras se utilizó la orden *'Thick Surface'* correspondiente al submódulo *'Part Design'*. La información sobre el espesor de las barras era desconocida debido a la falta de información ya comentada en el apartado anterior. Por ello, se decidió consultar un proyecto sobre el triplano Fokker en el que se pudo constatar que las barras de un diámetro determinado, la mitad del diámetro del Sopwith, poseían un espesor de 1mm. A raíz de este dato, se tomó la decisión de que, proporcionalmente al diámetro, el espesor de las barras del Sopwith fuera de 2 mm.

Al terminar de dar espesor a todas las barras quedaron algunas holguras en las juntas de las barras con distinta dirección. Éstas se solventaron creando superficies cerradas que cubrían la holgura para más tarde darles el mismo espesor que las barras para que así quedara una estructura homogénea.

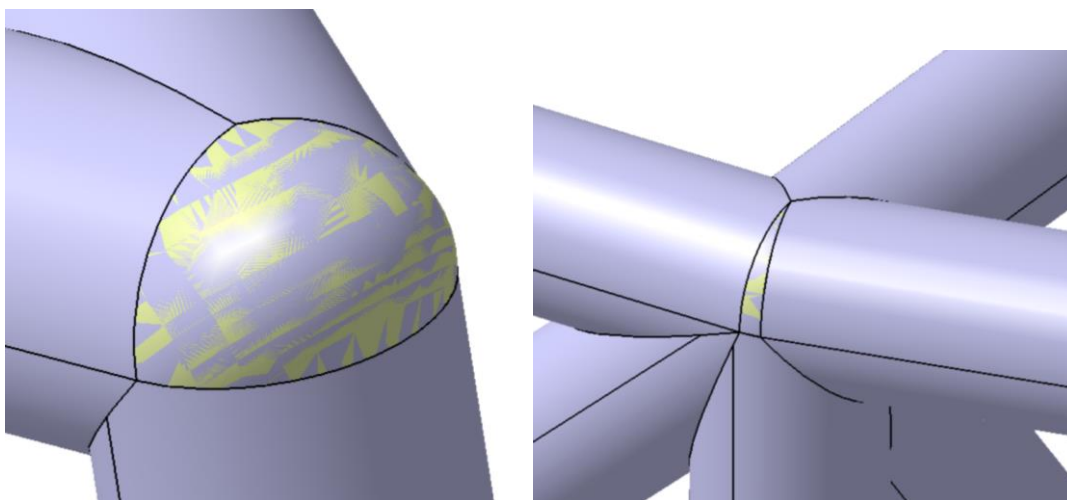


Ilustración 28. Superficies que recubren juntas en la estructura de barras del fuselaje.

Además de las barras de acero, la estructura del fuselaje posee elementos de madera, concretamente de abedul que otorgan al fuselaje habitabilidad y buena aerodinámica, con formas continuas, suaves y fuseladas.

Los elementos de madera se pueden clasificar en:

- Semicuadernas: modelados teniendo en cuenta las secciones de la estructura mostradas al principio de la sección. Con esto y con complejos sketches, se realizaron *'pads'* de 1 cm de espesor.

Pueden ser de dos tipos:

- Situada en los laterales de la estructura del fuselaje.
- Situada en la segunda mitad de la parte superior de la estructura del fuselaje.

- Larguerillos: modelados creando *'splines'* que unían las cuadernas en puntos definidos por los planos. Posteriormente con la orden *'sweep'* se generó el tubo de superficie y con la orden *'closed surface'* se hizo macizo.

Pueden ser de dos tipos:

- Asociados a las semicadernas laterales.
- Asociados a las semicadernas de la parte superior.

Para finalizar, la estructura posee barras cuadradas en cuatro nudos de barras para acoplarse al tren de aterrizaje. El modelado se ha realizado proyectando la sección de las barras del tren de aterrizaje en un plano perpendicular a la guía de éstas. Se ha dibujado un rectángulo dentro de la elipse proyectada para luego hacer un *'pad'* de 50 mm con espesor de 3 mm.

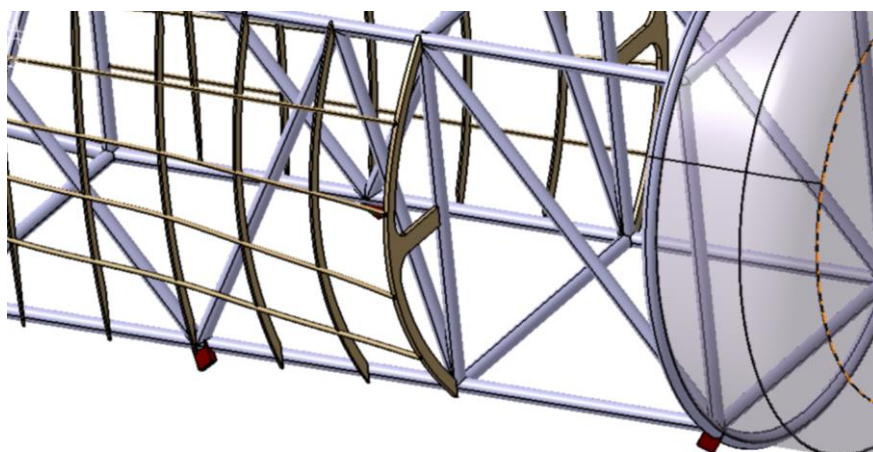


Ilustración 29. Barras cuadradas para unir con tren de aterrizaje



Ilustración 30. Estructura tubular con elementos de madera del fuselaje de una réplica del Sopwith.

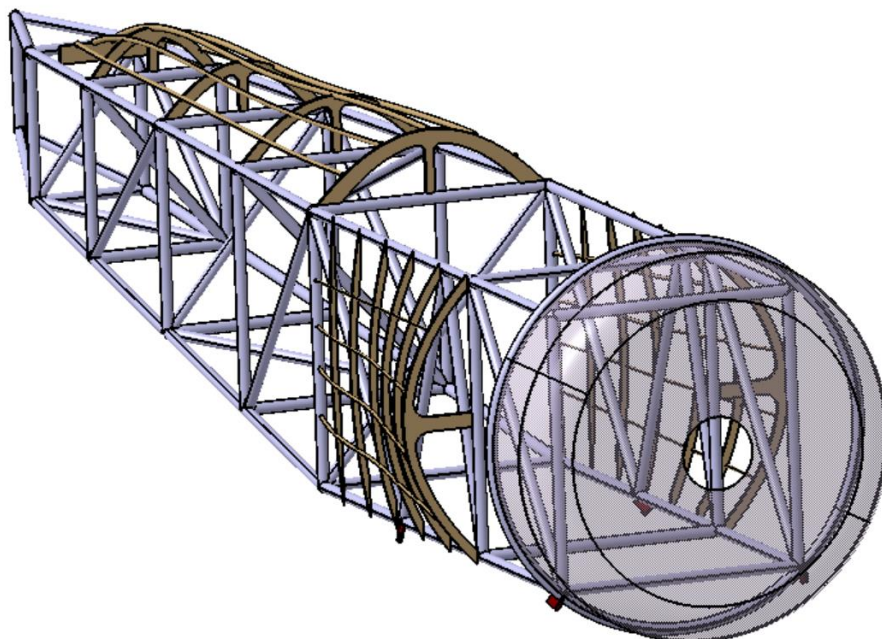


Ilustración 31. Modelado de Estructura tubular con elementos de madera del fuselaje en Catia.

2.4. MODELADO DEL TIMÓN DE PROFUNDIDAD.

La información gráfica que se posee de la estructura de este elemento es escasa ya que en todas las fotografías encontradas aparece cubierto por la piel o tela (fuselaje) necesaria para volar.

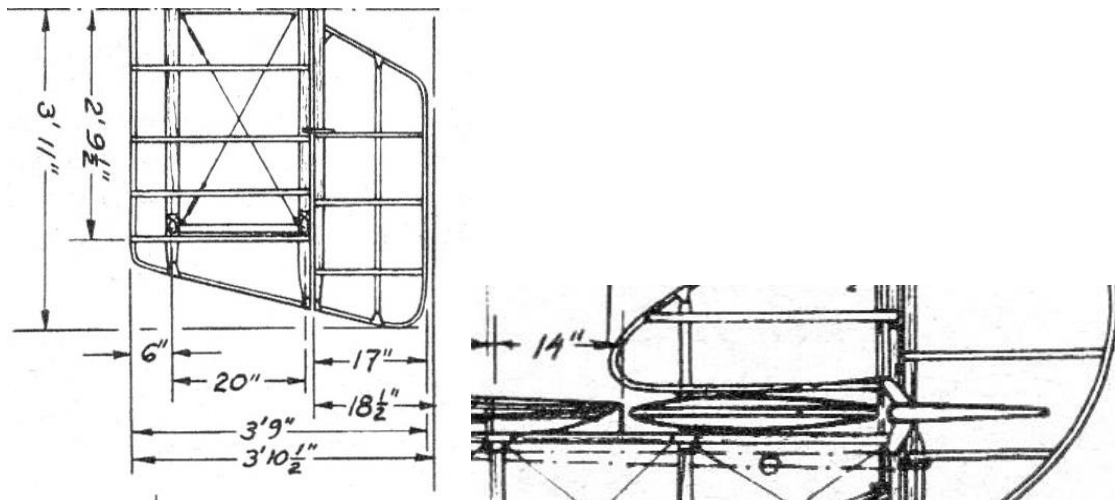


Ilustración 32. Vista frontal y de perfil derecho del timón de profundidad.

Se ha decidido modelar en acero y madera de abedul. La razón de escoger madera en vez de que la totalidad fuese de acero, viene dada porque en la parte del plano de las alas, se pueden observar dos listones de sección cuadrada cuya existencia se puede corroborar con fotografías de la estructura interna de las alas.



Ilustración 33. Estructura del ala, donde se pueden observar listones de sección cuadrada de madera.

Puesto que en los planos los listones de las alas son del mismo tamaño y apariencia que los listones del timón de profundidad, éstos últimos se construyen en madera. El timón de profundidad se ha modelado en un archivo (*timondeprofundidad.catproduct*) que consta de nueve *catparts*.

Estabilizador.catpart: Parte del timón de profundidad que no se mueve y que va unido rígidamente a la estructura del fuselaje mediante unas uniones (*Uniondetimondeprofundidadconestructurafuselaje.catpart*) modeladas en un *catpart* que se mostrarán más adelante.

El proceso de modelado de los elementos que conforman el timón de profundidad se ha realizado de la siguiente manera:

- Barra (acero) del contorno exterior:
 - ‘*Sketch.1*’: diseño de la guía de la barra.
 - Orden ‘*Sweep.1 (Sketch.1, R=0,5mm)*’: obtención de un tubo de superficie.
 - Orden ‘*thick surface (Sweep.1)*’: valor del espesor (0.1mm).
- Listones de madera:
 - ‘*Sketch.2*’: sección de los listones.
 - Orden ‘*Pad (Sketch.2)*’: se crean los listones.
- Costillas: Se llaman así porque son parecidas a las que conforman las alas. La función es dar rigidez y forma aerodinámica al estabilizador.

En el plano se puede observar la forma ovalada de las costillas. Éstas presentan en el interior de su contorno dos pequeñas barras, decisión propia del modelado, ya que por lógica resulta necesario algún elemento adicional para dar rigidez.

Debido a la falta de información de la que se dispone se han colocado una a la mitad, y otra, a un cuarto del comienzo de la costilla, de modo que vayan unidas a los listones de madera. En lo que respecta al proceso de modelado:

- ‘*Sketch.3*’
- Orden ‘*plane*’: generación de planos paralelos y *sketches* en ellos, donde proyectamos el *sketch.3*.
- Orden ‘*Sweep.2 (Sketch.3, R=0,2mm)*’: utilizada para generar los “tubitos” de superficie.
- Orden ‘*closed surface (Sweep.2)*’: empleada para hacer “macizos” los tubos anteriores.

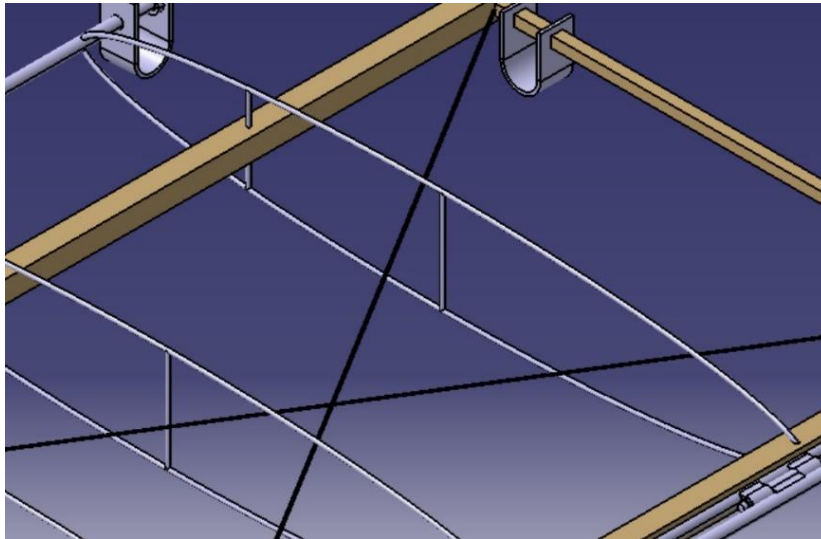


Ilustración 34. Modelado de costilla del estabilizador en Catia.

- Elementos de unión entre los listones de madera y la barra de acero del contorno:

Estos elementos se encargan de unir los listones de madera a las barra de acero mediante tornillos. De estos no había información precisa en el plano, pero se observaron en fotografías del biplano antecesor Sopwith y de acuerdo a las fuentes de información se modelaron de la siguiente manera:

 - ‘Sketch.4’
 - Orden ‘Extrude.1 (Sketch.4, Sketch.1)’: crea la superficie.
 - Orden ‘thick surface (Extrude.1)’: crea la pletina de espesor 0,15mm.

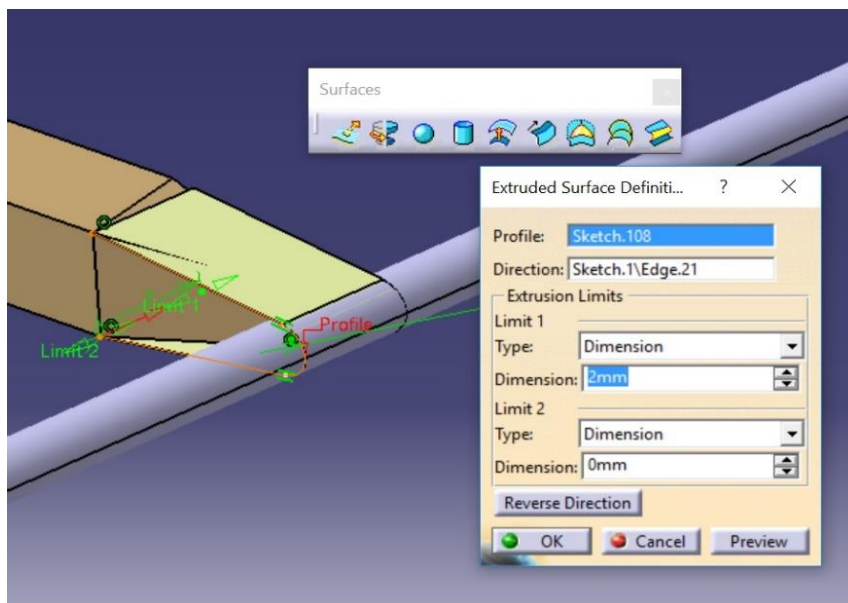


Ilustración 35. Utilización de la orden extrude.

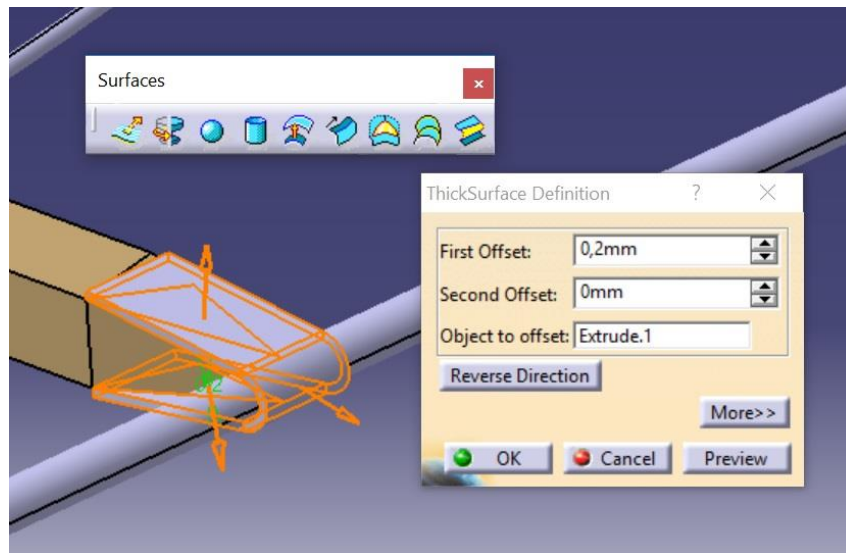


Ilustración 36. Utilización de la orden *'thick Surface'*.

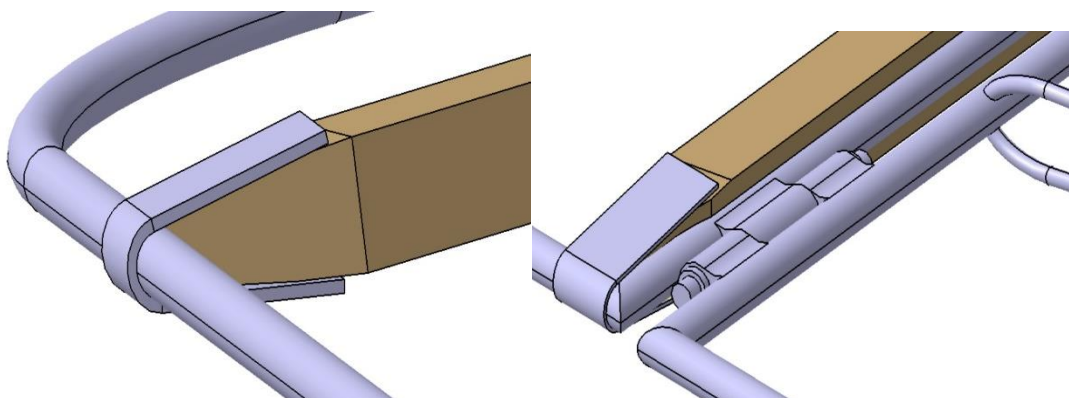


Ilustración 37. Elementos de unión entre listones de madera y barra de acero del contorno (izquierda), y Modelado de los mismos (derecha).

- Cables entre listones de madera: dan rigidez a la estructura del estabilizador. Su proceso de modelado:
 - Se generan puntos medios en las aristas donde se van a unir los cables.
 - Se generan líneas entre dichos puntos.
 - Orden *'sweep'*: para crear “tubitos de superficie”.
 - Orden *'closed Surface'*: para crear cables sólidos.

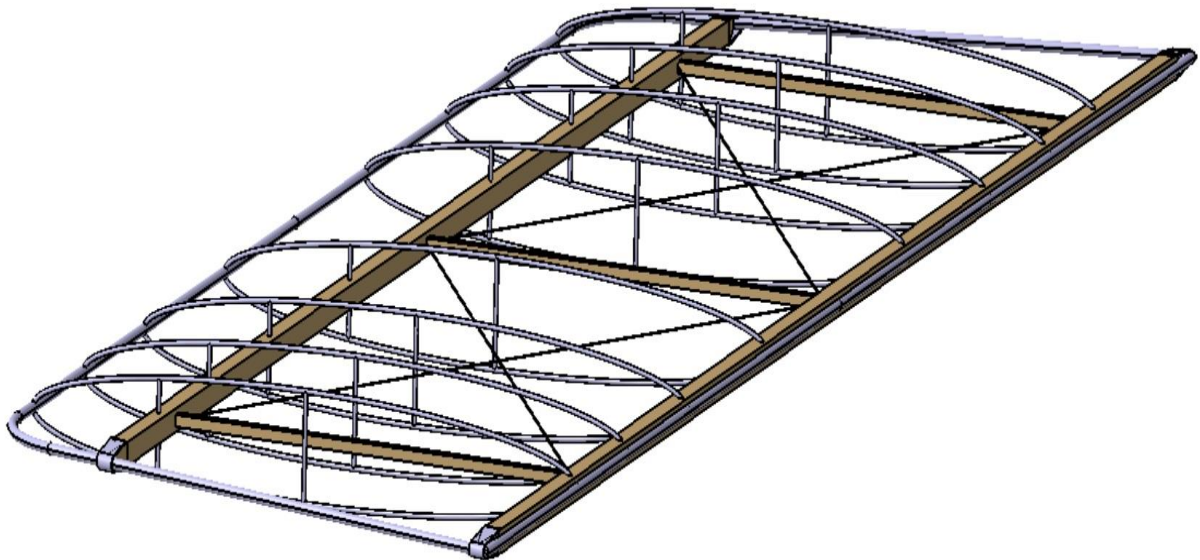


Ilustración 38. Modelado de estabilizador en Catia.

Elevador.catpart: parte móvil y superficie de control sobre la que el aire ejerce la fuerza que genera el momento de cabeceo para que el avión descienda o ascienda.

Modelado de los elementos que componen el elevador:

- Barra de acero del contorno: incluye las dos barras que atraviesan perpendicularmente al plano de las costillas:
 - *'Sketch.1'*: se crea la guía de la barra.
 - Orden *'Sweep.1 (Sketch.1, R=0,5mm)'*: crea la superficie de la barra.
 - Orden *'thick surface (Sweep.1, e=0.1mm)'*: crea la barra.
- Costillas: proporcionan rigidez y forma aerodinámica a la superficie de control:
 - *'Sketch.2'*: Guía de la Costilla.
 - Orden *'plane'*: generan varios planos paralelos y hacemos el *'Sketch.2'* en ellos.
 - Orden *'Sweep.2 (Sketch.2, R=0,2mm)'*: utilizada para generar los “tubitos” de superficie.
 - Orden *'closed surface (Sweep.2)'*: para hacer “macizos” los tubos anteriores.

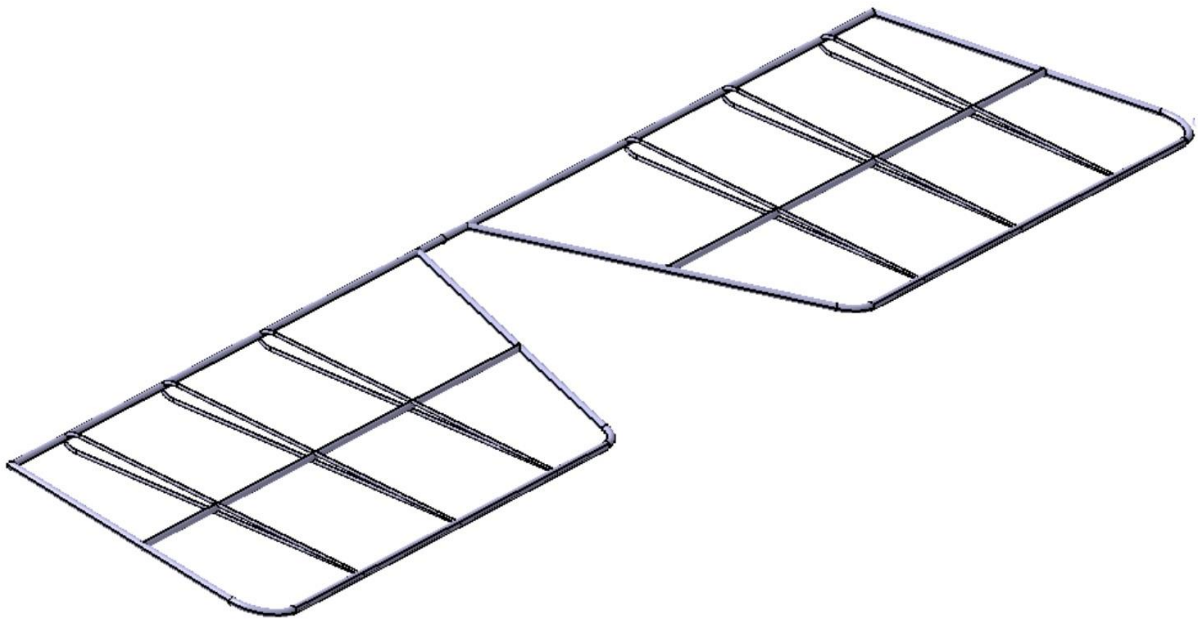


Ilustración 39. Modelado de elevador en Catia.

