

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Aeroespacial

Diseño, recreación y modelado en el software CATIA V5 del bombardero Boeing B-17 “Flying Fortress”

Autor: Lorenzo Segura Zalamea

Tutor: Francisco Lucas García

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

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

**Diseño, recreación y modelado en el software
CATIA V5 del bombardero Boeing B-17 “Flying
Fortress”**

Autor:

Lorenzo Segura Zalamea

Tutor:

Francisco Lucas García

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Diseño, recreación y modelado en el software CATIA V5 del bombardero
Boeing B-17 “Flying Fortress”

Autor: Lorenzo Segura Zalamea

Tutor: Francisco Lucas García

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes profesores:

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

A mis profesores, por enseñarme todo el conocimiento adquirido durante estos cinco años y por estar siempre predispuestos a mostrarme más sobre cualquier tema del que estuviese interesado.

A mis compañeros del grado, por ayudarnos mutuamente en la ardua tarea de entender todos los conceptos que en el grado se enseñan, realizar todas las prácticas que se imparten y darnos el apoyo emocional necesario para seguir adelante.

A mis amigos, por entender que no siempre estaba disponible para quedar y modificar los planes para que pudiese ir, por soportar mis quejas sobre asuntos del grado aunque no entendiesen lo que estaba diciendo, por sacarme de vez en cuando de mi habitación y poder descansar del estudio y de poder disfrutar y seguir disfrutando de la vida como hasta ahora.

A mi familia, por darme el apoyo emocional y económico para superar todos los retos que iban apareciendo a lo largo del grado, por hacerme sentir siempre válido y capaz de realizar todo aquello que me propusiese, por compartir alegrías y penas en este largo camino.

A todos ellos, por haberme mejorado como persona y seguir haciéndolo, muchas gracias de todo corazón.

Lorenzo Segura Zalamea
Grado en Ingeniería Aeroespacial
Sevilla, 2020

Resumen

El Boeing B-17 *Flying Fortress* fue un bombardero de la Segunda Guerra Mundial utilizado por el ejército estadounidense para bombardear durante el día y de forma continua localizaciones logísticas de la Alemania nazi. Dado que los bombardeos se efectuaban a plena luz del día, surgió la necesidad de dotar a la aeronave de una mayor cantidad de armamento para defenderse de los cazas enemigos, siendo este el origen de su sobrenombre “Fortaleza Aérea”.

El principal objetivo de este trabajo es el diseño, recreación y modelización en 3D de esta aeronave a través del software CATIA V5. Para dicho cometido se utilizarán planos ya existentes de la aeronave en cuestión y será decisión del alumno cómo realizar las distintas partes que la conforman, así se verá como en el trabajo se opera con distintos módulos, finalmente se le implementarán materiales a las partes del avión y se utilizará el módulo *Kinematics* para realizar cinemáticas en la aeronave.

En este documento se incluye una introducción histórica, explicaciones técnicas de las distintas partes de la aeronave, las herramientas del software utilizadas, los planos utilizados y el proceso de modelización de la aeronave con el fin de que todo quede explicado con la máxima claridad posible.

Abstract

The Boeing B-17 'Flying Fortress', was a bomber used by the United States Air Forces during World War II for the continuous bombing of German strategic points during the day. As the bombing was done during daylight, it was necessary to provide the plane with a larger amount of weaponry in order to defend itself from the enemy fire, thus receiving its nickname 'Flying Fortress'.

The main objective of this work is the design, recreation, and 3D modelling of this plane using the software CATIA V5. For this purpose, already-existing blueprints of said airplane will be used and the student will decide how to make the different parts that constitute said aircraft, thus showing the usage of multiple modules in this work, finally, materials will be implemented to the different parts of the plane, and CATIA's Kinematics module will be used for the creation of kinematics in the airplane.

In order to provide a crystal-clear explanation of the contents, this document includes an historical introduction, technical explanations of the different parts that constitute the airplane, the software tools and the blueprints that were used, and a detailed explanation of the modelling process.

Agradecimientos	VII
Resumen	IX
Abstract	XI
ÍNDICE	XIII
Índice de Tablas	XV
Índice de Figuras	XVII
1 Introducción	1
1.1. <i>Objetivos y planificación</i>	1
1.2. <i>Motivación y justificación</i>	1
1.3. <i>Metodología y CATIA V5</i>	2
2 Boeing B-17. Descripción General	5
2.1. <i>Contexto histórico</i>	5
2.2. <i>Orígenes y Desarrollo</i>	7
2.3. <i>Características generales</i>	8
2.3.1. <i>Características generales</i>	8
2.3.2. <i>Rendimiento</i>	10
2.3.3. <i>Armamento</i>	10
2.4. <i>Historial operativo</i>	11
2.4.1. <i>Uso de RAF</i>	11
2.4.2. <i>Operaciones iniciales de la USAAF en Europa</i>	11
2.4.3. <i>Ofensiva a gran escala sobre Europa</i>	12
2.4.4. <i>Postguerra, desaparición y legado</i>	13
3 Planos de partida y decisiones de diseño	15
4 Modelización en Catia del Boeing B-17G	19
4.1 <i>Fuselaje</i>	21
4.2 <i>Alas</i>	30
4.3 <i>Estabilizador vertical</i>	36
4.4 <i>Estabilizador horizontal</i>	40
4.5 <i>Planta motora</i>	45
4.6 <i>Tren de aterrizaje</i>	53
4.7 <i>Puestos de artillería</i>	58
4.8 <i>Superficies de control y compuerta</i>	87
4.9 <i>Detalles</i>	97
5 Material	103
6 Mecanismos con Kinematics	117
7 Conclusiones	127
Bibliografía	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3–1 Tabla con las principales medidas geométricas del Boeing B-17G	15
Tabla 4–1. Tabla de las posiciones de las secciones del fuselaje a utilizar	22
Tabla 4–2 Tabla con los espesores de cada perfil a utilizar	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Boeing B-17 “Flying Fortress”	5
Figura 2-2. B-17 logra aterrizar con datos importantes	6
Figura 2-3. Modelo B299. Antecesor del Boeing B-17	7
Figura 2-4. Vistas del B-17G	8
Figura 2-5. Localización de la tripulación en el B-17G	9
Figura 2-6. Posición de las ametralladoras del B-17G	10
Figura 2-7. Escuadrón de B-17 bombardeando su objetivo	11
Figura 2-8. Graves daños estructurales en un B-17	12
Figura 2-9. Formaciones de combate	13
Figura 2-10. B-17 en National Museum of the Mighty Eighth Air Force, Pooler, Georgia	14
Figura 3-1. Planta, alzado y perfil de una plano del modelo B-17G	15
Figura 3-2. Plano de las secciones del fuselaje y estabilizadores de una maquena del B-17G	16
Figura 3-3. Plano de las secciones del ala de una maquena del B-17G	16
Figura 3-4. Vista general con detalle del B-17G	17
Figura 4-1. Vista en alzado del principal plano a utilizar	19
Figura 4-2. Vista en perfil del principal plano a utilizar	19
Figura 4-3. Vista en planta del principal plano a utilizar	20
Figura 4-4. Representación en el espacio 3D de los principales planos a utilizar	20
Figura 4-5. Resultado del primer modelaje del fuselaje	21
Figura 4-6. Plano a utilizar para el Multi-Sectiones	21
Figura 4-7. Planos de las distintas secciones del fuselaje	22
Figura 4-8. Secciones de la cola y la punta del fuselaje	23
Figura 4-9. Todas las secciones que forman el fuselaje	23
Figura 4-10. Fuselaje obtenido por Multi-Sections	24
Figura 4-11. Ayudas para mejorar el fuselaje	24
Figura 4-12. Cola del fuselaje por M-S parte 1	25
Figura 4-13. Cola del fuselaje por M-S parte 2	25
Figura 4-14. Multi-Sections entre secciones 1 y 2	25
Figura 4-15. Detalle de las ventanas	26
Figura 4-16. Multi-Sections de la zona delantera de la cabina	26
Figura 4-17. Multi-Sections de la zona delantera de la cabina	27
Figura 4-18. Multi-Sections de la zona trasera de la cabina	27
Figura 4-19. Cabina completada con su trasición	28
Figura 4-20. Fuselaje sin cabina por Imagine & Shape	28
Figura 4-21. Modulación del fuselaje con la cabina por Imagine & Shape	29

Figura 4-22. Vista detallada del fuselaje con la cabina por Imagine & Shape	29
Figura 4-23. Vista de la forma en planta y redondeo de la punta del ala	30
Figura 4-24. Vista general y redondeo del borde de ataque del ala	30
Figura 4-25. Poca información sobre el perfil de ala	31
Figura 4-26. Perfiles del ala en cada punto	31
Figura 4-27. Divisiones del ala para darles forma	32
Figura 4-28. Características geométricas de los perfiles	32
Figura 4-29. Vista de perfil del ala	33
Figura 4-30. Vista general del ala	33
Figura 4-31. Transición entre el ala y el fuselaje	34
Figura 4-32. Divisiones en la zona de transición	34
Figura 4-33. Extrucción inicial para modelar la zona de transición	35
Figura 4-34. Vista general del ala con la zona de transición entre ala y fuselaje	35
Figura 4-35. Vista detallada del ala	36
Figura 4-36. Vista en planta del estabilizador vertical	37
Figura 4-37. Vista en perfil del estabilizador vertical	37
Figura 4-38. Poca información sobre los perfiles del estabilizador vertical	37
Figura 4-39. Estabilizador vertical y secciones del mismo en un plano de aeromodelismo	38
Figura 4-40. Imagen real del Boeing B-17G	38
Figura 4-41. Modelado donde podemos ver el redondeo del borde de ataque	39
Figura 4-42. Modelado donde podemos ver la terminación del borde de salida	39
Figura 4-43. Distribución de puntos en el estabilizador vertical	40
Figura 4-44. Forma en planta del estabilizador horizontal	40
Figura 4-45. Vista en alzado donde no se pueden ver los estabilizadores horizontales	41
Figura 4-46. Plano de aeromodelismo con perfiles para el estabilizador horizontal	41
Figura 4-47. Características geométricas de los perfiles del estabilizador horizontal	41
Figura 4-48. Puntos que forman el estabilizador horizontal	42
Figura 4-49. Redondeo característico del borde de ataque del estabilizador horizontal	42
Figura 4-50. Extrucción inicial para la transición del estabilizador horizontal y el fuselaje	43
Figura 4-51. Zona de transición del estabilizador horizontal y el fuselaje	43
Figura 4-52. Vista en planta del estabilizador horizontal definitivo	44
Figura 4-53. Vista de perfil del estabilizador horizontal definitivo	44
Figura 4-54. Vista detallada de los puntos del estabilizador horizontal	44
Figura 4-55. Imagen real de la planta motora	45
Figura 4-56. Localización de la planta motora en los planos principales	46
Figura 4-57. Planta, alzado y perfil del modelado preliminar de la gondola	46
Figura 4-58. Cara a remover para hacer la góndola hueca	47

Figura 4-59. Gondola después de vaciarla	47
Figura 4-60. Sketch utilizado para obtener el eje mediante revolución	48
Figura 4-61. Modelado del eje de la planta motora	48
Figura 4-62. Pieza de unión entre la góndola y el eje	49
Figura 4-63. Imagen real de las hélices	49
Figura 4-64. Alzado de la hélice y cuerda de cada perfil mostrado	50
Figura 4-65. Secciones de cada perfil mostrado	50
Figura 4-66. Modelado final de las hélices	51
Figura 4-67. Pieza de unión entre la hélice y el eje	52
Figura 4-68. Imagen general de la planta motora terminada	52
Figura 4-69. Imagen general de las cuatro góndolas con sus hélices	52
Figura 4-70. Localización del tren de aterrizaje en los planos principales	53
Figura 4-71. Sketch utilizado para obtener la llanta de la rueda mediante revolución	53
Figura 4-72. Sketch utilizado para obtener la	54
Figura 4-73. Rueda completa	54
Figura 4-74. Eje fijo y eje del tren de aterrizaje	55
Figura 4-75. Imagen real tren retraído	55
Figura 4-76. Modelo tren delantero retraído	56
Figura 4-77. Modelo rueda trasera	56
Figura 4-78. Ejes del tren trasero	57
Figura 4-79. Modelo tren trasero retraído	57
Figura 4-80. Distribución de las torretas del B-17G	58
Figura 4-81. Sketch calibre cañón y carcasa	58
Figura 4-82. Pocket de la carcasa	59
Figura 4-83. Huecos de la carcasa	59
Figura 4-84. Carcasa completa	59
Figura 4-85. Cañón de torreta definitivo	60
Figura 4-86. Localización del puesto de artillería de cola en los planos principales	61
Figura 4-87. Imagen real del puesto de artillería de cola	61
Figura 4-88. Vista de perfil del puesto de cola	62
Figura 4-89. Vista en planta y puntos utilizados del puesto de cola	62
Figura 4-90. Vista general del puesto de cola	62
Figura 4-91. Vista detallada de los puntos del puesto de cola	63
Figura 4-92. Vista general del Trim general con el puesto de cola	63
Figura 4-93. Plano utilizado para realizar el hueco del puesto de cola	64
Figura 4-94. Imagen real del puesto de cola	64
Figura 4-95. Cañón que rota sobre el eje perpendicular al eje z	65

Figura 4-96. Base de rotación sobre el eje z con el eje fijo	65
Figura 4-97. Vista general de la torreta de cola	66
Figura 4-98. Localización puesto de artillería de proa en los planos principales	66
Figura 4-99. Imagen real puesto de proa	67
Figura 4-100. Vista de alzado y perfil del módulo 1 del puesto de proa	67
Figura 4-101. Vista de perfil del puesto de proa	68
Figura 4-102. Vista de general del puesto de proa	68
Figura 4-103. Vista general del Trim general con el puesto de proa	69
Figura 4-104. Huecos correspondientes en el puesto de proa	69
Figura 4-105. Torreta de proa con sus ejes de giro	70
Figura 4-106. Vista general del puesto de proa con su torret	70
Figura 4-107. Localización del puesto de artillería dorsal en los planos principales	71
Figura 4-108. Imagen real del puesto de artillería dorsal	72
Figura 4-109. Vistas del modelado del puesto de artillería dorsal	72
Figura 4-110. Imagen real de los huecos de la torreta dorsal	73
Figura 4-111. Modelo de los huecos de la torreta dorsal y sus ejes de giro	73
Figura 4-112. Modelo final de la torreta dorsal	74
Figura 4-113. Vista general de la torreta dorsal en el fuselaje	74
Figura 4-114. Localización del puesto de artillería ventral en los planos principales	75
Figura 4-115. Imagen real del puesto de artillería ventral	75
Figura 4-116. Corte para obtener paredes rectas en el puesto ventral	76
Figura 4-117. Eje de giro y hueco correspondientes en el puesto ventral	76
Figura 4-118. Mecanismo para el giro del eje z en el puesto ventral	77
Figura 4-119. Imagen real de los salientes del puesto ventral	77
Figura 4-120. Modelo de los salientes del puesto ventral	78
Figura 4-121. Imagen general del puesto de artillería ventral	78
Figura 4-122. Localización del puesto de artillería frontal en los planos principales	79
Figura 4-123. Imagen real del puesto de artillería frontal	80
Figura 4-124. Modelo del puesto de artillería frontal	80
Figura 4-125. Localización de los puestos de artillería laterales en los planos principales	81
Figura 4-126. Imagen real del puesto de artillería lateral	82
Figura 4-127. Modelo de la torreta lateral	82
Figura 4-128. Modelo del soporte para girar respecto al eje z de la torreta lateral	83
Figura 4-129. Imagen general de los puestos de artillería lateral	83
Figura 4-130. Localización del puesto de artillería dorsal trasero en los planos principales	84
Figura 4-131. Imagen real del puesto de artillería dorsal trasero	85
Figura 4-132. Modelo de la torreta del puesto de artillería dorsal trasero	85

Figura 4-133. Modelo pieza para realizar los giros en la torreta dorsal trasera	86
Figura 4-134. Imagen general del puesto de artillería dorsal trasera	86
Figura 4-135. Localización del timón de dirección en el plano principal	87
Figura 4-136. Superficie para cortar el estabilizador vertical	87
Figura 4-137. Modelo del timón de dirección	88
Figura 4-138. Imagen general del timón de dirección en el estabilizador vertical	88
Figura 4-139. Localización del timón de profundidad en el plano principal	89
Figura 4-140. Superficie para cortar el estabilizador horizontal	89
Figura 4-141. Corte realizado sobre el estabilizador horizontal	90
Figura 4-142. Modelo del timón de profundidad	90
Figura 4-143. Timón de profundidad en el estabilizador horizontal	91
Figura 4-144. Imagen general timón de profundidad	91
Figura 4-145. Localización de los flaps en el plano principal	92
Figura 4-146. Imagen real del flap	92
Figura 4-147. Modelo del flap	93
Figura 4-148. Imagen general del flap debajo del ala	93
Figura 4-149. Localización de los alerones en el plano principal	94
Figura 4-150. Corte realizado sobre el ala para el alerón	94
Figura 4-151. Modelo del alerón	95
Figura 4-152. Imagen general del alerón en el ala	95
Figura 4-153. Localización de la compuerta en el plano principal	96
Figura 4-154. Modelo de la compuerta del bombardero	96
Figura 4-155. Imagen general de la compuerta en el fuselaje	97
Figura 4-156. Cristales en la parte delantera del fuselaje	97
Figura 4-157. Cristales en la parte dorsal del fuselaje	98
Figura 4-158. Cristales en la parte trasera del fuselaje	98
Figura 4-159. Localización cúpula de cristal	99
Figura 4-160. Imagen real de la cúpula de cristal	99
Figura 4-161. Modelo de la cúpula de cristal	100
Figura 4-162. Modelo del sensor superior	100
Figura 4-163. Localización del sensor inferior	100
Figura 4-164. Modelo del sensor inferior	101
Figura 5-1. Comparativa material fuselaje realidad-modelo	103
Figura 5-2. Comparativa material de la parte delantera del fuselaje realidad-modelo	104
Figura 5-3. Material en las superficies de control del modelo	105
Figura 5-4. Comparativa material del flap realidad-modelo	105
Figura 5-5. Comparativa material de la hélice ealidad-modelo	106

Figura 5-6. Comparativa material de la torreta de proa realidad-modelo	106
Figura 5-7. Comparativa material de la torreta de espalda realidad-modelo	107
Figura 5-8. Comparativa material de la torreta de cola realidad-modelo	107
Figura 5-9. Comparativa material de las torretas laterales realidad-modelo	108
Figura 5-10. Comparativa material de la torreta dorsal trasera realidad-modelo	109
Figura 5-11. Comparativa material de la torreta ventral realidad-modelo 1	109
Figura 5-12. Comparativa material de la torreta ventral realidad-modelo 2	110
Figura 5-13. Comparativa material torreta delantera y detalles realidad-modelo	111
Figura 5-14. Imagen real del tren de aterrizaje	112
Figura 5-15. Modelo del tren de aterrizaje delantero	112
Figura 5-16. Modelo del tren de aterrizaje trasero	112
Figura 5-17. Vistas generales de nuestro modelo final	113
Figura 5-18. Comparativa renderizado modelo-realidad	114
Figura 5-19. Renderizado de nuestro modelo volando sobre las nubes	115
Figura 5-20. Renderizado de nuestro modelo despegando con el atardecer de cara	115
Figura 6-1. Listado de todos los mecanismos llevados a cabo	117
Figura 6-2. Posiciones del mecanismo de la hélice	118
Figura 6-3. Posiciones límite del mecanismo del tren de aterrizaje principal	118
Figura 6-4. Posiciones límite del mecanismo del tren de aterrizaje trasero	119
Figura 6-5. Posiciones límite del mecanismo de la torreta de cola	119
Figura 6-6. Posiciones límite del mecanismo de la torreta de proa	120
Figura 6-7. Posiciones límite del mecanismo de la torreta de espalda	120
Figura 6-8. Posiciones límite del mecanismo de la torreta ventral	121
Figura 6-9. Posiciones límite del mecanismo de las torretas laterales	121
Figura 6-10. Posiciones límite del mecanismo de la torreta dorsal trasera	122
Figura 6-11. Posiciones límite del mecanismo del timón de dirección	123
Figura 6-12. Posiciones límite del mecanismo del timón de profundidad	123
Figura 6-13. Posiciones límite del mecanismo de los flaps	124
Figura 6-14. Posiciones límite del mecanismo de los alerones	124
Figura 6-15. Posiciones límite de las compuertas del bombardero	125

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento se llevará a cabo el estudio y la posterior modelización y recreación virtual en tres dimensiones del avión histórico Boeing B-17 *Flying Fortress* para su conservación a partir de los planos ya existentes, de los múltiples modelos existentes centraremos este proyecto en el modelo B-17G por ser el modelo final y el que en mayor cantidad se fabricó, aunque también utilizaremos planos del modelo B-17F dado que son iguales por fuera y único que cambia es su carga útil.

En las últimas décadas, a la par que mejoraban los ordenadores, se ha ido desarrollando esta tendencia a recrear modelos digitales de elementos del pasado, ante las múltiples opciones presentes a utilizar para esta recreación hemos elegido el software Catia V5R19 al ser uno de los software más desarrollados y globalizados en cuanto a diseño, fabricación y estudios estructurales se refiere, además de haberse visto en la asignatura de 3ºGIA de *Diseño y fabricación asistido por ordenador* conocida ampliamente por el alumnado de esta titulación.

1.1. Objetivos y planificación

En este trabajo se van a desarrollar una serie de objetivos a cumplir, que mostrados en orden de aparición son:

- Estudio del contexto histórico, misiones que realizó, influencia en los posteriores aviones, desaparición, etc.
- Estudio del avión mediante planos, así como las decisiones de diseño que tomaremos para su posterior recreación en 3D.
- Realización en 3D mediante la herramienta CATIA V5 de las piezas y partes que forman el avión mediante el estudio e interpretación de los planos antes mencionados, en este apartado habrá que tener especial cuidado dado que estamos limitados tanto por el detalle de los planos encontrados como por nuestro propio manejo del programa.
- Ensamblaje de las distintas partes para recrear el avión completo, para poder ensamblar las distintas partes tendremos que tener especial cuidado al recrear las partes que se unen para que se solapen correctamente.
- Aprendizaje y puesta en funcionamiento de la herramienta de CATIA *Kinematics* en las hélices, el tren de aterrizaje, las superficies de control, la compuerta de las bombas de la aeronave y en las torretas.

1.2. Motivación y justificación

La motivación para realizar este proyecto por parte del alumno se debe al deseo de este de mejorar su dominio con la herramienta CATIA, dada la importancia que tiene esta o cualquier otra herramienta de diseño y modelado en 3D en el mercado laboral de las ingenierías y sobretodo en la ingeniería aeronáutica tal y como se nos ha dicho a lo largo del grado. También está motivado a aprender la

utilización del módulo *Kinematics* de CATIA desconocido por el alumno al comienzo de este proyecto.

La elección del avión Boeing B-17 *Flying Fortress* viene fundamentada por la importancia histórica de este modelo, tanto por las misiones que realizó como por estar en un contexto histórico donde se entendió, después de la primera guerra mundial, que para ganar las guerras venideras se debía de dominar los cielos, con el consiguiente desarrollo tanto militar, como posteriormente civil, de aviones para realizar funciones cada vez de manera más segura y óptima. La elección de este modelo frente a otros es la gran variedad de mecanismos que preseta como hélices, tren de aterrizaje, superficies de control aerodinámico y torretas, y por lo tanto se podrá aplicar de forma extensa el ya mencionado módulo *Kinematics*

En cuanto a la precisión que tendrá el modelado a realizar frente a la realidad tenemos que tener en cuenta que será aproximada, dado que modelar de forma exacta la estructura del avión requeriría un trabajo y recursos que se escapan al ámbito de este proyecto. Por ello en la modelización dejaremos de lado partes tales como el interior del motor, mecanismos hidráulicos, los sistemas eléctricos y electrónicos. Y nos centraremos en el diseño de las partes principales tales como fuselaje, alas, cola, estabilizadores, gondolas, tren de aterrizaje, superficies de control, torretas y compartimento del bombardero.

1.3. Metodología y CATIA V5

La metodología a utilizar para la realización de este proyecto será la de buscar planos del avión, interpretarlos y crear las piezas de la manera más precisa posible en la herramienta CATIA V5, luego ensamblar las piezas en CATIA V5 para mostrar el avión completo, por último se procederá a utilizar el módulo *Kinematics* de CATIA V5 para dar movimiento a las partes antes mencionadas.

Como se puede ver, en nuestro trabajo es de vital importancia la utilización del software de CATIA, por lo que a continuación se procede a explicar en qué consiste este programa y que funciones puede realizar en el marco que nos interesa para este proyecto.

Fue desarrollada en 1971 y fue comercializada por la empresa Dassault Systèmes a comienzos de la década de los 80, es un software informático para el diseño y fabricación de todo tipo de piezas. Aunque inicialmente se desarrolló para ser utilizado en el ámbito de la industria aeronáutica rápidamente se extendió a otros ámbitos de la ingeniería como la industria del automóvil dada su gran versatilidad.

El cliente más longevo de CATIA es Boeing, que la eligió como su principal herramienta de diseño en 3D en el año 1984, la compañía utilizó la herramienta para desarrollar los famosos aviones comercial 777 y la serie 787. Otras muchas empresas del sector aeronáutico han utilizado los servicios de este software tales como Airbus, Dassault Aviation, BAE Systems, Embraer, etc. Otras empresas fuera de la ingeniería aeronáutica que lo ha utilizado son Porsche, BMW, Audi, Nikon, etc.

Por lo que las razones de utilizar el software de CATIA V5 frente a otros softwares de diseño 3D son:

- Utilización de este software por empresas del sector aeronáutico como Airbus o Boeing, así como la globalización que este programa presenta al estar tan extendido.
- Posibilidad de realizar pieza por pieza y después proceder a su ensamblaje, dado que esto nos da mayor facilidad a la hora de abordar una pieza así como también podremos darle más detalle que si hiciésemos todo el avión en conjunto, además este método de diseño por piezas es más realista dado que en la realidad se diseña y se fabrica por piezas y luego se ensambla.

- Tal y como se ha mencionado anteriormente, el alumno ya tiene experiencia es este software y quiere profundizar en él.

A continuación mostraremos los distintos módulos dentro de las secciones en los que trabajaremos junto a una breve explicación de ellos.

Sección Mechanical design

Donde trabajaremos las piezas más precisas, en ella se puede diseñar, crear sólidos y superficies y unir distintas partes. En ella nos encontramos los siguientes módulos de trabajo:

- *Part design*: Este módulo es utilizado para crear y modificar sólidos en 3D. Presenta muchas herramientas para realizar la pieza deseada con la complejidad que se precise.
- *Assembly design*: Donde nos encargaremos de ensamblar y poner distintas restricciones a las distintas piezas creadas anteriormente.

Sección Shape design

En esta sección nos encontramos con los módulos:

- *SketchTracer*: En este módulo se permite colocar y escalar distintos planos 2D que nos servirán de gran ayuda a la hora de realizar las piezas posteriores.
- *Imagine & Shape*: Nos permite crear formas complejas a partir de la modificación de figuras elementales.
- *Generate Shape Design*: Módulo que nos permite crear superficies y sólidos con estructuras más definidas.

Sección DMU (Digital Mockup)

En esta sección solo trabajaremos con el módulo *DMU Kinematics*. En el que se simularan movimientos mecánicos de unas piezas respecto a las otras.

Sección Infrastructure

En esta sección solo trabajaremos con el módulo *Photo Studio*. Con el podremos poner sobre las partes del avión requeridas símbolos específico a partir de imágenes.

2 BOEING B-17. DESCRIPCIÓN GENERAL

En este apartado estudiaremos características generales del Boeing B-17 *Flying Fortress* como su contexto histórico, su origen y desarrollo, sus especificaciones, su historial operativo y su desaparición y posterior legado.

2.1. Contexto histórico

El Boeing B-17 *Flying Fortress* (Conocido en español como Fortaleza Aérea) es un histórico y famoso bombardero cuya principal etapa de servicio se centró en la Segunda Guerra Mundial, fue fabricado desde 1935 y puesto en servicio en 1937 en el Cuerpo Aéreo del Ejército de los Estados Unidos (USAAC) y por la Real Fuerza Aérea Británica (RAF), aunque para esta última no tuvo mucho éxito como bombardero y fue más utilizado para misiones tales como vigilancia costera o lucha antisubmarina.

Hay que tener en cuenta que al haberse desarrollado justo antes de una guerra lo hizo participe activo de esta, aunque también participó en algunas misiones en el Pacífico como incursiones contra el transporte marítimo y aeródromos japoneses, sus misiones fueron principalmente en Europa donde, teniendo a Reino Unido como una gran base aérea cercadel enemigo, bombardearon puntos de estrategia logística, tales como refinerías de petróleo, puertos, puentes, objetivos industriales, muelles para submarinos y objetivos militares alemanes en general, tal era el interés del bando aliado en eliminar estos puntos estratégicos que los bombardeos por parte de los EE.UU eran llevados a cabo a plena luz del día, y tales fueron los resultados del bando aliado que al final de la guerra los cazas alemanes no podían despegar de sus aeródromos por falta de combustible. Tal fue la intensidad de estos ataques que 1 de cada 3 Boeing B-17 *Flying Fortress* que salían de misión eran abatidos durante las misiones, el B-17 más famoso es el Memphis Belle del cual se hicieron incluso dos películas de él, su logro fue el de ser el primero en completar con éxito 25 misiones de bombardeo, a partir de las cuales se les permitía a los tripulantes volver a casa.



Figura 2-1. Boeing B-17 “Flying Fortress”

Desde el comienzo de la guerra, la USAAC promovió este avión como un arma prioritaria, dado que era un bombardero relativamente rápido, de alto vuelo y de largo alcance. Este avión tuvo un techo extraordinariamente alto para su época de 10000m, siendo este techo su mayor ventaja para esconderse de las defensas antiaéreas del enemigo, aunque como inconveniente se encontró que al volar tan alto debido al frío del aire que entraba a los motores se producían unas estelas que desvelaban la posición del avión. El avión presentaba gran autonomía y alcance, y aunque dependía del cargamento de bombas, su alcance rondaba los 3200km y su cargamento de bombas los 2700kg. Debido a su gran alcance y autonomía en las misiones no podían ser escoltados por cazas en todo momento dado la baja autonomía de estos últimos, por ello, al cabo del tiempo el B-17 se va modificando para dotarlo de más defensas frente a cazas enemigos, como puede ser un mayor blindaje o la incorporación de hasta 13 ametralladoras a lo largo del tiempo manejadas por sus 10 tripulantes de manera parcial o total como explicaremos más adelante.

El B-17 destacó por su capacidad para absorber fuego enemigo y aun así poder completar la misión y llevar a la tripulación de vuelta a la base. Esta característica fue una gran compensación por su menor alcance y carga de bombas en comparación con los bombarderos acompañantes en esta etapa como son el B-24 y el Avro Lancaster británicos. Debido a esta durabilidad y a la gran cantidad de misiones llevadas a cabo por la Octava Fuerza Aérea hicieron al B-17 un arma clave en el desarrollo y fin de la guerra.