Mangueta.catpart (2): pieza de conexión del pedal del piloto con el timón de profundidad mediante un cable. Para su elaboración se ha utilizado parte del plano correspondiente al triplano Fokker porque no se disponía de información en los planos de los que se ha partido.

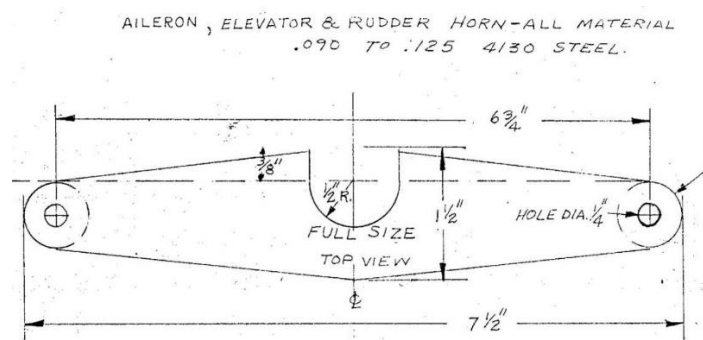


Ilustración 40. Plano de mangueta de Fokker.

El modelado de la mangueta se ha hecho mediante un 'sketch' del plano anterior y varios 'pads'.

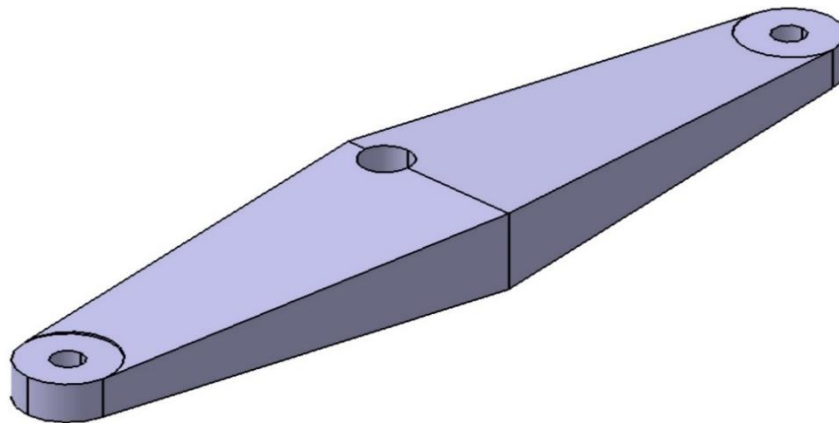


Ilustración 41. Modelado de mangueta en Catia.

Bisagra.catproduct (4): para el modelado de esta pieza no se disponía de información por lo que se consultó un proyecto de recreación virtual del triplano Fokker donde se encontraba el plano buscado.

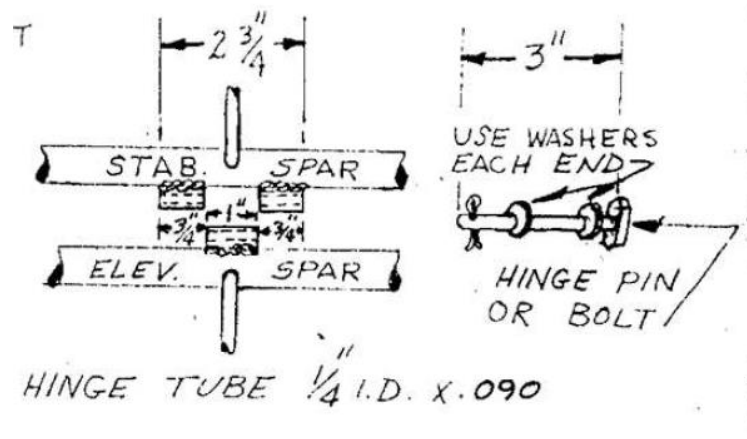


Ilustración 42. Unión entre partes del timón de profundidad del triplano Fokker.

Estas uniones están compuestas por tres tubos de acero, dos soldados al estabilizador y el restante al elevador junto con un cilindro macizo con dos topes que mantiene unidas las dos partes. Teniendo en cuenta la descripción anterior, se modeló el archivo (*Bisagra.catproduct*) compuesto por:

- *Union1.catpart*: modela un tubo de espesor 0,09 pulgadas y el cordón de soldadura necesario para poder ensamblarlo al elevador.
 - *Union1.catpart*: modela dos tubos de espesor 0,09 pulgadas y el cordón de soldadura necesario para poder acoplarlo al estabilizador.
 - *Union3.catpart*: modela un cilindro macizo con topes que une los dos archivos anteriores.
- Para el modelado de estos archivos se han realizado *sketches*, *pads* y *pockets*. En el

product (*Bisagra.catproduct*) donde se unen los tres archivos, se ha utilizado la orden '*fix*' para fijar *Union1.catpart* en el contexto del *product*. Se ha usado la orden '*coincidence*' para alinear los ejes y la orden '*offset*' para que los ejes longitudinales de dos de los tres archivos estuvieran en el mismo plano. Esto significa que se busca la rotación del elevador respecto del cilindro macizo. Por último, comprobamos los grados de libertad de los tres componentes, quedando solamente la rotación de los tres tubos respecto del cilindro macizo.

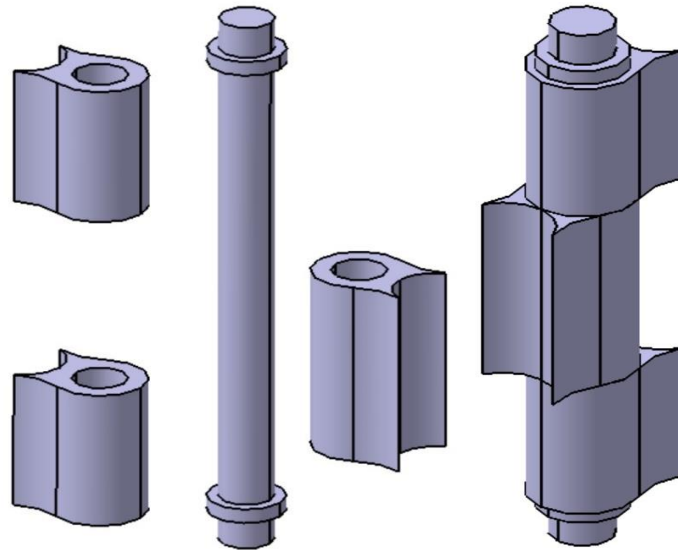


Ilustración 43. *Bisagra.catproduct* montada y desmontada.

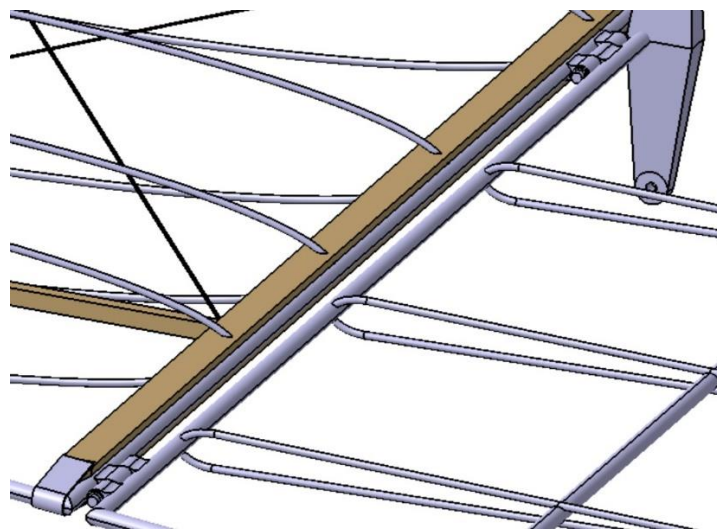


Ilustración 44. Bisagras uniendo estabilizador y elevador.

Uniondetimondeprofundidadconestructurafuselaje.catpart: Modelado de uniones para fijar el estabilizador, y por tanto, el timón de profundidad, a la estructura del fuselaje.

El proceso de modelado de este *catpart* será expuesto en el apartado de uniones entre partes del avión (2.9.1).

Las restricciones impuestas en el archivo *timondeprofundidad.catproduct* para que el elemento quede correctamente unido son:

- Orden '*fix*', para fijar el estabilizador dentro del contexto del product.
- Orden '*Coincidence*', para unir los cordones de las soldaduras (bisagras) de los dos tubos de *union1.catpart* a la barra del contorno exterior del estabilizador.
- Orden '*Coincidence*', para unir los cordones de las soldaduras (bisagras) del tubo *union2.catpart* a la barra del contorno exterior del elevador.
- Orden '*Offset*', entre planos xz de las bisagras y del estabilizador, para ajustar la posición de éstas en el mismo.
- Orden '*Offset*', entre planos xy de las bisagras y del estabilizador y entre planos xy de las bisagras y del elevador, para que los ejes de los tubos estén en los mismos planos, respectivamente.
- Por último, se comprueban los grados de libertad de todos los componentes, y se verifica que solo haya uno, la rotación del elevador alrededor del eje X.

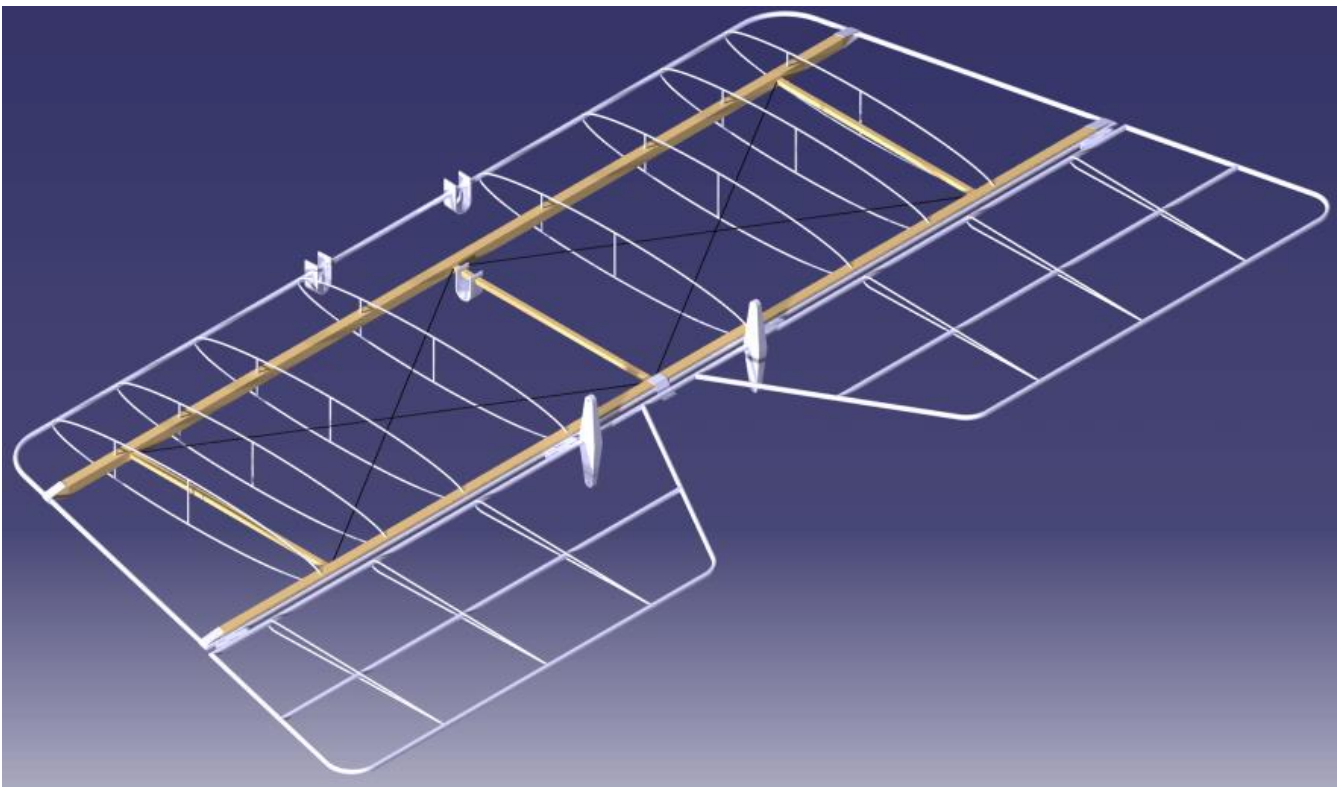


Ilustración 45. Modelado del timón de profundidad en Catia.

2.5. MODELADO DEL TIMÓN DE DIRECCIÓN.

Las medidas tomadas para el modelado del timón de dirección se recogen de la parte del plano correspondiente a este elemento.

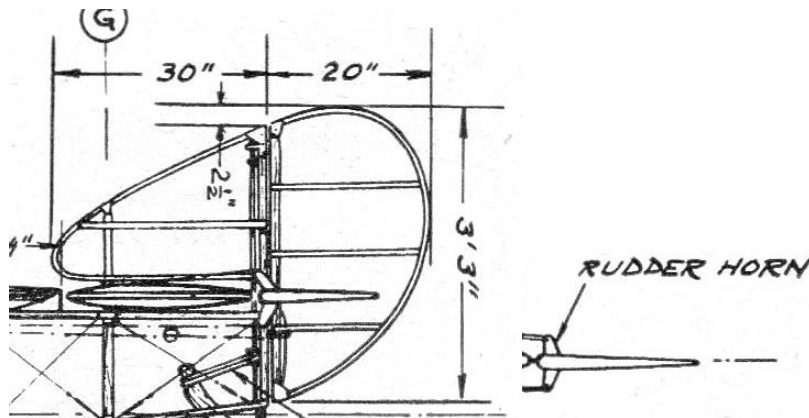


Ilustración 46. Alzado (izquierda) y vista frontal (derecha) del timón de dirección.

El timón de dirección se modela en acero, en el archivo *.catproduct* que consta de los siguientes 6 catparts:

Timondedireccion1.catpart (1): Modelado de una de las dos partes principales del timón de dirección, cuyo proceso es el siguiente:

- '*Sketch.1*': con la guía de los tubos.
- Orden '*Sweep.1 (Sketch.1, R=0,5mm)*': se crean las barras de superficie.
- Orden '*thick surface (Sweep.1, e=0.1mm)*': se constituye el espesor de las barras.

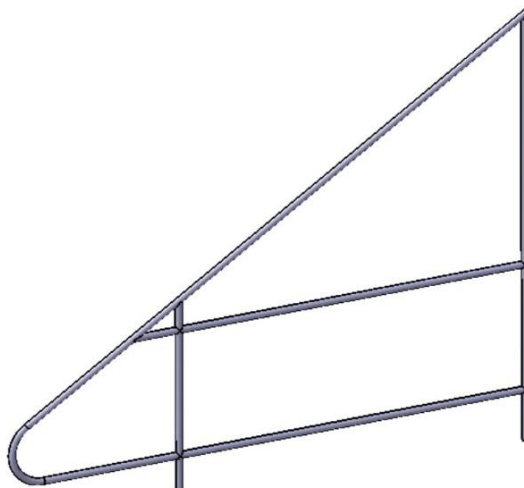


Ilustración 47. Modelado del primer elemento del timón de dirección.

Timondedireccion2.catpart (1): Segunda parte más importante del timón de dirección.

- ‘Sketch.2’: guía de los tubos.
- Orden ‘Sweep.2 (Sketch.2, R=0,5mm)’: barras de superficie.
- Orden ‘thick surface (Sweep.2, e=0.1mm)’: espesor de las barras.

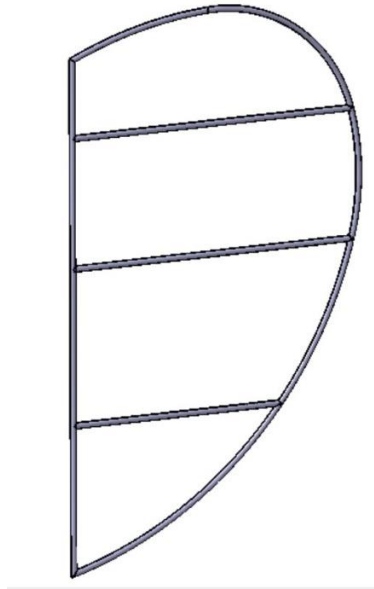


Ilustración 48. Modelado del segundo elemento del timón de dirección.

Bisagra.catproduct (2): mismo archivo que se introdujo en el timón de profundidad.

Mangueta.catpart (1): mismo *catpart* que apareció en el apartado de timón de profundidad.

Las restricciones impuestas en el archivo generado para el timón de dirección (*timondedireccion.catproduct*) para que su ensamblaje sea correcto son:

- Orden ‘Fix’, para fijar *timondedireccion1* en el *context* del *product*.
- Orden ‘Coincidence’, para unir los cordones de las soldaduras (bisagras) de los dos tubos de *union1.catpart* a la barra del contorno exterior del *timondedireccion1*.
- Orden ‘Coincidence’, para unir los cordones de las soldaduras (bisagras) del tubo *union2.catpart*, a la barra del contorno exterior del *timondedireccion2*.
- Orden ‘Offset’, entre planos xy de las bisagras y del *timondedireccion1*, para ajustar la posición de éstas en el mismo.
- Orden ‘Offset’, entre planos xz de las bisagras y del *timondedireccion1*, y entre planos xz de las bisagras y del *timondedireccion2* para que los ejes de los tubos estén en los mismos planos, respectivamente.
- Testeo de los grados de libertad de todos los componentes y se verifica que haya solo uno, la rotación de *timondedireccion2* alrededor del eje Z, que es el buscado.

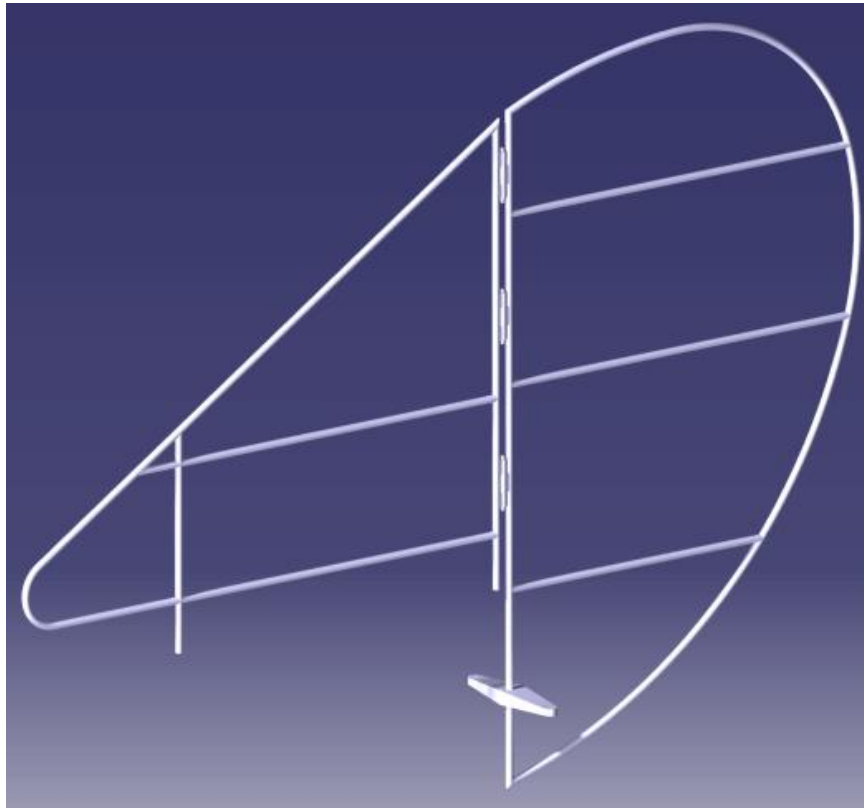


Ilustración 49. Modelado de timón de dirección en Catia.



Ilustración 50. Timón de dirección del triplano Sopwith.

2.6. MODELADO DE “MONTANTES CON LISTONES Y COSTILLAS”.

Pieza encargada de conectar las alas con la estructura del fuselaje. Es un elemento con cierto grado de abstracción ya que hay que analizar detenidamente las partes del avión para decidir cómo se va a modelar.

El plano del que se parte, es el mismo que el del fuselaje pero en este caso la información que aportan las fotografías es mayor que la aportada por el plano. A continuación, se expone el material:

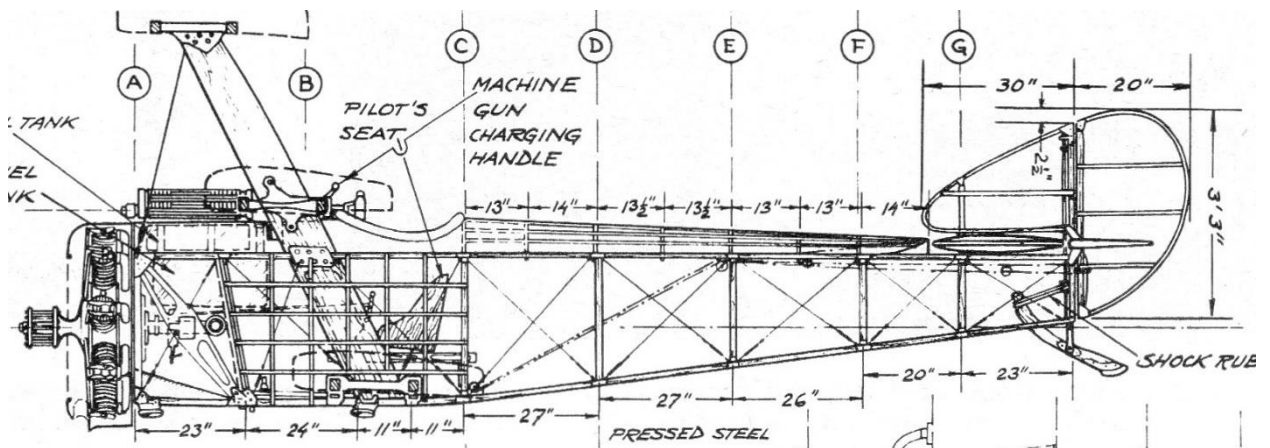


Ilustración 51. Perfil derecho de los “montantes con listones y costillas”.

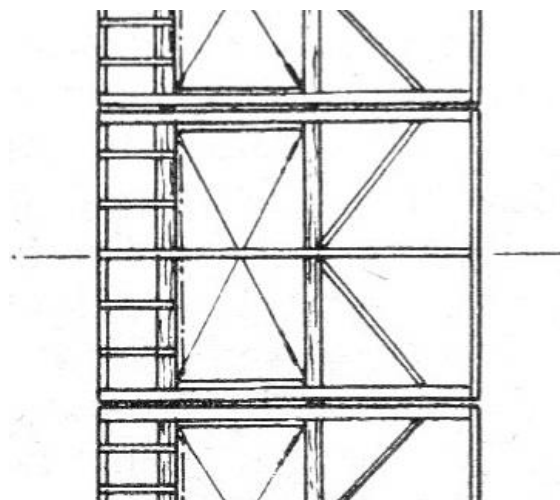


Ilustración 52. Planta de los “montantes con listones y costillas”.



Ilustración 53. Detalles de la pieza a modelar (“montantes con listones y costillas”).
Cabe considerar la pieza “explotada” y la montada.