Figura 2-2. B-17 logra aterrizar con datos importantes

2.2. Orígenes y Desarrollo

Los orígenes del Boeing B-17 se remontan al 8 de agosto de 1934 cuando la USAAC presentó una propuesta de un bombardero multimotor para reemplazar al Martin B-10. Los requisitos para este avión eran un techo de vuelo de 3000m durante 10 horas con una velocidad máxima de al menos 320 km/h. En este contrato competirían el B-17 de Boeing, el Douglas DB-1 y el Martin Modelo 146.

El B-17 se basó en el modelo B-299 de Boeing, la primera versión de pruebas fue el Y1B-17, la cual se alargó 2 m respecto al modelo B-299 y del cual se construyeron 13 unidades, consistía en un avión cuatrimotor con cinco ametralladoras de 7.62mm, una carga útil de 2200kg, una velocidad de 406 km/h. El apodo de *Flying Fortress* lo acuñó un reportero de *The Seattle Times* al ver la gran cantidad de ametralladoras que sobresalían del avión.



Figura 2-3. Modelo B299. Antecesor del Boeing B-17

El rendimiento del *boeing* cuatrimotor durante el despegue fue superior al de sus competidores bimotores, parecía que se elegiría el *boeing* entre sus competidores dado que este presentaba mayor alcance pero dado a un fallo humano el avión se estrelló en su vuelo de evaluación y fue descalificado de la competencia al no tener avión de pruebas con el que ensayar. Aun así la USAAC encargó 13 aviones, ahora designados por YB-17. Las reticencias a adquirir más B-17 por parte del cuerpo aéreo se fueron desvaneciendo poca a poco y la producción fue aumentando rápidamente con el estallido de la Segunda Guerra Mundial hasta alcanzarse una producción total de 12731 aviones, pasando de las variantes de YB-17 a YB-17A, B-17B, B-17C, B-17D, B-17E, B-17F, B-17G, siendo estos dos últimos los que se produjeron en mayor cantidad y con cambios tales como el tener un total de 13 ametralladoras. La producción de estos últimos modelos y el carácter urgente de necesidad en la guerra hizo que una parte importante de ellos los construyesen empresas competidoras de Boeing como Douglas o Lockheed Vega. El coste por avión del B-17G fue de 238329 dólares lo que equivaldría a unos 2.7 millones de dolares actuales. Entreo todos los modelos se produjeron unos 12731 B-17, siendo los modelos B-17G y B-17F de los que más se fabricó, unos 8680 y 3405 respectivamente.

2.3. Características generales

Como hemos mencionado en la introducción de este proyecto nos centraremos en el modelo B-17G entre todos los existentes por ser el que más se produjo y el de mayor interés.

2.3.1. Características generales

- Envergadura: 31,62 m
- Longitud: 22,78 m
- Altura: 5,82 m
- Superficie alar: 131,92 m²
- Perfil alar: NACA 0018/NACA 0010
- Peso: En vacío 16000kg y de 30000kg cuando iba completamente cargado en el despegue.
- Planta motriz: Estaba impulsado por 4 motores Wright R-1820-97 *Cyclone* de 1200 caballos cada uno, tenía un promedio inicial de ascenso de 275 m/min pudiendo situarse a una altitud de 6000m en 37 min.
- Hélice: Una hélice Hamilton-Standard de 3 palas en cada motor

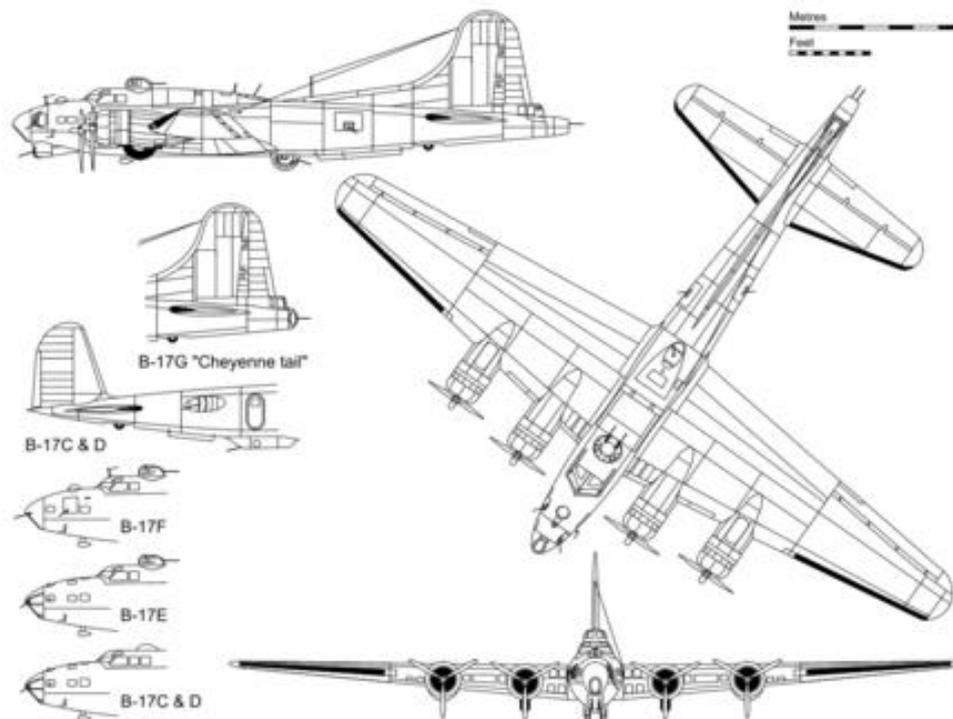


Figura 2-4. Vistas del B-17G

- Tripulación: Contaba con 10 tripulantes que luchaban como un equipo coordinado compuesto por:
 - El piloto, el cual era comandante de la nave encargado de la seguridad y eficacia de la tripulación.

- El copiloto, brazo derecho del piloto y que normalmente solía estar preparándose para dirigir su propio B-17 en el futuro.
- Navegador, dirigía al avión desde el despegue hasta el destino y a la vuelta, este debía de saber la posición exacta del avión en todo momento, también operaba una de las ametralladoras cerca de su puesto que estaban en ambos lados del bombardero, operaba la de un lado o la del otro dependiendo de la situación.
- Bombardero, sentado con la mira del bombardero en el morro del avión, su objetivo era el de estudiar el objetivo y las condiciones meteorológicas antes del despegue y tirar las bombas en el lugar correcto. Durante el lanzamiento de las bombas tenía el control absoluto de la nave mediante la mira de bombardeo para dirigir al avión en el punto correcto de lanzamiento. Una vez disparadas las bombas operaba la torreta de la barbilla de la aeronave.
- Operador de radio, se ocupaba de las comunicaciones de la aeronave con otras aeronaves y con tierra, también era el fotógrafo del avión y operaba una de las ametralladoras.
- Ingeniero de vuelo, si misión era la de mantener las piezas de la aeronave operativas, también operaba la ametralladora de la torreta superior.
- Artillero de cola, disponía de dos ametralladoras situadas en la cola del avión.
- Artilleros de cintura, había 2, uno en cada lado del avión, en el modelo G se colocaron escalonadas para que no interfiriesen la una con la otra.
- Artillero de torreta esférica, la ocupaba el artillero de menor tamaño dado que había que operarla en posición fetal, estaba situado en la panza del avión.

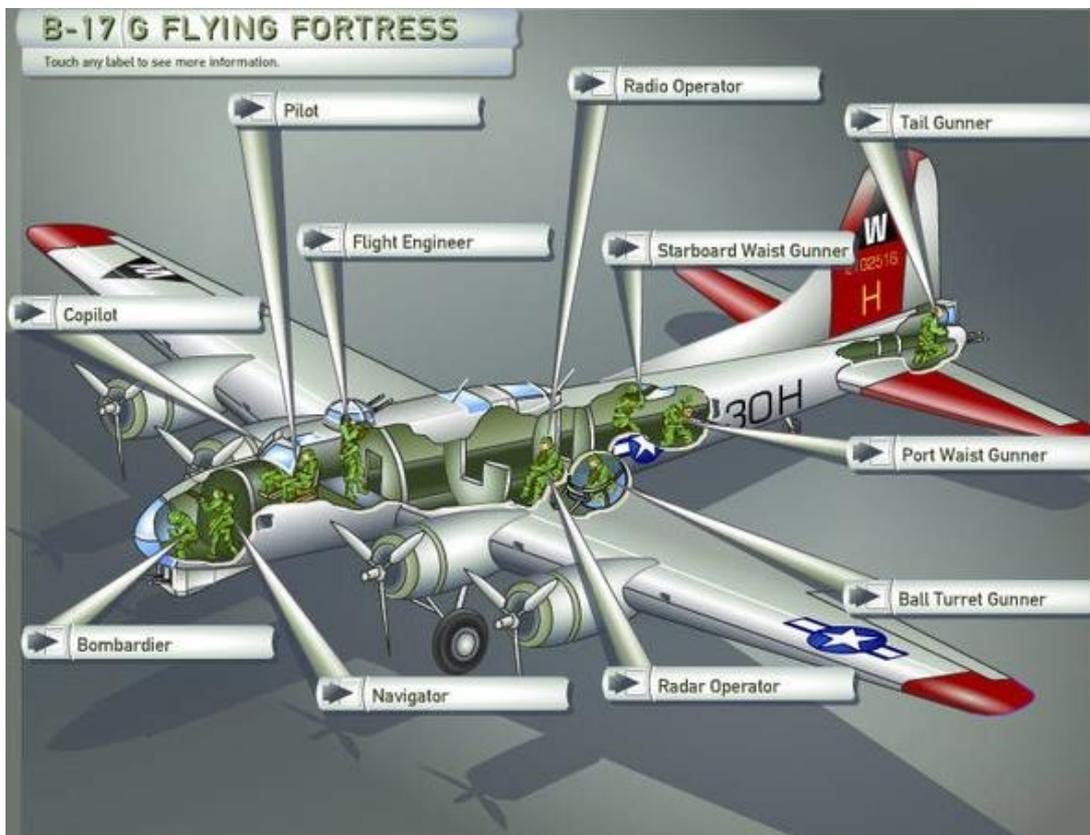


Figura 2-5. Localización de la tripulación en el B-17G

2.3.2. Rendimiento

- Velocidad: Disponía de una velocidad de crucero de 275 km/h y una velocidad máxima de 483 km/h a 9000 m.
- Autonomía: Tenía una autonomía máxima de 5000km y podía cubrir 1700 km cargado por completo, cuando estaba cargado con 2700kg de carga de bomba tenía un alcance de 3219 km.
- El avión podía volar hasta 10000m, siendo su techo de servicio los 10850 m, esta gran altura hacía que el avión tuviera que tener equipos especiales para la respiración tales como máscaras de oxígeno. Esta altura, como ya hemos comentado antes, servía para hacer menos visible la aeronave.
- Carga alar: 185,7 kg/m².
- Potencia/peso: 150 W/kg.

2.3.3. Armamento

- Iba armado con 13 ametralladoras Browning de calibre 50 (12.7mm) en las posiciones de barbilla, morro, dorsal, centro del fuselaje, ventral, central y cola. Cabe destacar que cada torreta tenía aproximadamente 1 min de metralla continua, con lo que se solían disparar en ráfagas de 2 o 3 segundos y de manera coordinada.

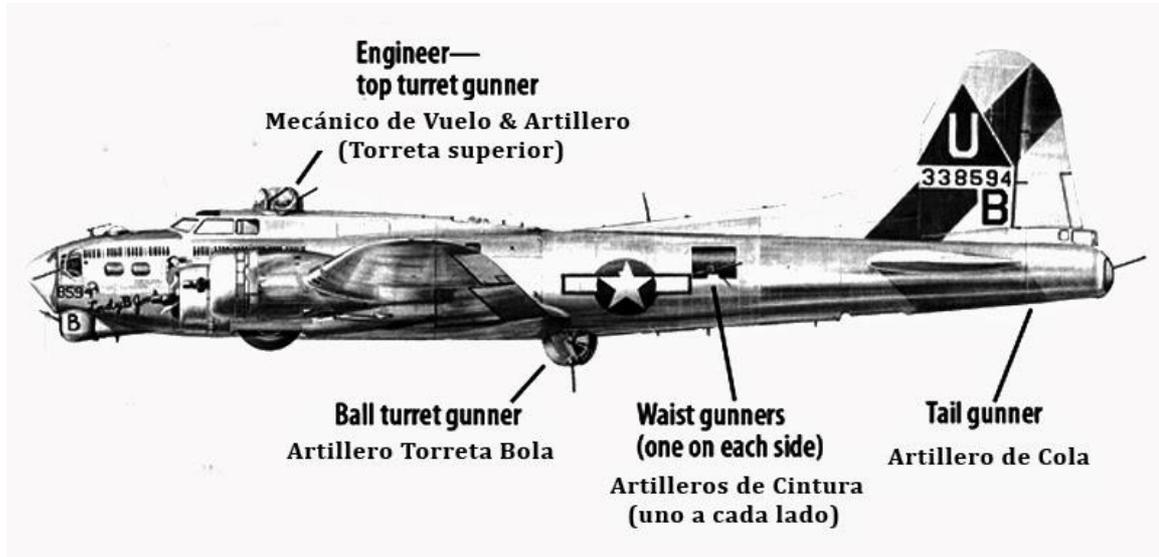


Figura 2-6. Posición de las ametralladoras del B-17G

- Cargamento de bombas:
 - Misiones de corto alcance(< 400 millas (644 km)): 3600kg
 - Misiones de largo alcance(~ 800 millas(1288km)): 2000kg
 - Sobrecarga: 7800kg
- La carga normal de combustible era de 9525 L, se le podían acoplar tanques adicionales que elevaban su capacidad total hasta los 13600 L



Figura 2-7. Escuadrón de B-17 bombardeando su objetivo

2.4. Historial operativo

El grueso de sus misiones se centró en la Europa continental controlada por Alemania sobre el 1942 donde se enviaron los primero B-17 de la USAAF a Inglaterra para unirse a la Octava Fuerza Aérea.

En el frente japonés se denotó ineficacia por parte de los B-17 los cuales fueron reemplazados por los B-24 y B-29 cuando estuvieron disponibles, así después de ver su ineficacia en los bombardeos su misión derivó en el transporte y lanzamiento de botes salvavidas a tripulaciones de aeronaves estrelladas en el mar.

2.4.1. Uso de RAF

La RAF (la fuerza aérea de Inglaterra) entró a la Segunda Guerra Mundial sin ningún bombardero pesado en servicio, por ello se acordó con el Cuerpo Aéreo del Ejército de EE.UU. la adquisición de veinte B-17C. Tras perder ocho de los veinte B-17C en bombardeos diurnos en poco tiempo se demostró que los B-17C no estaban aún listo para el combate y se debían de mejorar sus defensas. Así que la RAF utilizó los B-17C restantes para patrullas marítimas y bombardeo de submarinos.

2.4.2. Operaciones iniciales de la USAAF en Europa

La USAAF utilizó el B-17 y otros bombarderos para bombardear objetivos precisos desde grandes alturas gracias al visor de bombas Norden, computadora analógica capaz de determinar a partir de unos datos el momento en el que las bombas deberían de ser lanzadas para dar en el blanco.

La USAAF comenzó a formar sus fuerzas aéreas en Europa utilizando el B-17E, tras varios éxitos de los bombarderos estadounidenses sobre objetivos precisos a plena luz del día se disiparon las dudas británicas sobre la capacidad de los B-17 para llevar a cabo las tareas encomendadas.

Llegaron entonces los B-17F y al aumentar en número y frecuencia las incursiones estadounidenses sobre objetivos alemanes, estos últimos aumentaron los esfuerzos para interceptación de estos bombarderos de modo que se desalentaron las misiones de bombardeo sin escolta.



Figura 2-8. Graves daños estructurales en un B-17

2.4.3. Ofensiva a gran escala sobre Europa

La Octava Fuerza Aérea dio prioridad a los ataques a la industria aeronáutica alemana como fábricas de motores, plantas de ensamblaje, etc. Luego se ordenaron misiones importantes más profundas en Alemania contra objetivos industriales, un escuadrón formado por 230 B-17 tenía como misión bombardear las fábricas de cojinetes de bolas en Schweinfurt pero fueron interceptados por 300 combatientes de la Luftwaffe. Junto a otra incursión ese mismo día se perdieron un total de 60 B-17. Tras un segundo ataque en Schweinfurt se perdieron un total de 77 B-17 entre aeronaves derribadas en Alemania, estrelladas cuando procedían a retirarse a Gran Bretaña o las que fueron desechadas debido a daños severos una vez aterrizadas. Solo 33 bombarderos de todos los que partieron aterrizaron sin sufrir daños. Tras estos malos resultados la USAAF suspendió los ataques hasta desarrollar un modelo de caza escolta para proteger a los bombarderos durante su trayectoria de ida y vuelta.

Así se fueron llevando bombardeos con cada vez menos pérdidas de B-17 debido a los cazas escoltas que los protegían y a las formaciones de combate tales como la formación en flecha, que lograba concentrar una elevada potencia de fuego en una dirección como consecuencia de estar varios B-17 cerca los unos de los otros. Tal era la importancia de estas formaciones que según una investigación de la USAAF determinó que más de la mitad de los bombarderos derribados por los alemanes habían abandonado la formación principal. Se fue desarrollando formaciones hasta llegar a la formación de *Combat box* escalonada donde todos los B-17 cubrían a sus compañeros con sus ametralladoras, la problemática de esta formación residía en que los aviones no podían participar de maniobras evasivas individuales y eran obligados a volar en una línea recta constante siendo así más vulnerables al fuego antiaéreo alemán.

Tal fue el éxito de estas misiones que al final de la guerra los cazas alemanes no se desplegaban por falta de medios y los B-17 pudieron volar sin escolta.

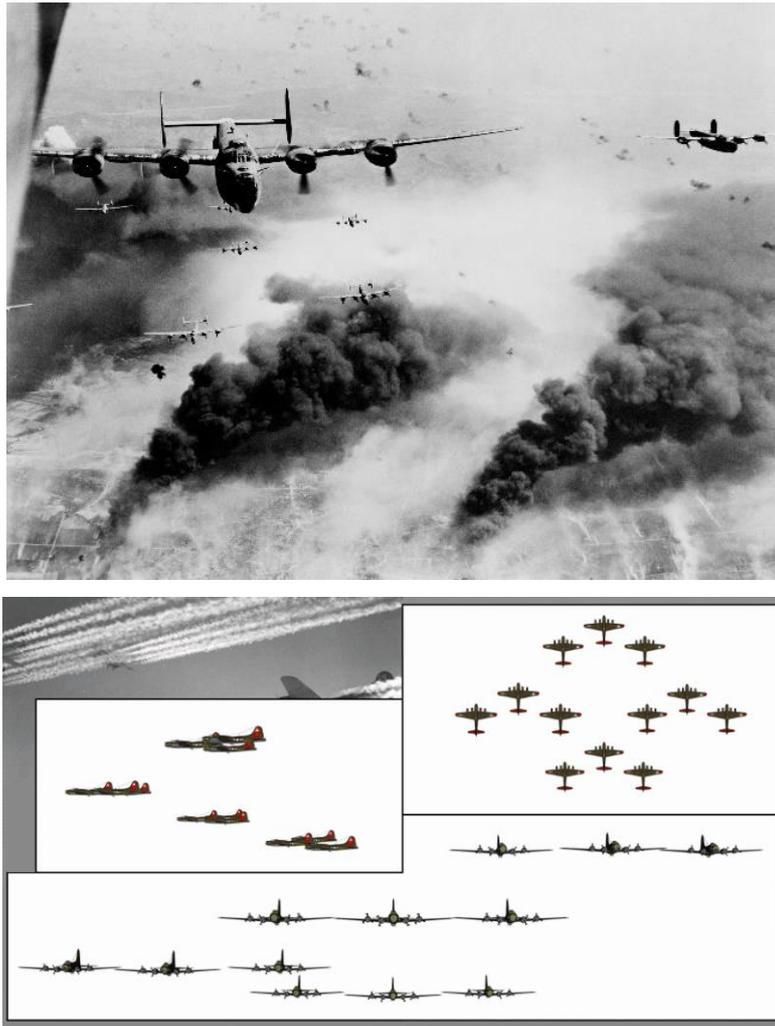


Figura 2-9. Formaciones de combate

2.4.4. Postguerra, desaparición y legado

El B-17 fue un bombardero que nació en el momento clave para su máximo aprovechamiento, tanto es así, que luego de la guerra se les relegó a un segundo plano dado la no necesidad de bombardear posiciones enemigas, las Fuerzas Aéreas del Ejército retiraron la mayoría de la flota las cuales, luego de ser transportadas a Estados Unidos a través del Atlántico, fueron vendidas como chatarra y se fundió.

Un número considerable se mantuvo en uso en funciones secundarias tales como transportes VIP, rescate aire-mar y reconocimiento fotográfico, el modelo modificado para las funciones de rescate marítimo se designó por SB-17, se les instaló una gran cúpula para un radar de búsqueda y se agregaron tanques de combustible internos para dar mayor alcance, permaneció en servicio con la USAF hasta mediados de la década de 1950

Algunos F-17 restantes se transformaron en aviones no tripulados para muestreo atmosférico en las pruebas de la bomba atómico de la Operación Crossroads.

El B-17 más famoso es el Memphis Belle que fue restaurado y expuesto en el Museo Nacional de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos en Wright-Patterson Air Force Base, Ohio.

En cuanto al legado que dejó el B-17 fue muy importante el aspecto del gran techo que poseía, desarrollándose los próximos modelos de bombarderos presurizados dado los problemas que ya

venían viendo en el B-17 a grandes alturas, también puso de relieve la gran ventaja de aviones pesados para bombardeo o transporte frente a los cazas, de menos autonomía y alcance.



Figura 2-10. B-17 en National Museum of the Mighty Eighth Air Force, Pooler, Georgia

3 PLANOS DE PARTIDA Y DECISIONES DE DISEÑO

En este apartado se expondrá los planos utilizados para llevar a cabo el trabajo así como las decisiones de diseño tomadas para efectuar de manera óptima nuestra representación del avión.

Exponemos a continuación una tabla con las características geométricas más representativas del Boeing B-17 para su posterior realización en Catia, para ello se utilizan los datos que vienen en la página oficial de Boeing sobre el modelo y completamos con la medición en los planos posteriores:

Tabla 3-1 Tabla con las principales medidas geométricas del Boeing B-17G

Característica	Magnitudes Imperiales	Magnitudes del Sistema Internacional
Envergadura	103 ft 9 in	31.62 m
Longitud	74 ft 9 in	22.78 m
Altura	14,11 ft 161in	4.57 m
Superficie alar	1420 ft	131,92 m ²

Para el desarrollo en 3D en CATIA V5 utilizaremos la herramienta *Sketch Tracer* disponible en el módulo de *Shape Design*, en la cual podremos crear una primera aproximación de mi modelo 3D a partir de planos 2D de todas las vistas, los planos a utilizar serán:

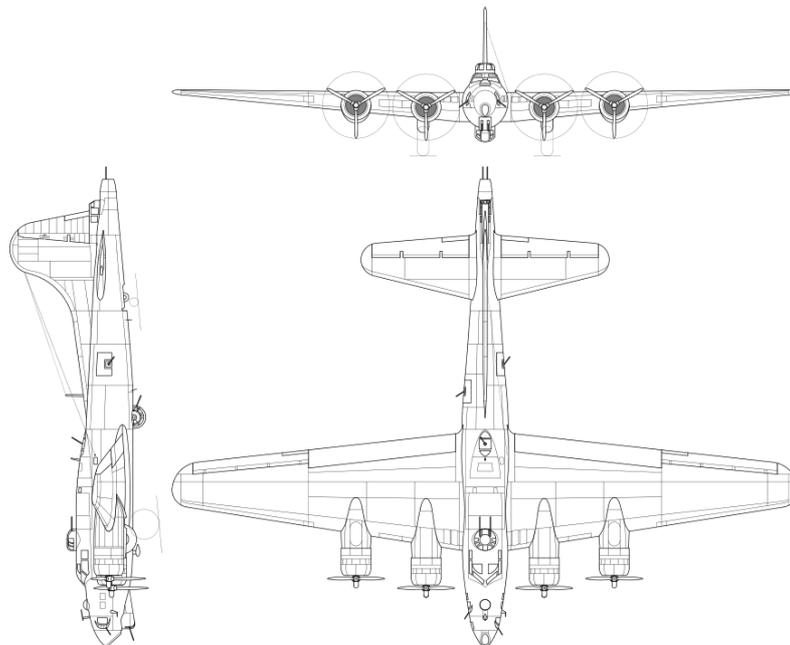


Figura 3-1. Planta, alzado y perfil de una plano del modelo B-17G

A los que les daremos en la herramienta *Sketch Tracer* las medidas correspondientes que se muestran

en la tabla de arriba, a la hora de introducir las medidas el alumno tuvo problema en saber si la longitud aportada incluía las torretas traseras y delanteras, también se tuvo problemas en saber si la altura era con el tren de aterrizaje extendido o replegado, por ello se optó por utilizar la medida de la envergadura, de la cual no había ninguna duda, como unidad de medida exacta al escalar el avión y de aquí salieron el resto de medidas.

Dado que era completo el representar de manera óptima todas las secciones del ala, fuselaje y estabilizadores solo con estas tres vistas se utilizó algunos planos de maquetas existentes para representar de manera más precisa cada sección, aunque estas solo se utilizaron de manera orientativa.

Para el fuselaje

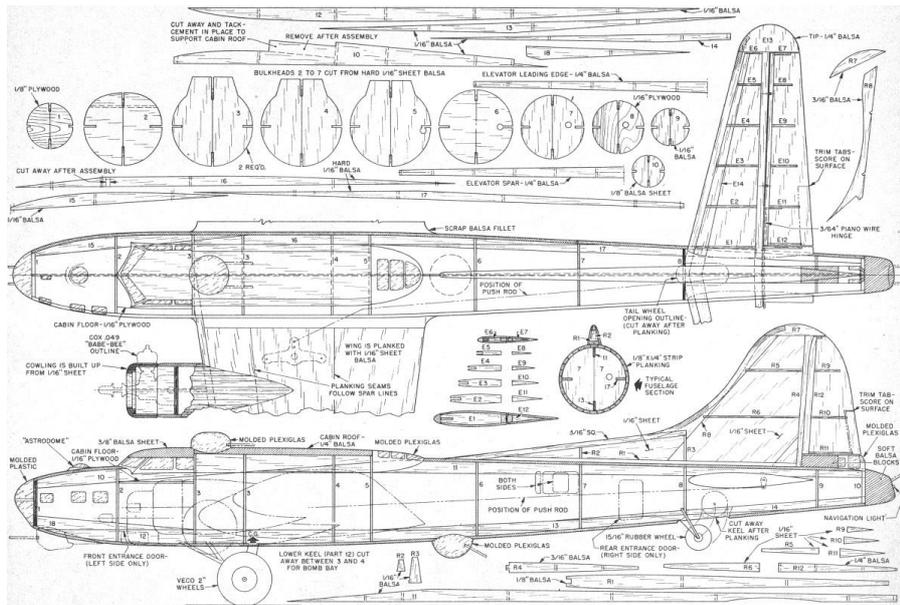


Figura 3-2. Plano de las secciones del fuselaje y estabilizadores de una maquena del B-17G

Para el ala

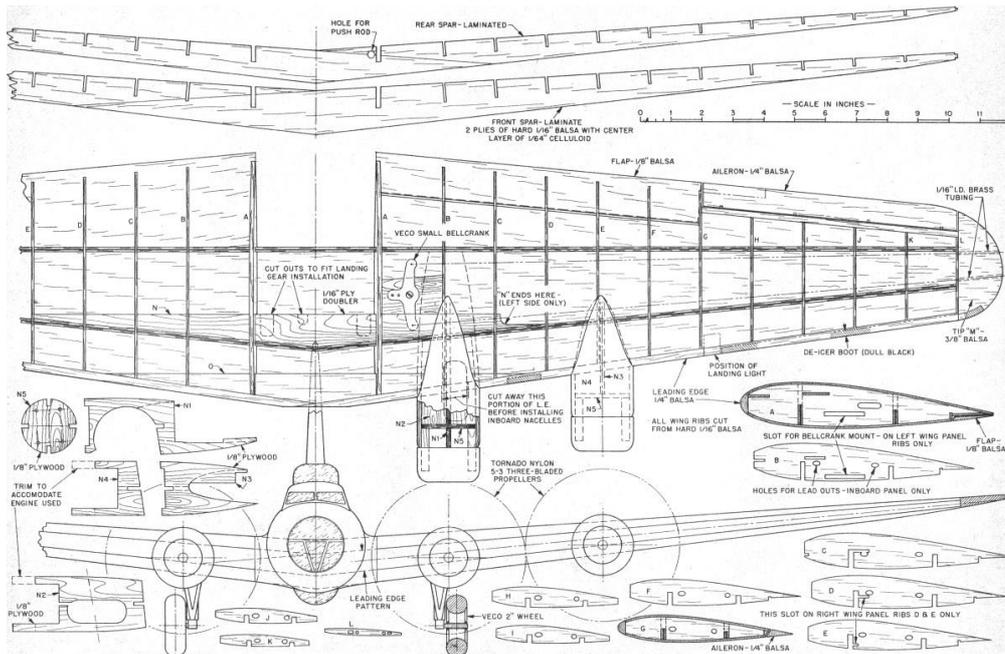


Figura 3-3. Plano de las secciones del ala de una maquena del B-17G

Y una vista general de la aeronave en conjunto de imágenes reales.

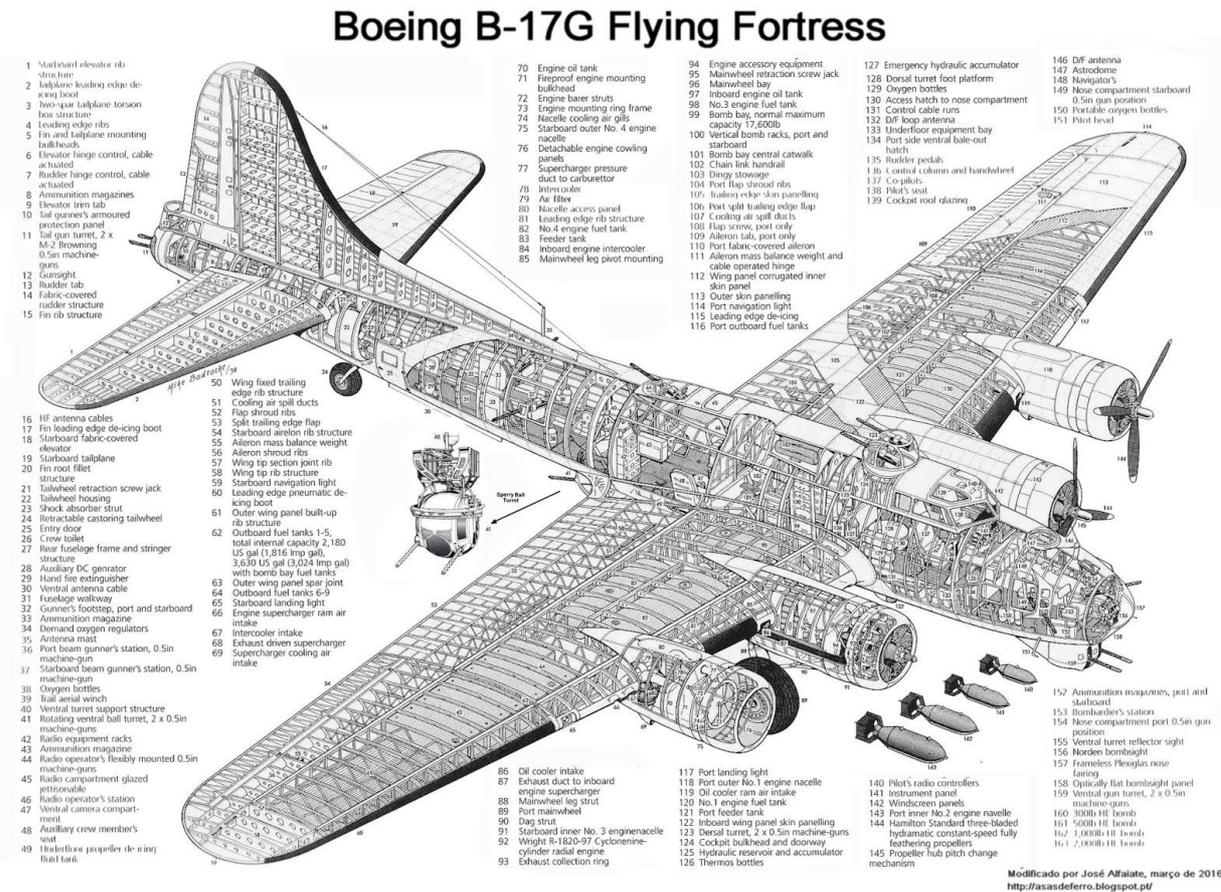


Figura 3-4. Vista general con detalle del B-17G

Con estos planos decidimos dividir el avión en fuselaje, alas, estabilizadores, módulos de ametralladoras y planta motora.