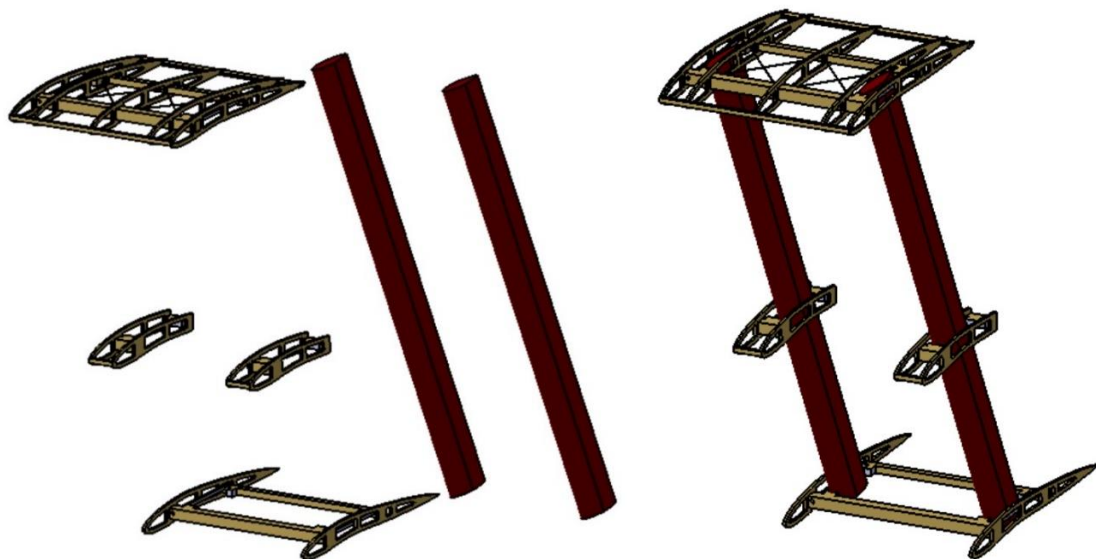


Ilustración 54. Modelado “explotado” (izquierda) y montado (derecha) de montantes con listones y costillas.

Modelado y elementos del archivo (*montantes_con_listones_y_costillas.catproduct*):

Montantes.catpart (1): modelado de travesaños o montantes responsables de sujetar las alas. Cabe resaltar que éstos poseen forma aerodinámica. El proceso de modelado ha sido:

- *'Sketch.1'*, con la forma aerodinámica del travesaño.
- *'Sketch.2'*, con la guía, por la que barreremos el sketch anterior.
- Orden *'Rib.1 (Sketch.1, Sketch.2)'*, con la que se consiguen los travesaños.
- Orden *'Mirror.1 (Rib.1)'*: genera el travesaño simétrico.

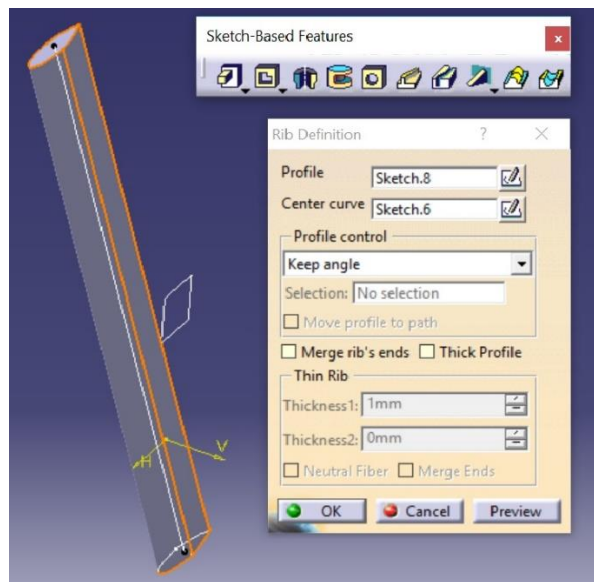


Ilustración 55. Aplicación de la orden *'Rib'*, con sketches, para travesaños.

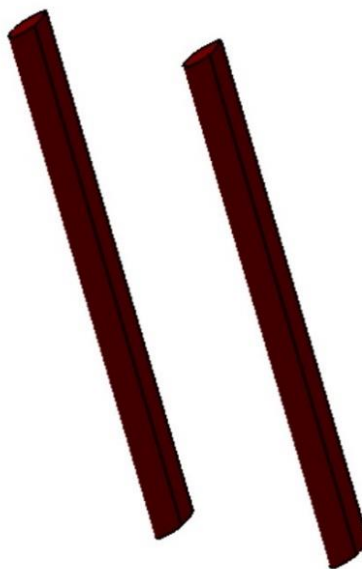


Ilustración 56. Modelado de los travesaños en Catia.

Costillas_con_listones_para_montantes_inferior.catpart (1): Base para apoyar los montantes, unidos previamente a esta pieza, en la estructura del fuselaje.

El proceso de modelado se ha realizado con las siguientes órdenes:

- *'Sketch.1'*, con el boceto de un perfil aerodinámico sin huecos, la forma y su origen se explicarán en el apartado del modelado de las alas (1.7).
- Orden *'Fill.1 (Sketch.1)'*, para crear una superficie cerrada interior del perfil aerodinámico.
- *'Sketch.2'*, en el que se dibujan los huecos del perfil aerodinámico.
- Orden *'Split.1 (Fill.1, sketch.2)'*, sustrae el sketch, de los huecos, a la superficie creada con Fill.
- Orden *'Thick surface.1 (Split.1, e=1cm)'*, dando espesor a la superficie anterior, y generando así el perfil aerodinámico.
- *'Sketch.3'*, creando la sección de los dos listones que unirán los dos perfiles.
- Orden *'Pad.1 (Sketch.3)'*, creando los listones de madera.

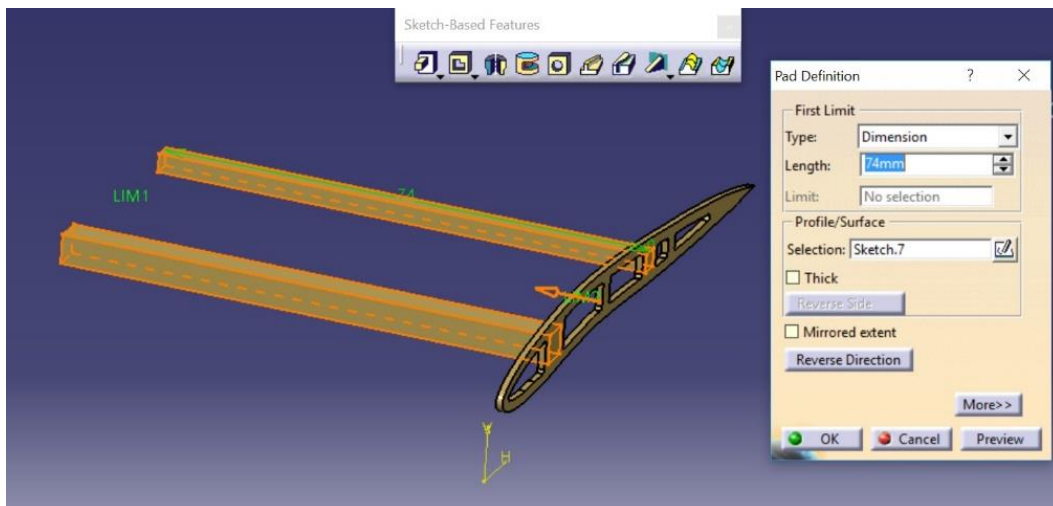


Ilustración 57. Aplicación de la orden *'pad'*.

- Orden *'Mirror (Thick surface.1 + Pad.1)'*, para generar el perfil aerodinámico de forma simétrica, respecto del plano de simetría del triplano.

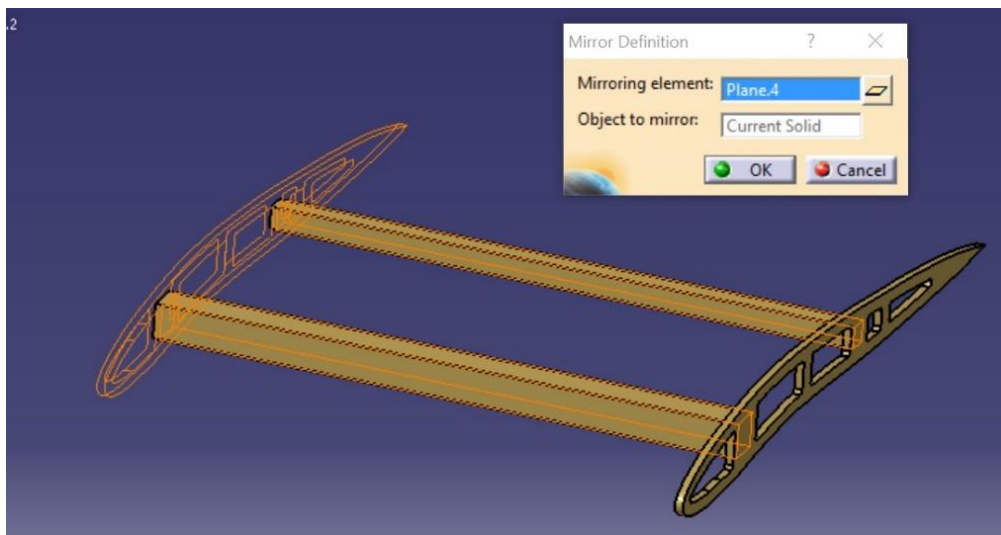


Ilustración 58. Aplicación de la orden 'mirror'.

- 'Sketch.4', para crear la sección de los salientes que poseen los listones de madera para enganchar los travesaños.
- Orden 'Pad.2 (Sketch.4)', para generar los salientes.
- Orden 'Mirror (Pad.2)', para obtener los salientes simétricos.

Costillas_con_listones_para_montantes_inferior.catpart posee uniones para acoplarse al ala inferior, y otras para acoplarse con el encastre. Éstas se van a comentar en el apartado de uniones entre elementos estructurales (1.9).

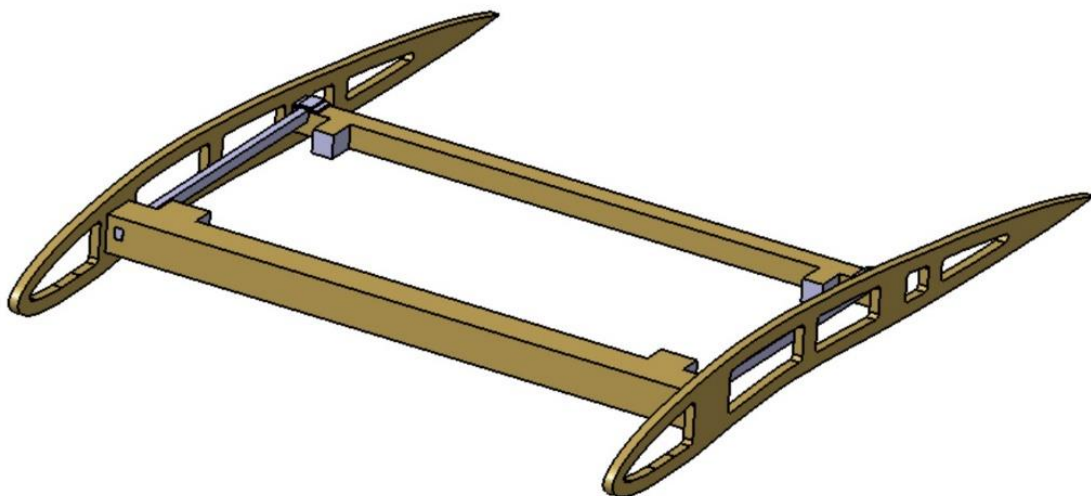


Ilustración 59. Modelado en Catia de
Costillas_con_listones_para_montantes_inferior.catpart

Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart (1): Conecta el ala superior con los montantes. El proceso de modelado es totalmente similar al de *Costillas_con_listones_para_montantes_inferior.catpart* a excepción de la inclusión de cables. Éstos se modelan de la misma forma que los presentes en el apartado de modelado de timón de profundidad (1.4). También presenta los elementos de unión con las alas (dos barras cuadradas), que se explicarán en el apartado de uniones entre partes estructurales (1.9).

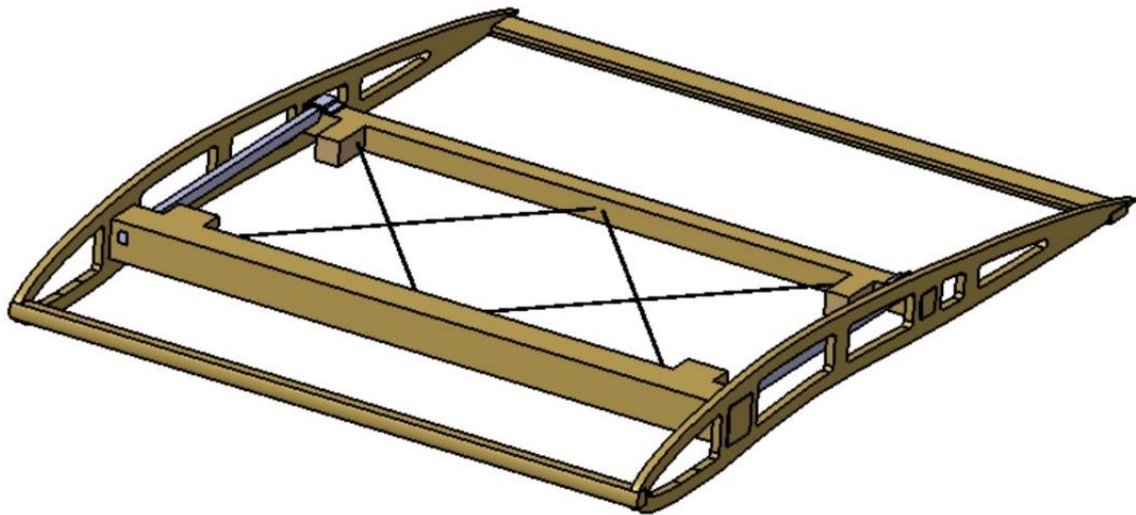


Ilustración 60. Modelado en Catia de
Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart

Costillas_para_parte_superior.catpart (3): esta costilla se introduce en varias posiciones de *Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart* para que el modelado sea coherente con los planos. La unión entre las costillas y los listones se realizaría con tornillos finos pasantes que unirán las dos piezas.

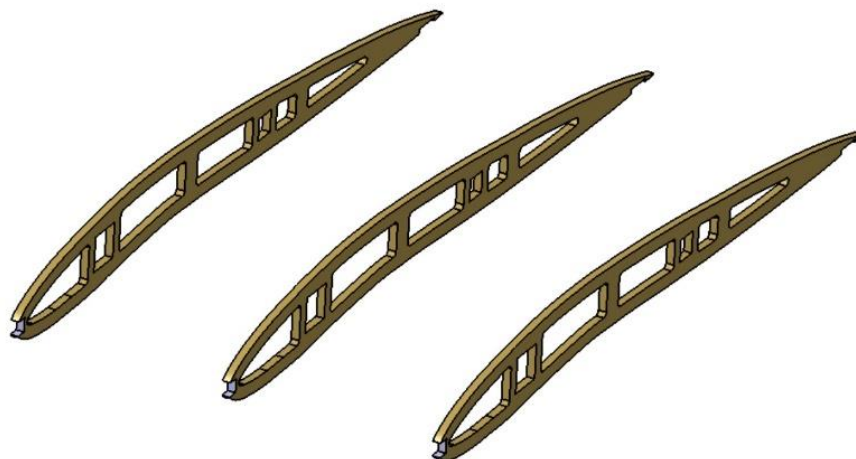


Ilustración 61. Modelado de costillas para
Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart.

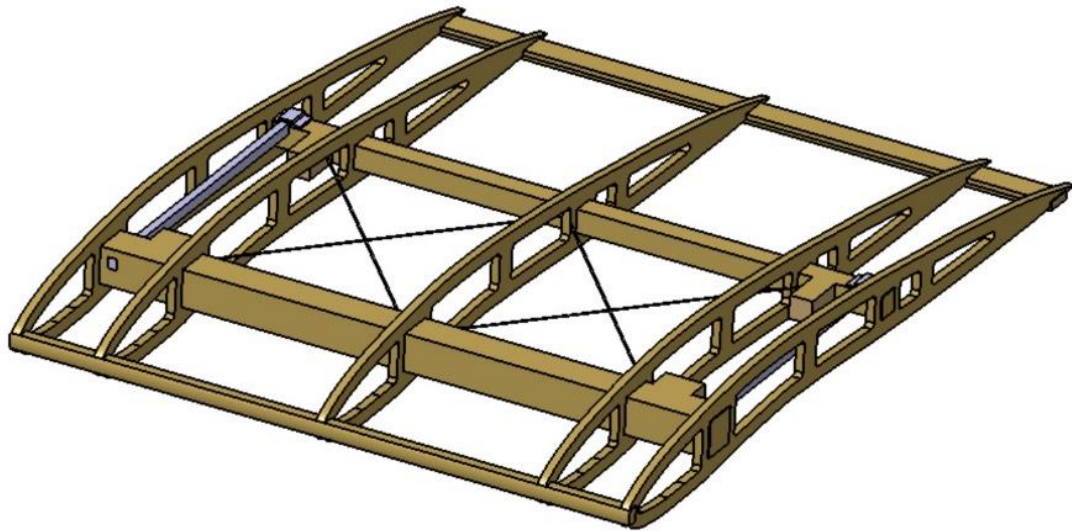


Ilustración 62. Modelado de Costillas_con_listones_para_montantes_superior.catpart con costillas.

Conexión_ala_de_en_medio.catpart (1): pieza que une el ala del medio con los montantes.

- Modelar un perfil aerodinámico como en el primer elemento (*costilla.catpart*).
- 'Pocket.1': vacía la parte adecuada según se indica en los planos.
- 'Sketch.1': contiene la sección de los listones de madera que salen del semi-perfil.
- Orden 'Pad (Sketh.1)': crea los listones.
- 'Sketch.2': boceto de las secciones de los elementos salientes para unir con travesaños mediante otras uniones comentadas más adelante.
- Orden 'Pad (Sketch.2)': genera los elementos salientes de las barras.

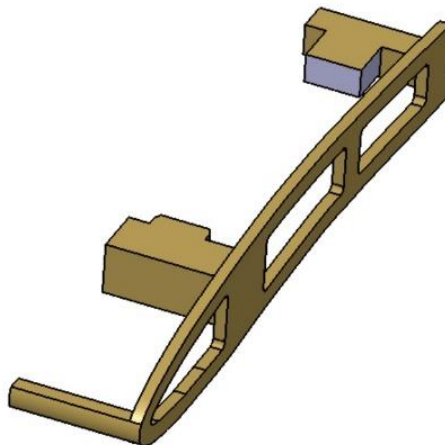


Ilustración 63. Modelado de la conexión con ala del medio en Catia.

Costilla para conexion de en medio.catpart (1): encargado de cerrar y completar *Conexión_ala_de_en_medio.catpart*. El modelado se realiza mediante un 'Pocket' al perfil creado en el primer primer elemento.

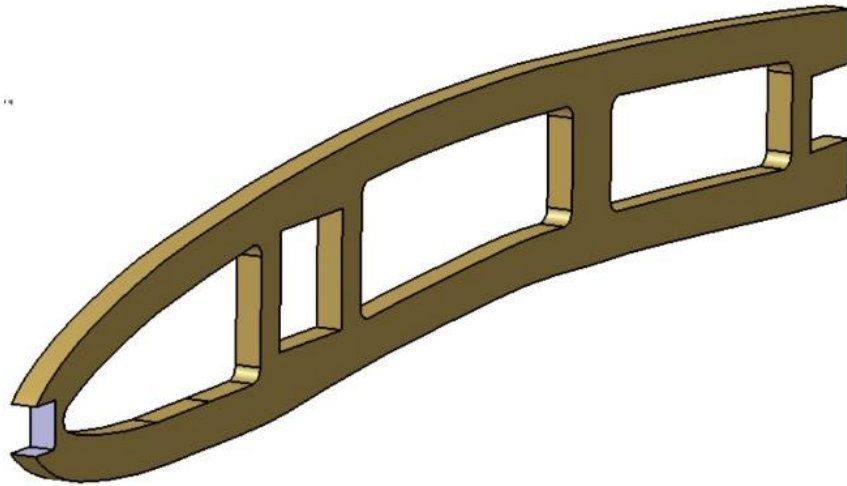


Ilustración 64. Modelado de costilla para conexión de ala del medio con montantes.

La unión de los dos elementos anteriores quedaría de la siguiente manera:

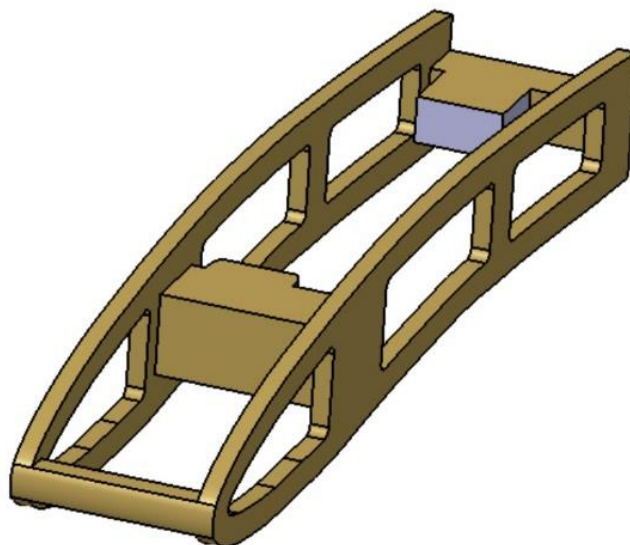


Ilustración 65. Modelado de elemento para conectar el ala del medio con los montantes en Catia.

Symmetry_of_conexion_ala_de_en_medio.catpart (1): Elemento simétrico al que su propio nombre indica. La simetría se ha conseguido, dentro del propio *product* (submódulo *Assembly*), seleccionando el elemento y ejecutando la orden 'Symmetry', escogiendo el plano de simetría del avión (xz). Con esto, se genera un nuevo elemento, simétrico al seleccionado.

Symmetry_of_Costilla_para_conexion_de_en_medio.catpart (1): Es el simétrico del que su propio nombre indica. Se ha realizado de la misma manera que *Symmetry_of_conexion_ala_de_en_medio.catpart*

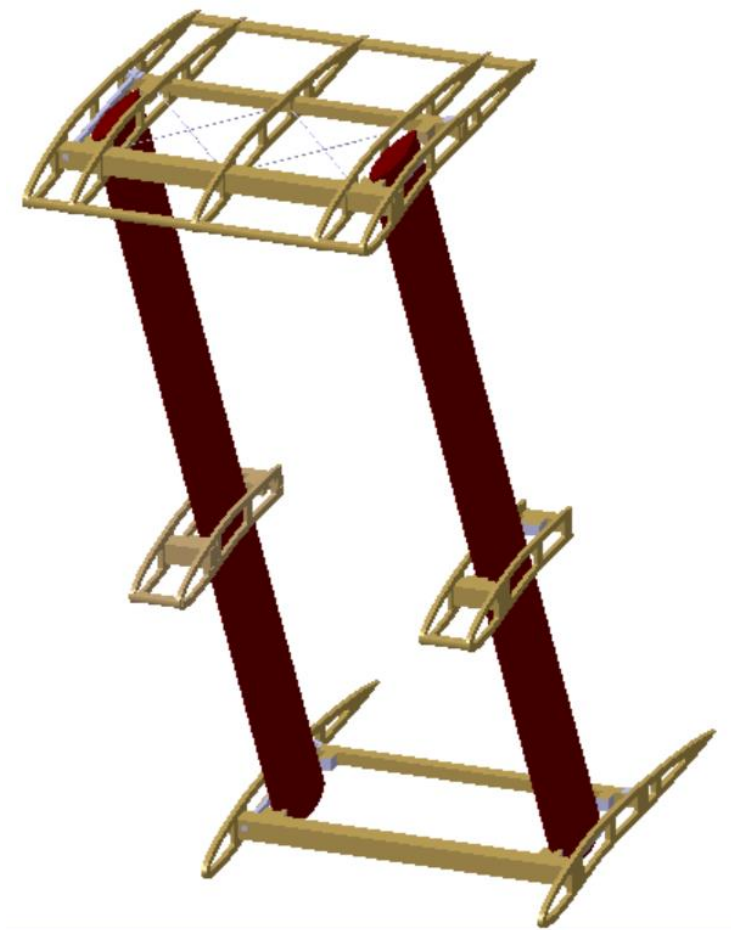


Ilustración 66. Modelado en Catia de *montantes_con_listones_y_costillas.catproduct*.

2.7. MODELADO DE LAS ALAS.

Las alas, junto al fuselaje, son las dos partes más importantes del avión. No se pueden concebir la una sin la otra. Las alas se encargan de generar la fuerza sustentadora que hace que el avión ascienda, descienda o se mantenga, según si la sustentación creada es mayor, menor o igual que el peso del avión.

Por esta razón, hay que ser extremadamente cuidadoso en el modelado de éstas. En el modelado entra en juego la aerodinámica, ya que el ala se compone de varios perfiles aerodinámicos unidos por listones y recubiertos por tela barnizada. Por ello, la buena aerodinámica del ala dependerá del diseño de su unidad básica, el perfil aerodinámico.

Otro aspecto a tener en cuenta respecto de las alas es la consecuencia del hecho de que, al ser las que generan toda la fuerza vertical para la sustentación del avión, deben soportar en las partes de enlace con otros elementos momentos muy agresivos. Es por esto que hay que diseñar los elementos de unión que conforman el encastre de forma cuidadosa y resistente.

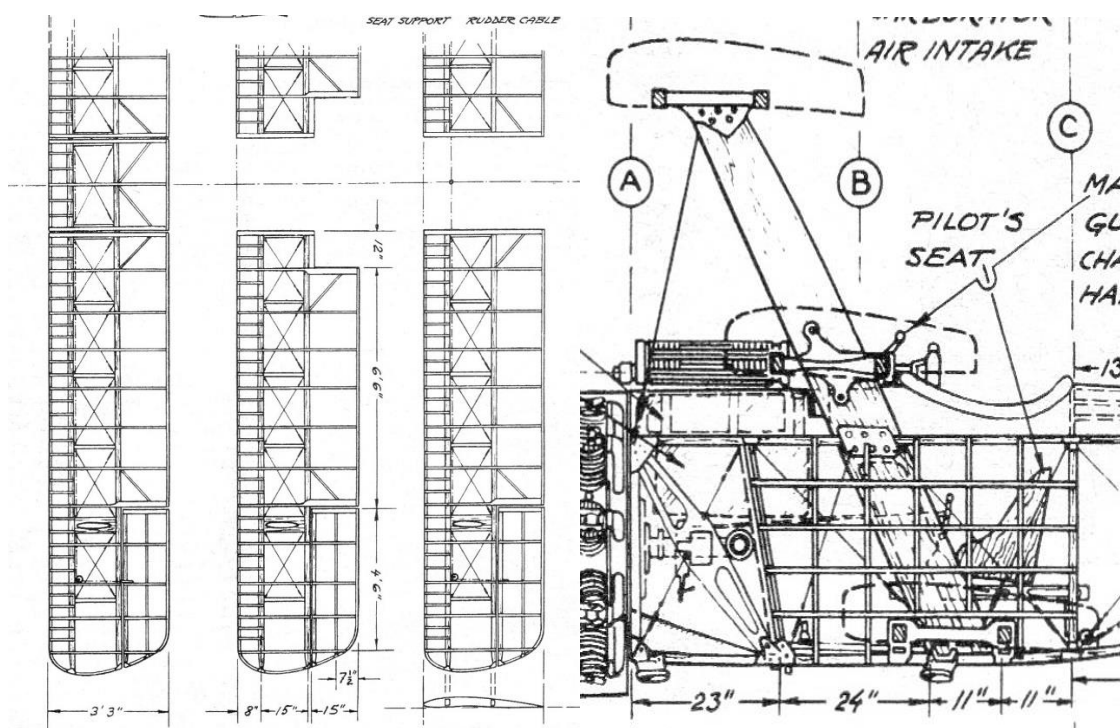


Ilustración 67. Parte del plano correspondiente a las alas.

En el plano se observa que las tres alas son simétricas respecto de un plano de simétrica (XZ). La primera y tercera poseen el mismo diseño mientras que la segunda se diferencia en la ausencia de algunos trozos de barras cerca del encastre.

Ala superior: compuestas por un archivo *.catproduct*, con la mitad del ala superior y otro *.catproduct* simétrico a éste. Por tanto, se va a explicar el proceso de modelado de la primera mitad del ala y cómo se ha modelado la otra mitad simétrica.

Para facilitar la comprensión del proceso de modelado, se muestra a continuación una imagen de *mitad_de_alas_1_y_3.catproduct*.

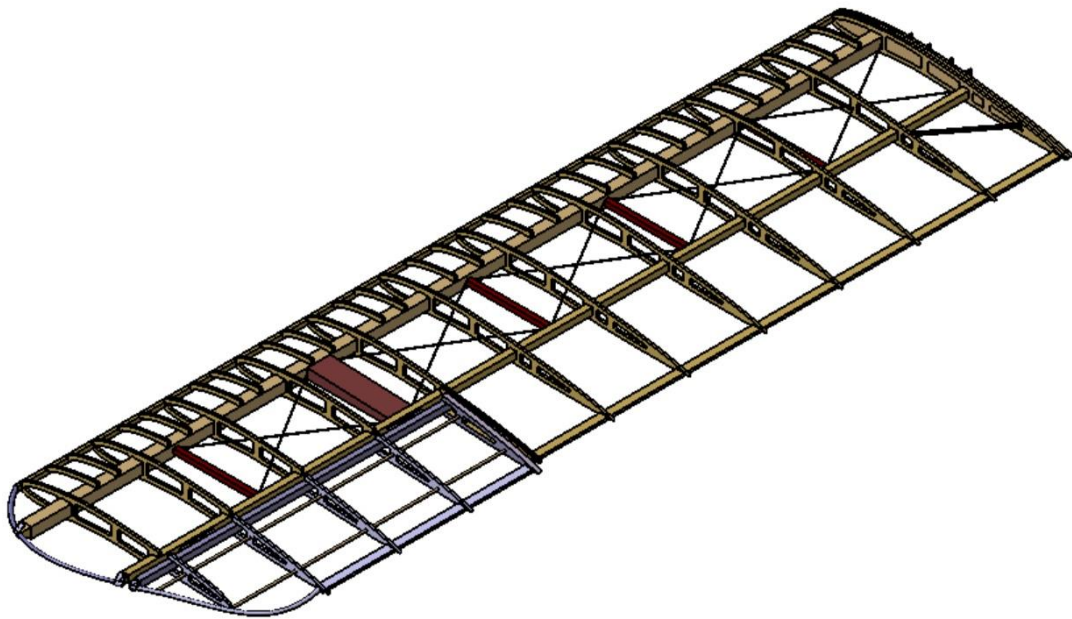


Ilustración 68. Modelado de la mitad del ala superior en Catia.

Costilla.catpart (7): Modelado de la unidad básica del ala, la costilla.

En primer lugar, debido a la ausencia de información detallada sobre la costilla, se “interpoló” la información del plano con la información fotográfica.

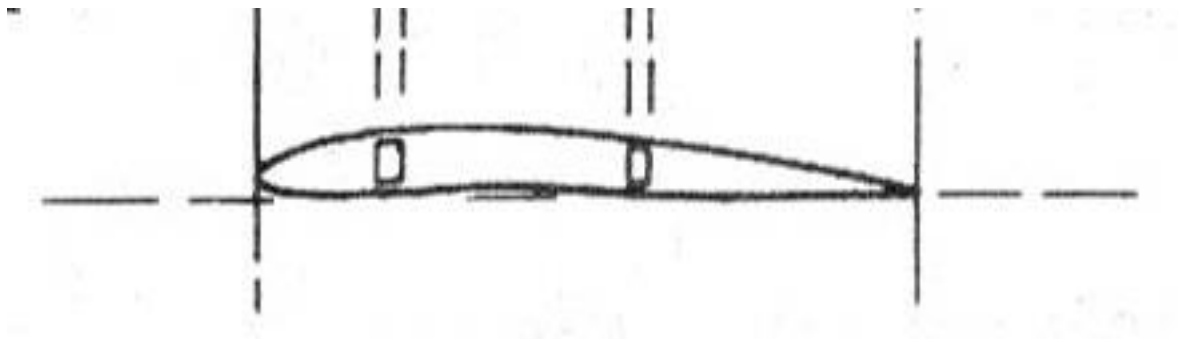


Ilustración 69. Plano de perfil aerodinámico sin agujeros.

Este plano se introdujo en Catia; se creó una superficie y se añadió material. Dentro de las opciones de material se introdujo la imagen del plano y una vez introducido se “calcó” en un *sketch* con splines muy pequeños. Conseguido el *sketch*, se escaló conociendo la medida real del perfil y lo que medía en el *sketch*. Con ese *sketch* y la orden *'fill'* se creó una superficie.

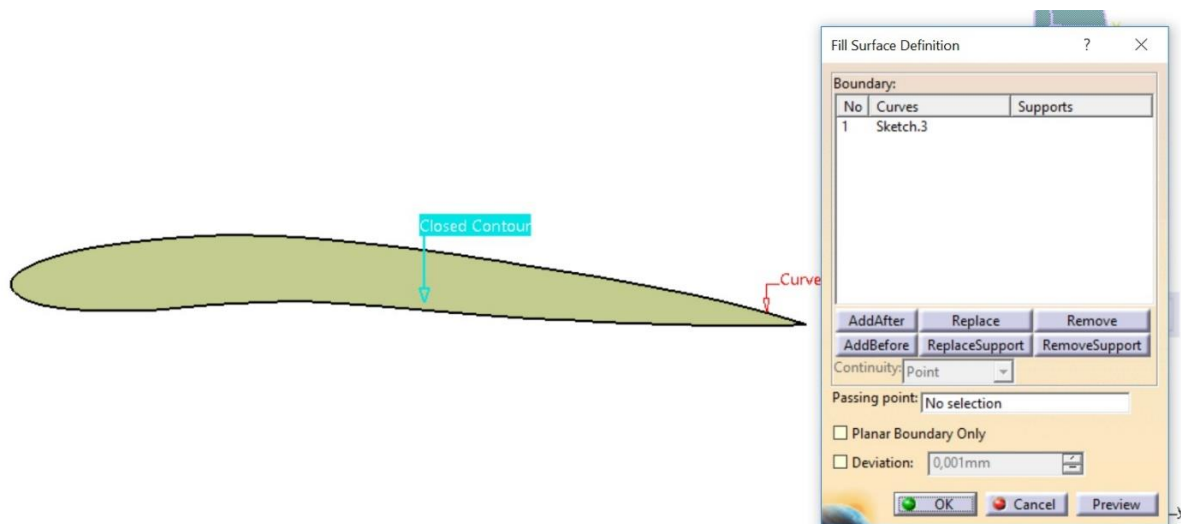


Ilustración 70. Aplicación de orden 'Fill'.

Después de esto, y teniendo en cuenta las fotografías, se realizaron los vaciados. Los dos que se pueden ver en el plano del perfil son para los listones de madera. Los vaciados se hicieron con la orden 'split', previamente dibujando éstos en un sketch. Esta orden permite sustraer un sketch a una superficie.

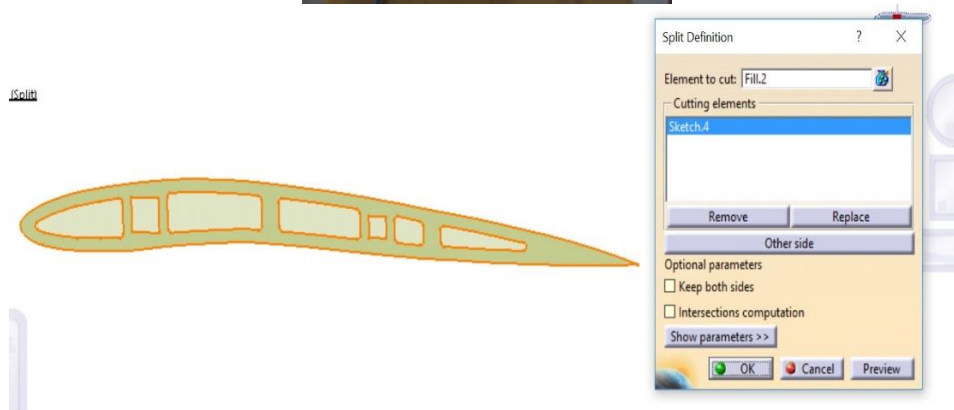


Ilustración 71. Perfiles de réplica del triplano (izquierda), aplicación orden 'split' (derecha).

A continuación, se aplicó la orden *'thick Surface'* (1mm), y se creó el perfil. Todos los perfiles están fabricados de madera de abedul. Por último, los perfiles presentan pequeños *pockets* que encajan en otros listones más pequeños.

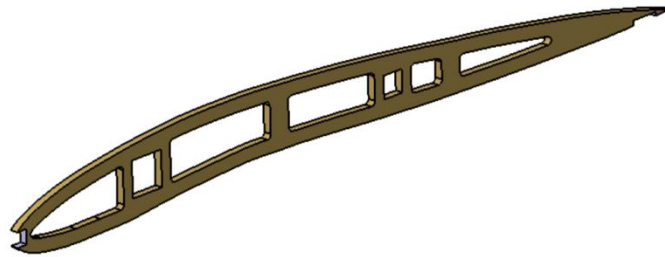


Ilustración 72. Modelado de perfil aerodinámico en Catia.

Costilla_cerca_de_la_punta.catpart (4): costilla similar a *Costilla.catpart* pero con un pocket adicional según las exigencias del plano. Se encuentra ubicada entre el comienzo del alerón hasta la punta del ala.

El proceso de modelado es similar al de *costilla.catpart*, añadiendo a ésta un vaciado perpendicular al perfil desde $\frac{3}{4}$ de la cuerda del perfil hasta la punta del ala.

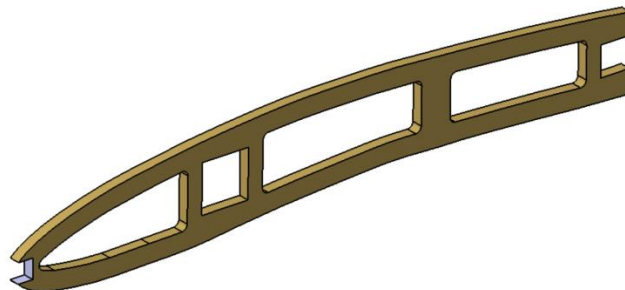


Ilustración 73. Modelado de semi-costilla en Catia.

Refuerzo.catpart (22): Da rigidez al ala sin añadir demasiado peso.



Ilustración 74. Perfiles y refuerzos del ala.

Su proceso de modelado ha sido el mismo que el del perfil, añadiendo un *'pocket'* que retira el material sobrante.

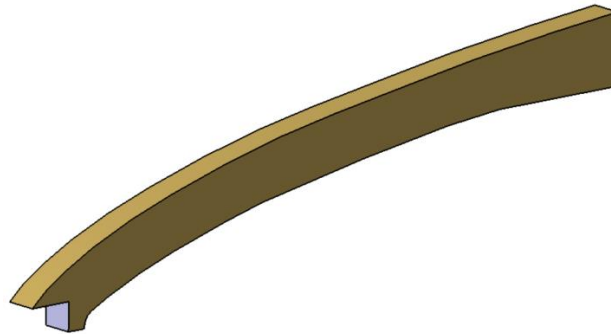


Ilustración 75. Modelado de refuerzo de ala en Catia.

Barra_ala1.catpart (1): podemos distinguir varias partes:

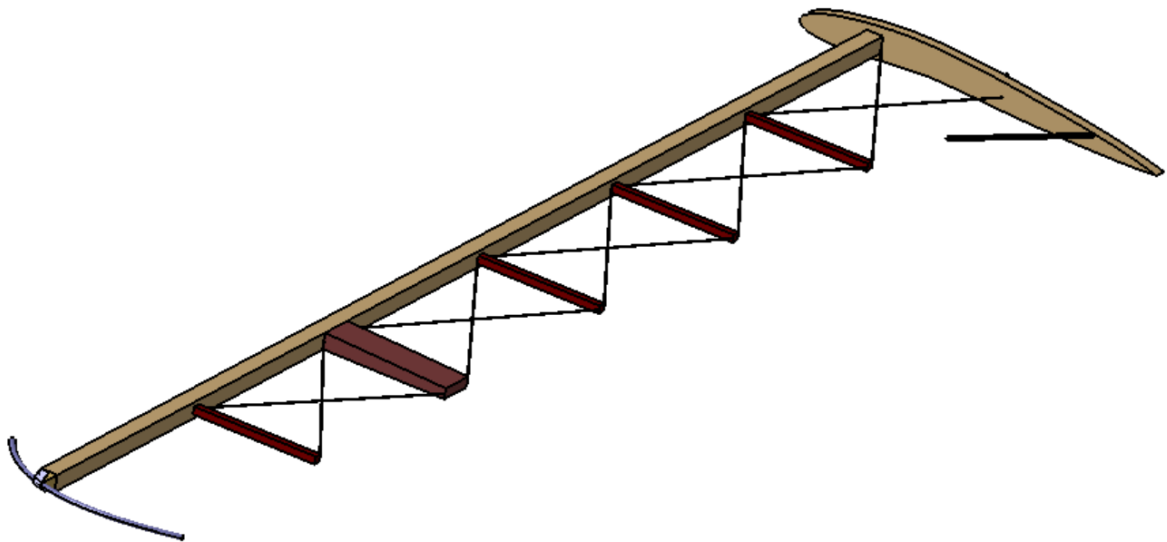


Ilustración 76. Modelado de *barra_ala* en Catia.

- Volumen macizo con sección de perfil: elemento de las partes de unión del ala con la pieza de los montantes. Se modela maciza para que la unión de los listones de madera sea más resistente y se realiza con un pad que utiliza de sección el sketch del perfil aerodinámico sin vaciados.

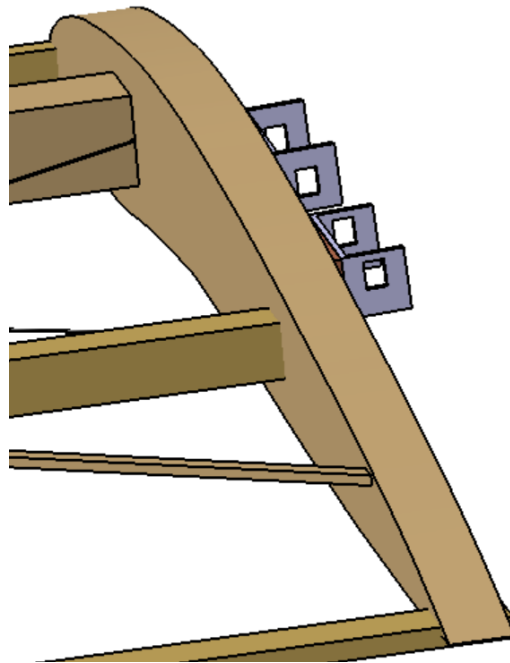


Ilustración 77. Volumen macizo con sección de perfil.

- Listón de madera principal: es uno de los dos listones que aparece claramente en el plano y en las imágenes. Se modela con un *pad* que utiliza un *sketch* con la sección del listón.



Ilustración 78. Listones de madera en la estructura alar del triplano.

- Prisma de madera: elemento utilizado para ensamblar montantes auxiliares de los cuales se hablará en la sección de uniones entre partes con las alas (1.9). Se modelan con un *'pad'* que utiliza un *'sketch'* donde se encuentra la superficie de la base del prisma.

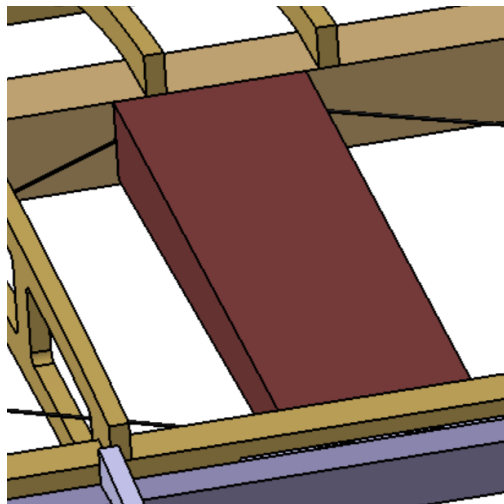


Ilustración 79. Prisma de madera, en las alas, para enganchar montantes auxiliares.

- Listones pequeños de madera: se ensamblan para dar rigidez al ala y para poder ensamblar cables a ellos, además de distribuir las solicitaciones mecánicas.
- Barra de acero: constituye la punta del ala y es el elemento de transición entre el listón de madera más grande y el más pequeño. Se modela con la orden '*Sweep (R=5mm)*' y se hace macizo con la orden '*closed Surface*'. Cabe destacar que también se modela una pletina que une dicha barra con el listón mayor. Esta pletina presenta el mismo modelado que las que se utilizan en el timón de profundidad explicado en la sección de modelado de dicho timón (1.4).

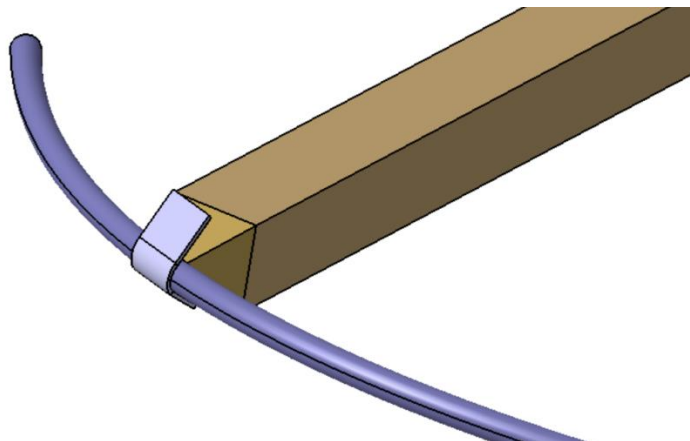


Ilustración 80. Pletina de unión entre barra y listón en ala.

- Cables: se montan para distribuir las fuerzas del aire sobre el ala. Su modelado es el mismo que los ya explicados en la sección del timón de profundidad (1.4).
- Listón auxiliar: refuerzan la estructura. Su modelado se realiza con un '*pad*', utilizando éste un '*skech*' con la base de dicho listón.

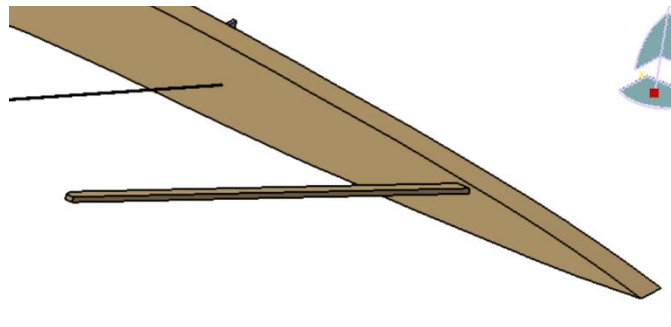


Ilustración 81. Listón pequeño de madera en ala.

- Elementos de conexión: unión con la pieza del “montante con listones y costillas” y para formar el ángulo de $2,5^\circ$ que poseen las alas respecto a la horizontal.

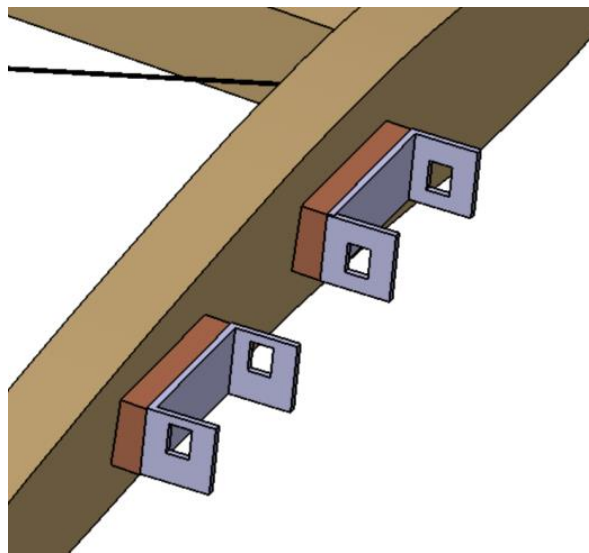


Ilustración 82. Elementos de unión con la pieza central.

Barra_ala2.catpart (1): el modelado de esta pieza se realiza mediante un segundo listón de madera, dos mitades de barra macizas (acero) para la conexión del alerón, el elemento de unión con la barra de punta de ala y una semi-costilla que hace de tope del alerón. El proceso de modelado de dichos elementos se ha explicado con anterioridad, excepto el de las dos mitades de barra. Estas dos mitades surgen de la necesidad de unión y rotación del alerón respecto del ala. Su modelado se realiza con un ‘*sketch*’ con la sección y un ‘*pad*’ para crear la mitad de barra. Están atornilladas al listón de madera.



Ilustración 83. Modelado de *Barraala2* en Catia.

Aleron.catpart (1): superficies de control. Su función es deflectarse, antisimétricamente con su simétrico. Esta deflexión genera fuerzas que provocan un momento de alabeo, que a su vez, produce un giro alrededor del eje longitudinal de la estructura del avión.