A su vez se seguirá el orden en el que se han mencionado cada parte, dada la gran importancia del fuselaje como pieza central al que van unidas las demás y tener que hacerlo acorde para que luego el resto de piezas se puedan ensamblar adecuadamente se hará en primer lugar, seguimos con la modulación de las alas haciendo especial hincapié en su unión con el fuselaje para ensamblarlo correctamente después, continuamos con los estabilizadores por ser prácticamente una continuación del fuselaje, , seguimos añadiéndole al fuselaje todos los módulos de las ametralladoras, se hace en este paso por ser una pieza más pequeña que el resto ya hechas y para poder orientarnos mejor con el fuselaje ya hecho, a continuación se modula la planta motora, tanto góndolas y hélices, se tiene especial cuidado en la parte de unión entre góndola y ala, se modularán a continuación el tren de aterrizaje, torretas, superficies de control y por último se modularán los pequeños detalles de la aeronave, tales como piezas pequeñas, salientes pequeños, etc.

4 MODELIZACIÓN EN CATIA DEL BOEING B-17G

Como ya se ha mencionado anteriormente procederemos al modelado en 3D de nuestro avión a través del software CATIA V5 R19, aunque existen versiones más actualizadas del software utilizaremos esta versión dado que es la que se encuentra disponible en las instalaciones de la Universidad de Sevilla. Diferenciaremos cada apartado por las partes de la aeronave antes presentadas, cada una de ellas las modularémos por distintos métodos según veamos cuales pueden ir más acorde a cada parte.

Dado el trabajo de búsqueda de planos previos se decidió usar el módulo *Sketch Tracer* para beneficiarnos de estos, esta herramienta permite introducir imágenes en la orientación y a la escala que se precise, por lo que será una gran ayuda para el correcto modelado de la aeronave.

Creamos uno de los *Product* donde trabajaremos, seleccionamos el módulo *Sketch Tracer*, seleccionamos en View mode *Shading with Material* para posteriormente utilizar la herramienta *Create an Immersive Sketch* y seleccionar los planos a insertar.

A continuación se muestran los planos insertados, se señalan sus medidas y su orientación:

Vista en alzado

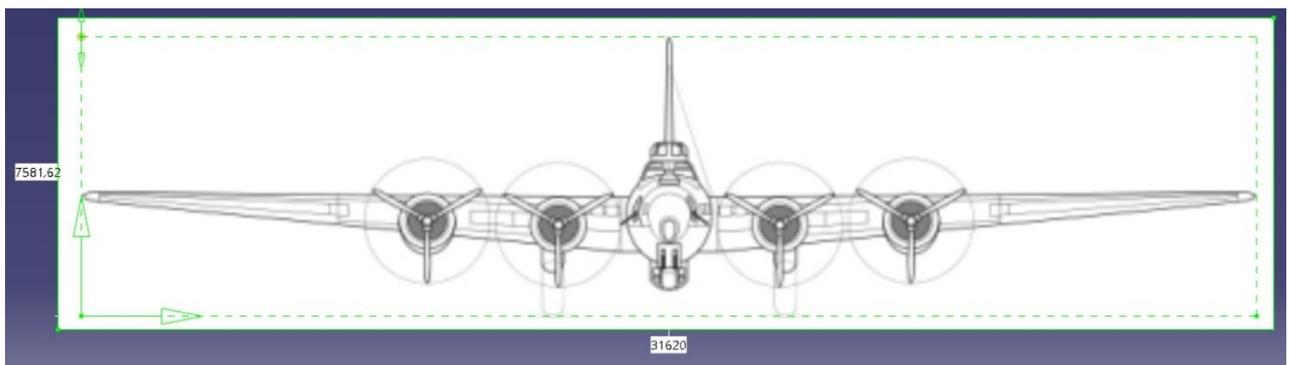


Figura 4-1. Vista en alzado del principal plano a utilizar

Vista en perfil

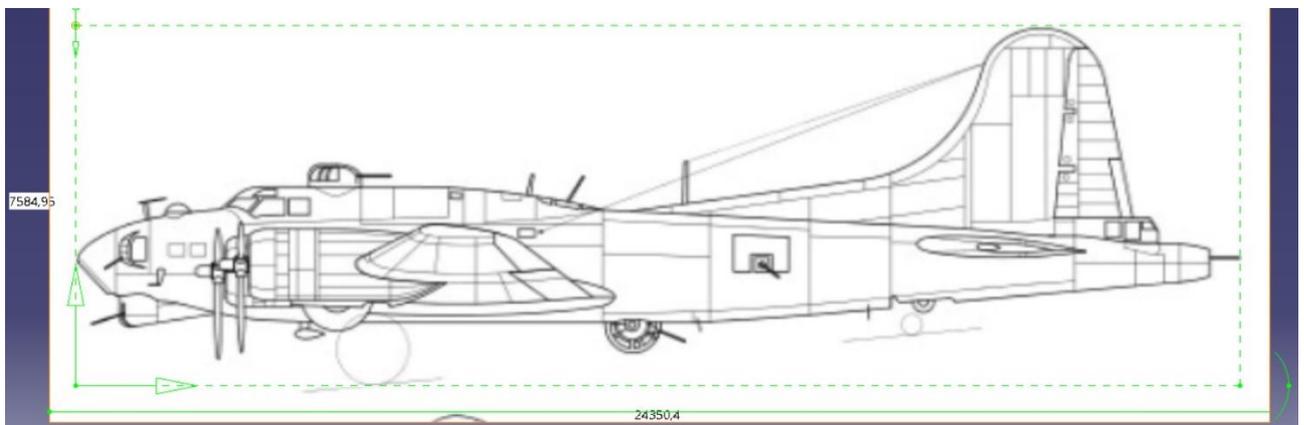


Figura 4-2. Vista en perfil del principal plano a utilizar

Vista en planta

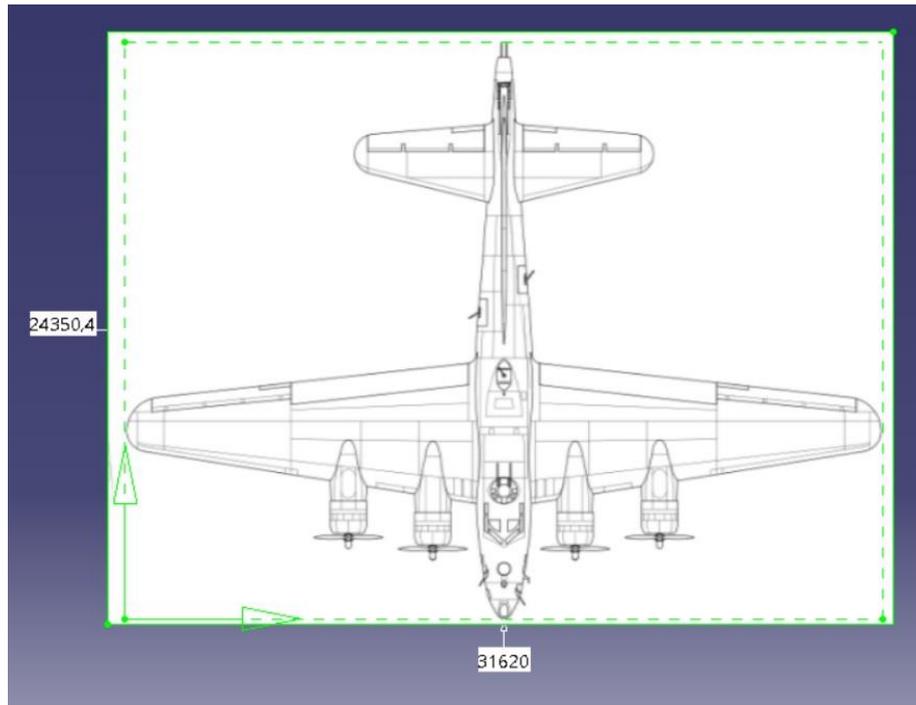


Figura 4-3. Vista en planta del principal plano a utilizar

Se ha colocado el eje del plano en ese punto puesto que le ha resultado al alumno más fácil a la hora de modelar. Así poniendo cada plano en su lugar correspondiente se llega a la siguiente representación de planos en el espacio.

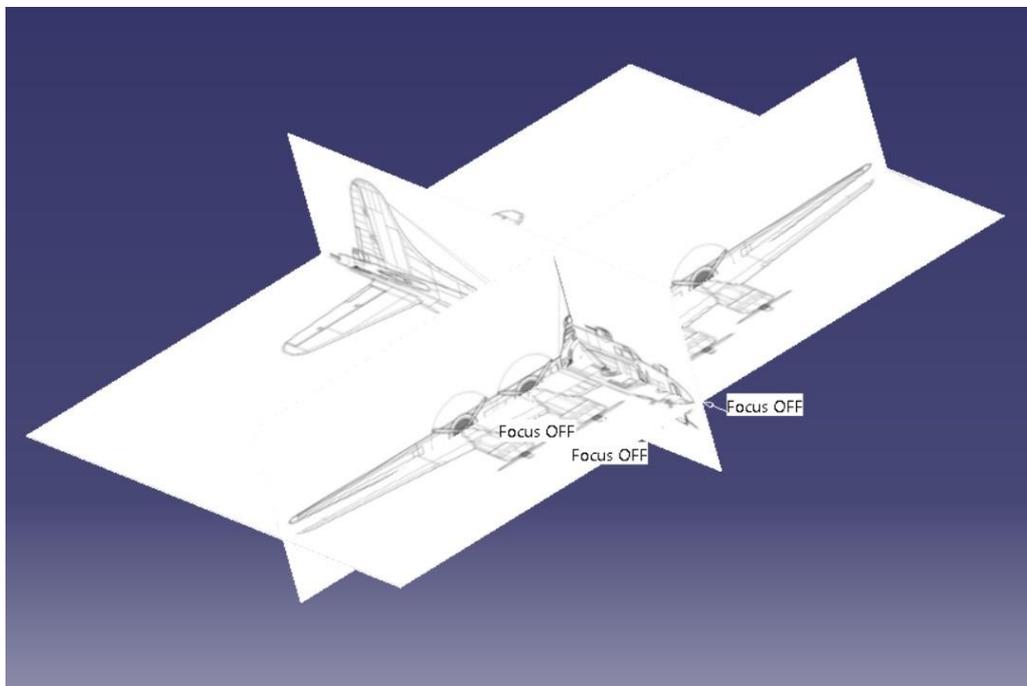


Figura 4-4. Representación en el espacio 3D de los principales planos a utilizar

Como se puede observar en la imagen los distintos planos concuerdan entre sí, dado que se han ajustado para que esto suceda tomando como medida inicial e inamovible la de la envergadura igual a 31620 mm.

4.1 Fuselaje

Se procede primero a modelar el fuselaje porque, tal y como se mencionó antes, es la pieza central a la que van unidas las demás partes.

El primer modelado del fuselaje se realizó a través del módulo *Imagine & Shape* al ser este módulo bastante intuitivo y preciso a la hora de realizar partes que se asemejen a figuras básicas, en este caso, al ser nuestro fuselaje semejante en cuanto a forma a la figura del cilindro se utilizó esta para su modelaje.

Tendremos especial cuidado y dedicación a las partes con más detalle, en nuestro caso, la cola, la parte delantera de la cabina y la punta del fuselaje como se puede observar en las imágenes siguientes.

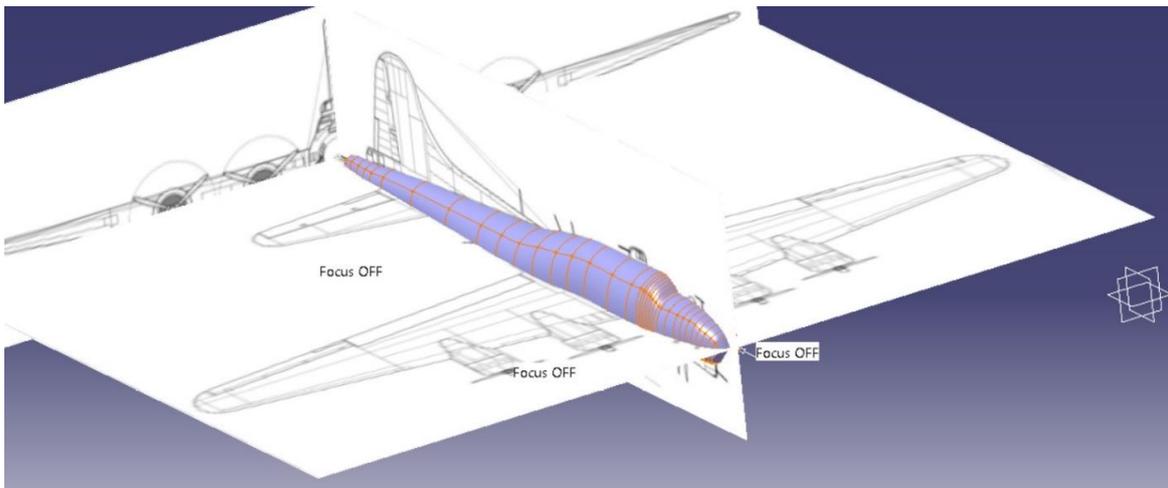


Figura 4-5. Resultado del primer modelaje del fuselaje

Como podemos ver los resultados no son tan optimos como se podría esperar en la zona de la cabina.

Para obtener el mejor resultado posible se va a realizar un segundo modelo del fuselaje y así ver las carencias y virtudes de cada uno, este modelaje se va a realizar a través de la herramienta *Multi-sections Solid*.

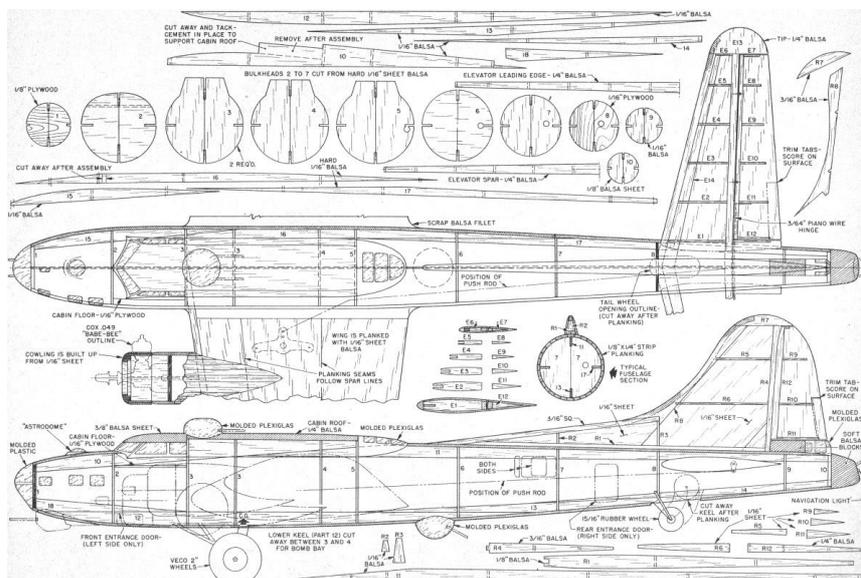


Figura 4-6. Plano a utilizar para el Multi-Sectiones

En este plano podemos ver distintas secciones del fuselaje y su lugar correspondiente, cabe decir que este es el plano de una maqueta y no se corresponde exactamente a las características geométricas exactas, pero lo utilizaremos para orientarnos.

De nuevo, creamos un nuevo *Product*, seleccionamos el módulo *Sketch Tracer*, seleccionamos en *View mode Shading with Material* para posteriormente utilizar la herramienta *Create an Immersive Sketch* y seleccionar los planos a insertar como en el caso anterior, además de la planta y el perfil se introducen como alzado en su punto correspondiente los planos de las distintas secciones que tenemos, quedando una representación de planos de la siguiente forma:

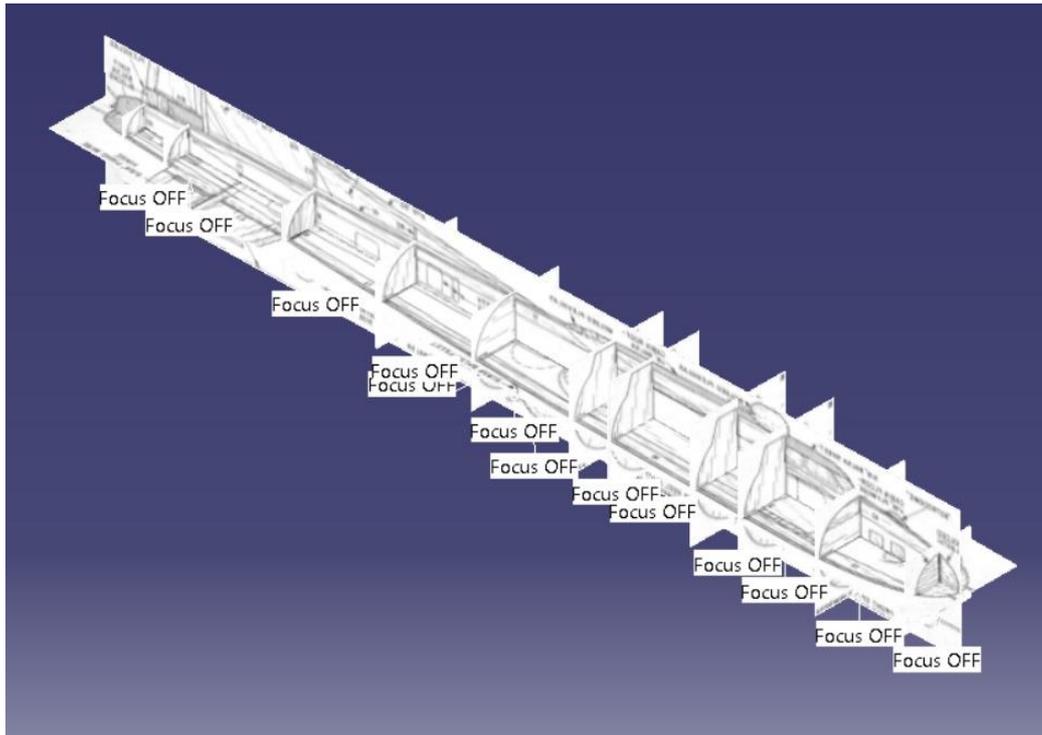


Figura 4-7. Planos de las distintas secciones del fuselaje

Como podemos ver todas las secciones se ajustan correctamente a los planos de perfil y planta, a continuación creamos planos en los que dibujar estas secciones, las coordenadas de estos planos respecto a la punta del fuselaje se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4-1. Tabla de las posiciones de las secciones del fuselaje a utilizar

Sección	Posición (mm)
1	570
2	2775.5
3.1	4855
3.2	6195
4	8578

5	9608
6	12450
7	15225
8	18038
9	21595
10	22850

Tras dibujar estas secciones en su plano correspondiente se hicieron las secciones de la cola y punta del fuselaje, estas secciones están inclinadas respecto de las demás secciones, se muestra a continuación el resultado.

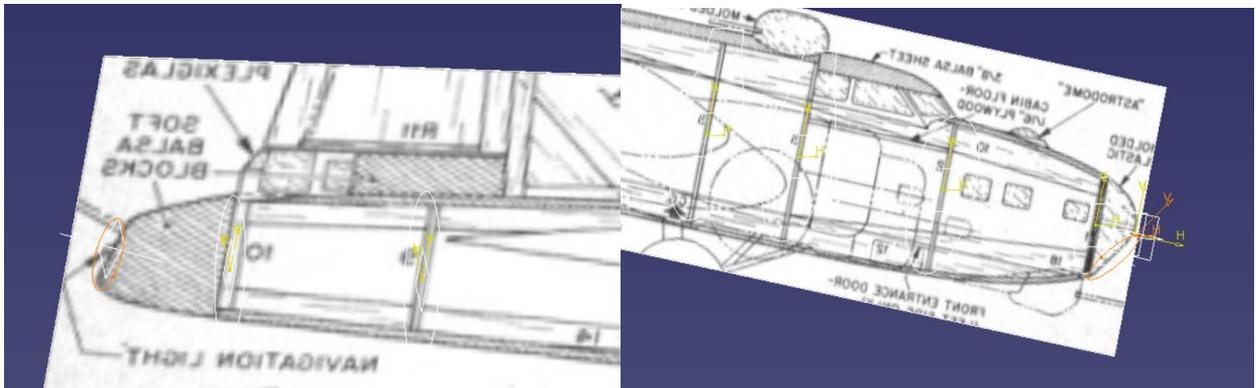


Figura 4-8. Secciones de la cola y la punta del fuselaje

Luego todas las secciones quedarían como se muestra a continuación.

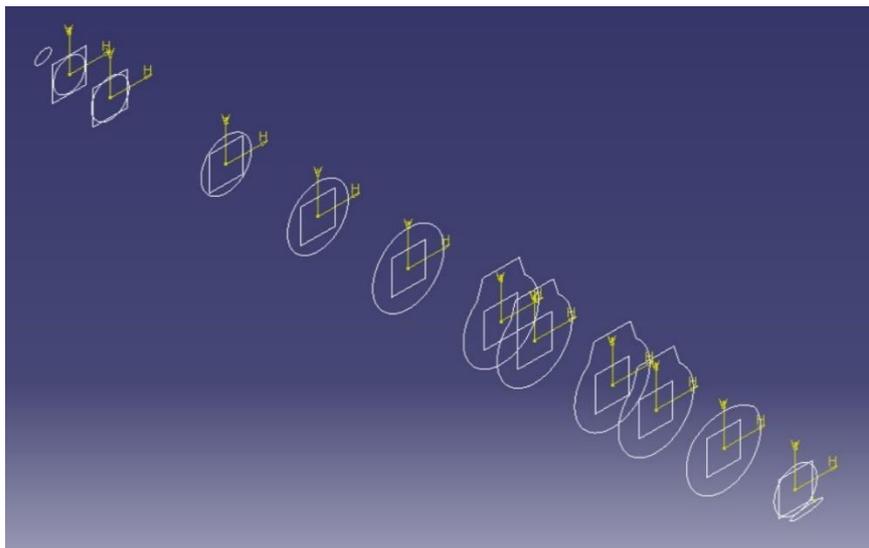


Figura 4-9. Todas las secciones que forman el fuselaje

Una vez tenemos todas las secciones se inició la herramienta *Multi-sections Solid*, tras seleccionar todas las secciones y poner la orientación y los *Closing point* correctos se seleccionó la opción *ratio* en el *Section coupling* dado que las secciones difieren bastante entre sí teniendo distintos vértices y esta opción contempla esto.

Así obtenemos el siguiente resultado.

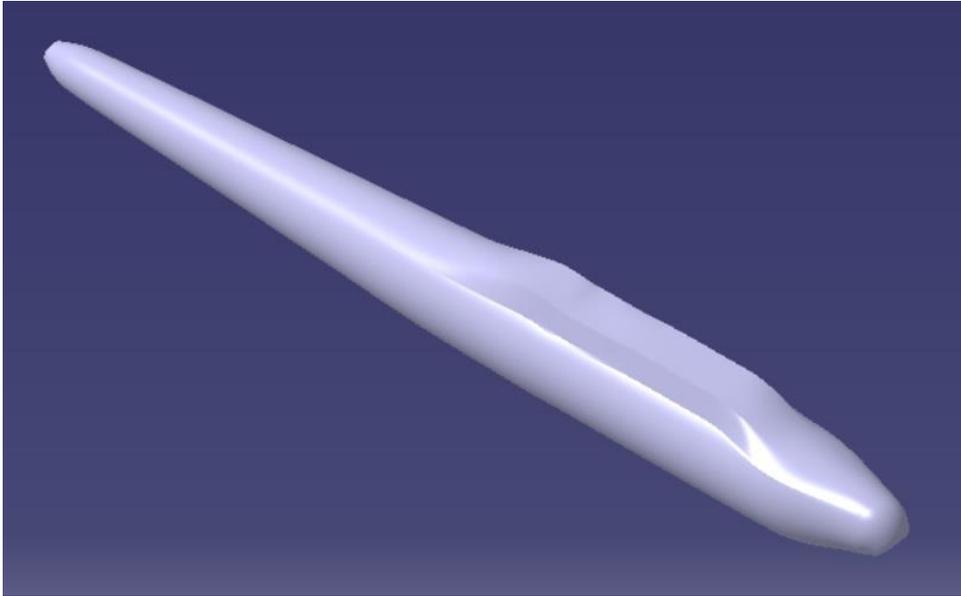


Figura 4-10. Fuselaje obtenido por Multi-Sections

Como podemos ver nuestro modelo difiere levemente de nuestros planos en la mayoría del perfil, también difiere en mayor grado en la parte delantera de la cabina y en la parte trasera de la misma, así como en la punta, para ello se llevan a cabo una serie de modificaciones para mejorar nuestro modelo.

Se redistribuyen las secciones, para ello usamos un *sketch* para guiarnos, este *sketch* es solo orientativo para arreglar estos pequeños errores, tras su uso se eliminará, esta “guía” se muestra de color naranja en la siguiente imagen.

También añadimos dos secciones extra para mejorar el modelo en la parte delantera y trasera de la cabina, la localización de estas secciones se muestra señalizado de color verde en la siguiente imagen.

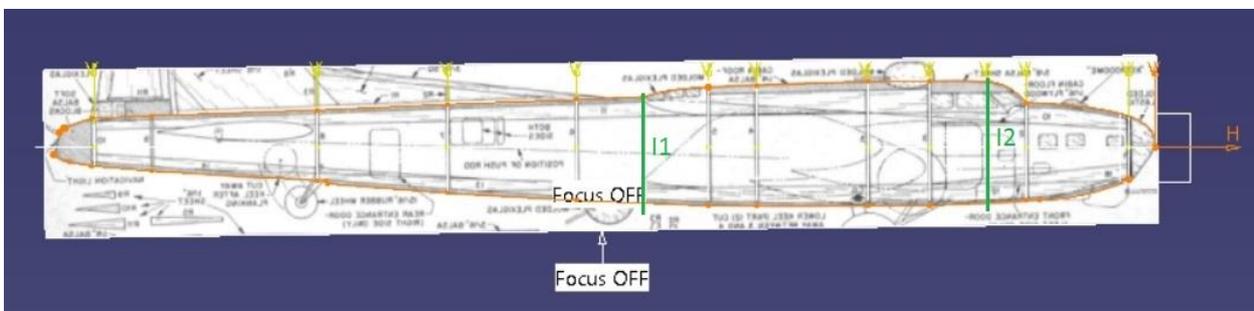


Figura 4-11. Ayudas para mejorar el fuselaje

Para algunos *Multi-sections Solid* se han usado elementos de ayuda tales como *guides*, *spline* o *coupling curves*.

Para la cola del avión se ha dividido en dos *Multi-sections Solid*, los cuales se muestran a continuación.

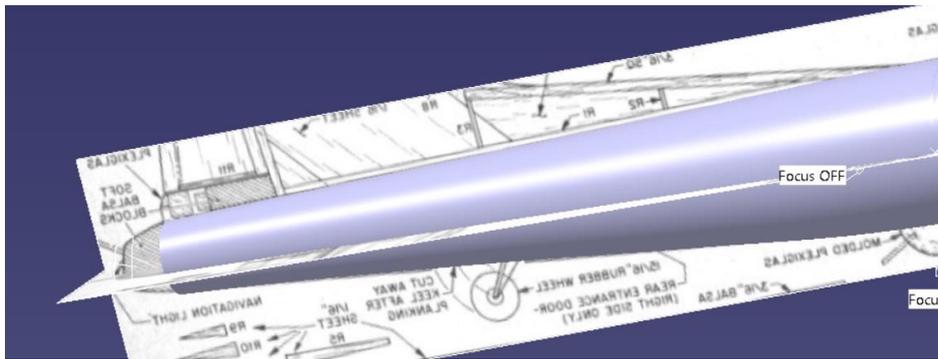


Figura 4-12. Cola del fuselaje por M-S parte 1

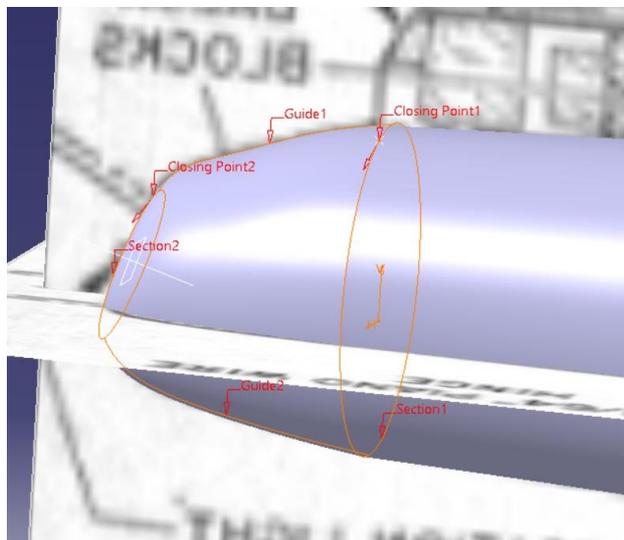


Figura 4-13. Cola del fuselaje por M-S parte 2

Para la parte que está entre las secciones 1 y 2 se han utilizado dos guías para delimitar por arriba y por debajo.

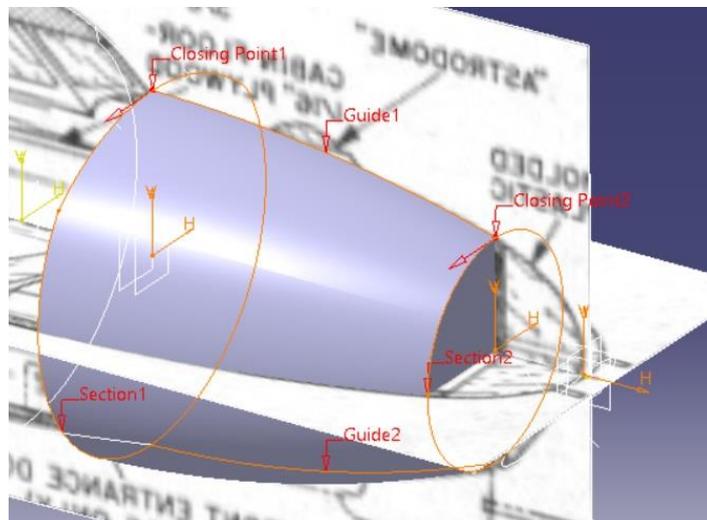


Figura 4-14. Multi-Sections entre secciones 1 y 2

Para la parte que va desde la sección 2 hasta la sección auxiliar introducida I1, es decir, la que está en la parte delante de la cabina, debemos de darle una forma característica de ventanas como se puede ver en la siguiente imagen rodeado de color rojo.



Figura 4-15. Detalle de las ventanas

Para crear esta forma usamos la herramienta de *coupling curves* como se muestra en la siguiente imagen, como vemos de esta forma se puede representar la parece rectas pedidas.

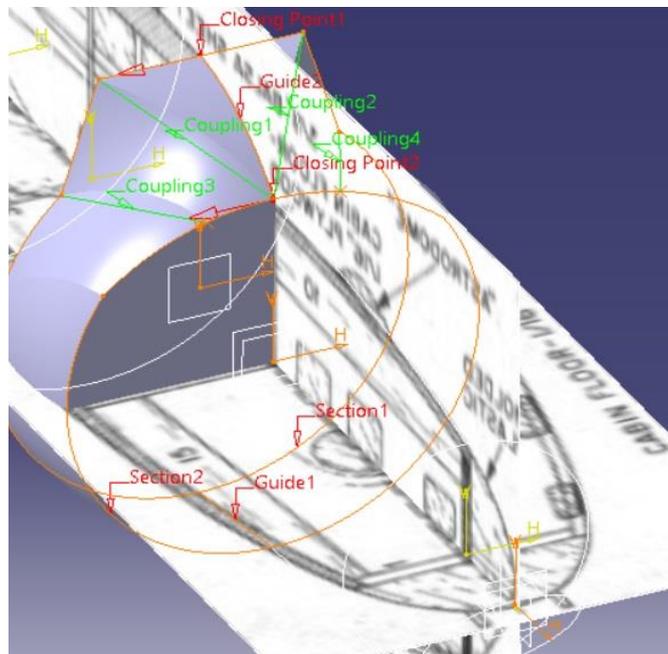


Figura 4-16. Multi-Sections de la zona delantera de la cabina

También podemos observar en la imagen del avión real como la cabina va pasando de una sección rectangular en su parte delantera a una circular cuando esta acaba, así redefinimos las secciones que la representan esta parte de la cabina para producir este efecto.

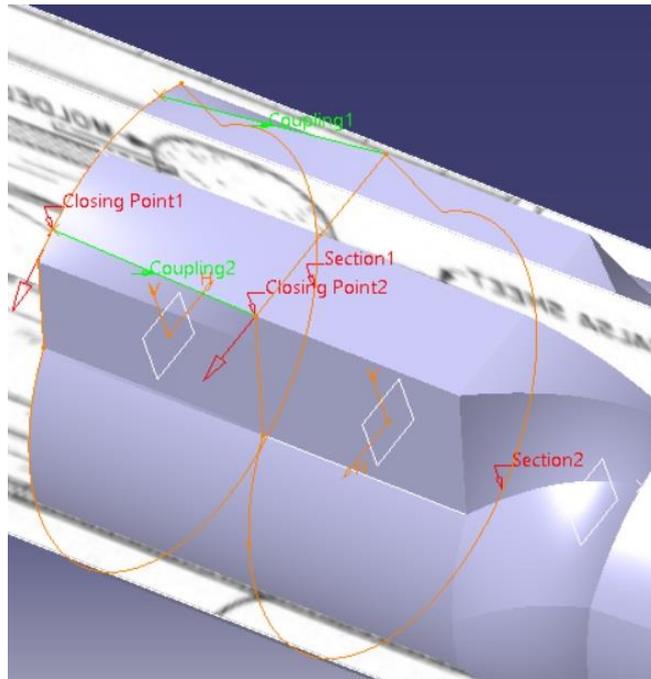


Figura 4-17. Multi-Sections de la zona delantera de la cabina

A continuación hacemos la parte trasera de la cabina donde tiene redondeo, para ello creamos más secciones, marcamos puntos en estas y marcamos la tendencia deseada con *Coupling Curves*

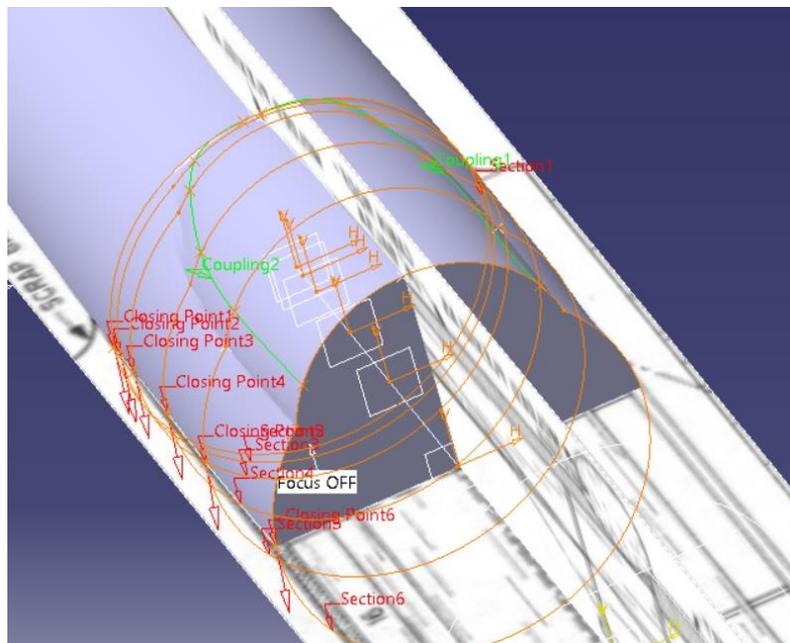


Figura 4-18. Multi-Sections de la zona trasera de la cabina

Unimos las dos secciones de las imágenes anteriores para completar nuestra cabina y así tener la cabina con esta tendencia de pasar de ser más redondeada y de menor altura en su zona trasera a más recta y de mayor altura en su zona delantera.

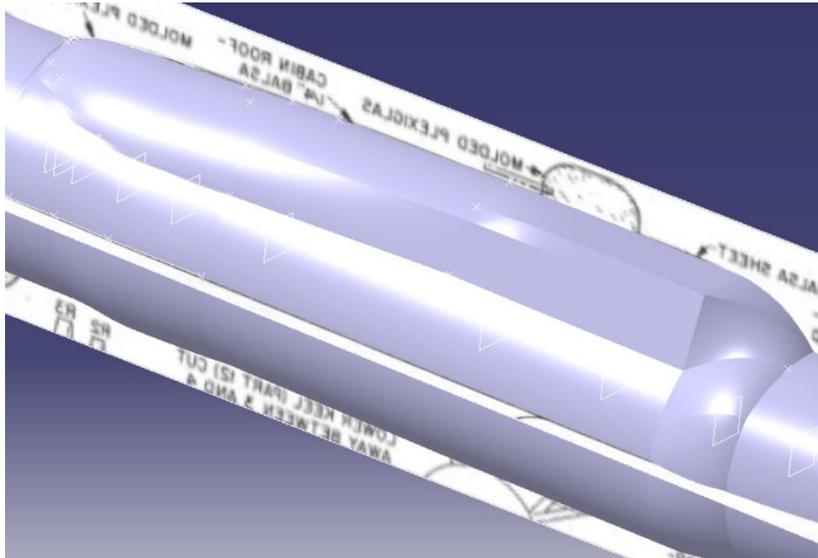


Figura 4-19. Cabina completada con su transición

Después de haber realizado el fuselaje por *Multi-Sections* el alumno comprobó que las medidas realizadas por este proceso no correspondían a las reales y que había ligeras deformaciones y errores de escala, por ello se desechó seguir por este camino y optar por retomar la modelización realizada por *Imagine & Shape* y mejorarla con la transición de la cabina vista ahora. Para ello se dividió el fuselaje en dos partes, una de ellas la cabina y la otra el resto del fuselaje. Para la parte más grande se utilizó la figura ya hecha y comentada.

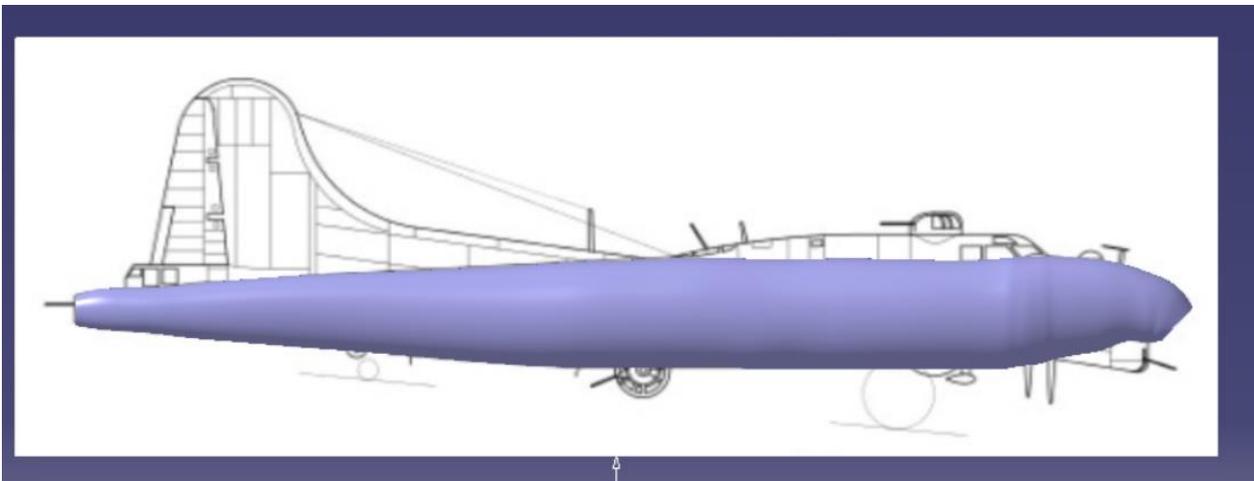


Figura 4-20. Fuselaje sin cabina por *Imagine & Shape*

Posteriormente, para dar la forma a la cabina, se utilizó esta vez la pieza inicial de la caja, donde según la parte de la cabina donde nos encontramos se le dio mayor o menos curvatura con la herramienta *Attraction* del módulo *Tools Palette*. Quedando como se muestra a continuación.

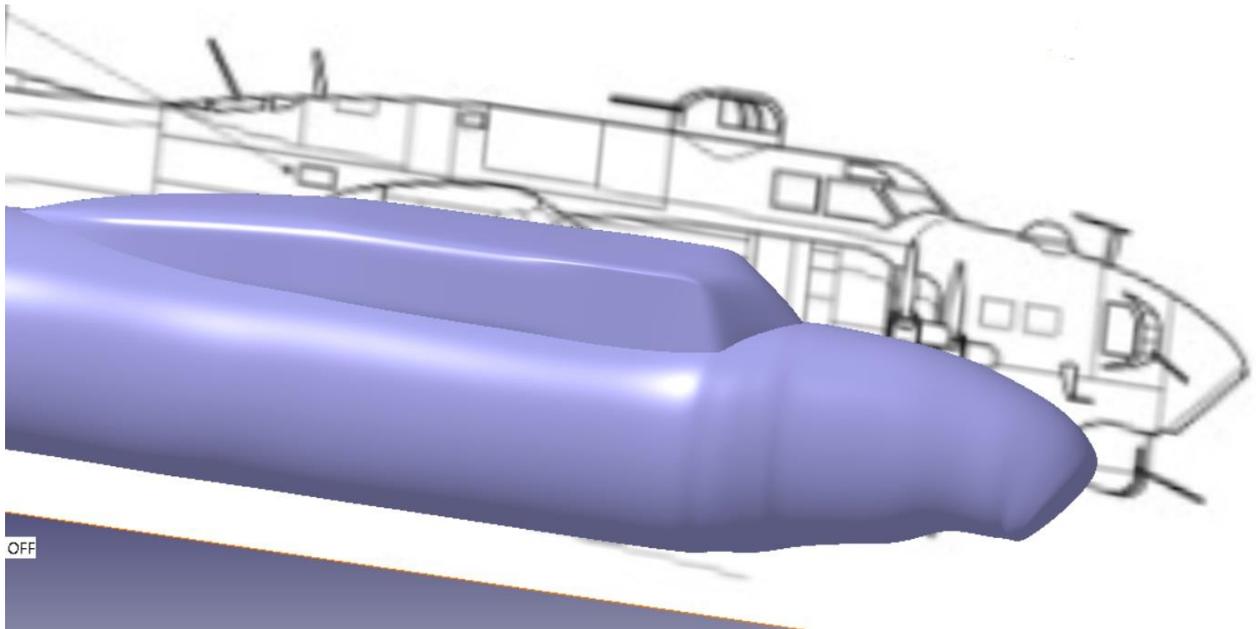


Figura 4-21. Modulaci3n del fuselaje con la cabina por Imagine & Shape

As3 quedar3a el modelado del fuselaje salvo peque1os detalles que realizaremos posteriormente.

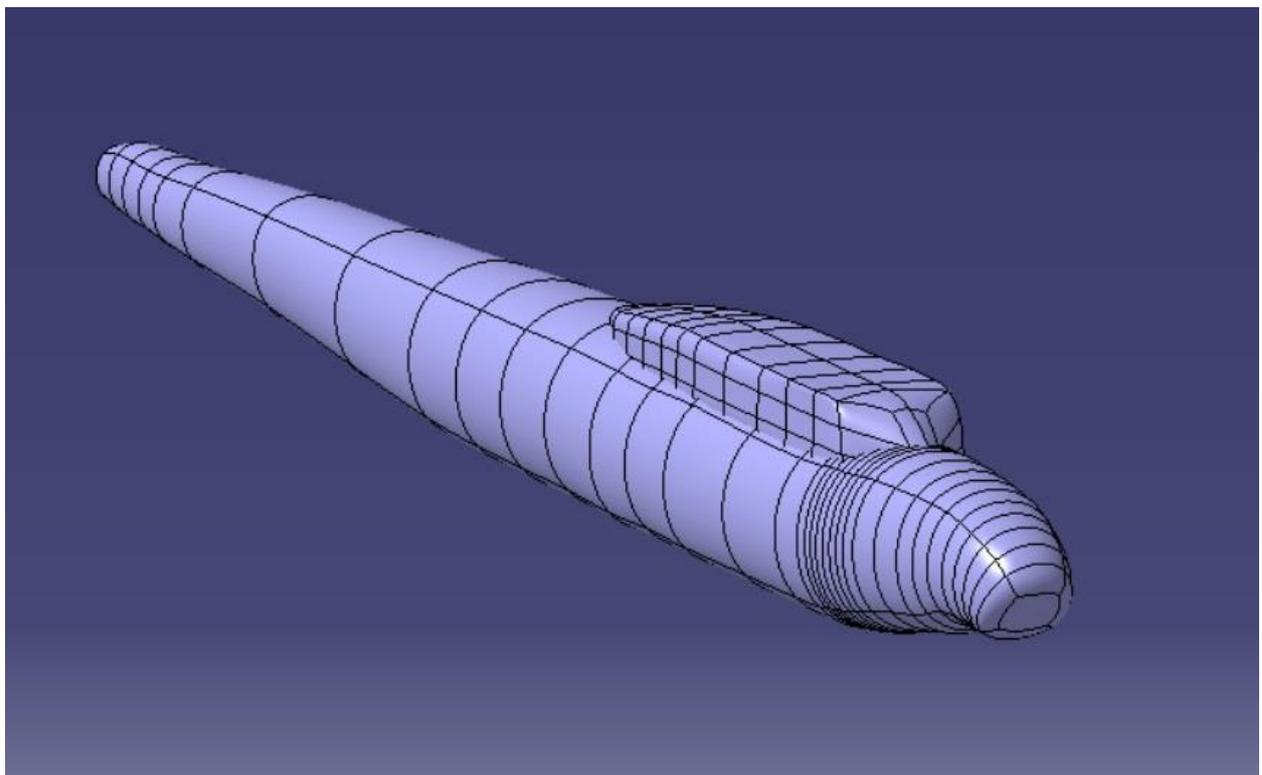


Figura 4-22. Vista detallada del fuselaje con la cabina por Imagine & Shape

4.2 Alas

Pasamos ahora a modelar las alas, se hará una y posteriormente se aplicará una simetría para obtener la otra. Haremos el modelo de las alas teniendo en cuenta que después lo uniremos al fuselaje, por lo que deberá de “sobrar” un poco del ala para hacer un *Trim* con el fuselaje y asegurar la completa continuidad física de estas dos partes.

En primer lugar empezaremos con la realización del modelaje 3D de un ala mediante el módulo *Imagine & Shape* con los planos principales mencionados al principio del apartado 4.

En este caso utilizaremos de figura inicial una caja rectangular dado que es la que más se ajusta a nuestra geometría del ala. Formamos la caja correctamente en cuanto a planta y alzado, para darle el redondeo característico del ala tanto en la punta del ala como en el borde de ataque utilizamos la herramienta *Attraction* del módulo *Tools Palette*. Mostramos las vistas de lo comentado.

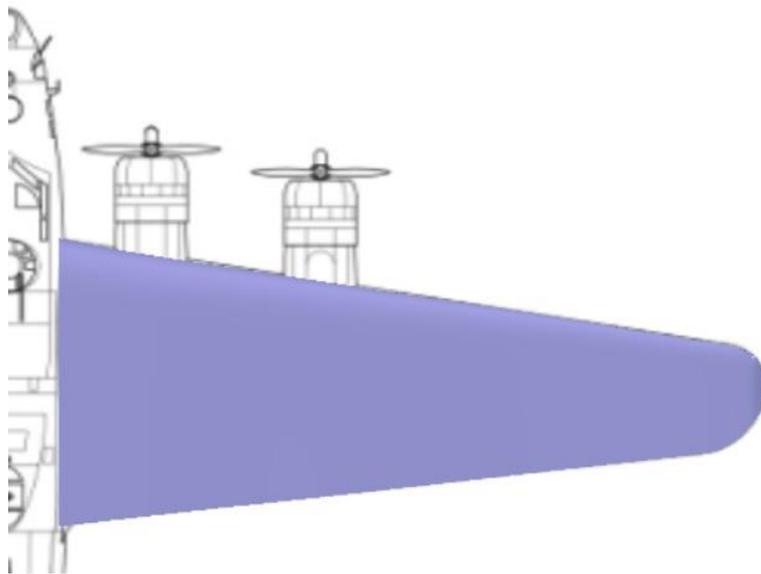


Figura 4-23. Vista de la forma en planta y redondeo de la punta del ala

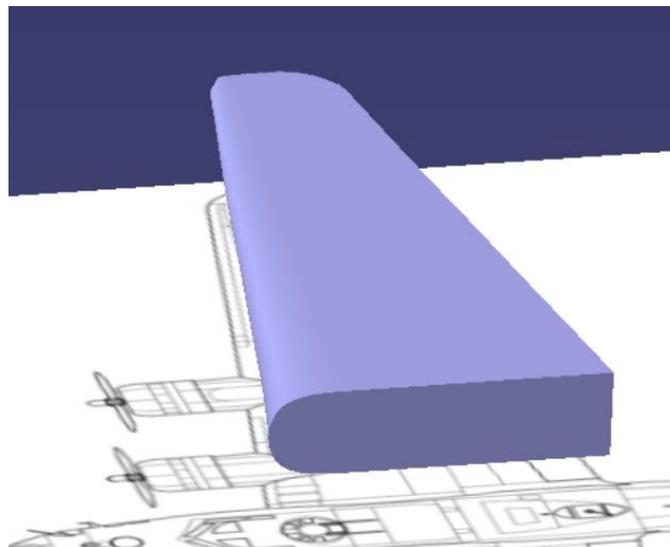


Figura 4-24. Vista general y redondeo del borde de ataque del ala

El alumno se encontró ante la problemática de no tener la información del perfil suficiente del plano de perfil utilizado hasta ahora.

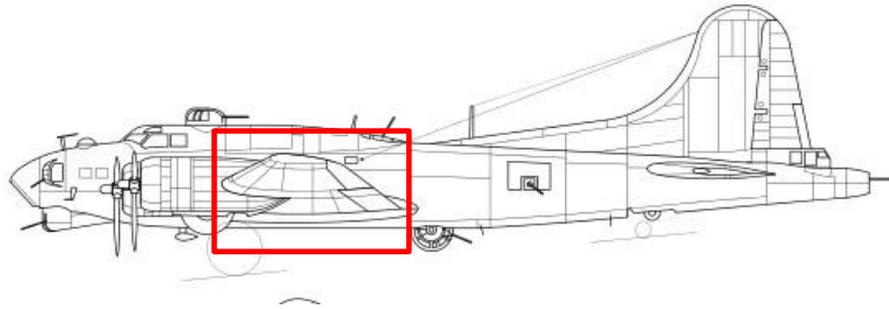


Figura 4-25. Poca información sobre el perfil de ala

Por lo que se optó, solo a modo orientativo, por utilizar los planos del ala de la maqueta de aeromodelismo mostrados en la sección de planos. Así se colocando las secciones en su lugar correspondiente.

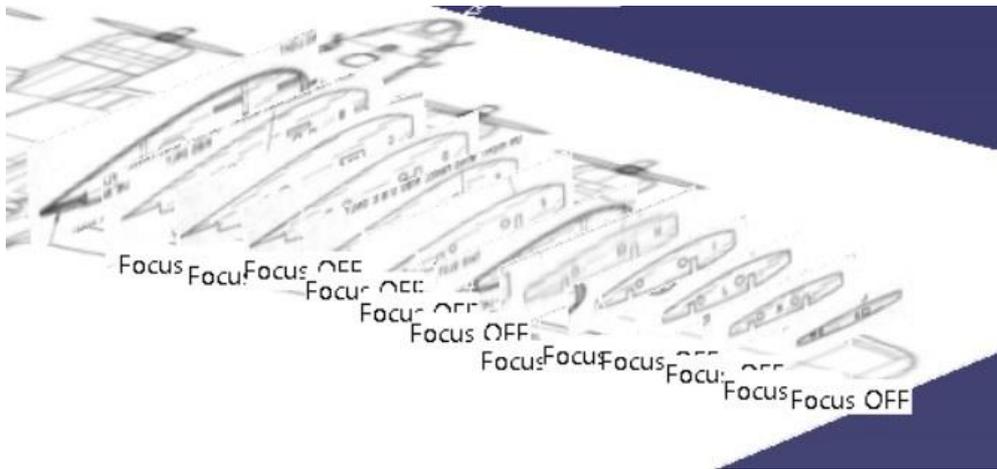


Figura 4-26. Perfiles del ala en cada punto

Mostramos la cuerda de cada perfil en la siguiente tabla.

Tabla 4–2 Tabla con los espesores de cada perfil a utilizar

Sección	Cuerda (mm)
A	5959
B	5565.75
C	5283.5
D	5001
E	4678.5
F	4436.5
G	4113.8

H	3831.5
I	3549.2
J	3266.9
K	2984.5
L	2581.2

Se dividió la envergadura del ala en muchas partes de tal forma que coincidiesen en gran medida con la localización de estos perfiles para darles la forma más precisa posible. También se dividió la cuerda en 4 partes para la correcta representación de estos perfiles.

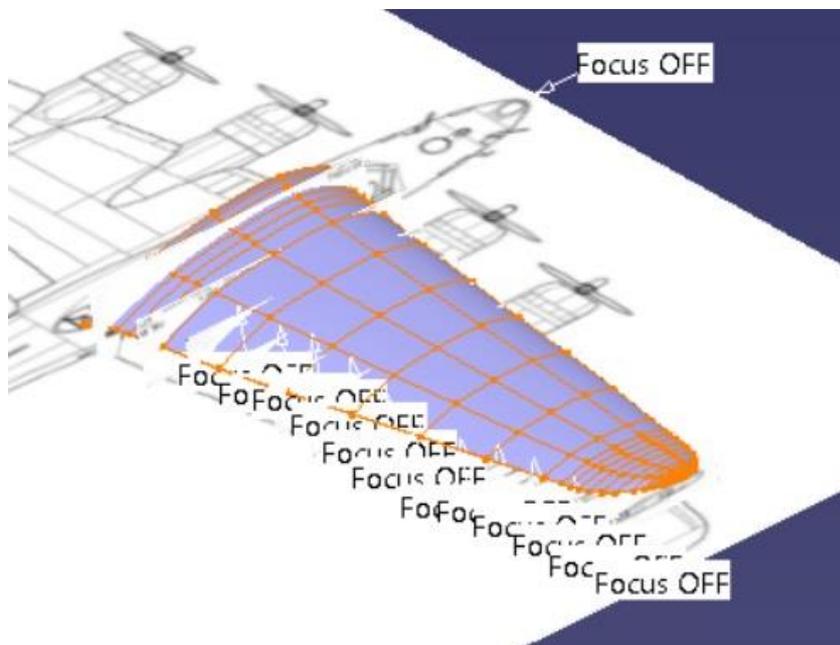


Figura 4-27. Divisiones del ala para darles forma

Para modelar todos los perfiles se observó que en todos el grosor máximo se alcanzaba a un cuarto de la cuerda desde el borde de ataque, que esté se localizaba a la mitad del grosor máximo desde el punto más alto y que el borde de salida se encontraba a dos tercios del grosor de este mismo punto. Lo dicho se muestra a continuación de forma esquemática.

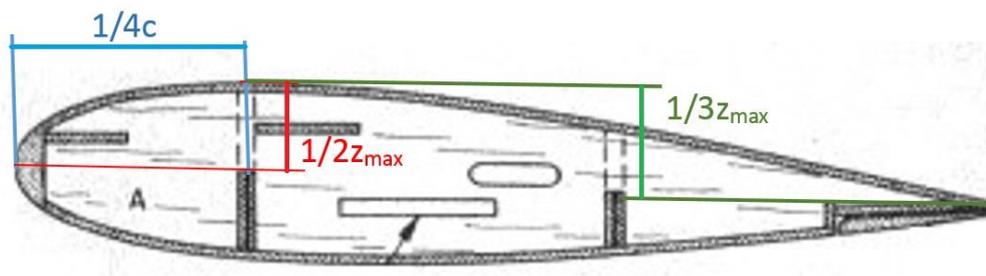


Figura 4-28. Característica geométricas de los perfiles

La medida de c y z_{\max} de cada sección se conocen de los planos de planta y alzado respectivamente.

Así, tomamos esta forma, aplicamos un redondeo en el borde de ataque con la herramienta *Attraction* del módulo *Tools Palette*, el borde de salida no los modularemos como un punto exacto dado que no se da así en la realidad, por lo que en nuestro modelo tendrá un pequeño grosor. Se muestra a continuación el resultado.

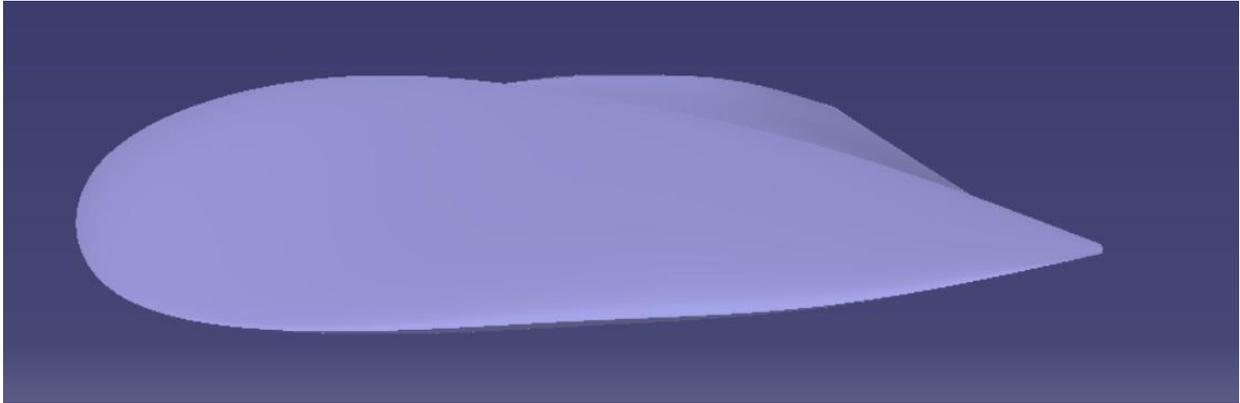


Figura 4-29. Vista de perfil del ala

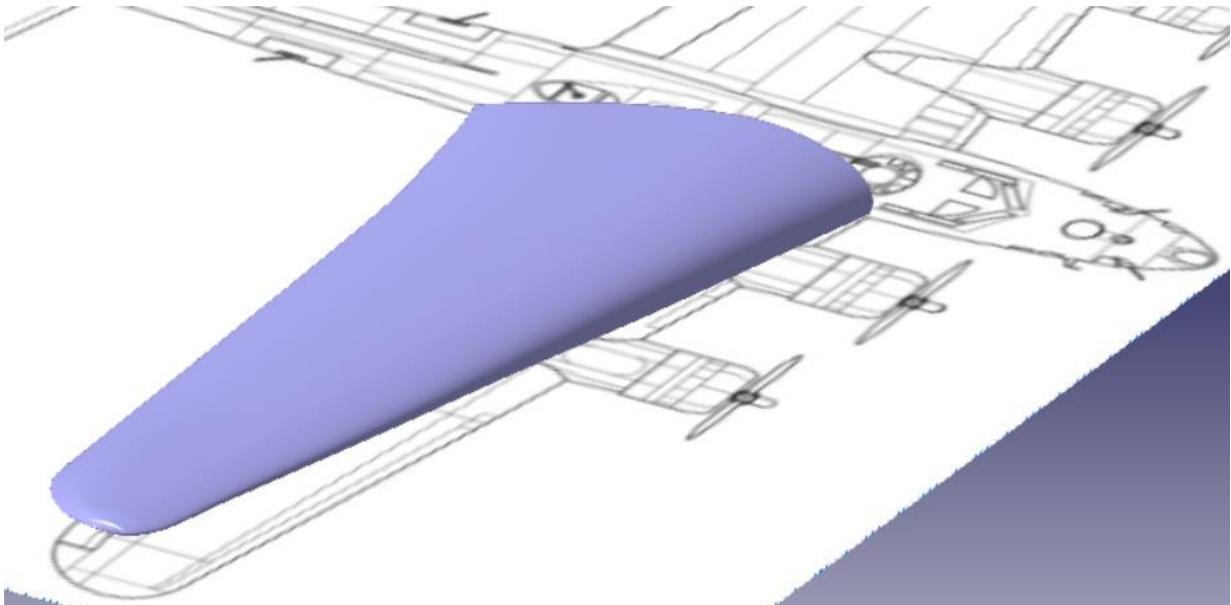


Figura 4-30. Vista general del ala

Podemos observar que se ha conseguido tanto la forma de los perfiles como el redondeo deseado en el borde de ataque.