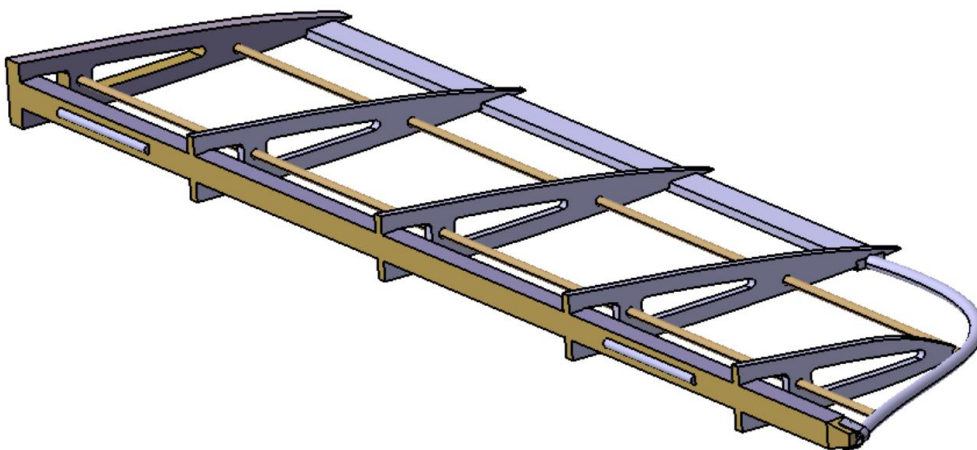


Ilustración 84. Modelado en Catia de Alero del triplano Sopwith.

El proceso de modelado de cada una de las partes ha sido:

- Semi-costillas: siguen el mismo proceso que las costillas originales, además de un *'pocket'*, para adquirir la forma requerida por los planos.
- Listón de madera: similar al listón secundario y se modela con un *'pad'*.
- Listón de borde de salida: da consistencia al alerón.
- Barra de punta de ala: de metal y une los dos listones.
- Barras de madera (2): barra de diámetro muy pequeño (4 mm), que conecta las semicostillas y da consistencia.
- Semi-barras macizas de metal: atornilladas a los listones y necesarias para unir el alerón al ala.

Bisagra.catproduct (2): son las mismas utilizadas para unir las partes de los timones.

Su proceso de modelado se explica en las secciones del timón de profundidad y dirección (1.4 y 1.5).

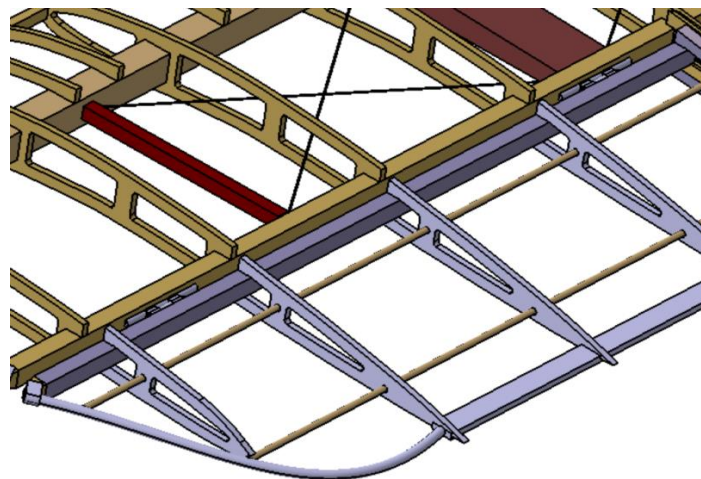


Ilustración 85. Unión de alerón con ala mediante bisagras.

Barra_ala_delantera.catpart (1): une todas las costillas por la parte delantera (borde de ataque). Su proceso de modelado consiste en un *'sketch'* con la sección del listón y un *'pad'* con este sketch.

Barra_ala_trasera.catpart (1): listón más pequeño que el del borde de ataque que une el borde de salida de todas las costillas. Su proceso de modelado es idéntico al del elemento anterior.

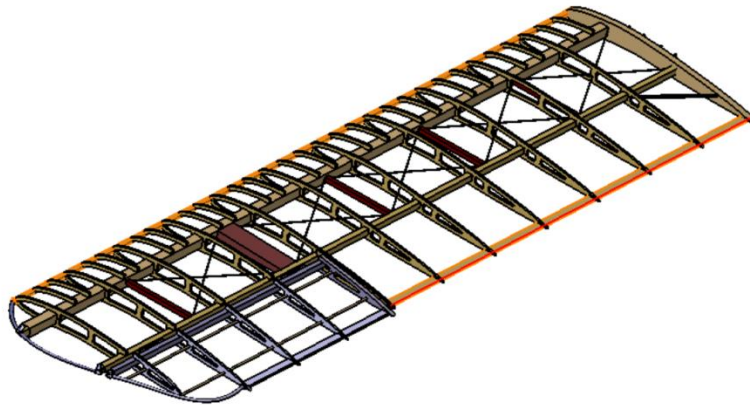


Ilustración 86. Modelado de Barras traseras y delanteras (naranja)

Las restricciones impuestas en el ensamblaje del ala en el archivo *mitad_de_ala1_y_3.catproduct* son:

- Orden '*Fix*', para fijar *barra_ala1* en el contexto del *product*.
- Orden '*Offset*', para fijar todas las costillas y refuerzos.
- Orden '*coincidence*', para fijar todas las costillas y refuerzos a los listones.
- Las bisagras fijadas de igual manera que la explicada en la sección de modelado de timón de profundidad (1.4).

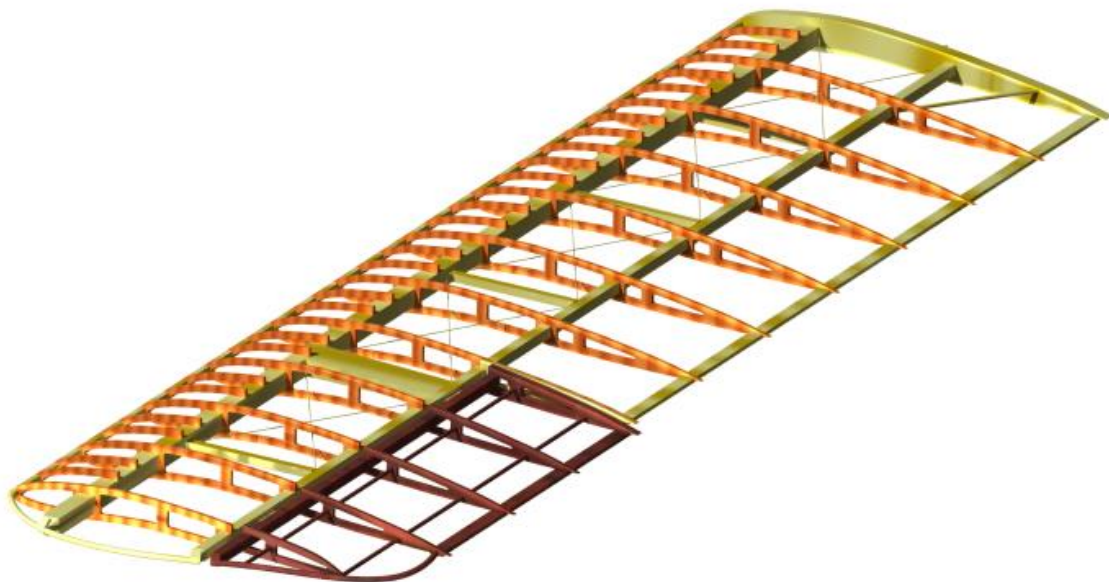


Ilustración 87. Modelado de la mitad del ala superior en Catia.

En cuanto a la otra mitad del ala, se encuentra en otro archivo *.catproduct*, simétrico al analizado recientemente. Esta simetría se puede realizar debido a que nuestro triplano está modelado en un archivo *TriplanoSopwith.catproduct*, donde se incluyen todas las partes del

avión. Como ya se comentó con anterioridad, dentro de un *product* se puede aplicar simetría a un componente. Esta orden de simetría selecciona el *product* y duplica respecto del plano de simetría XZ todos sus componentes.

Los componentes del producto de la simetría se copian sin restricciones, por lo que se fijan todos con la orden 'Fix', ya que se sabe que las posiciones geométricas de los elementos son las mismas, pero simétricas. Por tanto, con la orden simetría (respecto a un plano inclinado 2,5° respecto de la vertical) obtenemos la otra mitad del ala superior.

Concluimos que el ala superior está formada por dos *product*: *mitad_de_ala1_y_3.catproduct* y *symmetry_of_mitad_de_ala1_y_3.catproduct*.

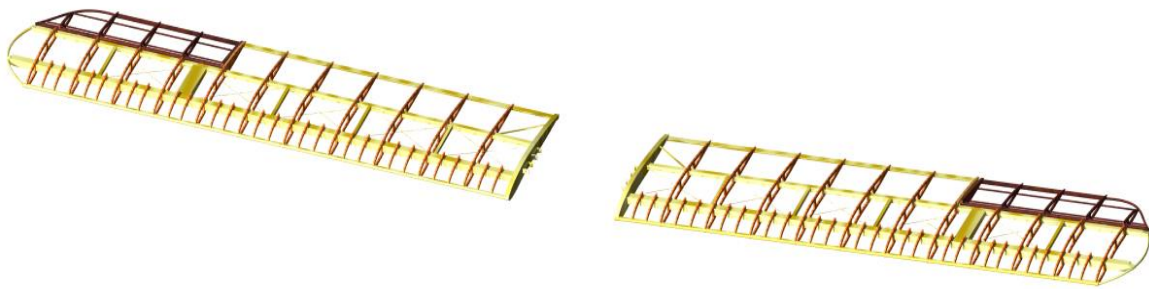


Ilustración 88. Modelado del ala superior en Catia.

Ala inferior: Mismo proceso de modelado que la superior, mismo tipo de uniones con la pieza central y mismos archivos que los del ala superior.

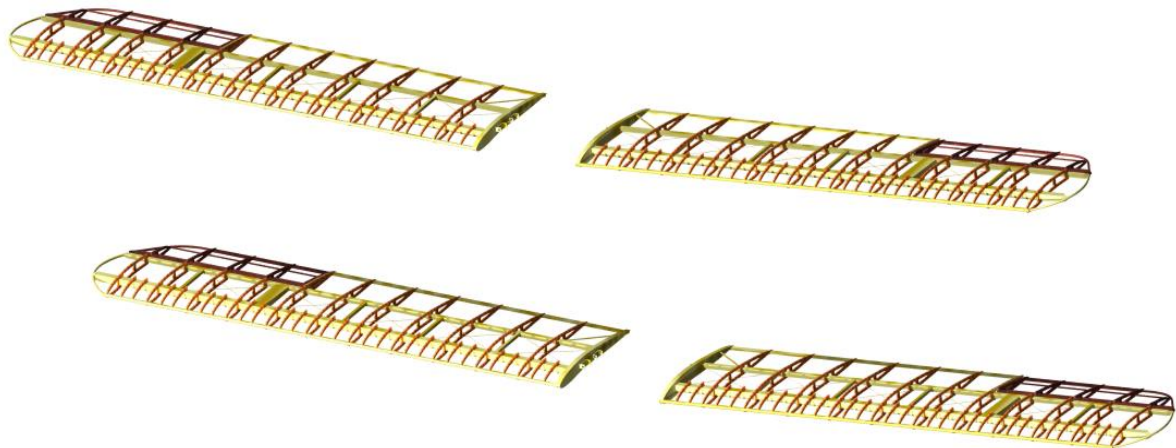


Ilustración 89. Modelado del ala superior e inferior en Catia.

Ala del medio: la mitad derecha del ala (mirando frontalmente) es el mismo archivo que las mitades derechas anteriores pero añadiendo un *'pocket'*. Destacar que al realizar la copia de los archivos se debe cambiar, en propiedades, el *part number* e *instance name*. Después de haber realizado esos cambios ya se puede realizar el *'pocket'* sin que afecte a las otras alas. Este *'pocket'* se realiza creando un *'sketch'* con el vaciado y ejecutando la orden. A la otra mitad, dentro del archivo *TriplanoSopwith.catpart*, se aplica simetría a la mitad derecha y se consigue el ala del medio completa. Los componentes del producto resultante de la simetría se fijan como se ha hecho en el ala inferior.

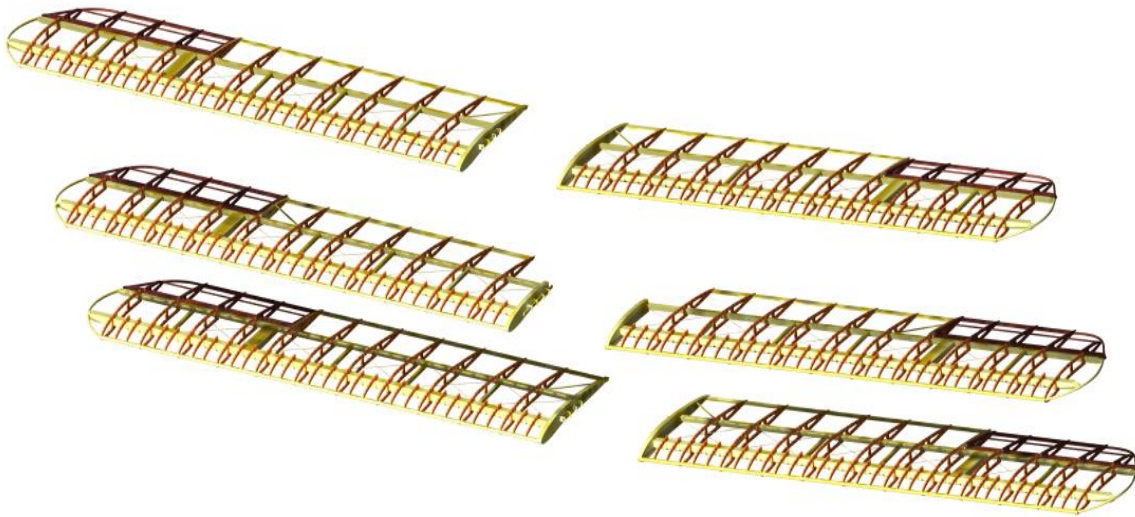


Ilustración 90. Modelado de grupo alar en Catia.

2.8. MODELADO DE TREN DE ATERRIZAJE.

El tren de aterrizaje es uno de los elementos sometidos a mayor número de solicitaciones mecánica ya que es el encargado de absorber toda la energía cinética a la hora de de impactar con el suelo, en la fase de aterrizaje. Para el modelado del tren de aterrizaje, se parte de la siguiente parte del plano:

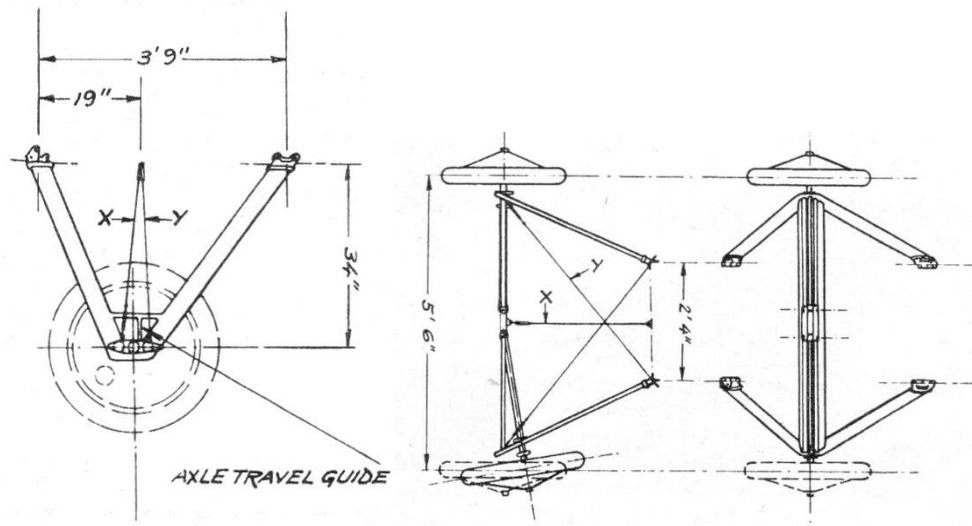


Ilustración 91. Plano del tren de aterrizaje del triplano Sopwith.

El modelado se ha realizado en *tren_de_aterrizaje.catproduct*. Este archivo consta de otros dos más:

tren_de_aterrizaje_1.catpart: formado por diferentes partes o elementos.

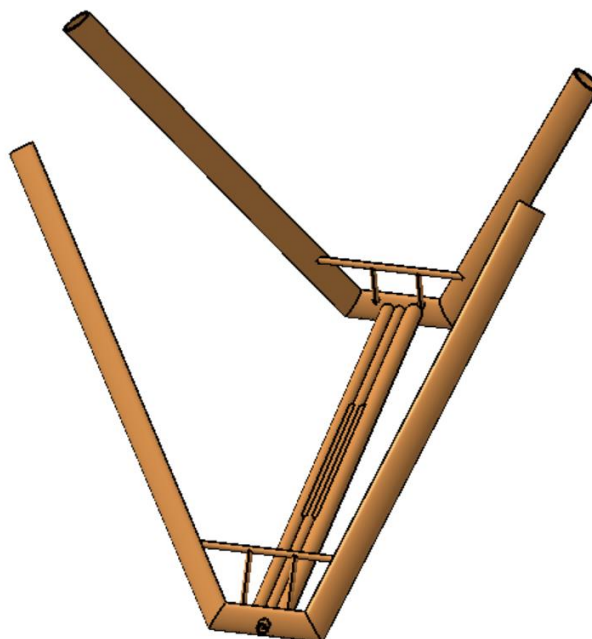


Ilustración 92. Modelado de tren de aterrizaje del triplano Sopwith en Catia.

Barras en forma de V: barras de sección elíptica, de espesor 3mm, un milímetro más que las de la estructura del fuselaje, ya que deben resistir solicitaciones mayores.

El proceso de modelado se ha realizado creando una guía con puntos y líneas, en forma de V y un *'sketch'* perpendicular a la guía, con la sección elíptica, para aplicar posteriormente la Orden *'Rib'* con la opción de espesor. Para conseguir la barra en V simétrica se aplicó la orden *'mirror'*.

“Barritas” en el vértice de la V: refuerzos en forma de barras que sirven para distribuir y homogeneizar la distribución de fuerzas resultantes del impacto. El modelado de cada barra se realizó con un *'sketch'*, la orden *'sweep'* con este sketch y $R=0,75$ cm, y la orden *'Thick surface'* para más tarde dar un espesor de 1 mm.

Barras de union entre V y V: archivo que modela tres barras unidas por dos cordones de soldadura como se puede ver en la imagen (Ilustración 73). La del medio traspasa las barras en forma de V, debido a que su función es alojar a la barra que une las ruedas. Los salientes de esta barra, desde las barras en forma de V, se comportan como tope para que las ruedas no rocen con el tren. Las dos barras restantes son elementos de unión y proporcionan rigidez al tren de aterrizaje. Estas tres barras tienen un espesor de 3 mm. Las dos barras de los extremos se han modelado con un *'sketch'* y un *'pad'* (con la opción espesor), la barra de en medio con otro *'sketch'* y otro *'pad'*, con opción de espesor y el cordón de soldadura, con *'sketch'* y *'pad'*.

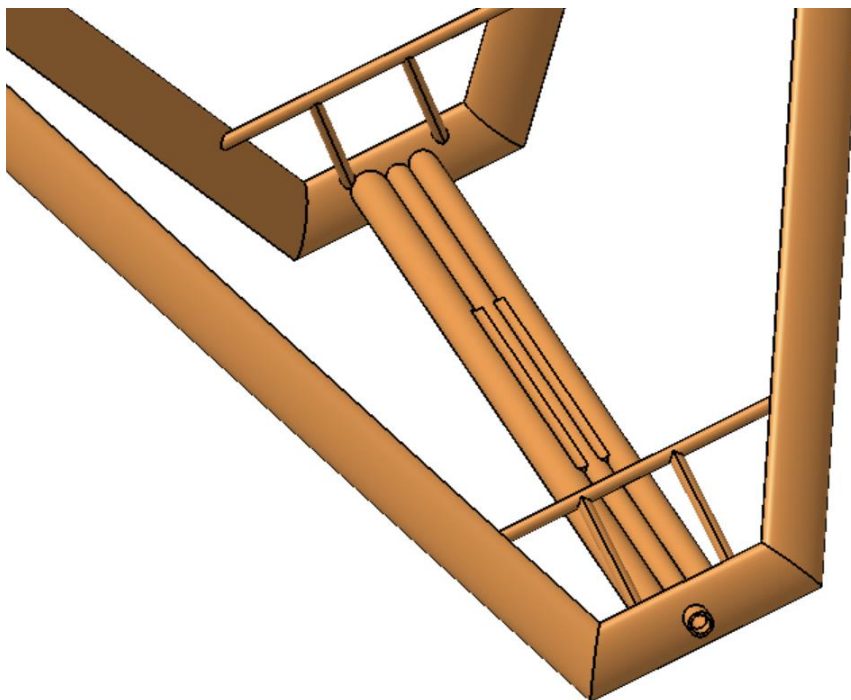


Ilustración 93. Detalle de barras centrales del tren de aterrizaje.

tren_de_aterrizaje_2.catpart: Segunda parte del tren que modela las ruedas y la barra que las une.

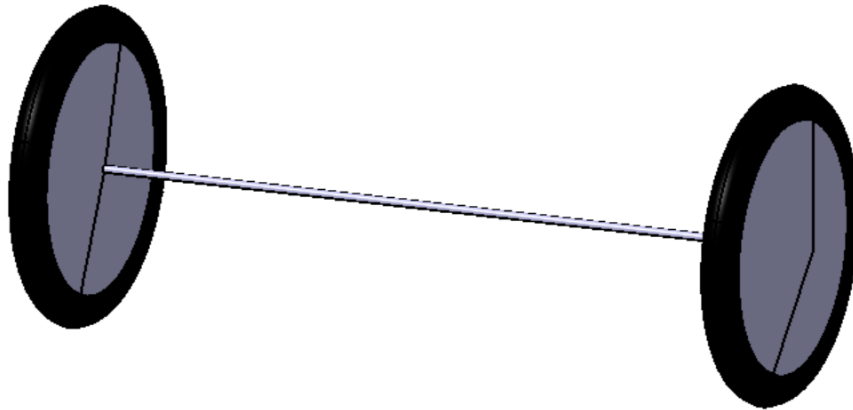


Ilustración 94. Ruedas del tren de aterrizaje.

El modelado de una rueda, se realiza con un 'sketch' y la orden 'Shaft' (e=0.5cm), aplicando la orden 'mirror', respecto del plano de simetría de triplano, se consigue la otra rueda.

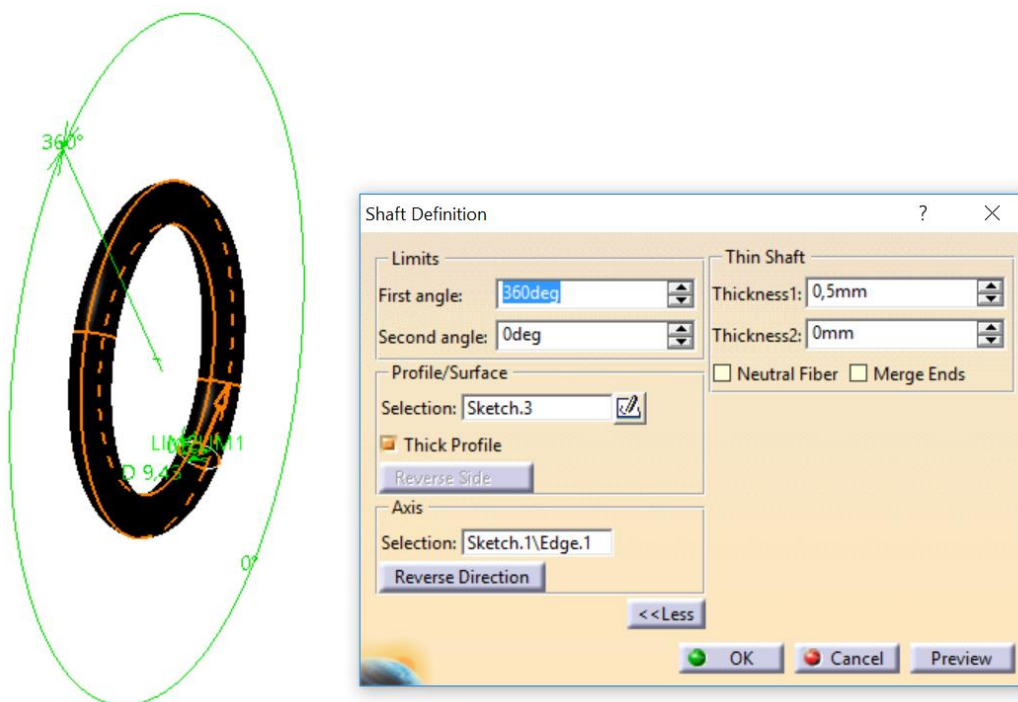


Ilustración 95. Utilización de la orden Shaft para construcción de ruedas.

La parte interior correspondiente a la llanta y radios de la rueda no se ha modelado porque no se disponía de información, quedará pendiente para futuras mejoras. Sí se ha modelado la cubierta de las ruedas, con la orden *'revolute'* y una línea en un *'sketch'*. Con esto se ha creado una superficie a la que más tarde se le ha dado espesor con *'thick surface'*.

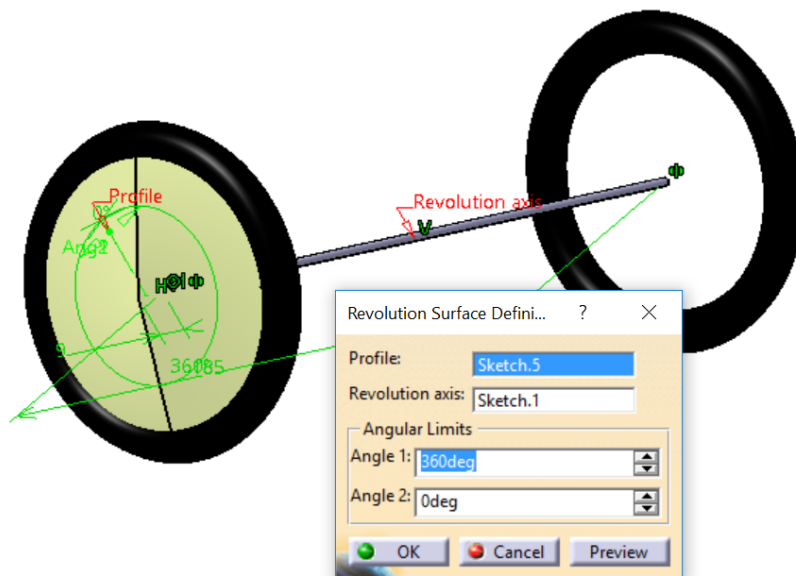


Ilustración 96. Aplicación de orden *'revolute'* para la cubierta de las ruedas.

Una vez obtenida la cubierta con espesor, se aplica la orden *'mirror'* para obtener la simétrica. Para finalizar, se modela la barra que une las dos ruedas, con un *'sketch'* y un *'pad'* (e=2mm). La unión al fuselaje se realiza mediante una fuerte soldadura a un tornillo pasante que une las patas que salen de la estructura y las barras en forma de V.

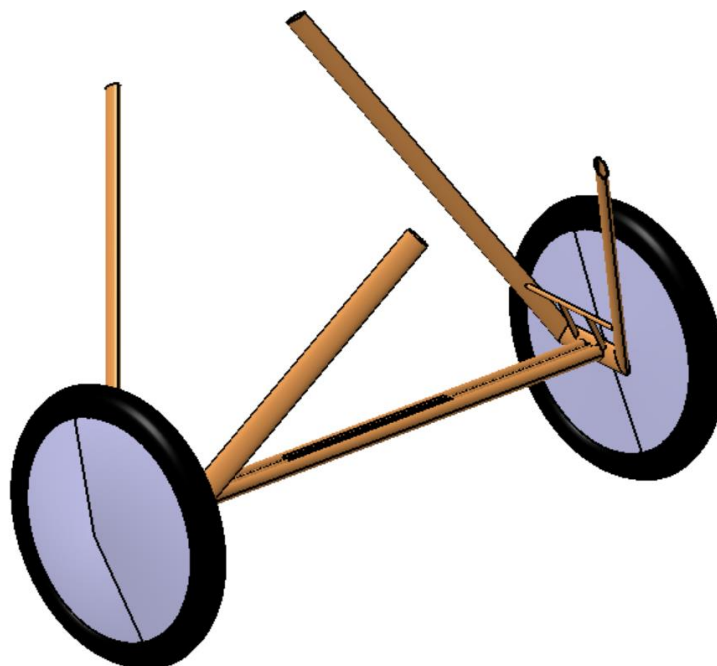


Ilustración 97. Modelado del tren de aterrizaje en Catia.

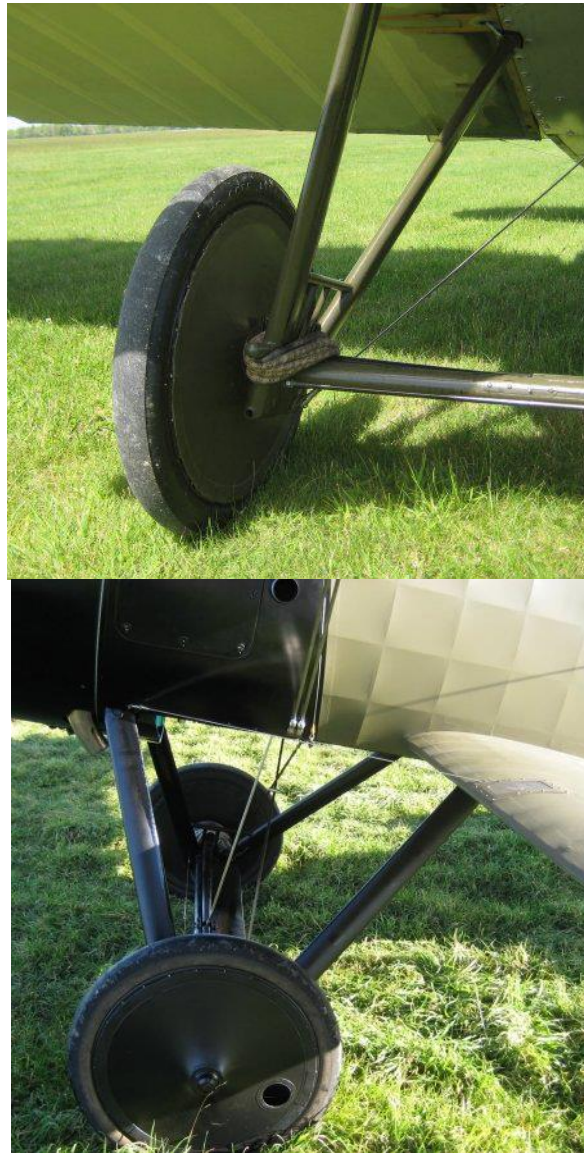


Ilustración 98. Tren de aterrizaje de réplica Sopwith.

2.9. MODELADO DE UNIONES ENTRE PARTES ESTRUCTURALES.

A continuación, se desarrolla el proceso de modelado de los elementos utilizados para unir las partes del triplano. La mayoría de ellos han quedado explicados en secciones anteriores, incluyendo como elemento nuevo el ensamblaje de las diferentes partes del avión.

2.9.1. ENSAMBLAJE DE TIMÓN DE PROFUNDIDAD CON ESTRUCTURA DE FUSELAJE.

El timón de profundidad se agarra rígidamente y sin grados de libertad a la estructura del fuselaje, diferenciando entre grados de libertad en el contexto del triplano y en el contexto del timón. En éste último sí hay un grado de libertad, que es la rotación del elevador respecto del estabilizador. Al no disponer de planos de esta unión se decidió escoger el mismo tipo de unión que reside en el encastre resistiendo mayores esfuerzos mecánicos que el timón de profundidad.



Ilustración 99. Uniones utilizadas en el encastre del avión.

Estas uniones se asemejan a pletinas de acero (espesor 2mm) que abrazan parejas de barras y listones o barras y barras. La ilustración que se muestra justo a continuación visualiza los diferentes elementos de unión. Los dos de la izquierda unen la barra de acero del estabilizador con la estructura del fuselaje y poseen pequeños topes que chocan con tornillos perpendiculares a las barras para evitar el movimiento del timón. La pletina que reside a la derecha de la imagen une un listón de madera del estabilizador a la estructura del fuselaje. El elemento que está en el centro de la imagen une otro listón con la estructura.

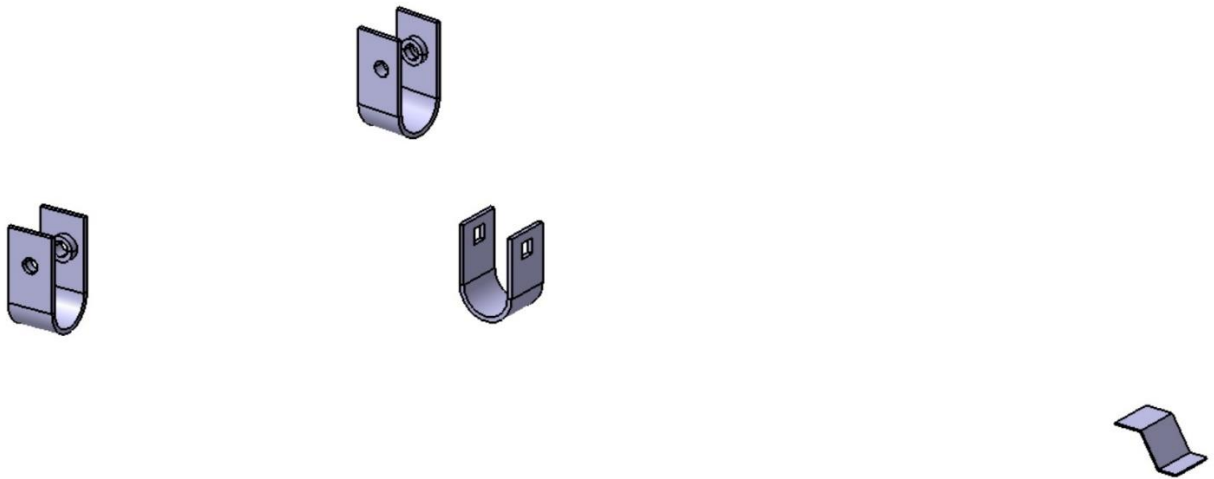


Ilustración 100. Modelado de uniones del timón de profundidad con estructura del fuselaje.

El proceso de modelado es semejante para todos los elementos citados:

- *'Sketches'*.
- Orden *'Extrude'*, para generar superficies.
- Orden *'Thick surface'*, para dar espesor.
- Orden *'pocket'*, para retirar el material por donde pasan las barras y listones.

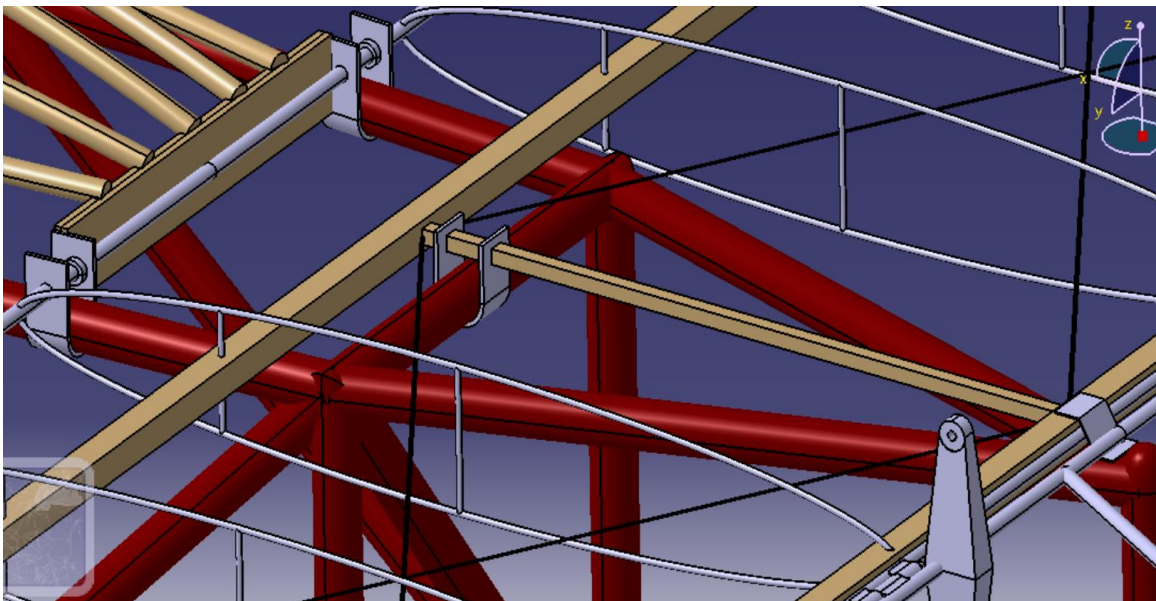


Ilustración 101. Unión del timón de profundidad a la estructura.

2.9.2. ENSAMBLAJE DEL TIMÓN DE DIRECCIÓN CON ESTRUCTURA DEL FUSELAJE.

Para el desarrollo de esta unión se consultó el proyecto del avión Fokker y se pudo constatar que también se utilizaban bisagras como en el caso del timón de profundidad.

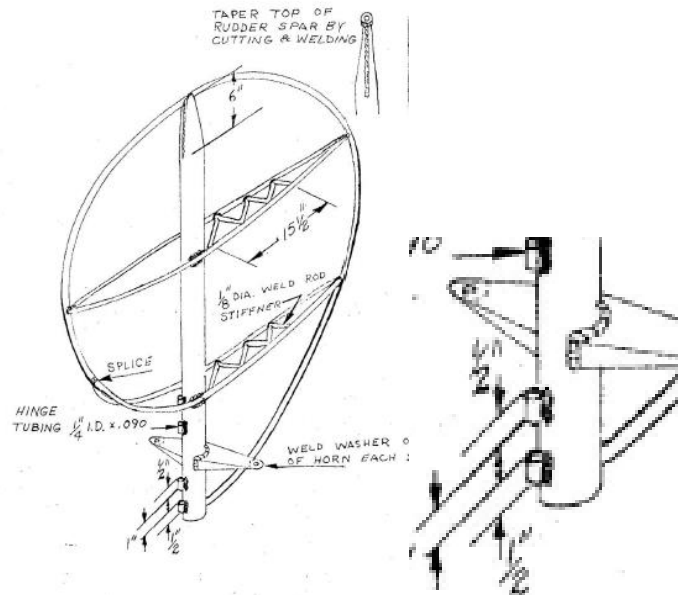


Ilustración 102. Unión entre timón de dirección y fuselaje del Fokker.

A partir de las ilustraciones 103 y 104 se propuso una solución de modelado.



Ilustración 103. Fotografías del timón de dirección del Sopwith.

Por lo tanto, se decidió que:

- Las barras de la parte fija irán soldadas a las barras de fuselaje y enganchadas al timón de profundidad.
- La parte móvil irá acoplada a una barra de la estructura del fuselaje mediante dos bisagras.

Las bisagras son las mismas y se modelan igual (solo varía el radio) que las explicadas en la sección de modelado de timón de profundidad (1.4).

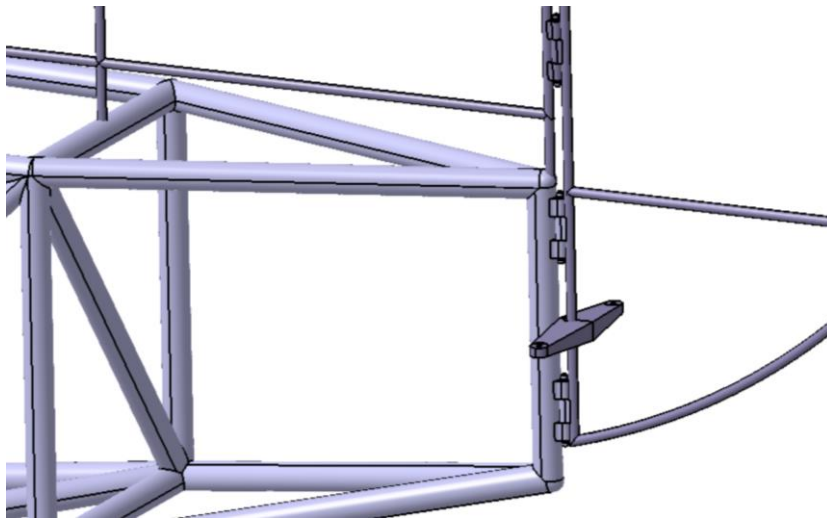


Ilustración 104. Conexión entre timón de dirección y estructura del fuselaje.

2.9.3. ENSAMBLAJE DEL TREN DE ATERRIZAJE CON ESTRUCTURA DEL FUSELAJE.

En la ilustración 106 se observa que la unión consiste en un tornillo de acero pasante con arandelas de espesor considerable y a su vez soldadas a las barras. Lo que se desconoce es la forma de la barra que sale de la estructura del fuselaje.



Ilustración 105. Unión de tren de aterrizaje con estructura de fuselaje de réplica de Sopwith.

Se ha considerado de forma cuadrada del mismo espesor que la del tren de aterrizaje, aunque podría haberse supuesto también elíptica. La decisión dependería de la facilidad en la fabricación, es de suponer que resulta más fácil fabricar esta forma cuadrada.

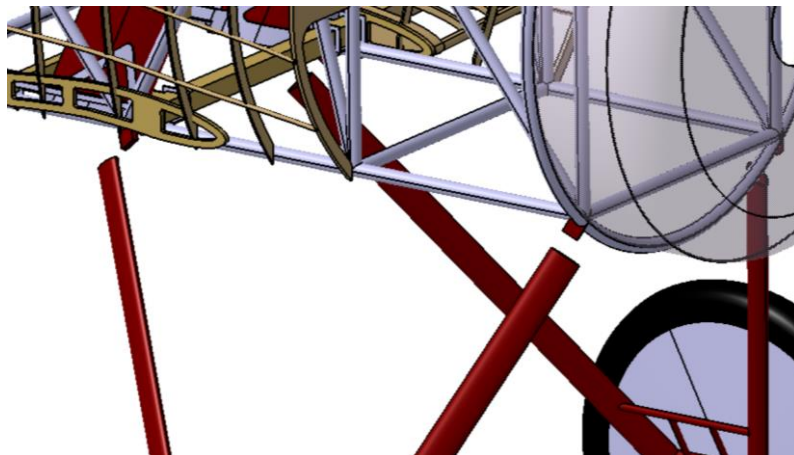


Ilustración 106. Modelado de uniones entre tren de aterrizaje y estructura del fuselaje en Catia.

El modelado de las patas salientes de la estructura del fuselaje se consigue mediante un *'sketch'* en el plano perpendicular a la guía de las barras en V del tren de aterrizaje. Seguidamente se realiza un *'pad'* con opción de espesor de 3mm y de longitud 50 mm.

Éste es uno de los casos en los que se puede corroborar la versatilidad del submódulo *Assembly* ya permite trabajar en el Submódulo *Part Design* dentro de él, pudiendo diseñar elementos entre *Catparts* diferentes proyectando geometrías de unos en otros.

El diseño de la tornillería queda como posibles futuras ampliaciones del proyecto.

2.9.4. ENSAMBLAJE DE MONTANTES CON LISTONES Y COSTILLAS CON ESTRUCTURA DEL FUSELAJE.

Pieza encargada de unir los “montantes con listones y costillas” a la estructura del fuselaje. La unión no viene especificada en los planos, por lo que se ha modelado teniendo en cuenta el material fotográfico disponible.



Ilustración 107. Unión entre montantes con listones y costillas y estructura del fuselaje de réplica.

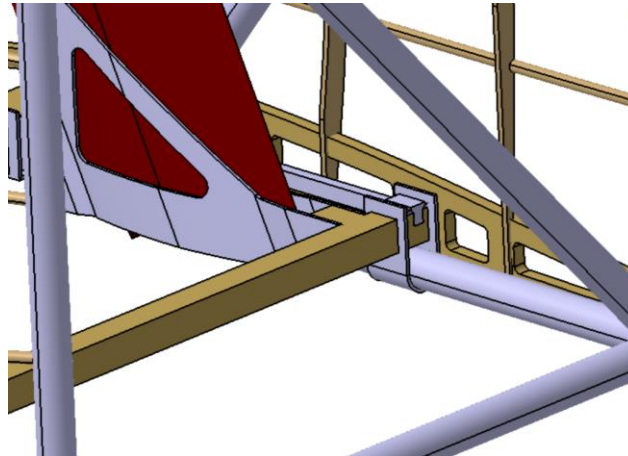


Ilustración 108. Modelado de unión entre montantes con listones y costillas y estructura del fuselaje en Catia (I).

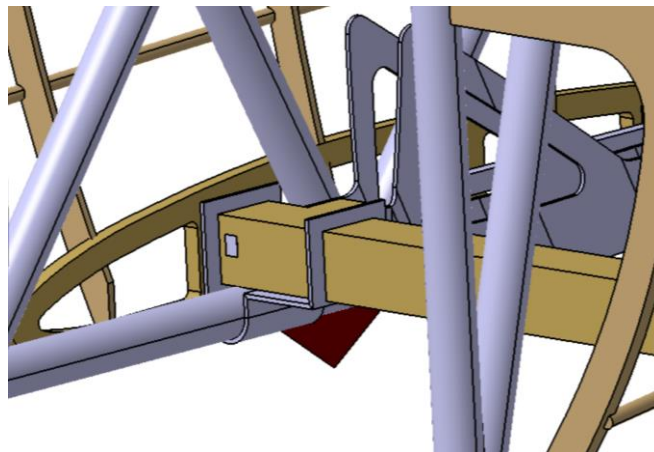


Ilustración 109. Modelado de unión entre montantes con listones y costillas y estructura del fuselaje en Catia (II).

2.9.5. ENSAMBLAJE DE MONTANTES CON LAS “COSTILLAS CON LISTONES”.

La documentación gráfica utilizada para este diseño han sido planos (ilustración 112) y fotografías disponibles (Ilustración 113).

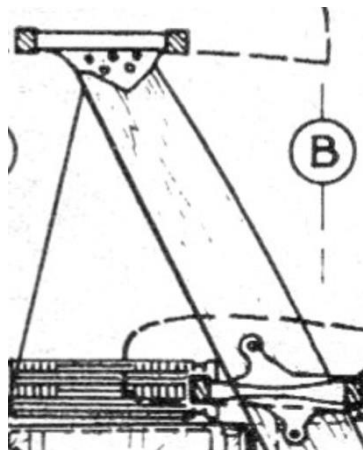


Ilustración 110. Plano de uniones entre montantes y listones.



Ilustración 111. Uniones entre montantes y listones de réplica del Sopwith (I).



Ilustración 112. Uniones entre montantes y listones de réplica del Sopwith (II).

Hay tres tipos de elementos de unión:

- Los utilizados en el plano del ala superior, el archivo que los modela incluye al simétrico.

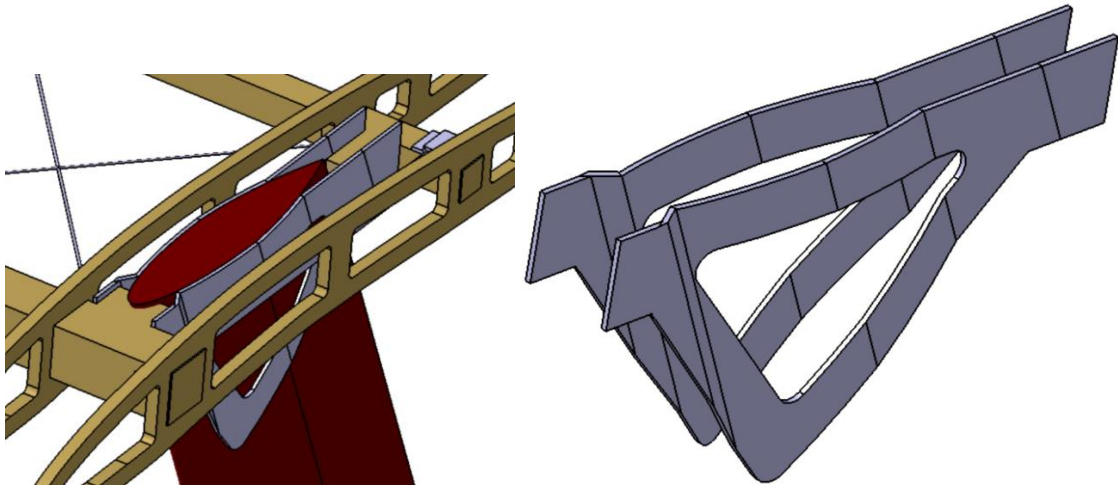


Ilustración 113. Modelado de unión, en plano de ala superior, que ensambla montante con listón.