Observando la realidad nos damos cuenta que los B-17 presentan una pequeña transición entre el ala y el fuselaje, la cual se muestra a continuación y que representaremos también en nuestro modelo.



Figura 4-31. Transición entre el ala y el fuselaje

Para ello, en primer lugar dividiremos aún más la parte del ala que se conecta con el fuselaje.

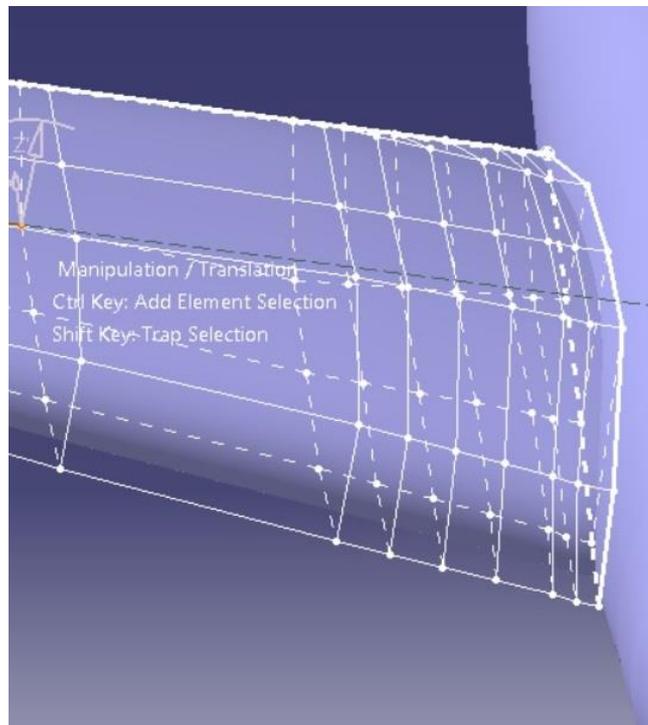


Figura 4-32. Divisiones en la zona de transición

Y para modelar esta transición, en la última de las divisiones realizaremos un *Extrusion*, con esta herramienta se consigue una extrusión en el plano seleccionado, nuestros planos serán todos los que están pegados al fuselaje, obteniendo la siguiente extrusión.

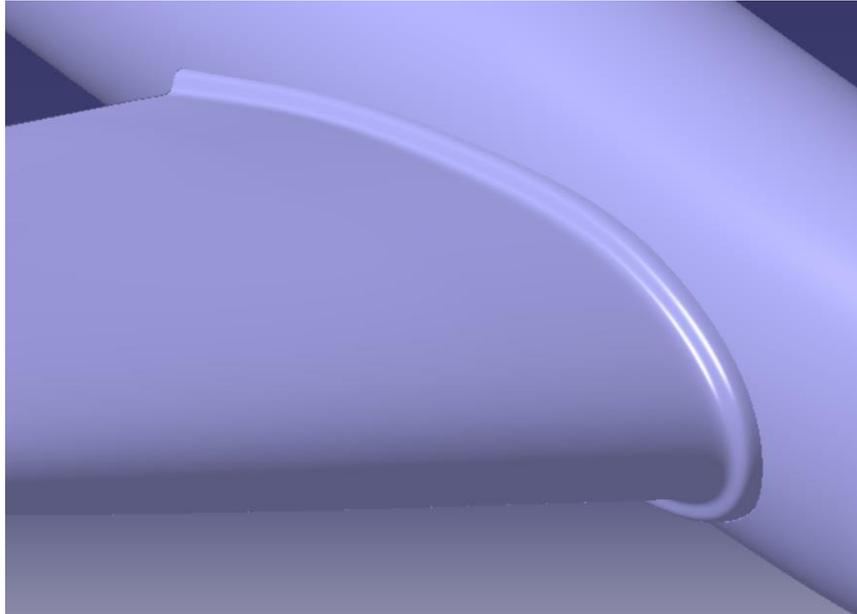


Figura 4-33. Extrusión inicial para modelar la zona de transición

En esta extrusión inicial encontramos dos problemas, el primero es que es muy pronunciada y el segundo es que en el borde de salida no debería de existir, así modificando con la herramienta *Attraction* para hacer más suave la curva de transición y modificando los puntos pertinentes en el borde de salida obtenemos un ala acorde a la realidad.

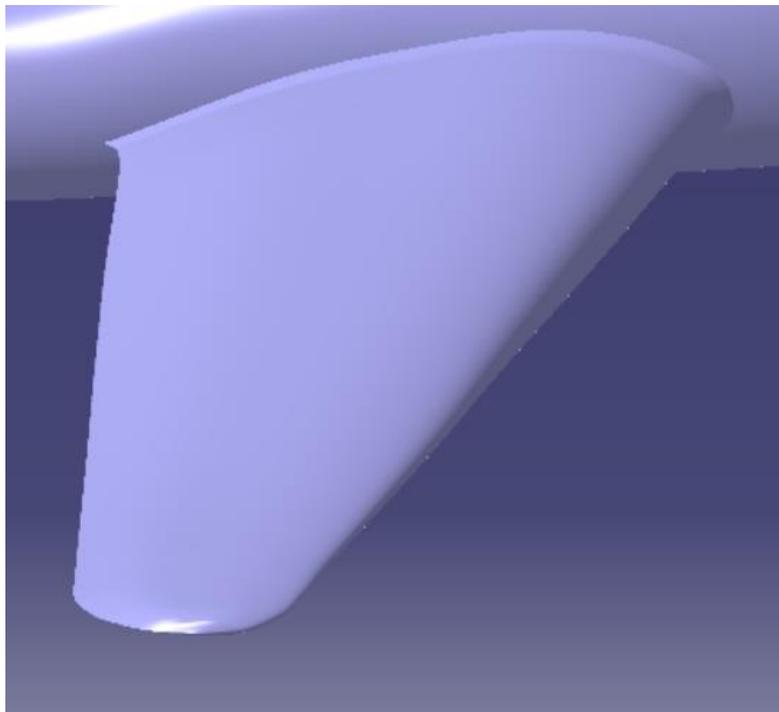


Figura 4-34. Vista general del ala con la zona de transición entre ala y fuselaje

Realizamos la simetría del ala para tener el ala opuesta. Mostramos a continuación la distribución de puntos utilizada para la formación de nuestra ala.

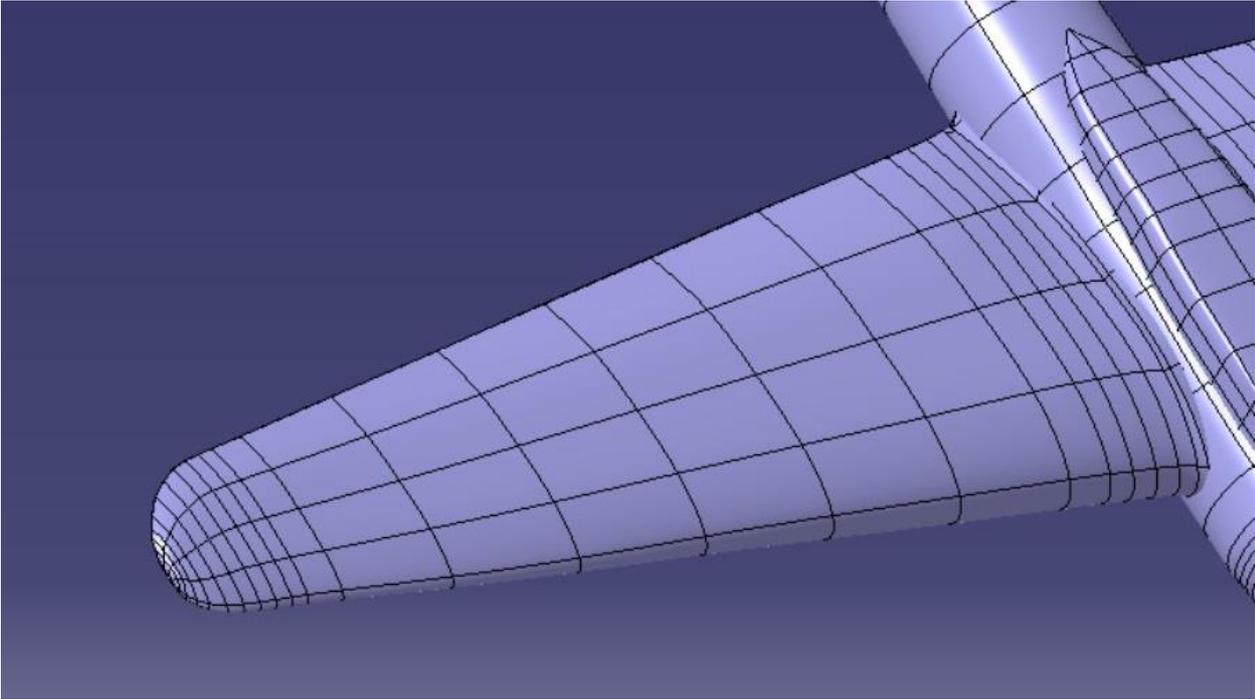


Figura 4-35. Vista detallada del ala

4.3 Estabilizador vertical

Pasamos ahora a modelar el estabilizador vertical. Haremos el modelo del estabilizador vertical teniendo en cuenta que después lo uniremos al fuselaje y con el estabilizador horizontal, posteriormente, por lo que deberá de “sobrar” un poco de estabilizador vertical para hacer un *Trim* con el fuselaje y asegurar la completa continuidad física de estas dos partes.

En primer lugar empezaremos con la realización del modelaje 3D de un estabilizador vertical mediante el módulo *Imagine & Shape* con los mismos tres planos principales utilizados hasta ahora.

Como en el caso del ala utilizaremos como figura inicial una caja rectangular dado que será la figura más fácil de adaptar para nuestro estabilizador vertical. En primer lugar ajustamos la planta de nuestra figura con el plano existente, haciendo falta para esto pocas divisiones. , posteriormente para realizar la forma de perfil del estabilizador vertical haremos aún más divisiones y redondearemos las partes correspondientes, quedando como resultado en las dos vistas mencionadas como:

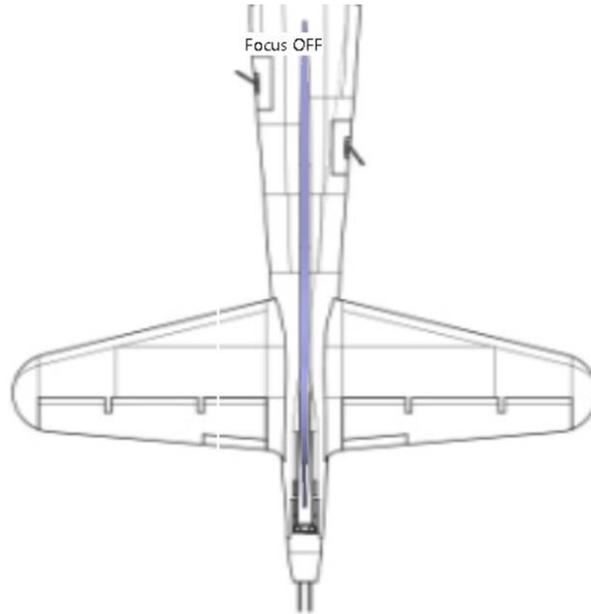


Figura 4-36. Vista en planta del estabilizador vertical

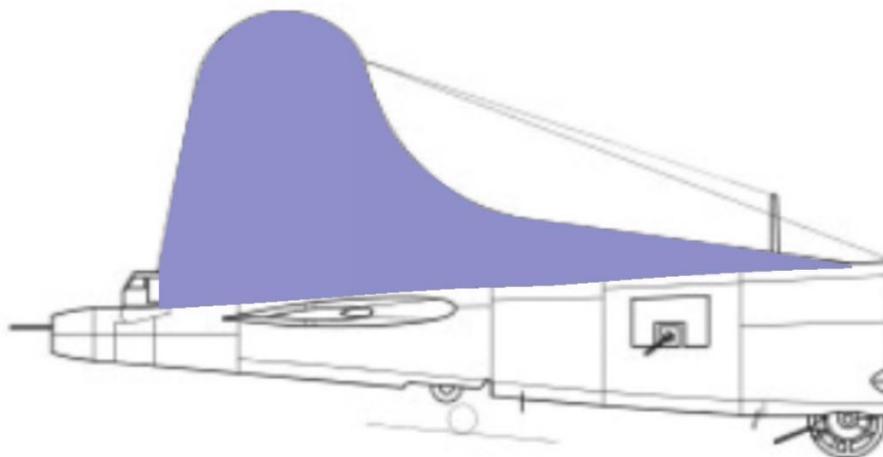


Figura 4-37. Vista en perfil del estabilizador vertical

Para obtener la forma de los perfiles del estabilizador vertical nos encontramos con la misma problemática existente en el caso del ala, en este caso, la vista en alzado del estabilizador vertical no nos da la información suficiente para obtener la forma de los perfiles.

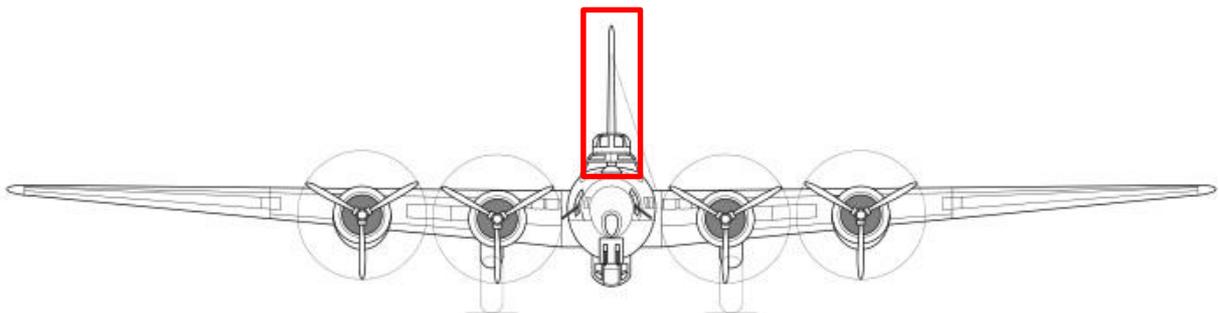


Figura 4-38. Poca información sobre los perfiles del estabilizador vertical

Por ello, al igual que en el caso del ala utilizaremos otro plano de un avión de aeromodelismo para obtener la forma de los perfiles de la manera más exacta posible, decir que para modelarlos se ha utilizado tanto este plano de manera orientativa como la simple observación de la realidad.

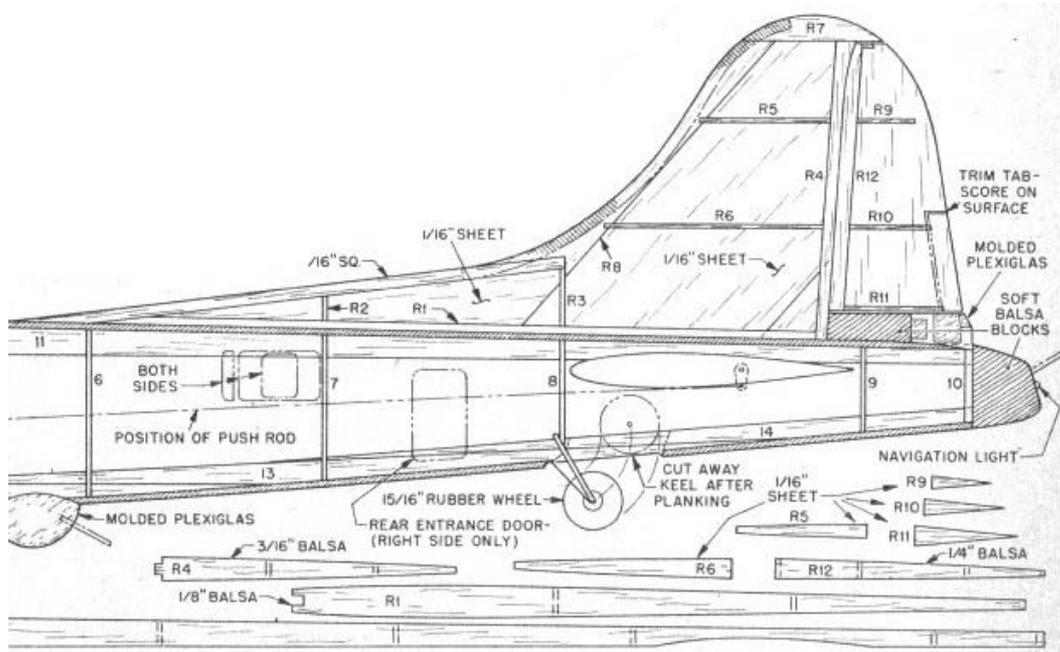


Figura 4-39. Estabilizador vertical y secciones del mismo en un plano de aeromodelismo

Y también nos fijaremos en fotos del avión real donde podemos ver en la parte saliente del estabilizador vertical, en su parte delantera como se estrecha creando un filo redondeado y en su parte trasera, en el timón de dirección, termina en filo al tratarse de un borde de salida.



Figura 4-40. Imagen real del Boeing B-17G

Pasamos a modelar los perfiles del estabilizador vertical tal y como hemos indicado y mostramos dos vistas del estabilizador tanto por la parte delantera como la trasera. En la siguiente imagen podemos apreciar el extremo redondeado del “borde de ataque” del actuador.

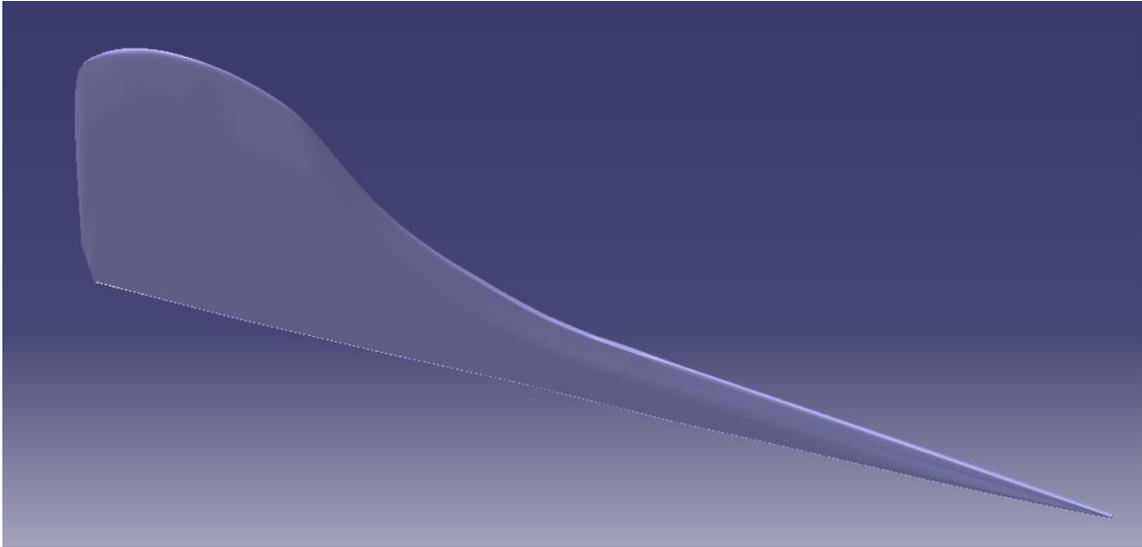


Figura 4-41. Modelado donde podemos ver el redondeo del borde de ataque

Y en la siguiente imagen podemos apreciar el extremo que termina en filo del estabilizador vertical, en ese punto iría el timón de profundidad, el cual modelaremos en un apartado posterior.

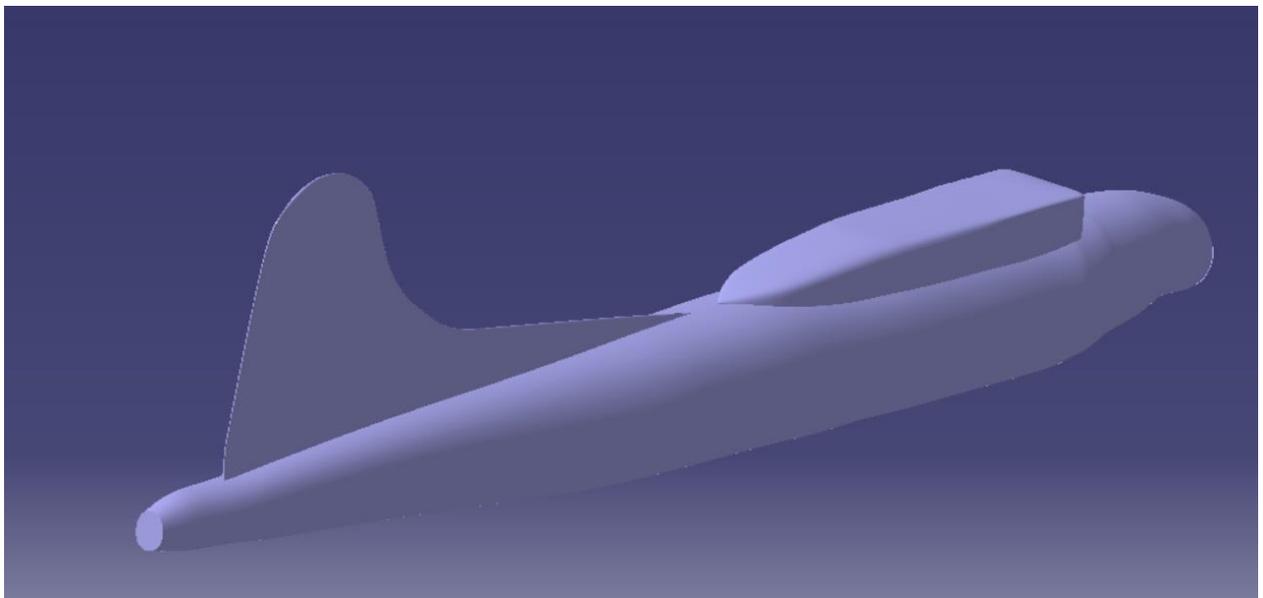


Figura 4-42. Modelado donde podemos ver la terminación del borde de salida

Para llevar a cabo todo esto se ha producido multitud de puntos, los cuales se muestran a continuación, se deja ver como la mayor cantidad de puntos se produce en las zonas donde hay una geometría más compleja.

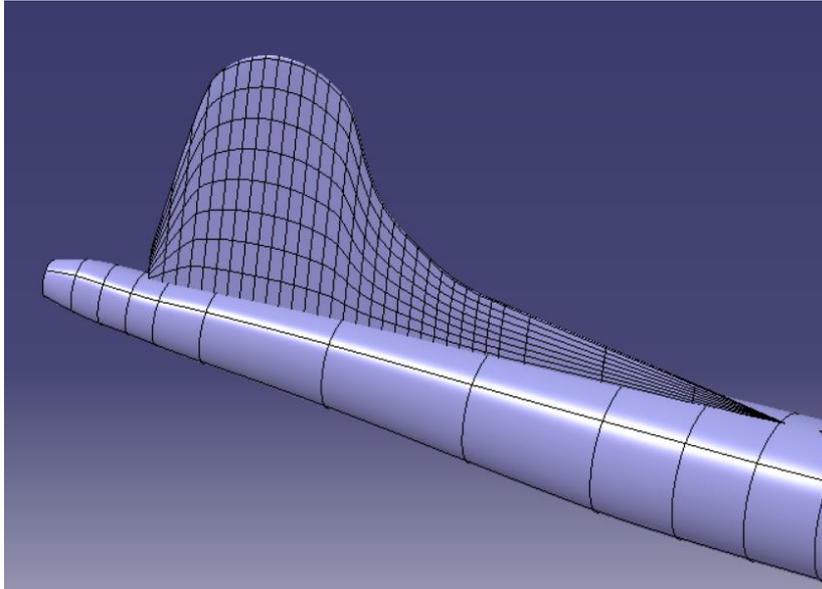


Figura 4-43. Distribución de puntos en el estabilizador vertical

4.4 Estabilizador horizontal

Pasamos ahora a modelar el estabilizador horizontal. Haremos el modelo del estabilizador horizontal teniendo en cuenta que después lo uniremos al fuselaje, por lo que deberá de “sobrar” un poco de estabilizador horizontal para hacer un *Trim* con el fuselaje y asegurar la completa continuidad física de estas dos partes.

En primer lugar empezaremos con la realización del modelaje 3D de un estabilizador horizontal mediante el módulo *Imagine & Shape* con los mismos planos principales utilizados en lo que llevamos de trabajo.

Como en el caso del ala utilizaremos como figura inicial una caja rectangular dado que será la figura más fácil de adaptar para nuestro estabilizador horizontal, al ser su geometría muy similar a la del ala. En primer lugar ajustamos la planta de nuestra figura con el plano existente, haciendo más divisiones en la punta del estabilizador por ser más variable la forma en esta parte, también le damos el redondeo característico de punta de estabilizador quedando como se ve a continuación.

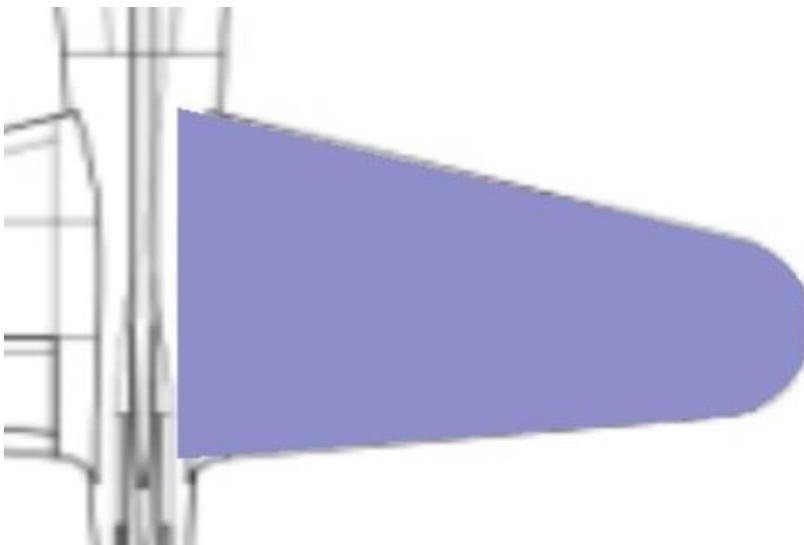


Figura 4-44. Forma en planta del estabilizador horizontal

Una vez realizada la forma en planta del estabilizador, la cual mejoraremos más adelante, nos encontramos antes una problemática, dado que el plano de alzado no nos da información de los estabilizadores horizontales por estar las alas delante tapando la forma de los estabilizadores horizontales. Solo tenemos la vista en perfil, pero dado que no se ve muy bien, utilizamos, junto a esta, otro plano de aeromodelismo, como en los casos anteriores, para darle la forma correcta a los perfiles. Como en los casos anteriores, estos perfiles son orientativos y así los tenemos en cuenta, mejoraremos tanto como sea posible la modelización con la observación misma de la realidad.

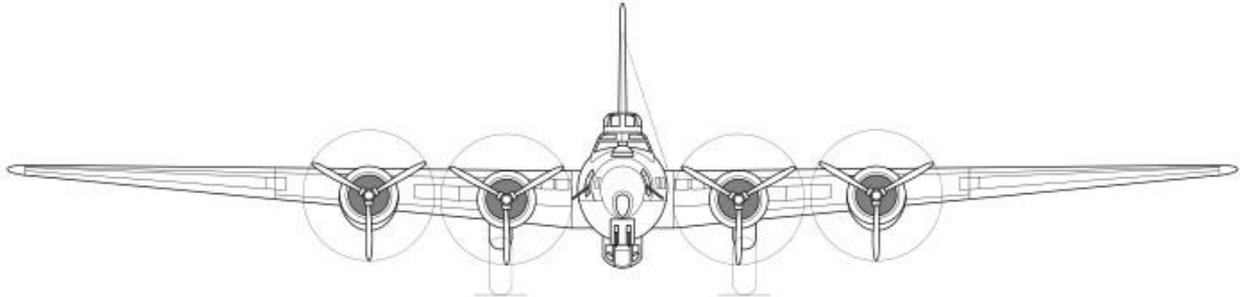


Figura 4-45. Vista en alzado donde no se pueden ver los estabilizadores horizontales

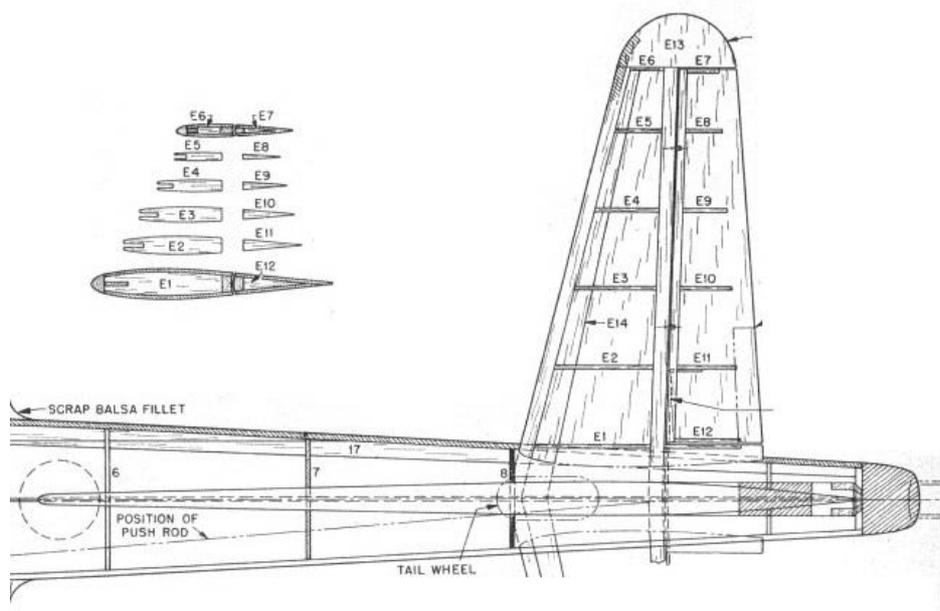


Figura 4-46. Plano de aeromodelismo con perfiles para el estabilizador horizontal

Utilizaremos las mismas normas geométricas que en el caso de los perfiles del ala, estas son:

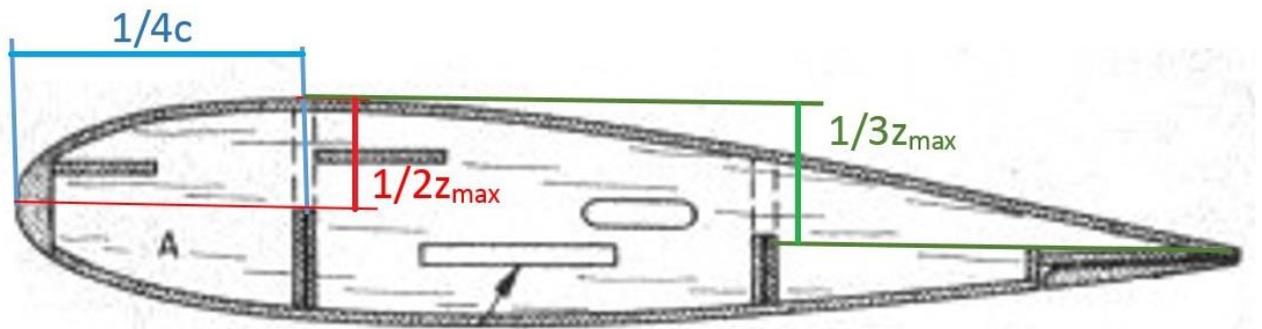


Figura 4-47. Características geométricas de los perfiles del estabilizador horizontal

La cuerda c es conocida por el plano de la planta del avión, la z_{\max} la obtenemos tanto de los perfiles del plano de aeromodelismo como de la proporción según la distancia al fuselaje dado que en el plano de perfil del avión viene claramente la forma del perfil mayor, este es el de la raíz del estabilizador y también la forma del perfil menor, este es, el que está en la punta del estabilizador.