- Los utilizados en el plano del ala del medio, el archivo que los modela incluye el simétrico.

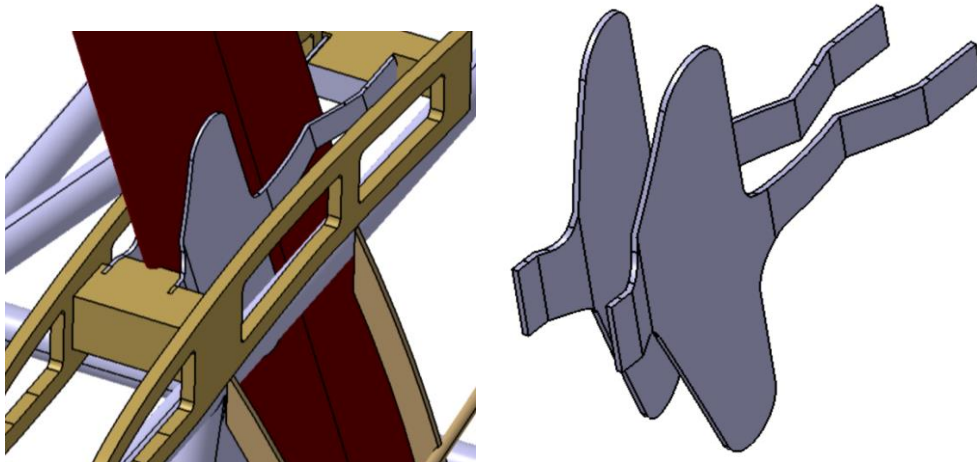


Ilustración 114. Modelado de unión, en plano del ala del medio, que ensambla montante con listón.

- Los utilizados en el plano del ala inferior, el archivo que los modela incluye el simétrico.

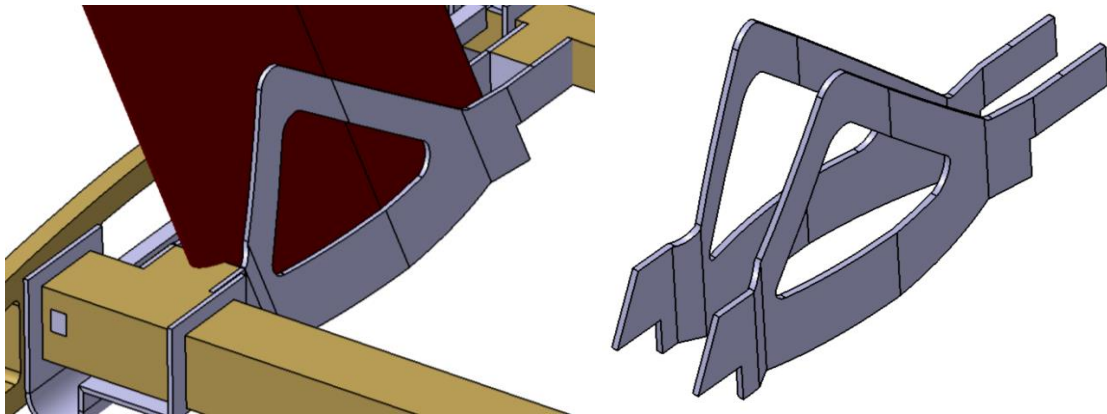


Ilustración 115. Modelado de unión, en plano del ala inferior, que ensambla montante con listón.

Todas las pletinas anteriores se atornillan a los montantes y a las protuberancias de los listones. El modelado de estas pletinas ha sido laborioso ya que tenían que adaptarse a una geometría muy específica y a una forma compleja.

El proceso de modelado ha sido el siguiente:

- ‘*Sketch.1*’, proyectando líneas y dibujando otras para ajustar la pletina a la forma del montante y las protuberancias.



Ilustración 116. Sketch de pletina.

- ‘*Extrude.1 (Sketch.1, guía del montante)*’, para generar la superficie.
- ‘*Thick Surface (Extrude.1)*’, para generar la pletina. Se añadieron algunos pads para obtener una pletina de forma cuadrada.

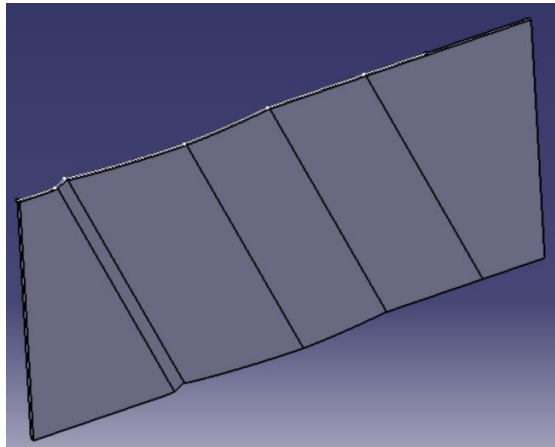


Ilustración 117. Pletina de forma cuadrada.

- Generación de plano, y construcción de 'sketch' para realizar vaciados.
- Vaciado con 'pocket.1 (Sketch.2)' y opción hasta una superficie.

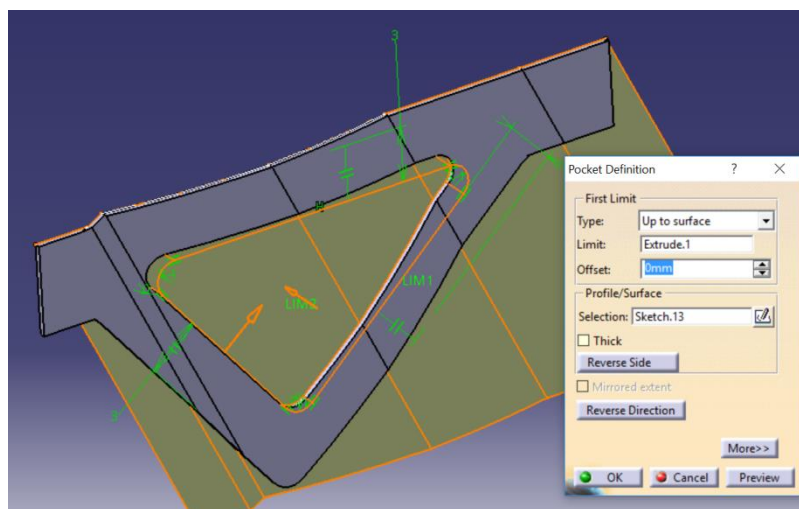


Ilustración 118. Aplicación de orden *pocket* con opción hasta superficie.

2.9.6. ENSAMBLAJE DE ALAS CON “MONTANTES CON LISTONES Y COSTILLAS.CATPRODUCT”.

Elemento que forma parte del encastre del avión. Esta unión se ha modelado observando y estudiando el material gráfico en profundidad.

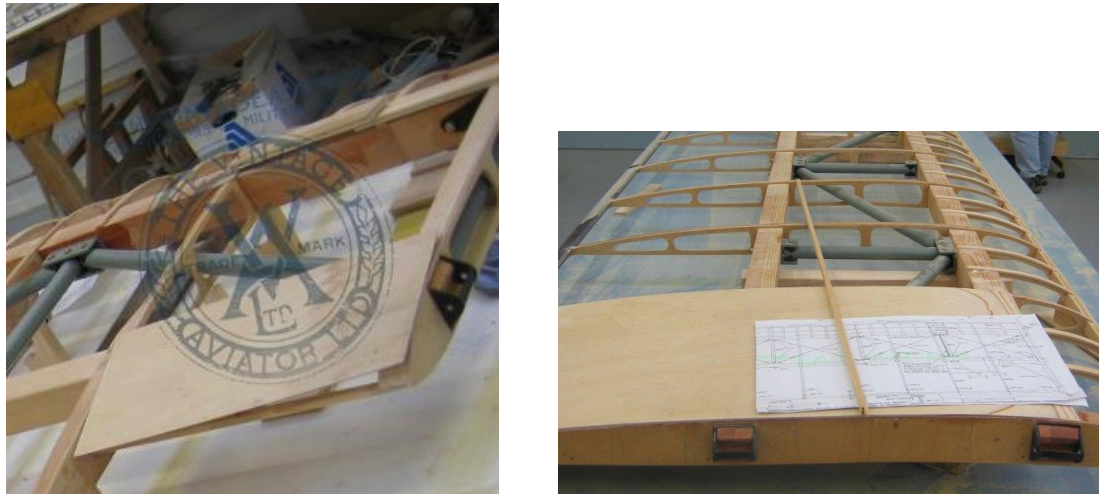


Ilustración 119. Encastre del avión.

Los elementos observados en las imágenes anteriores (ilustración 99) son:

- Tacos de madera para compensar la inclinación de las alas respecto de la horizontal ($2,5^\circ$), unidos a las alas por tornillos ciegos.
- Pletinas agujereadas para acoplarse a elementos de los “*montantes con listones y costillas.catproduct*”, unidas a los tacos mediante tornillos.

Además, se ha modelado una barra de acero cuadrada en “*montantes con listones y costillas.catproduct*” que se empotra por un extremo en los listones de dicha pieza y por el otro se agarra mediante una pletina que será atornillada a los listones de “*montantes con listones y costillas.catproduct*”, para que quede todo unido rígidamente.

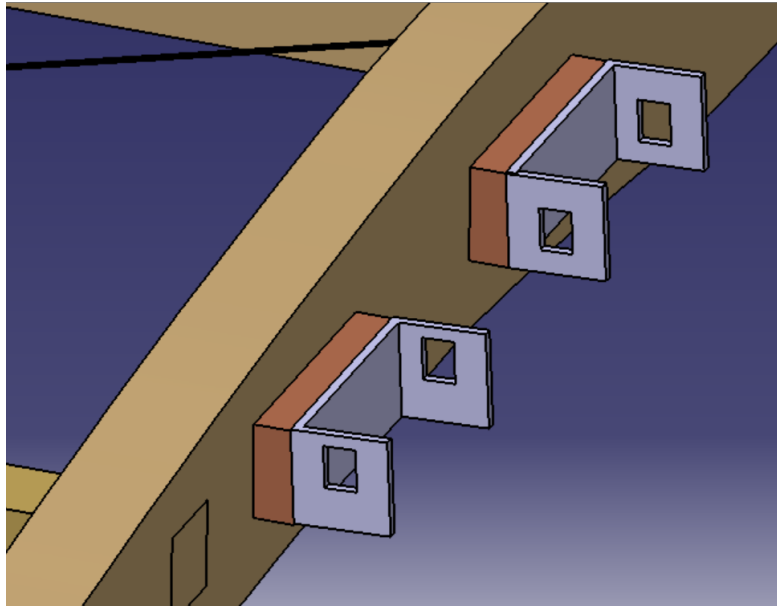


Ilustración 120. Modelado en Catia de tacos y pletinas en el encastre.

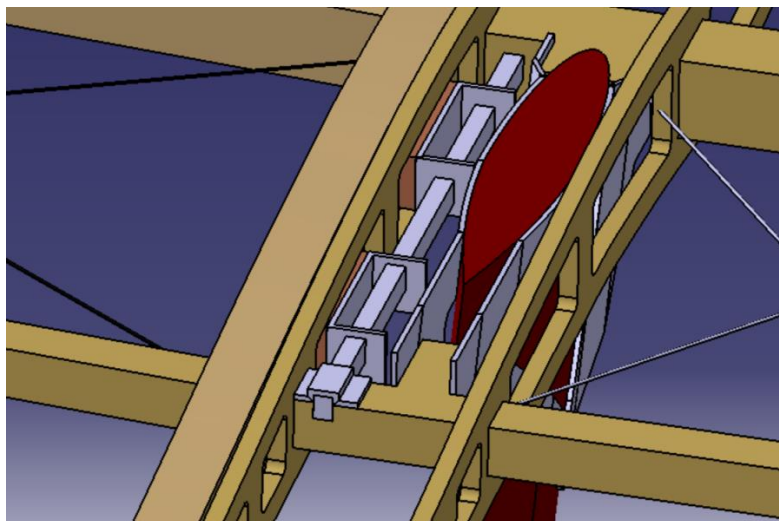


Ilustración 121. Modelado de parte del encastre superior del triplano Sopwith en Catia.

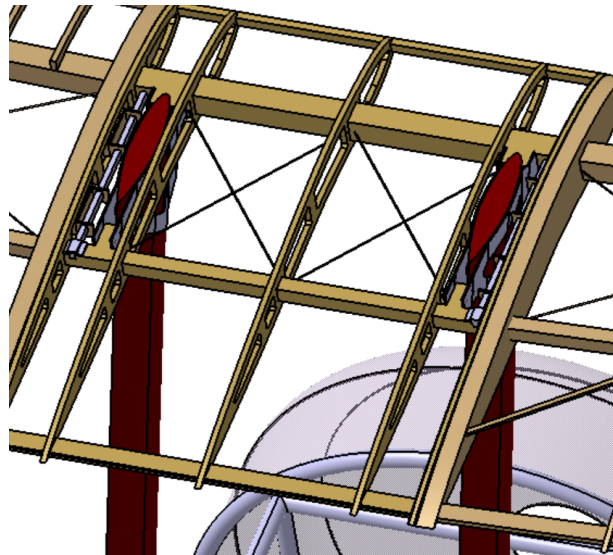


Ilustración 122. Modelado del encastre superior del triplano Sopwith en Catia (I).

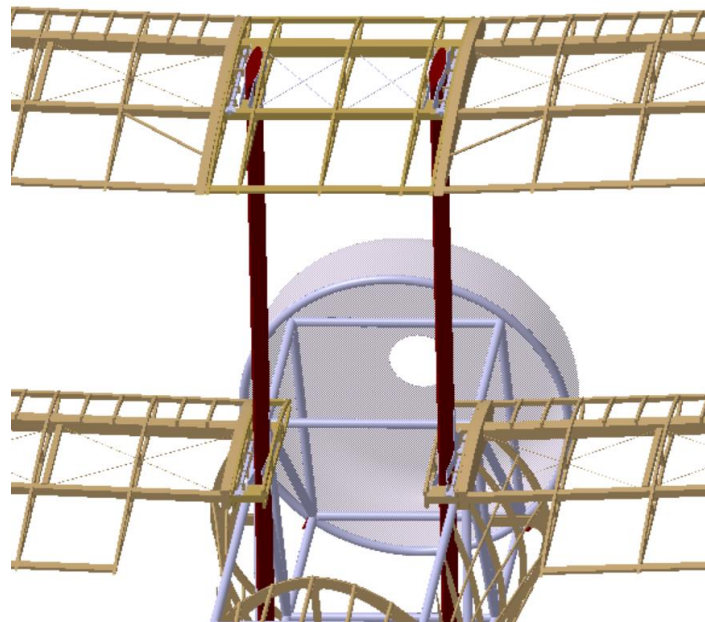
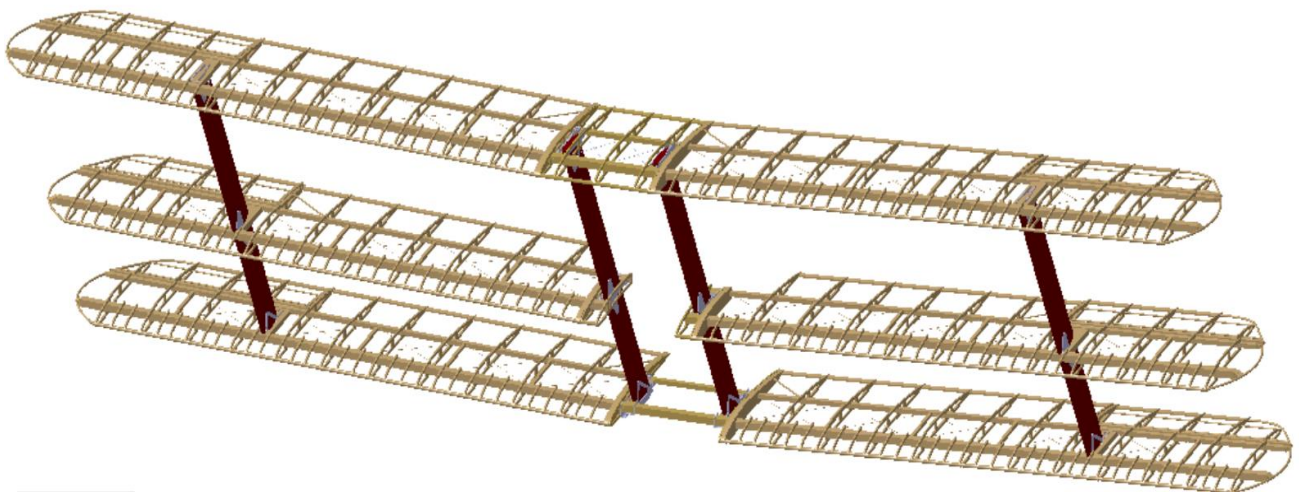


Ilustración 123. Modelado del encastre del triplano Sopwith en Catia (II).

2.9.7. ENSAMBLAJE DE MONTANTES AUXILIARES CON GRUPO ALAR.

Los montantes auxiliares se ensamblan para dar más rigidez y resistencia al grupo alar. Como si de una viga empotrada se tratase, se busca minimizar las grandes vibraciones de un ala en gran voladizo y aliviar los momentos en el encastre. Por ello, se introduce un montante entre las alas que puede cumplir el papel de apoyo, y disminuir la longitud del voladizo.

Los elementos de unión entre los montantes auxiliares y el grupo alar son los mismos que los explicados en el apartado anterior (2.9.5), y por tanto siguen el mismo proceso de modelado.



Cabe destacar que los montantes se agarran, con tornillos pasantes, a prismas rectangulares (macizos con un hueco para alojar a dichos montantes con uniones) que residen en las alas.

Ilustración 124. Modelado de Grupo alar con montantes auxiliares.

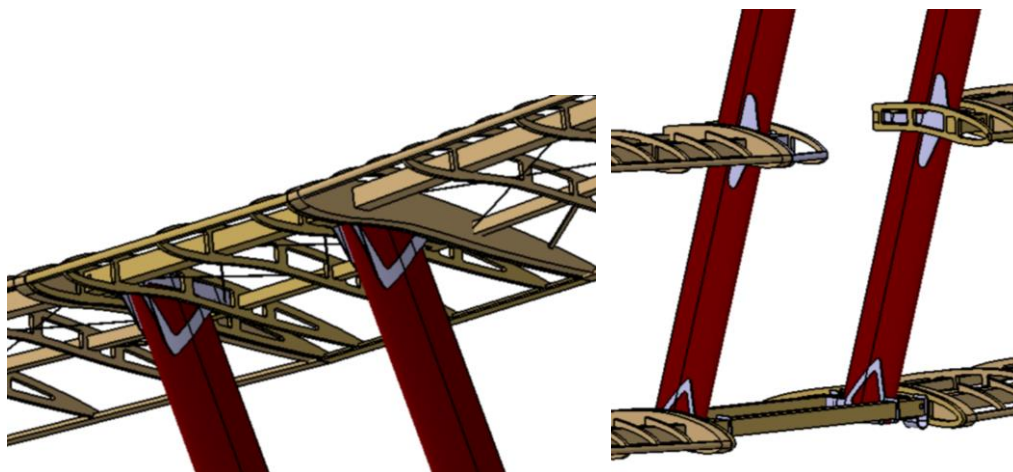


Ilustración 125. Modelado en Catia de elementos de unión entre montantes auxiliares y grupo alar.

2.10. TRIPLANOSOPWITH.catproduct

El objetivo es que el triplano sea firme y rígido, por ello, se va a suponer estacionado en tierra por lo que se busca que todos los componentes posean cero grados de libertad.

Otra cuestión es que los componentes en su interior puedan poseer grados de libertad. En este proyecto se desea tener una rotación en el eje de las bisagras de las superficies de control.

Triplanosopwith.catproduct alberga 22 componentes entre los cuales se pueden distinguir catparts y catproducts.

Ensamblado de componentes:

La estructura del fuselaje (1): se fija en el contexto del archivo con la orden *'fix'*. Para asegurar que está anclada se selecciona con dos clic el componente, después la pestaña *'analyze'* (barra superior) y pinchar en *'degrees of freedom'*. Esta orden mostrará los grados de libertad, en caso de que los haya.

De aquí en adelante se supondrá que todas las partes del triplano no poseen grados de libertad.

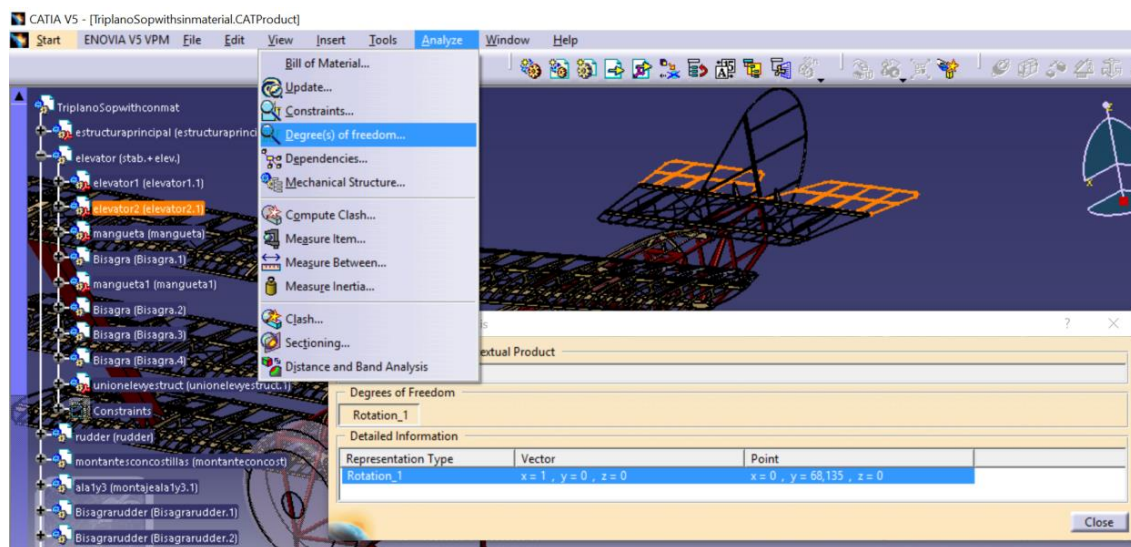


Ilustración 126. Análisis de los grados de libertad del elevador.

Para el timón de profundidad (2): se utilizan varias órdenes de *'offset'* entre los planos de la estructura y los del part body del estabilizador. Recordar que las uniones de este timón con la estructura del fuselaje se construyen dentro del catpart del timón, lo que implica que ya están unidas desde su creación.

El timón de dirección (3): se acopla con *'offset'* a los planos de la estructura del fuselaje.

Montante con listones y costillas (4): se fija a la estructura del fuselaje con *'offset'*.

Mitad de ala 1 y 3 (5), Mitad de ala 1 y 3 (6): son el mismo archivo, uno constituye la mitad derecha superior y el otro la derecha inferior. Se fijan con órdenes *'offset'* a la pieza de “montantes con listones y costillas”.

Simétrico de mitad de ala 1 y 3 (7), Simétrico de mitad de ala 1 y 3 (8). Se generan mediante la orden simetría respecto del plano de simetría del avión. A continuación se fijan con la orden *'offset'* a la pieza de “montantes con listones y costillas”.

Mitad de ala 2 (9), se fija de igual manera que las anteriores.

Simétrico de mitad de ala 2 (10), se genera y acopla de igual manera que las anteriores mitades de ala simétricas.

Bisagra de timón de dirección (11) y otra bisagra de timón de dirección (12), se acoplan tanto a la estructura del fuselaje, como al timón de dirección. Las restricciones usadas son '*coincidence*', para alinear los ejes y '*offset*' para conseguir la posición deseada.

Elementos de unión entre montantes y listones superior (13), inferior (14) y de en medio (15), estos tres elementos se colocan en la posición adecuada mediante varios '*offset*'.

Barrote (16) para conexión de ala de en medio, es una barra del encastre del ala del medio. Se coloca en su posición con la orden '*offset*'.respeto de los planos de referencia de la pieza montantes con listones y costillas.