Así, como en el caso del ala, dividimos el perfil en cuatro partes y representamos la forma de los perfiles deseada. A continuación se muestran los puntos utilizados.

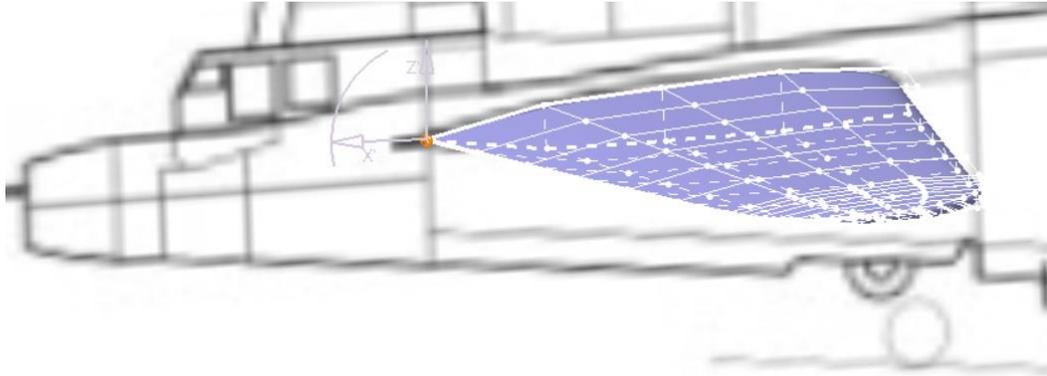


Figura 4-48. Puntos que forman el estabilizador horizontal

Como se puede ver los perfiles acaban en filo en el borde de salida, y también presentan un redondeo en el borde de ataque como es lógico.

A continuación mostramos tanto la característica del borde de salida terminado en filo como el redondeo del borde de ataque.

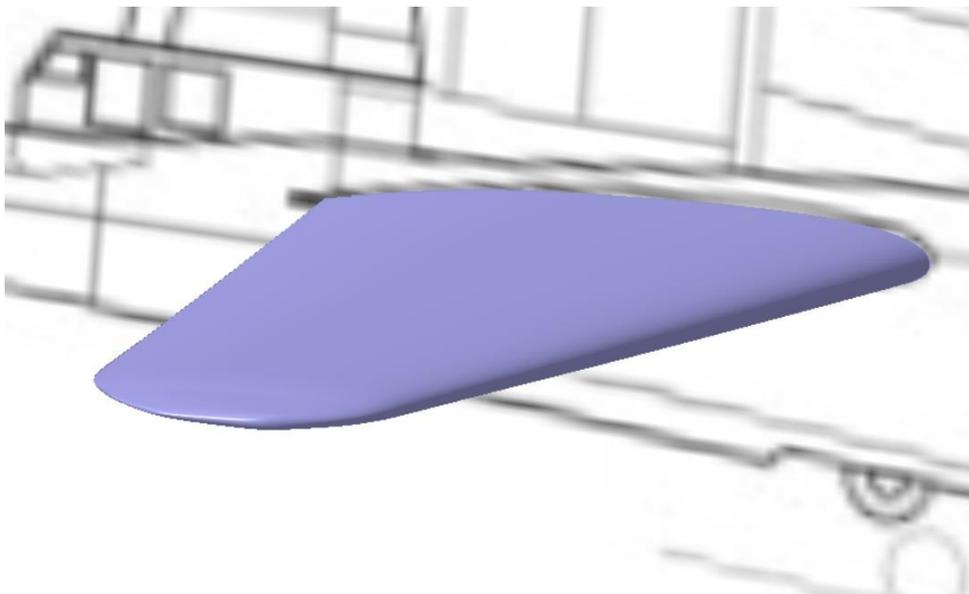


Figura 4-49. Redondeo característico del borde de ataque del estabilizador horizontal

Una vez definidos tanto la forma en planta como los perfiles pasamos a realizar una pequeña zona de transición entre el estabilizador horizontal y el fuselaje, como ya vimos en el caso del ala aunque siendo esta más pequeña. Para ello dividimos la sección más cercana a la raíz en dos, y en la

subdivisión más cercana al fuselaje realizamos la extrusión, teniendo lo mostrado a continuación.

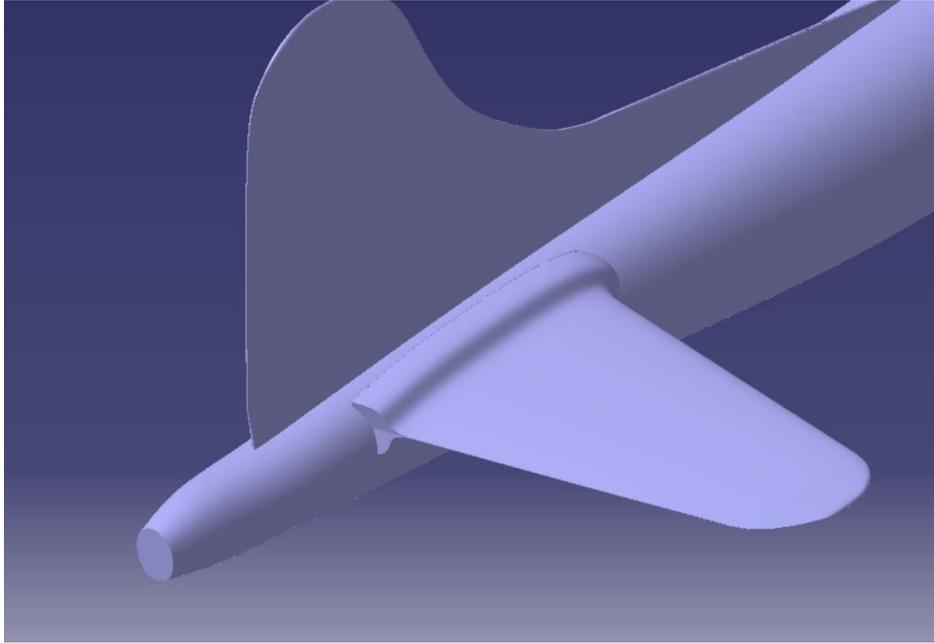


Figura 4-50. Extrucción inicial para la transición del estabilizador horizontal y el fuselaje

Pasamos ahora a pulir esta zona de transición para que se asemeje lo máximo posible a la realidad. Quedando como se muestra a continuación.

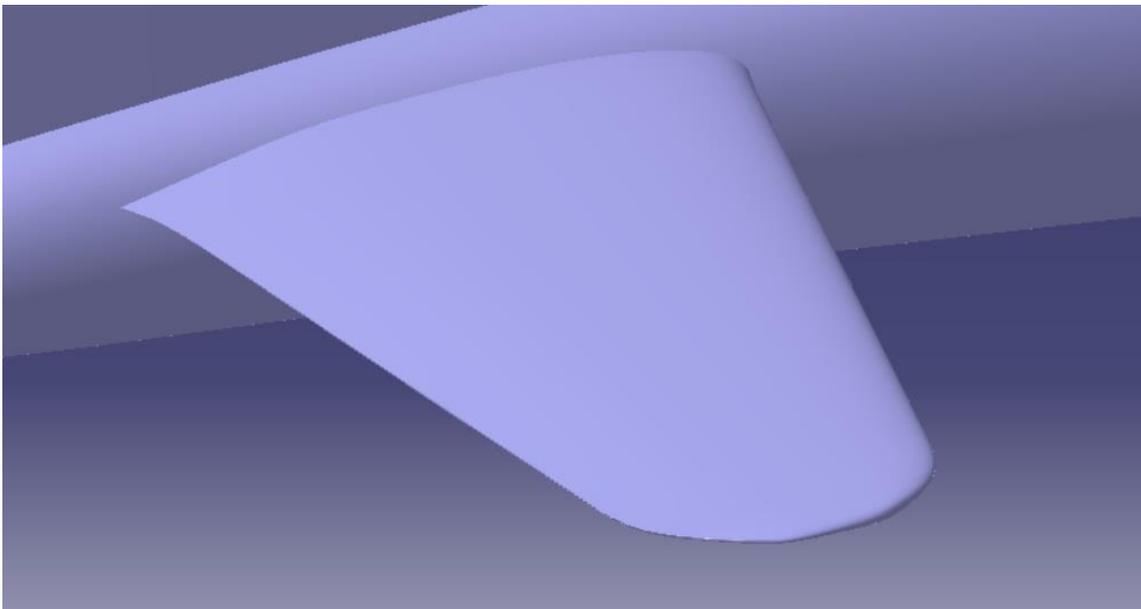


Figura 4-51. Zona de transición del estabilizador horizontal y el fuselaje

Donde también se han arreglado los pequeños errores en la forma en planta como se puede ver en la siguiente imagen.

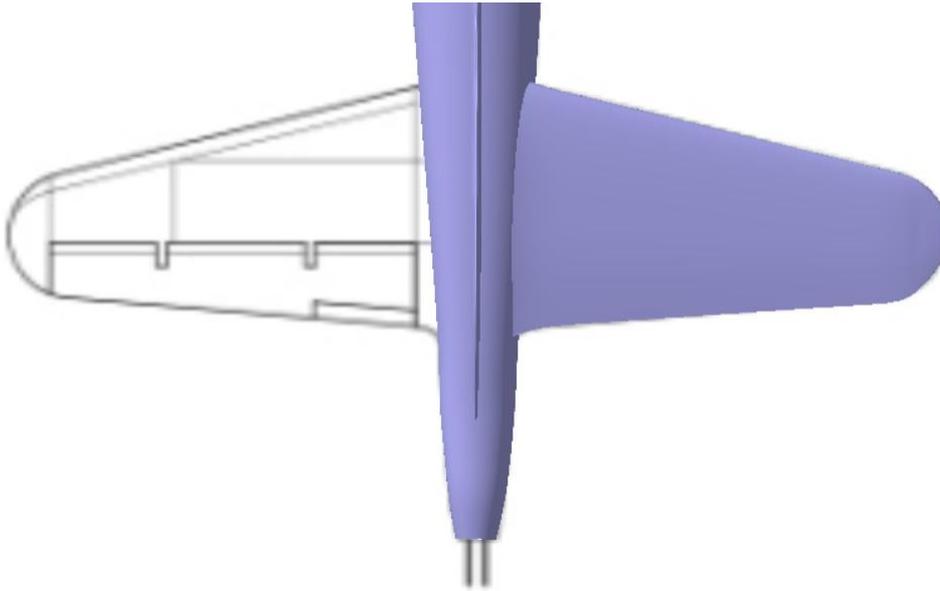


Figura 4-52. Vista en planta del estabilizador horizontal definitivo

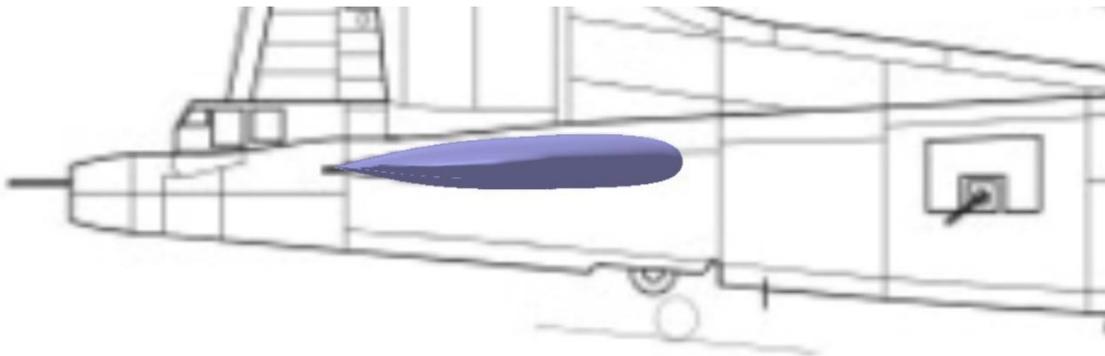


Figura 4-53. Vista de perfil del estabilizador horizontal definitivo

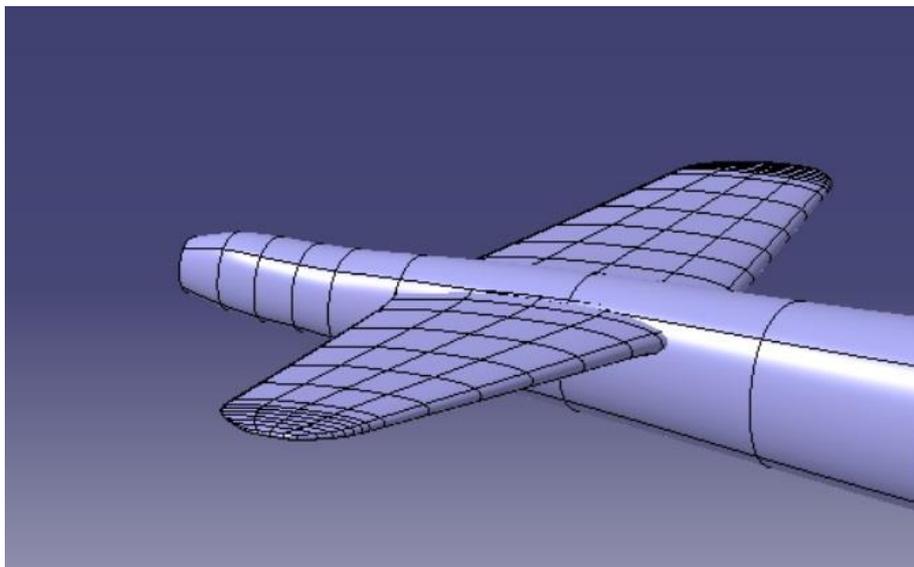


Figura 4-54. Vista detallada de los puntos del estabilizador horizontal

4.5 Planta motora

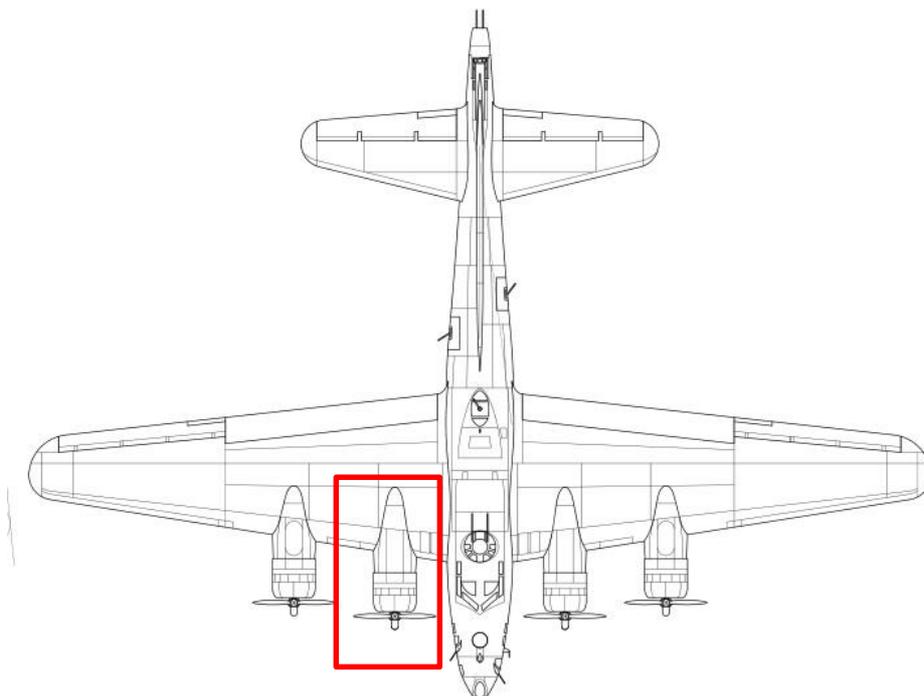
La planta motora del B-17 se compone de 4 motores Wright R-1820-97 *Cyclone*, motores radiales de 9 cilindros en estrella simple que daban 895kW de potencia cada uno, junto a cada motor nos encontramos con la hélice de 3 palas Hamilton Standard WEE50-473.



Figura 4-55. Imagen real de la planta motora

Dado que el modelar el motor completo incluyendo etapas de compresión, combustión y turbinas se escapa al alcance de este TFG se decidió modelar las góndolas de los motores, el eje y la hélice para posteriormente darle un movimiento de giro con la herramienta *Kinematics*.

Utilizaremos los planos vistos hasta ahora para modelar las góndolas como primera aproximación.



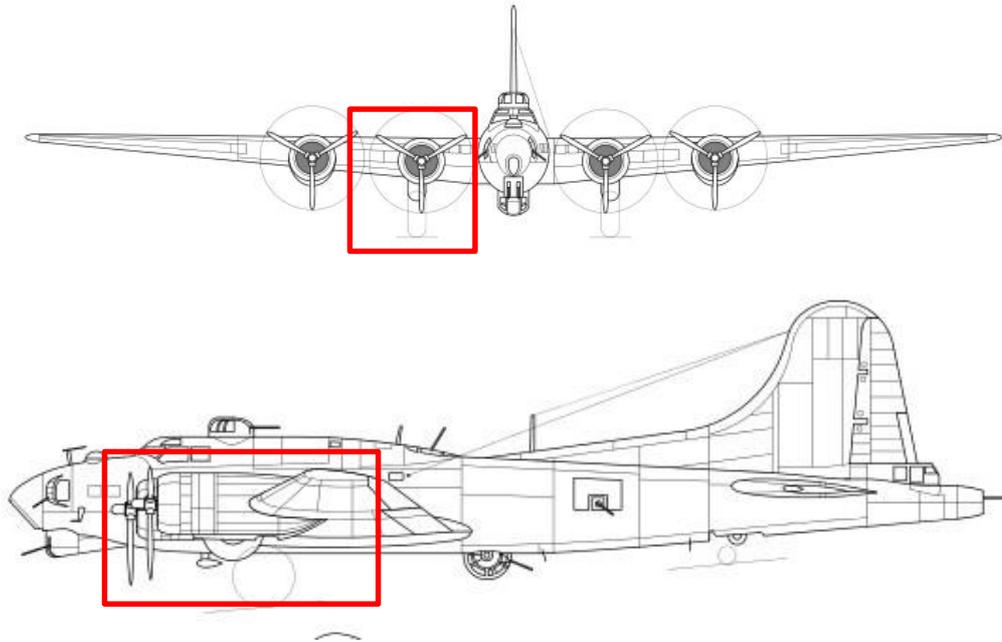


Figura 4-56. Localización de la planta motora en los planos principales

Empezamos modelando las góndolas, para ello utilizaremos de nuevo la forma básica *Cylinder* en la herramienta *Creation* dentro del módulo *Imagine & Shape*. Dado que la parte trasera de la góndola estará dentro del ala no se tendrá tanto cuidado en modelar esta, a continuación se muestran las tres vistas donde podemos apreciar el redondeo característico en la parte frontal de la góndola.

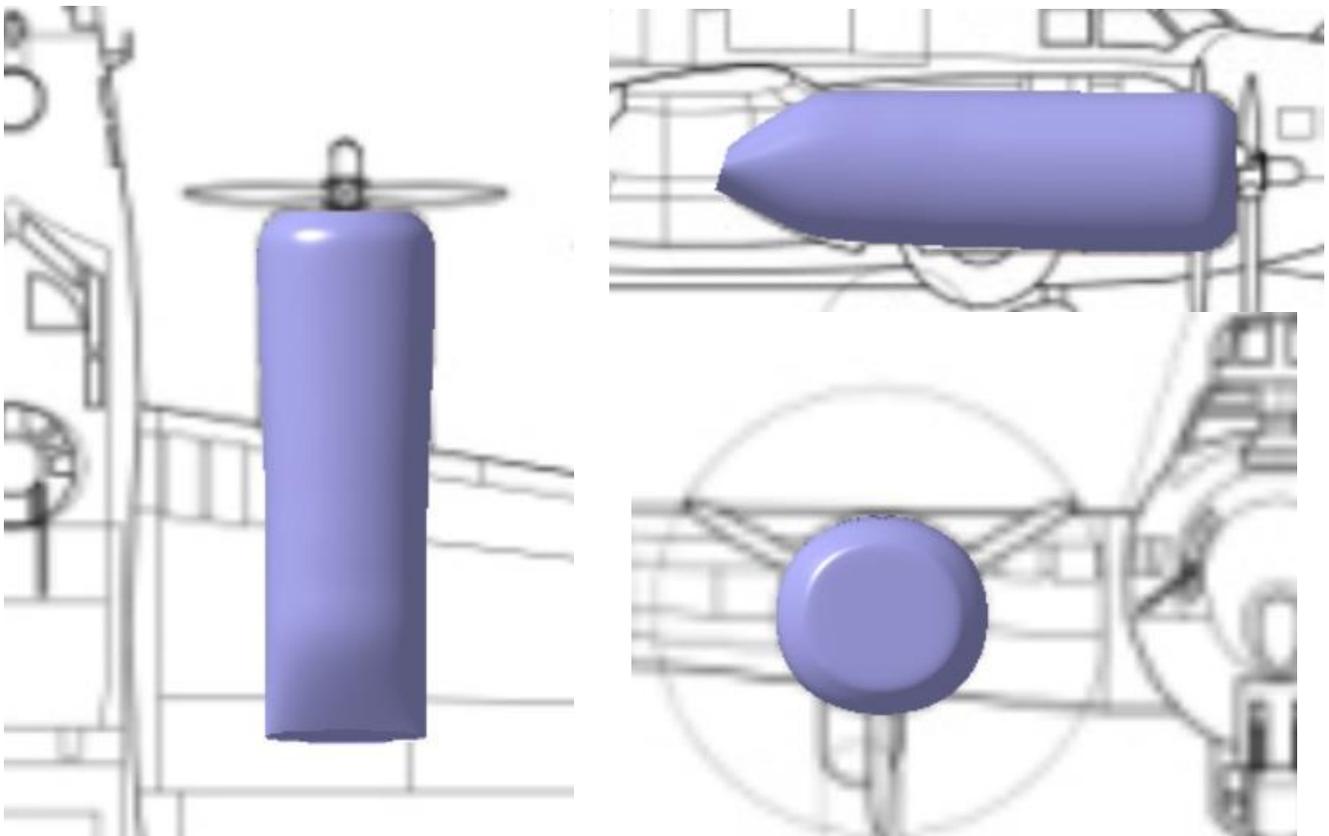


Figura 4-57. Planta, alzado y perfil del modelado preliminar de la góndola

Dentro del módulo *Generate Shape Design* utilizamos la herramienta *Close Surface* para convertir en sólido nuestra figura.

El siguiente paso que queremos es el de hacer la góndola hueca, para ello realizamos una superficie que corte a nuestro sólido por la cara a remover, se realiza un *Split* para obtener la superficie intersección de ambos que usaremos como cara a remover, se muestra a continuación la cara obtenida.

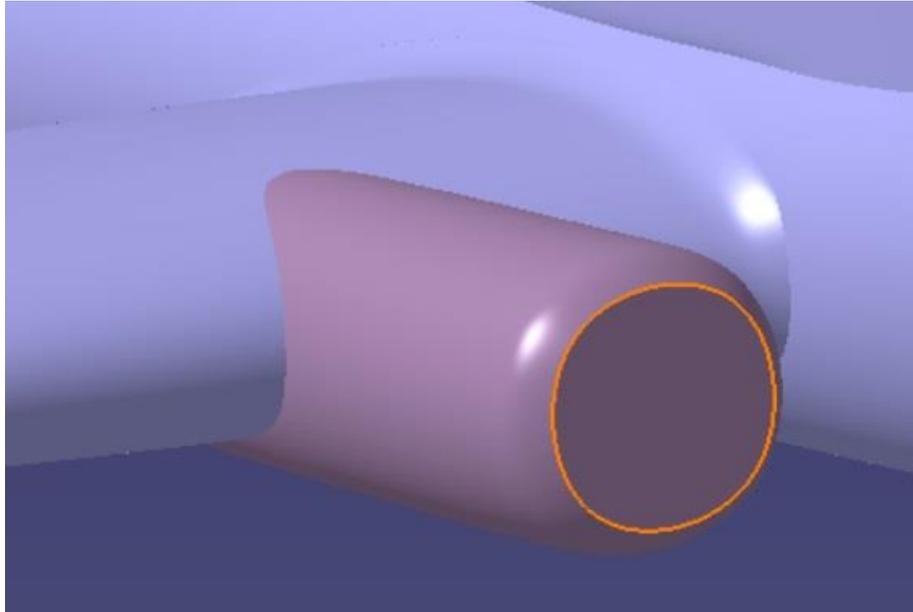


Figura 4-58. Cara a remover para hacer la góndola hueca

Posteriormente utilizamos la herramienta *Shell* para obtener un sólido hueco, la cara a mover será la seleccionada en la imagen anterior, también utilizamos la herramienta *Edge Fillet* para darle un redondeo a la zona de transición entre la superficie exterior e interior de la góndola.

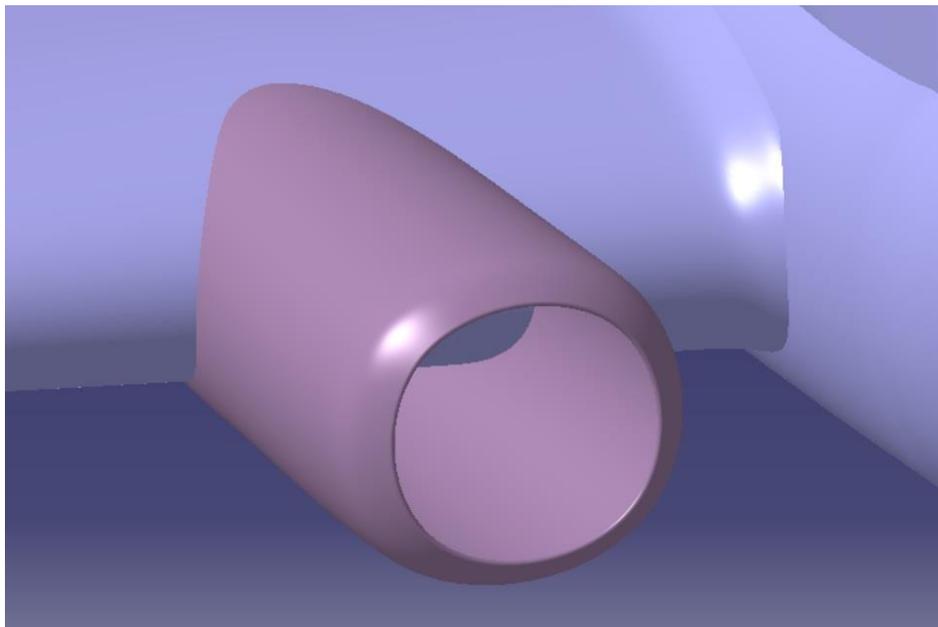


Figura 4-59. Gondola después de vaciarla

A continuación modelaremos el eje de giro de la hélice al ser uno de los elementos más importantes. Para ello haremos uso de la herramienta *Revolve* para crear un sólido de revolución a través de un *sketch* con el perfil de revolución y otro con el eje de revolución.

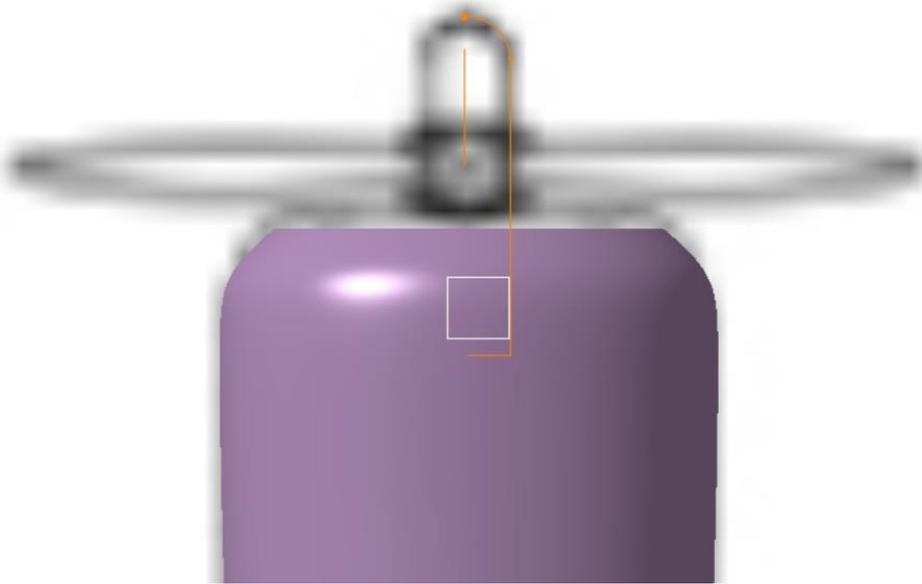


Figura 4-60. Sketch utilizado para obtener el eje mediante revolución

Quedando la siguiente superficie, la cual posteriormente pasaremos a sólido, aunque se quiso hacer este paso al final para que concordasen mejor con las demás piezas.

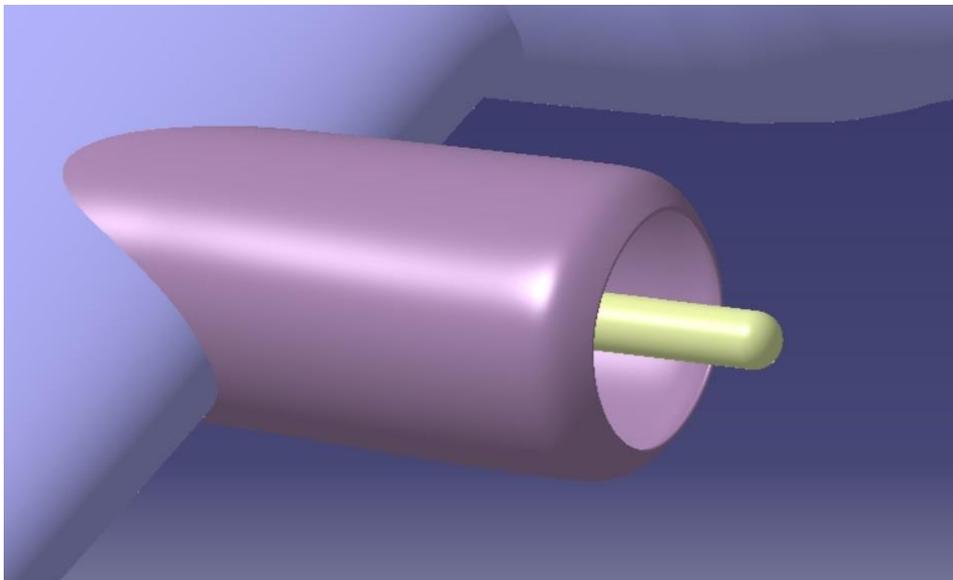


Figura 4-61. Modelado del eje de la planta motora

Ahora crearemos, una estructura para unir el eje a la góndola, esta estructura no existe en la realidad, sustituiría a todo el interior del motor para unir las dos piezas.