Montantes auxiliares (17), se acoplan para dar rigidez al grupo alar, se colocan en su posición correspondiente moviéndolos con la orden '*manipulation*'. Una vez en su sitio se fijan con la orden '*offset*'.

Uniones (18) de "montantes con listones y costillas" con la estructura del fuselaje. Se modelan partiendo de que los planos de su part body están fijados a los de la estructura del fuselaje, por lo que están unidos sin necesidad de orden alguna.

Uniones de montantes auxiliares con grupo alar (19) (20) (21), se posicionan con la orden '*manipulation*' y se fijan de forma similar a montantes auxiliares.

Tren de aterrizaje (22), se construye partiendo de que los planos de su part body coinciden con los de la estructura del fuselaje, por lo que está unido.

Para finalizar con el análisis del ensamblaje del triplano hay que comprobar la inexistencia de interferencias y holguras entre las partes del triplano y para ello se debe seleccionar la misma pestaña que para los grados de libertad, '*analyze*', y seguidamente la opción '*Clash*'. Esta opción ofrece varios tipos de análisis siendo el idóneo en este caso el de interferencias, holguras y contactos.

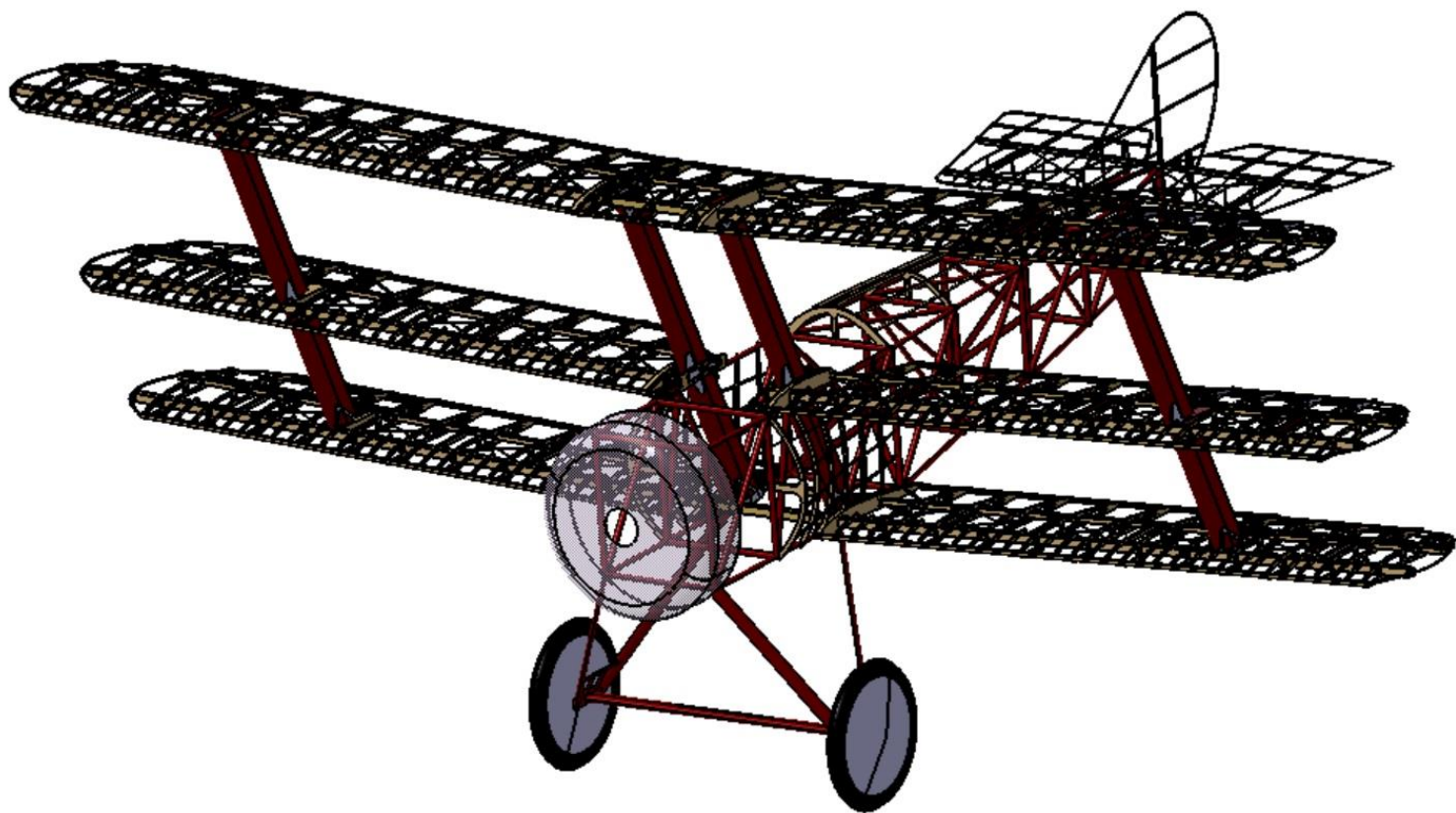


Ilustración 127. Modelado de TriplanoSopwith.catproduct sin material.

3. CONCLUSIONES

Tras un extenso trabajo, el resultado del modelado ha sido satisfactorio ya que el modelo es muy parecido físicamente al real. Todas las piezas han sido modeladas siguiendo la información tanto de fotografías como de los planos de los que se disponía.

Cabe resaltar la gran versatilidad de los módulos de Catia, ya que muchas de las partes del triplano se han modelado proyectando geometría de un catpart en otro y trabajando en varios módulos a la vez. El módulo de superficies ha sido muy utilizado debido al buen comportamiento que exhiben éstas en el contexto del modelado del triplano.

Las distintas partes que forman el avión han quedado correctamente ensambladas y éste estacionado en tierra como se supuso en un principio, teniendo cero grados de libertad en el contexto del archivo TriplanoSopwith.catproduct.

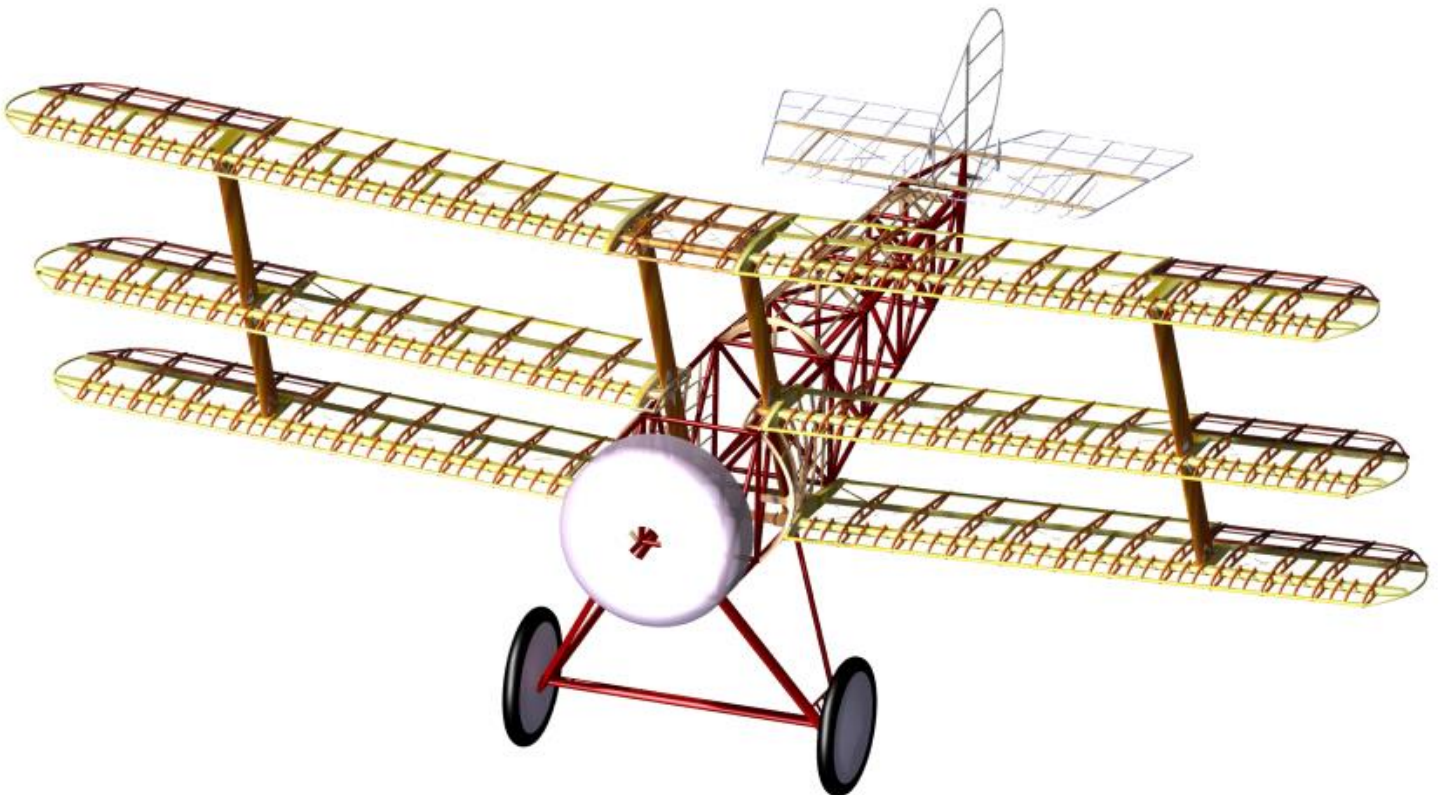


Ilustración 108. Modelado de TriplanoSopwith.catproduct con los materiales utilizados para su construcción.

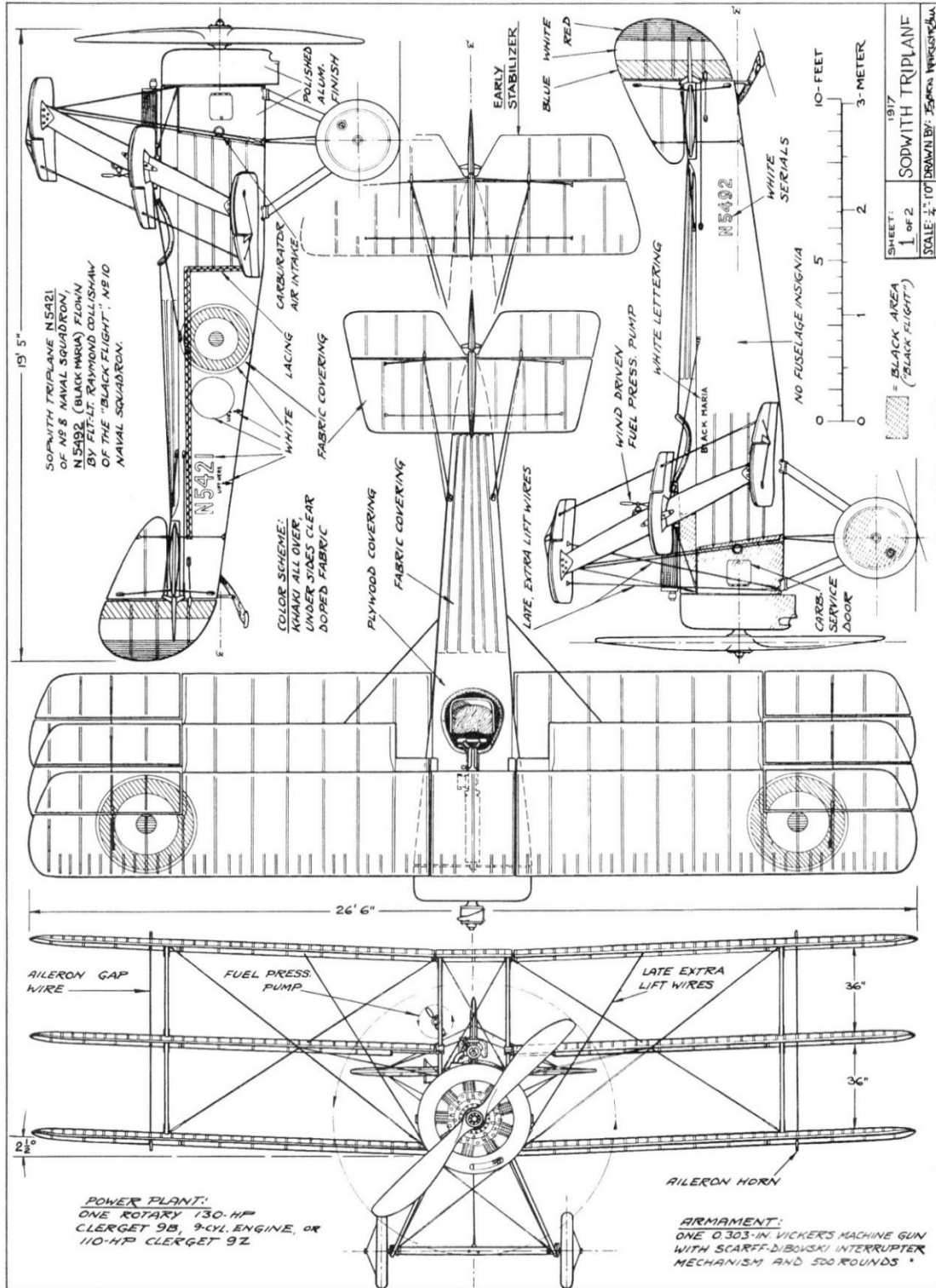
4. FUTURAS AMPLIACIONES

En el proceso de modelado ha habido ciertas partes y detalles que se han considerado fuera del alcance de este proyecto. Estas partes o aspectos se proponen para una futura ampliación de este proyecto y son:

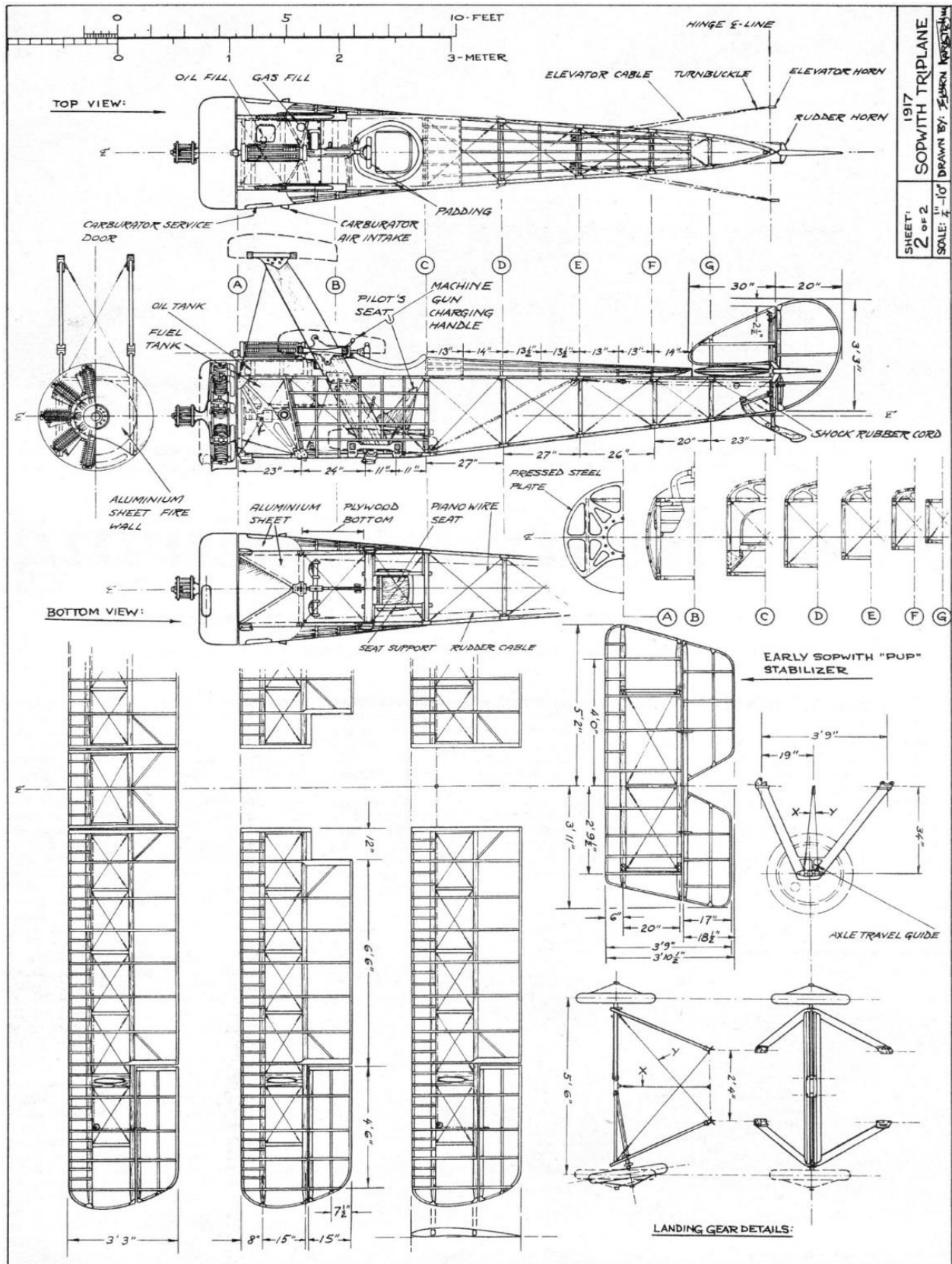
- Ensayo de viento en entorno Solidwork con la herramienta *'Flow Simulation'* para comprobar si las partes del ensamblaje resisten en las condiciones de operación del triplano Sopwith, modificándolas y reforzándolas para aumentar su resistencia en caso de un resultado negativo.
- Modelado de la tornillería y puesta a punto de los tornillos en las partes correspondientes.
- Completar la parte interior de las ruedas del tren de aterrizaje.
- Simulación del movimiento de las partes móviles del avión con el submódulo Kinematics de Catia.
- Modelaje:
 - Fuselaje.
 - Grupo motopropulsor: hélice y motor rotativo de 9 cilindros Clerget 9B o 9Z.
 - Cabina del piloto.
 - Cables que distribuyen las tensiones a lo largo del triplano.
 - Cables que unen las superficies de control con las de mando del piloto.

5. ANEXO DE PLANOS

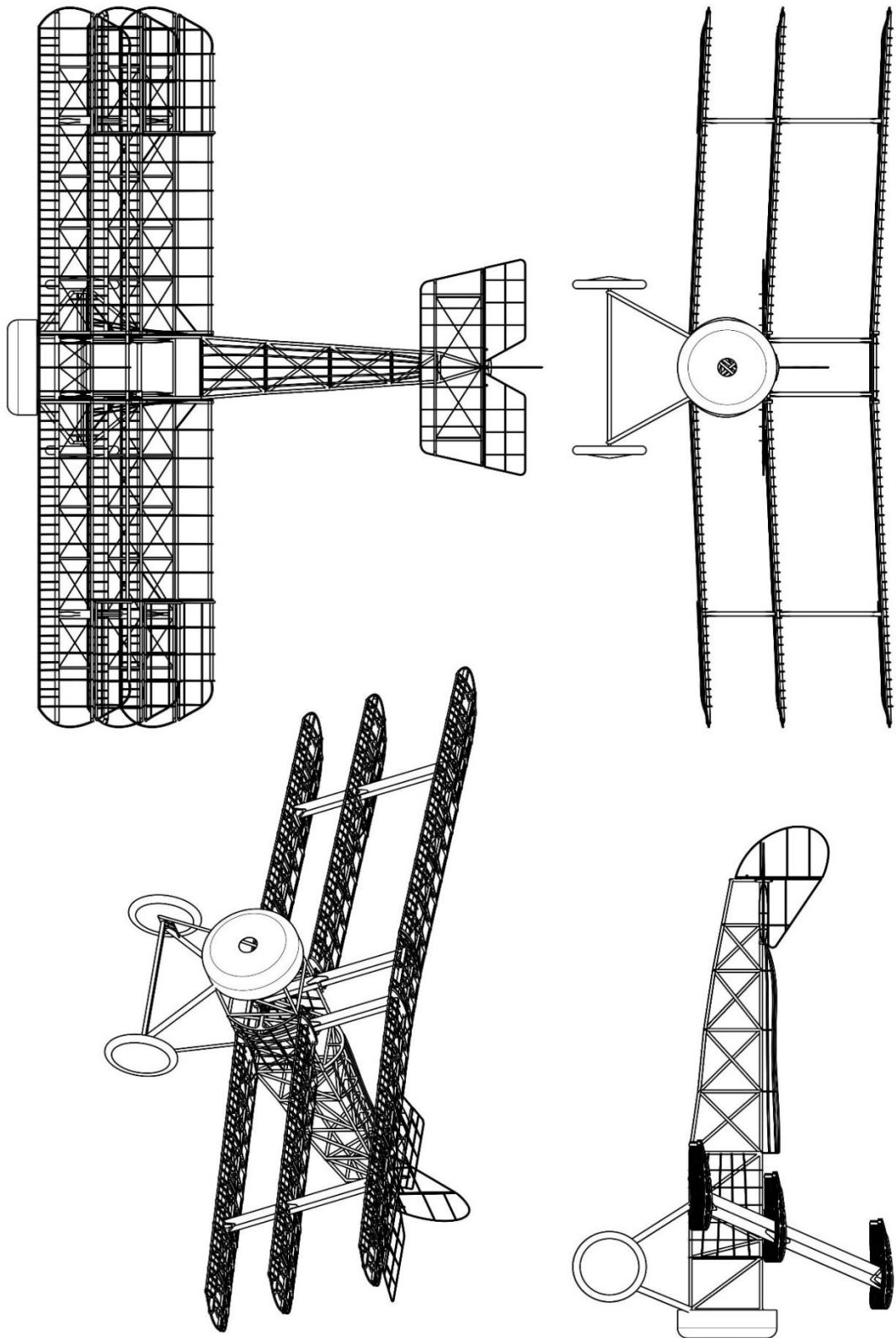
5.1. PLANO 1



5.2. PLANO 2



5.3. PLANO GENERADO DESDE CATIA.



Drawing for:	SIZE
Francisco Molero G.	A3
Date: 01/09/12	Scale: 1 : 31.428
Drawing title : Triplano Sopwith	
SHEET 1/1	

REFERENCIAS

ARTÍCULOS

- “Quest for Performance: The Evolution of Modern Aircraft,”
<http://www.hq.nasa.gov/office/pao/History/SP-468/contents.htm>
- Anderson, John D., “A History of Aerodynamics,” AIAA, Reston, VA, 2002.
- Anderson, John D., “A History of Aerodynamics,” Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1998
- “Aerodynamic Characteristics of Aerofoils,” NACA TR-93,
<http://naca.larc.nasa.gov/digidoc/report/tr/93/NACATR-93.PDF>
- “Aerodynamic Characteristics of Aerofoils II,” NACA TR-124,
<http://naca.larc.nasa.gov/digidoc/report/tr/124/NACA-TR-124.PDF>
- “Aerodynamic Characteristics of Aerofoils III,” NACA TR-182,
<http://naca.larc.nasa.gov/digidoc/report/tr/182/NACA-TR-182.PDF>
- “Sopwith Pup aces of war”, Norman Frank.
- “Construcción amateur de la réplica Redfern-Fokker Dr.I mediante métodos actuales”, Ana Belén Martín Macareno.
- “Influencias de la Primera Guerra Mundial en el desarrollo de la Aviación Militar hasta 1927”, Eloy Martín.

PÁGINAS WEBS

- <http://thevintageaviator.co.nz/projects/sopwith-triplane/sopwith-triplane-replica>
- <https://historiayguerra.net/2014/06/08/aviones-de-la-primera-guerra-mundial-1914-1918/>
- <http://naca.larc.nasa.gov/digidoc/report/tr/124/NACA-TR-124.PDF>
- <http://naca.larc.nasa.gov/digidoc/report/tr/182/NACA-TR-182.PDF>
- <http://www.aviation-history.com/sopwith/triplane.html>
- <http://www.modelersite.com/en/2008/eduard-sopwith-triplane-1-48-scale>
- <https://historiayguerra.net/2014/06/08/aviones-de-la-primera-guerra-mundial-1914-1918/>
- <http://adictos-a-la-historia.blogspot.com.es/2012/08/la-aviacion-en-la-primera-guerra-mundial.html>
- <http://www.sandglasspatrol.com/IIGM-12oclockhigh/Materiales%20Aeronauticos.htm>