La realizaremos por la herramienta *Extrude* en *Volumes* creando un *Sketch* previo en el lugar en el que queramos este sólido.

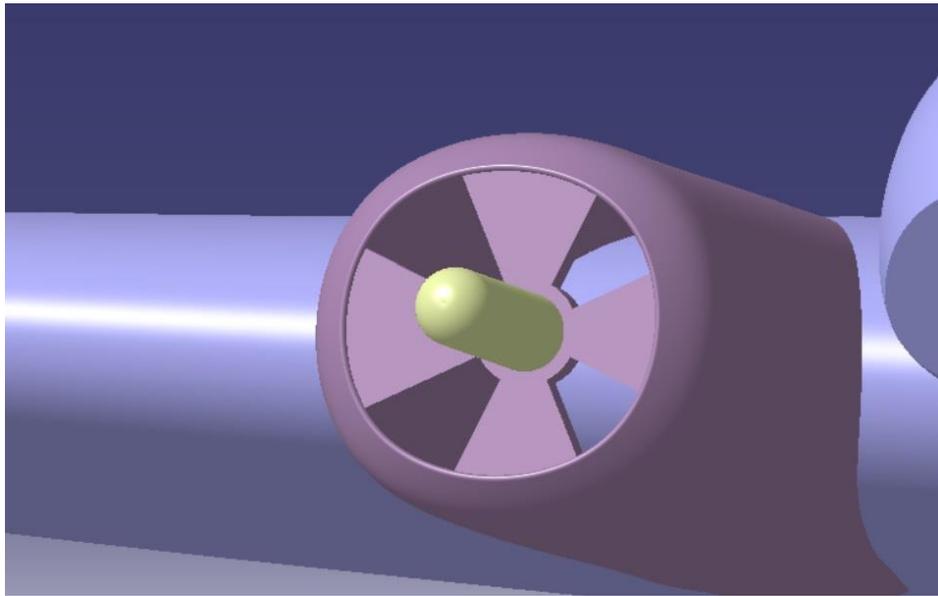


Figura 4-62. Pieza de unión entre la góndola y el eje

Para continuar realizaremos las palas de nuestra hélice. Se buscó información del modelo de palas que eran, pero no se encontró mucho más detalle que su diámetro, así se buscaron imágenes reales para proceder a su representación de la mejor manera posible.



Figura 4-63. Imagen real de las hélices

También se encontró la imagen de una pala en planta que utilizaremos como plano de alzado para

ver la cuerda que tendría cada sección de la pala. Mostramos con números la localización y la sección de los perfiles a realizar en las dos siguientes imágenes.

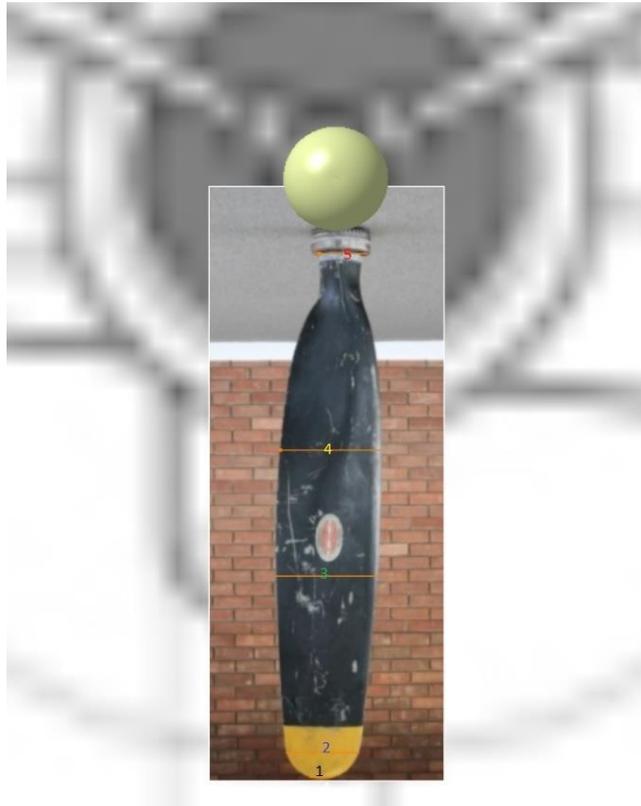


Figura 4-64. Alzado de la hélice y cuerda de cada perfil mostrado

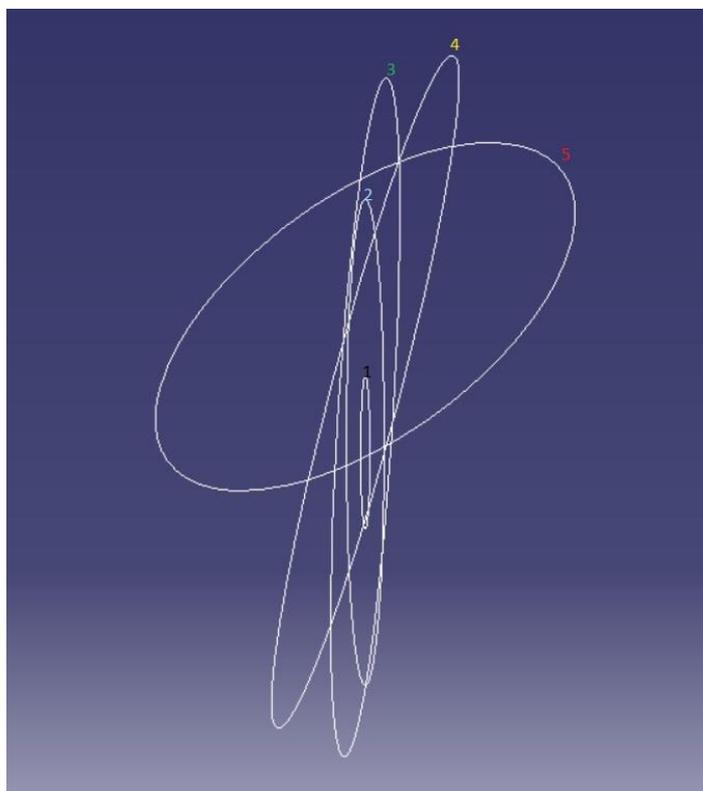


Figura 4-65. Secciones de cada perfil mostrado

Como podemos ver los perfiles de la pala van disminuyendo de espesor a medida que nos vamos acercando a la punta de la pala.

También vemos como a medida que nos acercamos a la raíz de la hélice los perfiles van cambiando su ángulo, esto es así en la mayoría de hélices, y se debe a que a una misma velocidad de giro, los perfiles cercanos a la punta tendrán mayor velocidad real y por lo tanto deberán de tener menor ángulo de ataque para que no entren en pérdida. En caso contrario, los perfiles cercanos a la raíz de la hélice van a menor velocidad por lo que necesitarán un mayor ángulo de ataque para proporcionar la tracción requerida.

Así realizamos la pala con la herramienta *Multi-Sections Volume* quedando la vista frontal como se muestra en la imagen.

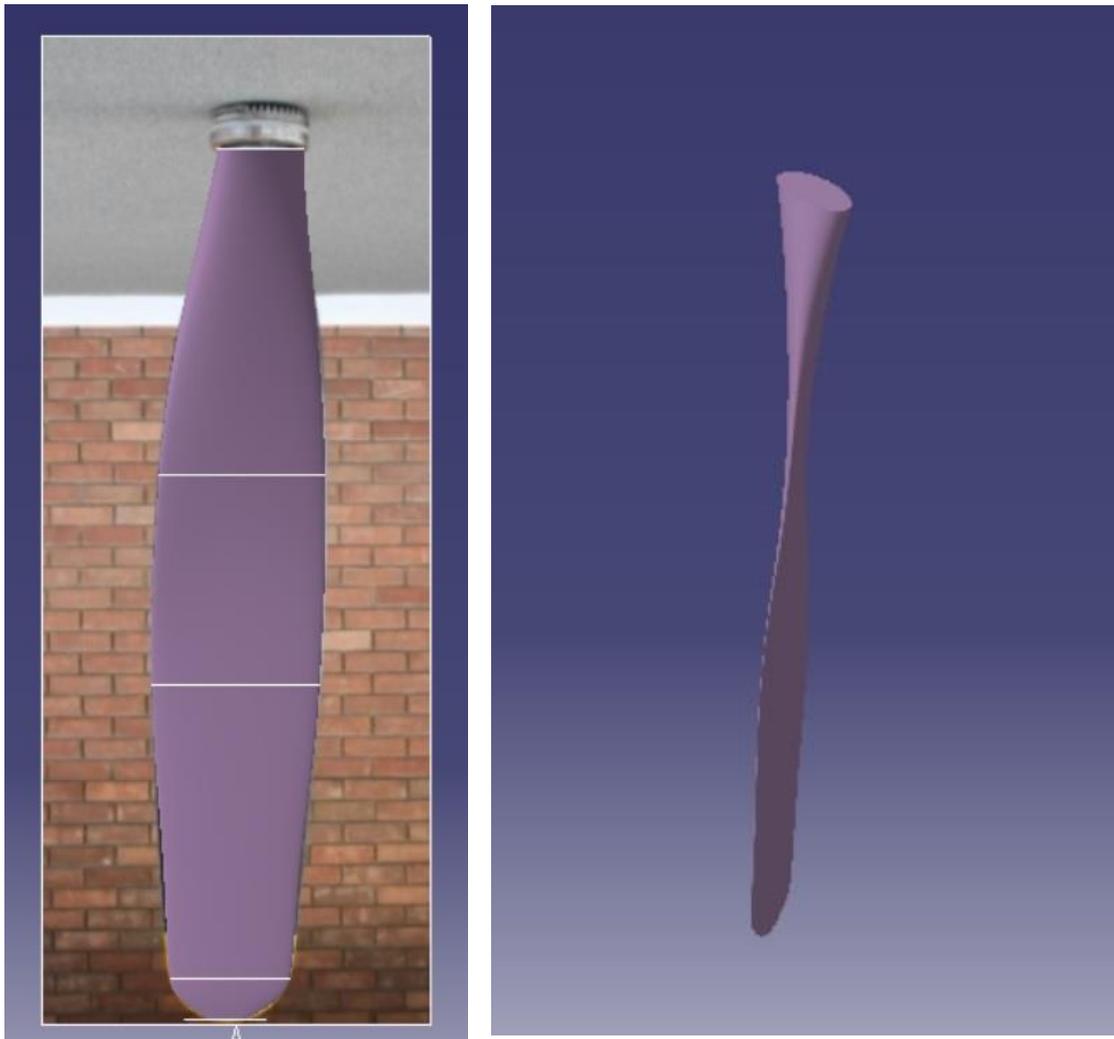


Figura 4-66. Modelado final de las hélices

Como vemos hemos conseguido la forma característica de una hélice, tanto en grosor como en torsión.

A continuación modelaremos la pieza que unirá las palas de la hélice con el eje del motor. Esta pieza será sencilla, se realizará de nuevo por la herramienta *Extrude en Volumes* creando un *Sketch* previo en el lugar en el que queramos este sólido. Podemos ver cómo hemos realizado un *Close Surface* en el eje de giro.

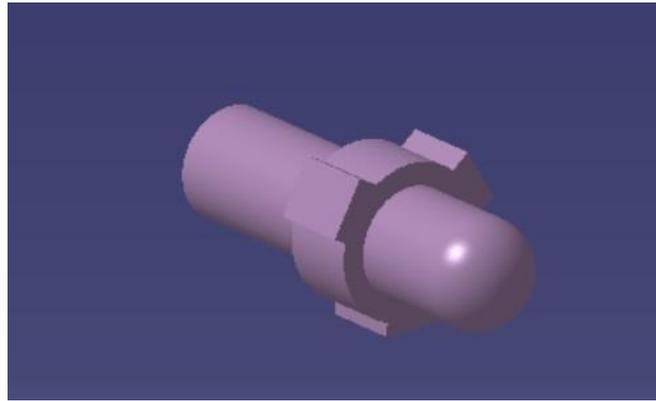


Figura 4-67. Pieza de unión entre la hélice y el eje

Y ya estaría nuestro modelaje de la planta motora, a continuación se muestra una imagen general de este modelaje.

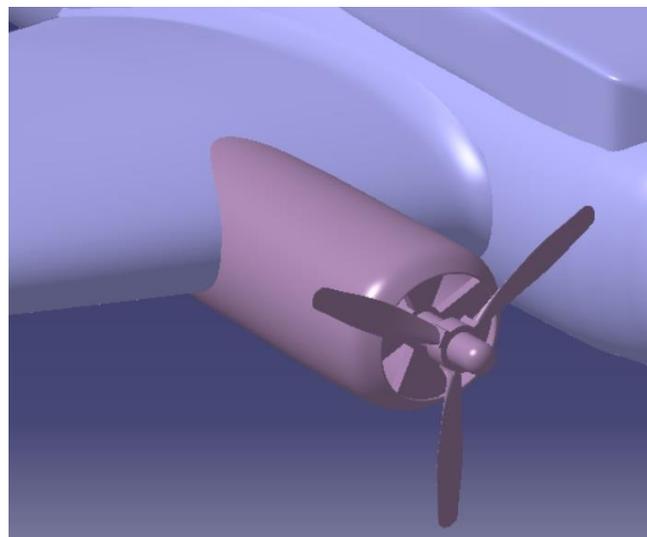


Figura 4-68. Imagen general de la planta motora terminada

Y a través de traslaciones y simetrías de lo hecho en la planta motora en el resto de los 3 motores nos quedaría como se muestra en la siguiente imagen, donde se ha transformado las góndolas en superficies para poder trabajar más eficientemente con ellas posteriormente.

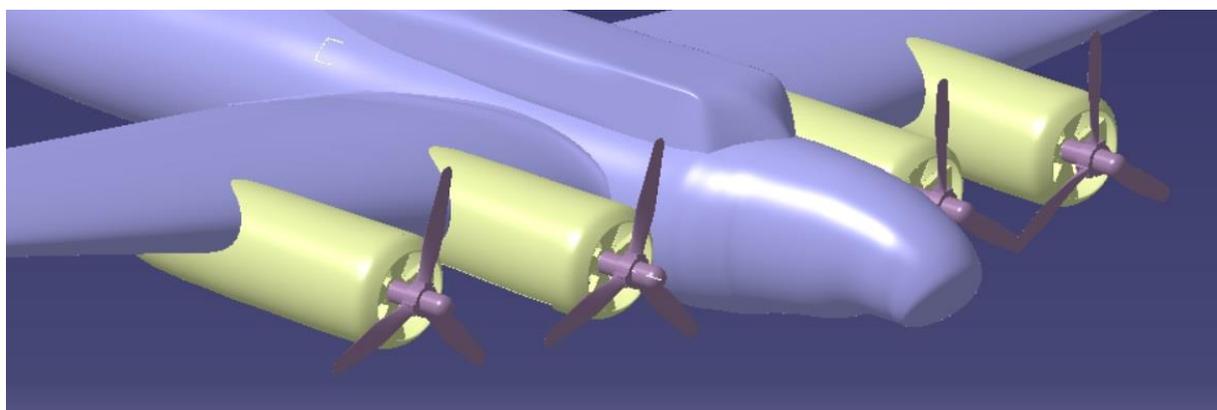


Figura 4-69. Imagen general de las cuatro góndolas con sus hélices

4.6 Tren de aterrizaje

El B-17 presenta un tren de aterrizaje triciclo con su tren principal compuesto de dos ruedas situadas en los dos motores más centrales de la aeronave y de su tren secundario, compuesto de una sola rueda, más pequeña que la del principal

Mostramos a continuación donde están situados tanto el principal como el secundario en el plano, obviamos el plano en planta puesto que no se puede obtener información de él.

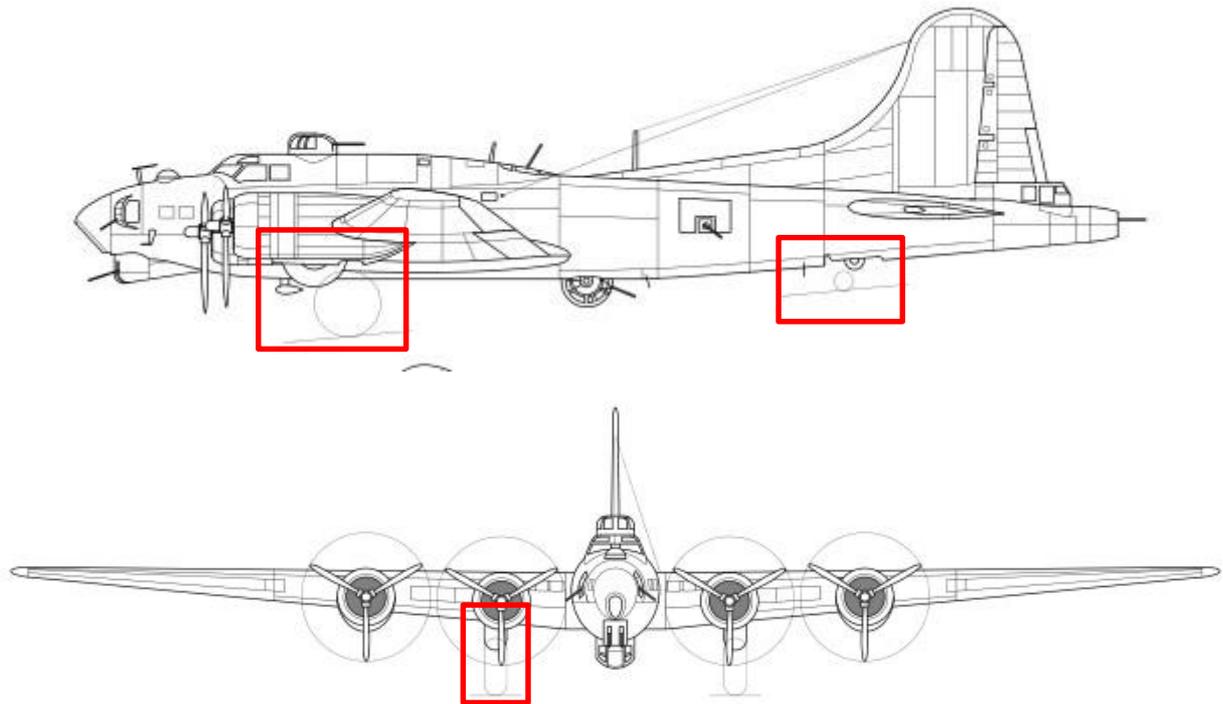


Figura 4-70. Localización del tren de aterrizaje en los planos principales

Empezaremos modelando el tren delantero, realizaremos uno en un lado y posteriormente aplicaremos una simetría.

En primer lugar produciremos la llanta de la rueda, para ello se utilizará el siguiente *Sketch*.

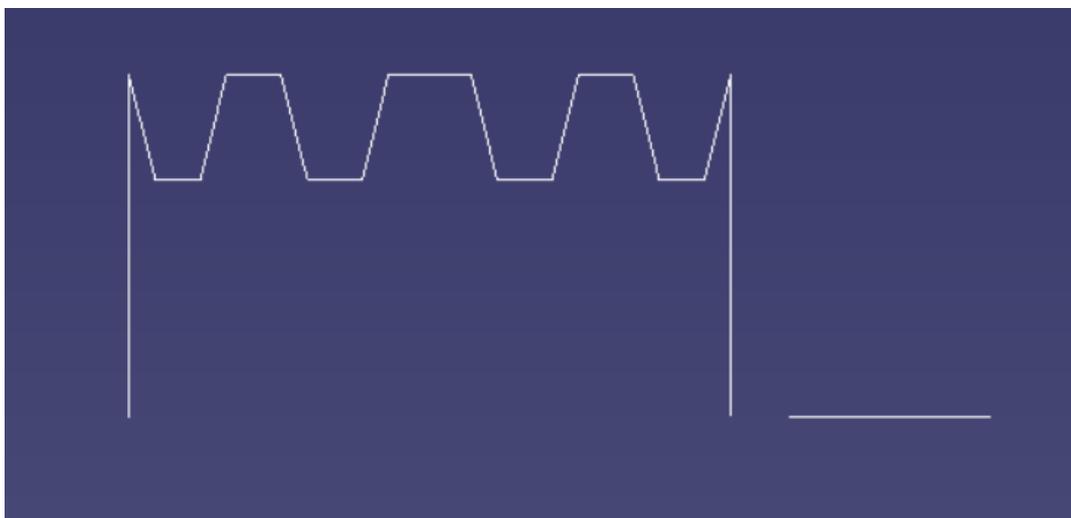


Figura 4-71. Sketch utilizado para obtener la llanta de la rueda mediante revolución

Y se realiza con la herramienta *Volume Revolve* un sólido de revolución que actuará de llanta en nuestra rueda.

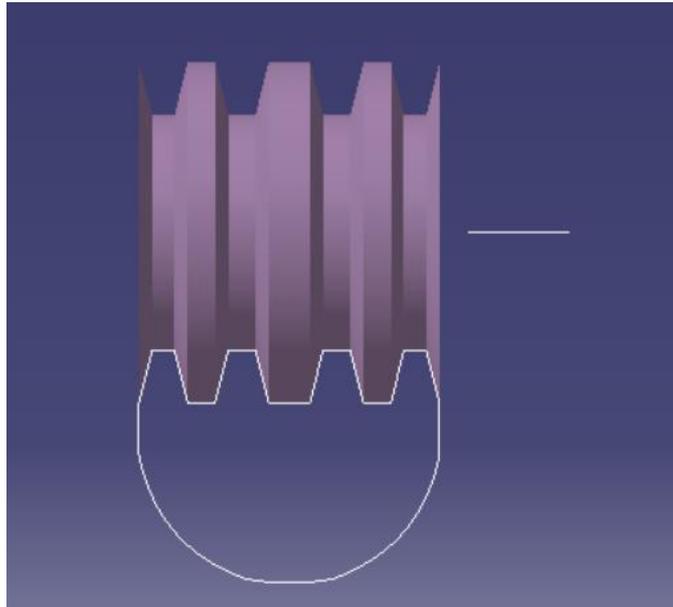


Figura 4-72. Sketch utilizado para obtener la

Posteriormente con el *Sketch* mostrado realizaremos la cubierta de la rueda y realizamos un agujero en el centro de la llanta en el cual estará apoyado nuestro eje.

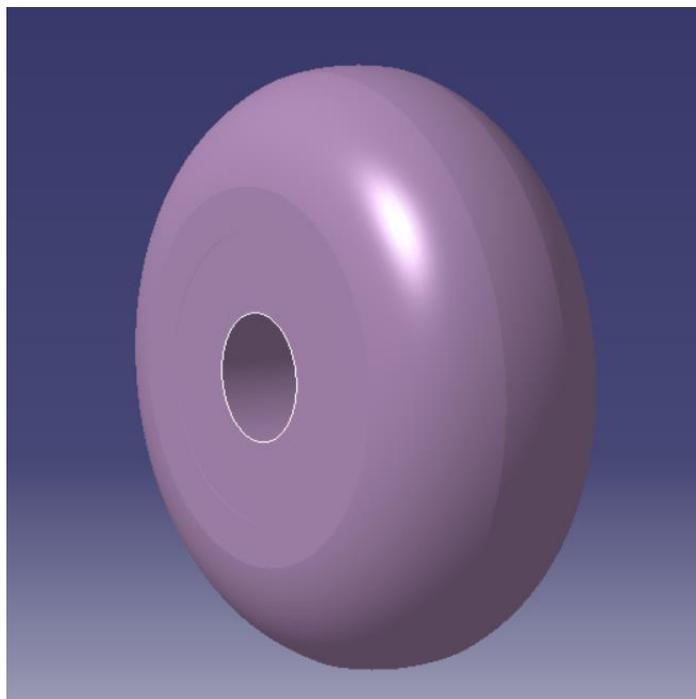


Figura 4-73. Rueda completa

Introducimos pues el eje del tren sobre el cual se desplegará y retraerá, será modelado con una serie de cilindros, uno de ellos cocentrico con la rueda sobre el cual girará esta, también realizamos otro eje el cual está fijo y sobre el cual girará todo el tren de aterrizaje.

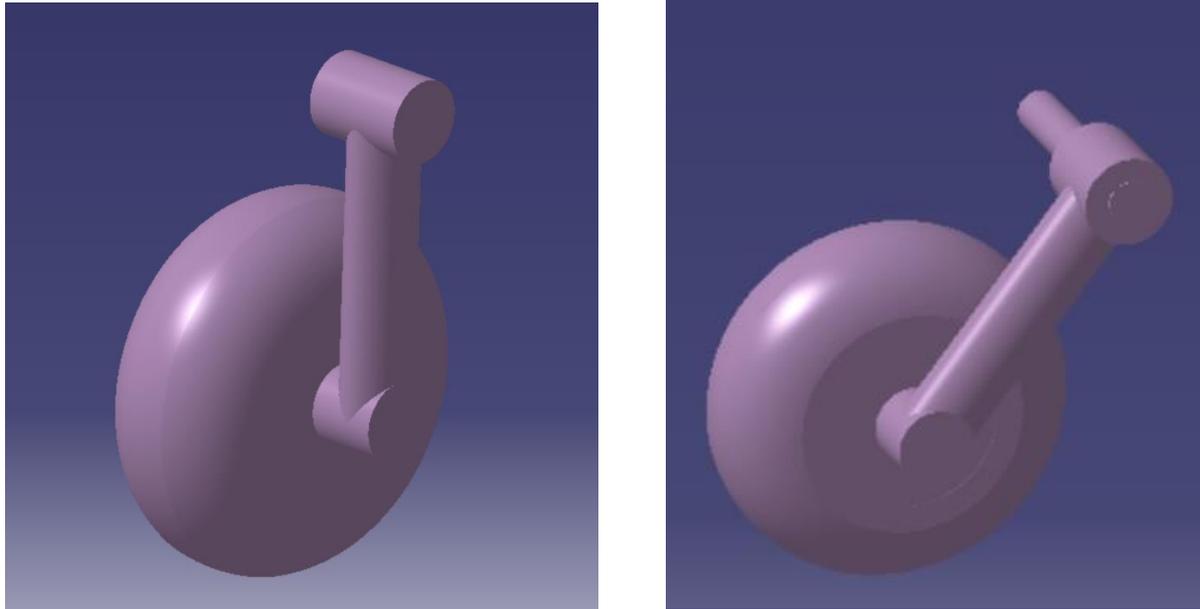


Figura 4-74. Eje fijo y eje del tren de aterrizaje

Según la pura observación de la realidad podemos ver como el tren de aterrizaje delantero se retrae girando el tren hacia adelante y de forma que una parte de la rueda queda en el exterior y no completamente guardada como se puede ver en la siguiente imagen.



Figura 4-75. Imagen real tren retraído

Realizamos un mecanismo, los cuales mostraremos en apartados anteriores, con el único objetivo de ver donde quedaría el tren delantero completamente plegado y hacer los huecos pertinentes tanto en el fuselaje como en la góndola de la planta motora, así quedaría el tren principal retraído, como se muestra a continuación.

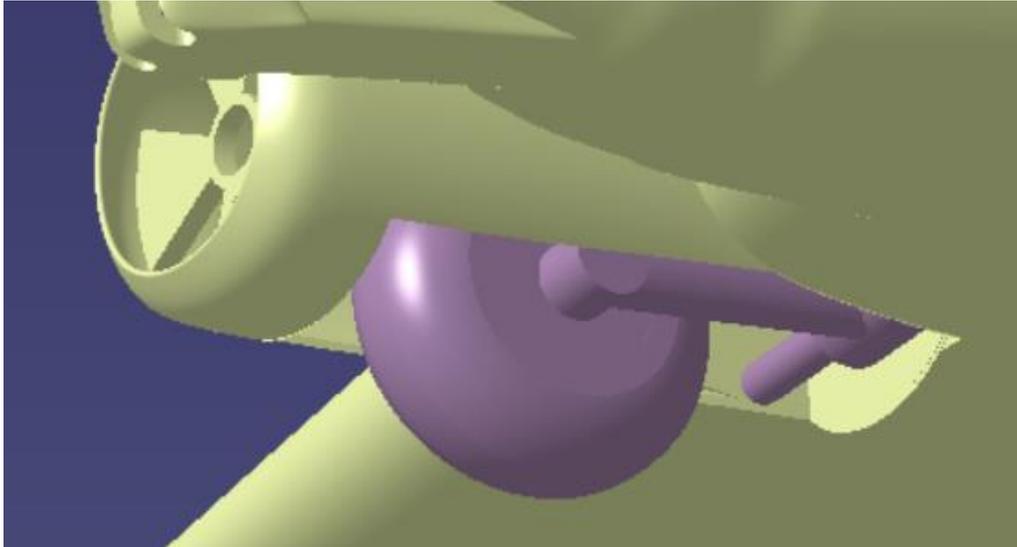


Figura 4-76. Modelo tren delantero retraído

Realizamos la simetría a lo hecho para obtener el tren principal de otro lado.

Pasamos ahora a modelar el tren trasero, el cual se compone solamente de una rueda, más pequeña que las delanteras y en el centro del fuselaje, a la altura del borde de ataque del estabilizador horizontal.

Realizamos como antes llanta y el resto de la rueda.

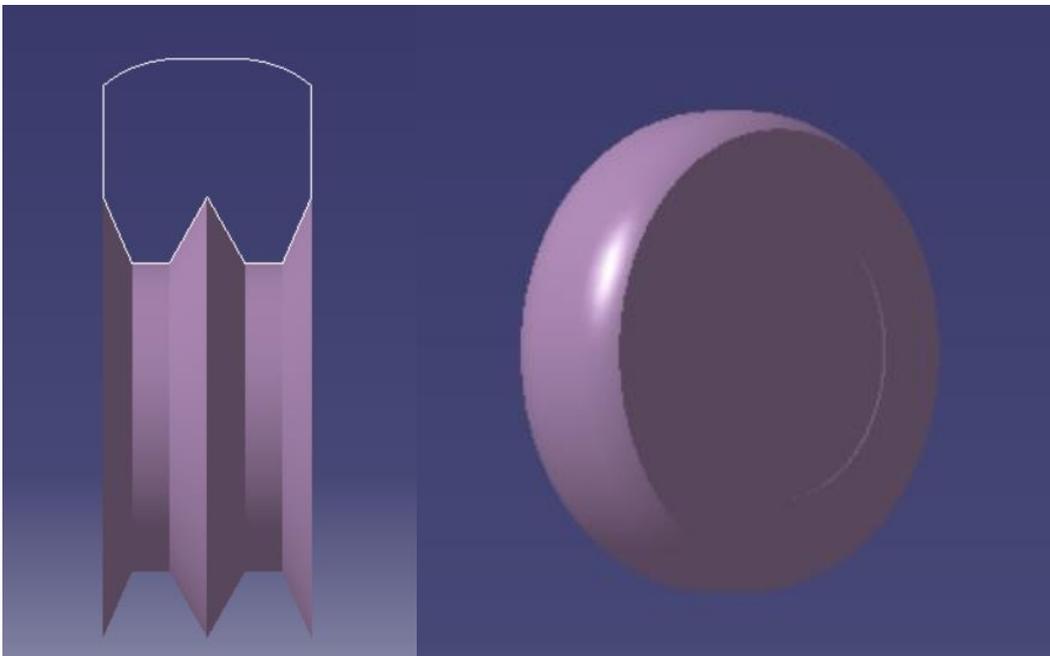


Figura 4-77. Modelo rueda trasera

Y de la misma manera que antes realizamos el eje sobre el que se desplegará y retraerá el tren trasero, y a la vez girará la rueda. El eje estará formado por una serie de cilindros, uno de ellos concéntricos a la rueda que permitirá el giro de esta y otro concéntrico con el eje fijo anclado al

interior del fuselaje que permitirá el giro de despliegue y retracción del tren trasero.



Figura 4-78. Ejes del tren trasero

De igual manera que hicimos con el caso del tren principal simularemos el movimiento de despliegue/recogida del tren secundario para ver que parte del fuselaje debemos de eliminar para guardar completamente el tren secundario cuando se retraiga, observando la realidad podemos ver como este tren, a diferencia del tren principal, se retrae hacia atrás. Así, vemos hasta donde y creamos el hueco correspondiente.

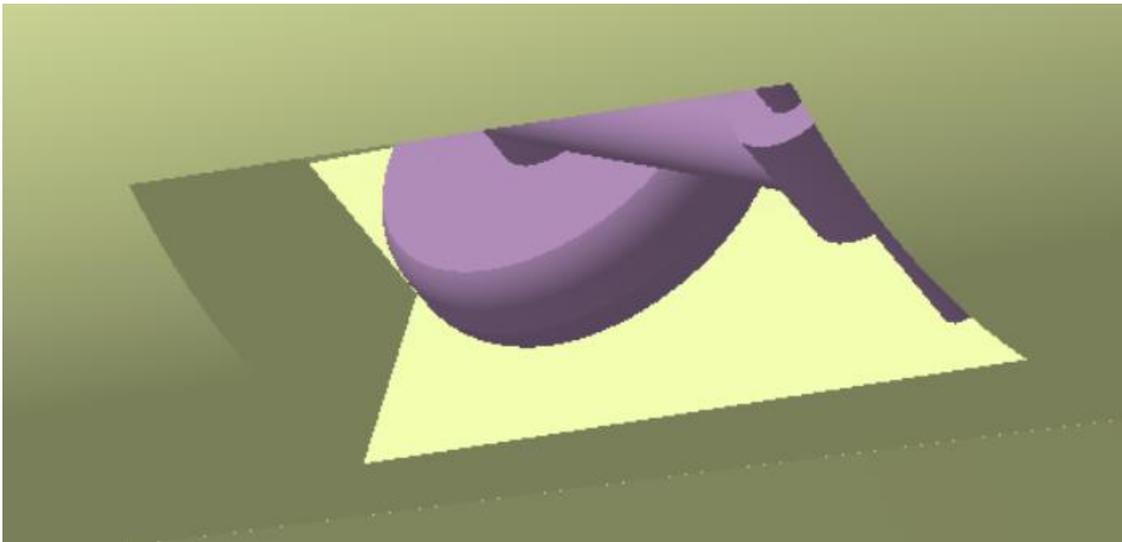


Figura 4-79. Modelo tren trasero retraido

Y con esto ya tendríamos el tren de aterrizaje completo, los dos con movimiento de giro sobre el eje y pero de sentido contrario y también movimiento de las ruedas sobre el eje al que están unidas.

4.7 Puestos de artillería

Pasamos ahora a modelar los distintos puestos de artillería de la aeronave y sus torretas. Haremos los módulos de artillería teniendo en cuenta que después lo uniremos al fuselaje en su lugar correspondiente, en esta unión habrá que tener especial cuidado en las partes que va claramente unidas al fuselaje y otras partes que tendrán movimiento, el cual le daremos posteriormente con la herramienta *Kinematic*.

Haremos módulo por módulo, cada uno con sus propias características y por lo tanto con su propia forma de modelarse.

El B-17, como ya hemos mencionado anteriormente presenta 13 ametralladoras manejadas de manera total o parcial por sus 10 tripulantes. Se muestra a continuación un esquema de la distribución de las torretas y el operario que las manejaba.

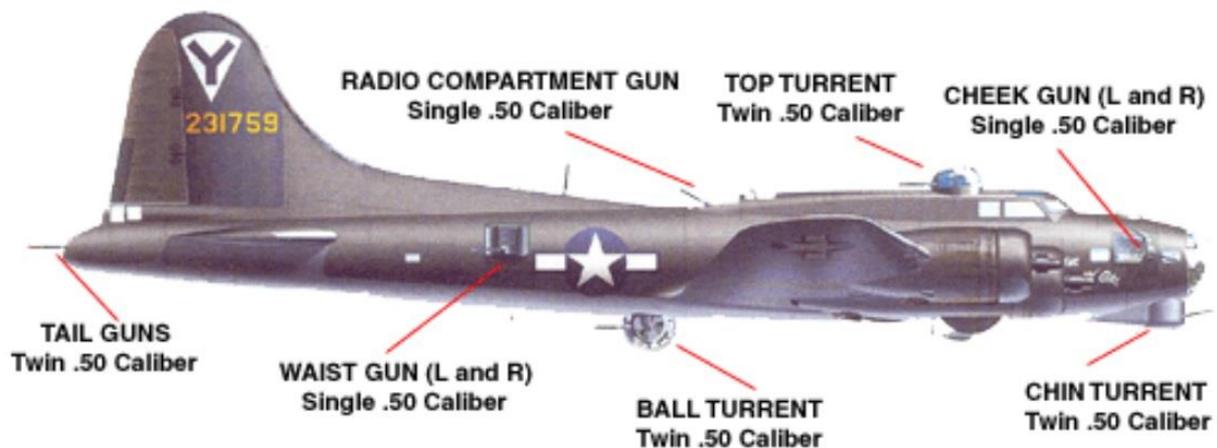


Figura 4-80. Distribución de las torretas del B-17G

Todas las ametralladoras utilizadas son de 12.7 mm, es decir, 0.50 in., esto quiere decir que el diámetro interior del cañón es de 12.7 mm. Puesto que el calibre de las torretas es único se realizará un *Part Design* con único cañón y luego la copiaremos en todas las torretas.

Creamos un *Sketch* con las características especificadas, y cuyo diámetro exterior será de tres veces mayor que el calibre según hemos observado de la realidad. Después, podemos ver, observando la realidad como los cañones presentan una “carcasa” exterior, realizamos esta carcasa con sus huecos correspondientes. Hacemos la sección de la carcasa



Figura 4-81. Sketch calibre cañón y carcasa

Posteriormente realizamos un *Pocket* de la sección de la carcasa quedando.

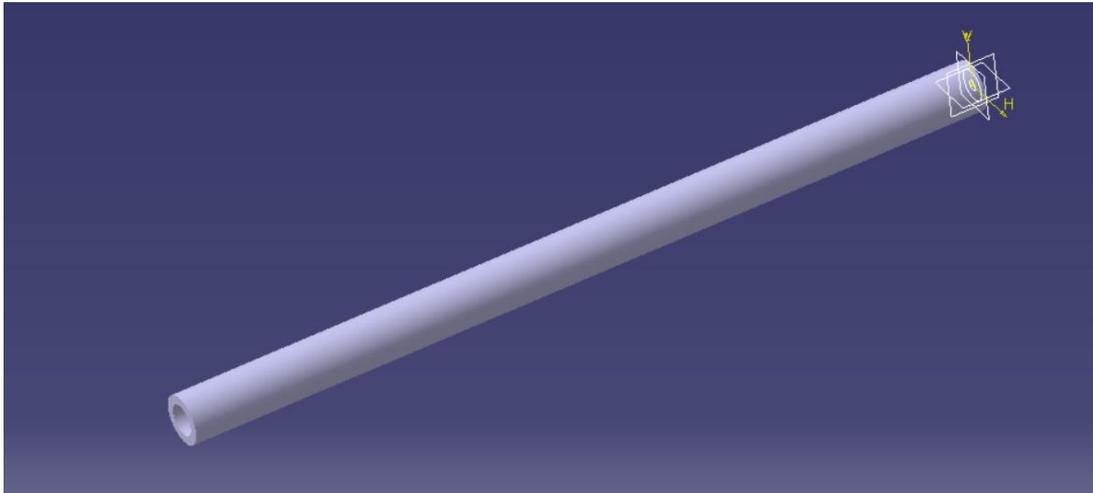


Figura 4-82. Pocket de la carcasa

Los huecos los hacemos con las siguientes características.

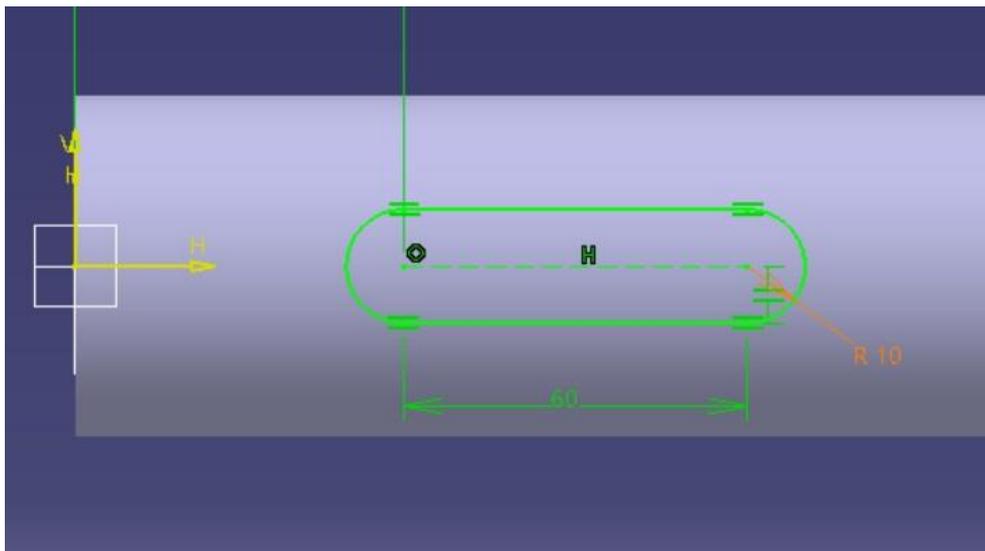


Figura 4-83. Huecos de la carcasa

Realizamos estos huecos de forma equiespaciada como se ve en la imagen

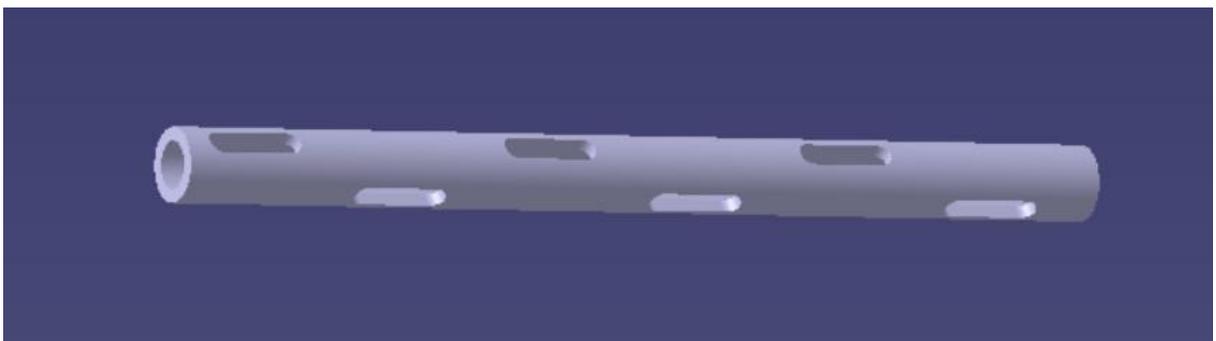


Figura 4-84. Carcasa completa

Y ya tendríamos la carcasa, posteriormente hacemos otro *Pocket* a la sección del calibre del principio para que nos quede el cañón completo.

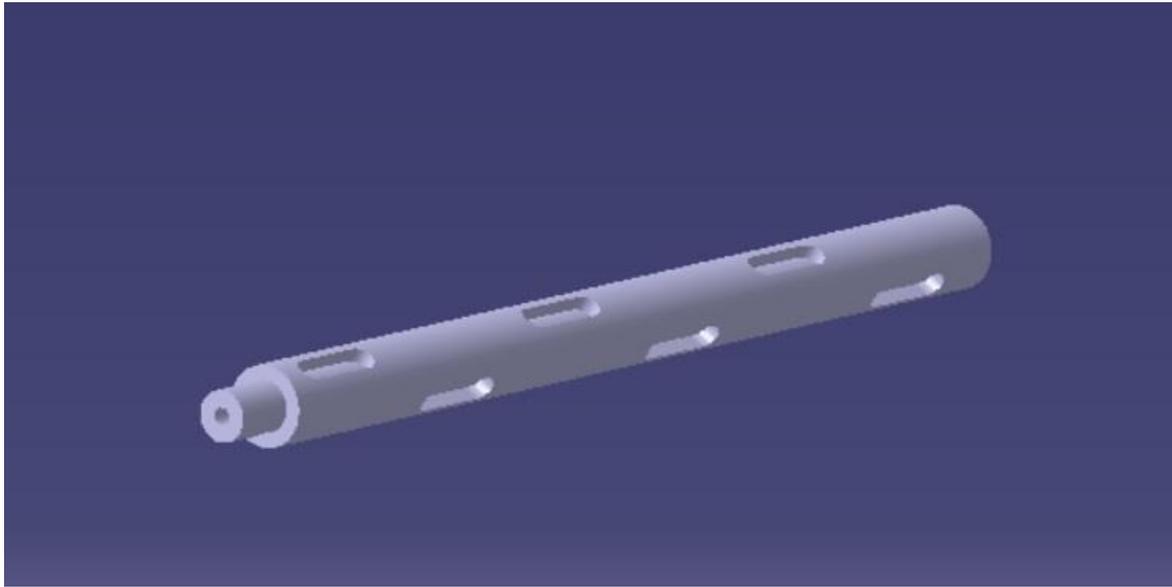
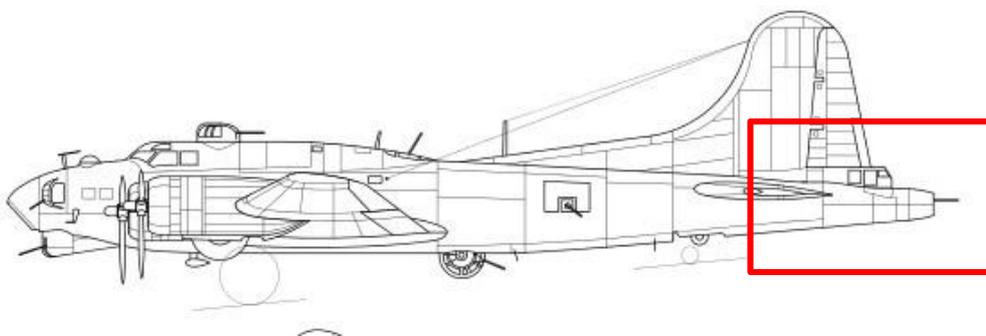


Figura 4-85. Cañón de torreta definitivo

Como ya hemos comentado anteriormente este cañón de ametralladora lo incorporaremos posteriormente a todas las torretas que implementemos.

4.5.1. Puesto de artillería de cola

Empezaremos con este puesto de artillería, está unido a la cola del fuselaje y al estabilizador vertical a los cuales uniremos posteriormente con un *Trim*, su ametralladora está situada en la cola del fuselaje. Utilizaremos tanto los planos usados hasta ahora como imágenes reales del puesto.



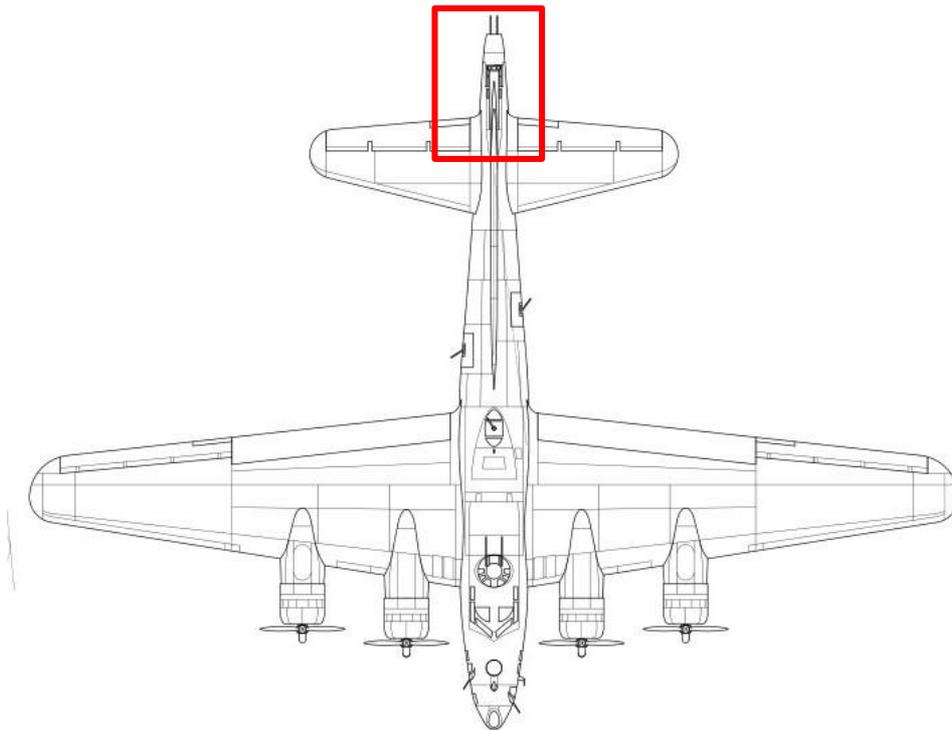


Figura 4-86. Localización del puesto de artillería de cola en los planos principales

En el plano de alzado no se vería este puesto dado que lo tapa la cabina.



Figura 4-87. Imagen real del puesto de artillería de cola

Aquí mostramos una imagen real para orientarnos, empezamos ahora sí el modelaje. En primer lugar ajustamos la forma al perfil pues es la vista más sencilla, quedado.

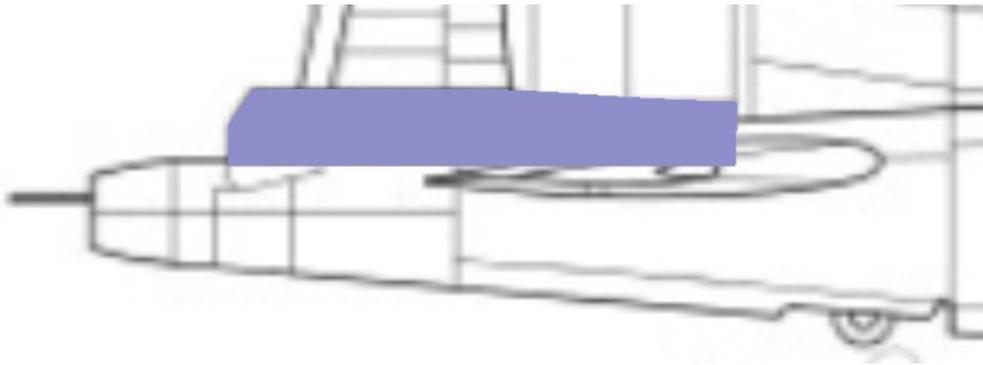


Figura 4-88. Vista de perfil del puesto de cola

Luego, ajustamos la vista a la planta, en la siguiente imagen también se muestra los puntos utilizados.

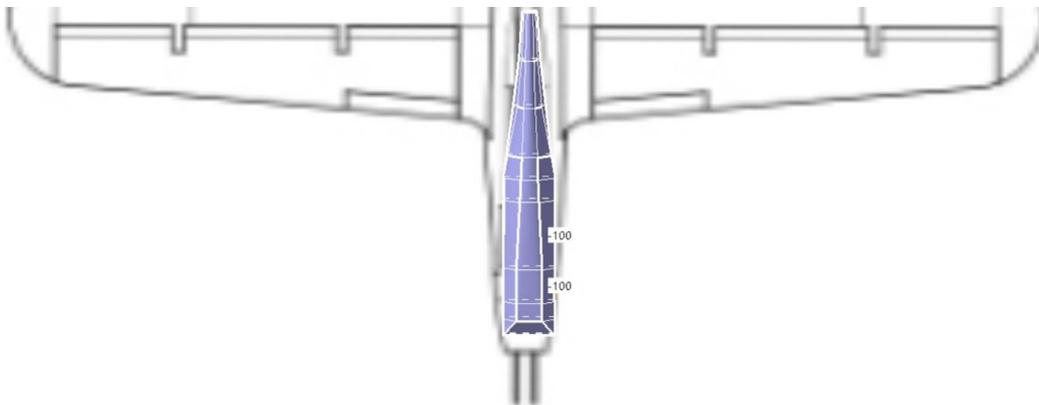


Figura 4-89. Vista en planta y puntos utilizados del puesto de cola

Como podemos ver en la imagen real la parte más cercana a la cola del fuselaje presenta paredes rectas, pues está zona corresponde con cristales que tiene el piloto para ver a los objetivos enemigos, conforme vamos avanzando en el fuselaje el módulo de artillería se va haciendo más pequeño y más redondeado creando una zona de transición entre el estabilizador vertical, el fuselaje y el propio módulo de artillería de cola. Así le damos a nuestro modelo el redondeo progresivo en los lugares correspondiente quedando el resultado definitivo mostrado a continuación.

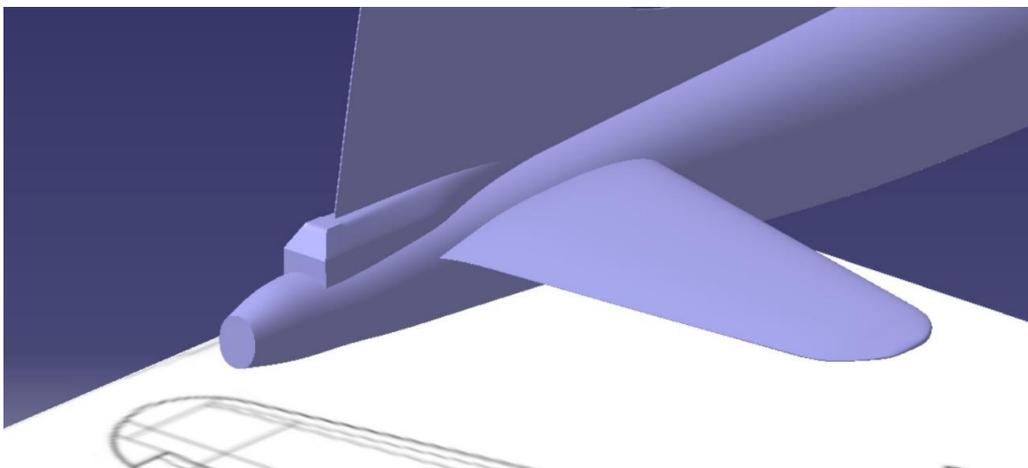


Figura 4-90. Vista general del puesto de cola

Incluimos imagen con todos los puntos utilizados para formar el puesto de artillería de cola.

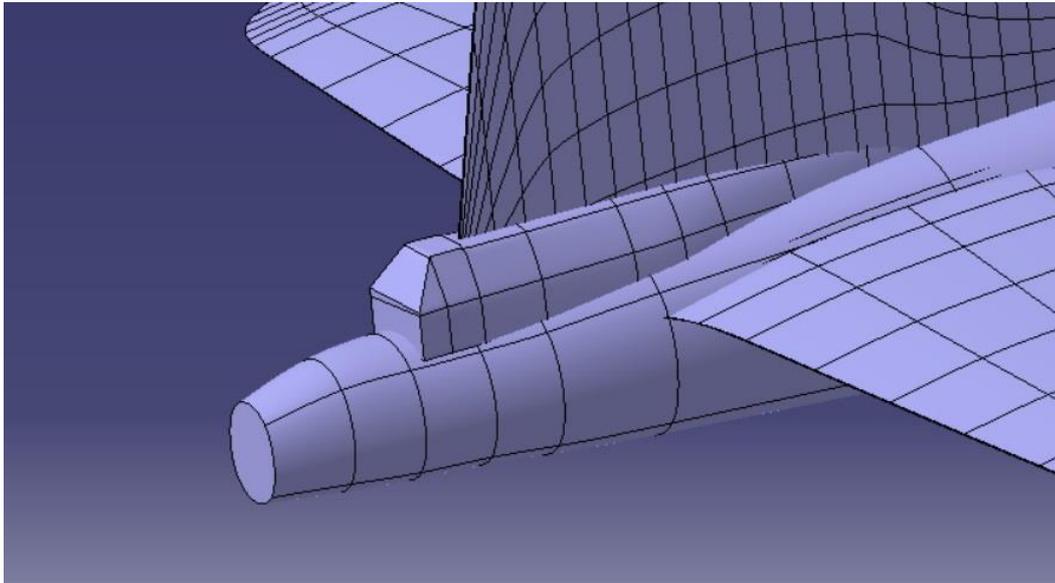


Figura 4-91. Vista detallada de los puntos del puesto de cola

Una vez modulados el fuselaje, las alas, los estabilizadores y el puesto de artillería de cola procederemos a realizar el anteriormente mencionado *Trim* entre ellos para eliminar parte sobrantes y transforma estas piezas de *Imagine & Shape* en superficies con las cuales nos será más fácil trabajar para implementar todas las demás piezas. Mostramos el *Trim* resultante de todas las partes realizadas hasta ahora.

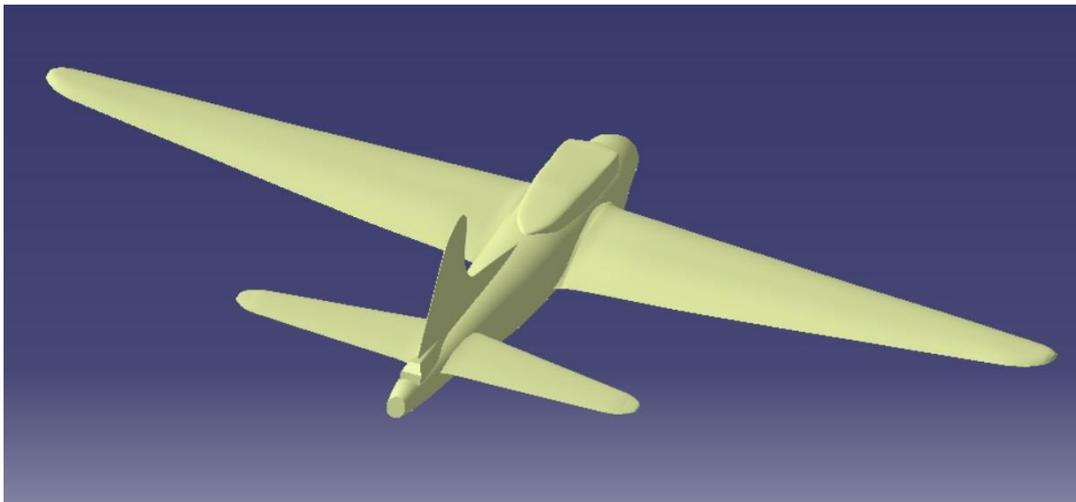


Figura 4-92. Vista general del Trim general con el puesto de cola

Una vez tenemos la superficie anterior realizamos un *Extrude* en la superficie donde se colocará nuestra torreta de cola.

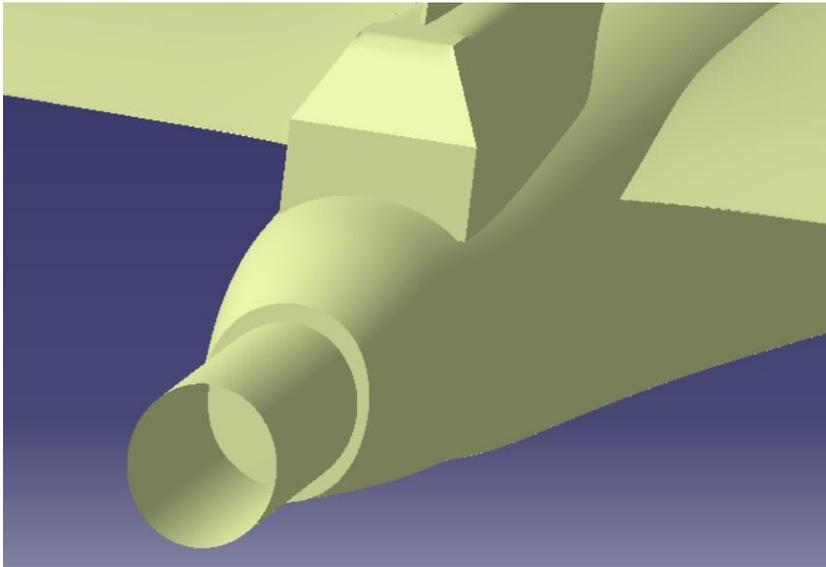


Figura 4-93. Plano utilizado para realizar el hueco del puesto de cola

Y realizamos un *Split* para obtener el hueco correspondiente.

Pasamos ahora a realizar la torreta de cola, como podemos ver en la siguiente imagen, la torreta está tapada por un plástico con el cual no es posible ver el mecanismo, como en CATIA realizar un plástico que cambie de forma según se mueva la torreta es muy complicado, nosotros dejaremos el mecanismo a descubierto. Este mecanismo deberá tener tanto movimiento vertical, apuntado hacia arriba y abajo, como horizontal, derecha e izquierda.



Figura 4-94. Imagen real del puesto de cola

Comenzamos la modulación de la torreta de cola, para ello, en primer lugar colocamos las torretas en su lugar correspondiente y la unimos con un cilindro realizado mediante la herramienta *Extrude*, el cual será el que rote para dar este movimiento vertical.

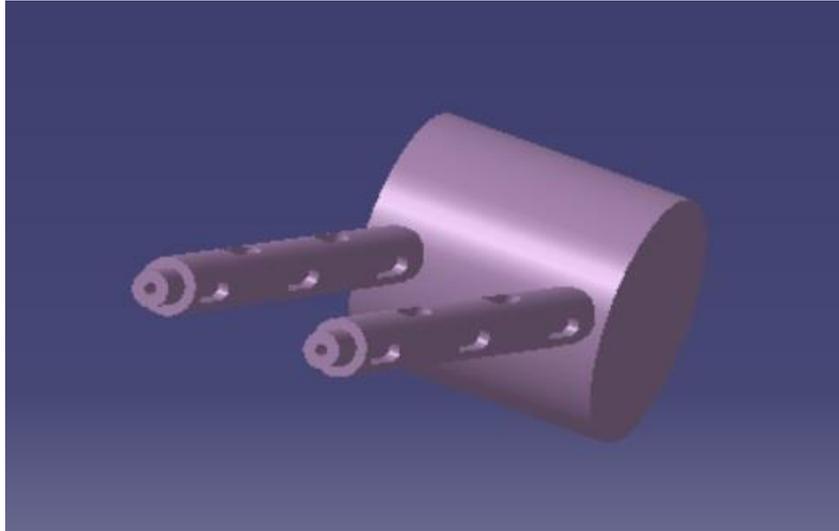


Figura 4-95. Cañón que rota sobre el eje perpendicular al eje z

Posteriormente se realiza la base mostrada en la imagen inferior, la cual tiene una doble función, la de ser el elemento fijo de la pieza mostrada anteriormente para poder realizar el movimiento vertical y la de ser la pieza que gire sobre el eje z respecto de un eje fijo para poder obtener el movimiento horizontal.

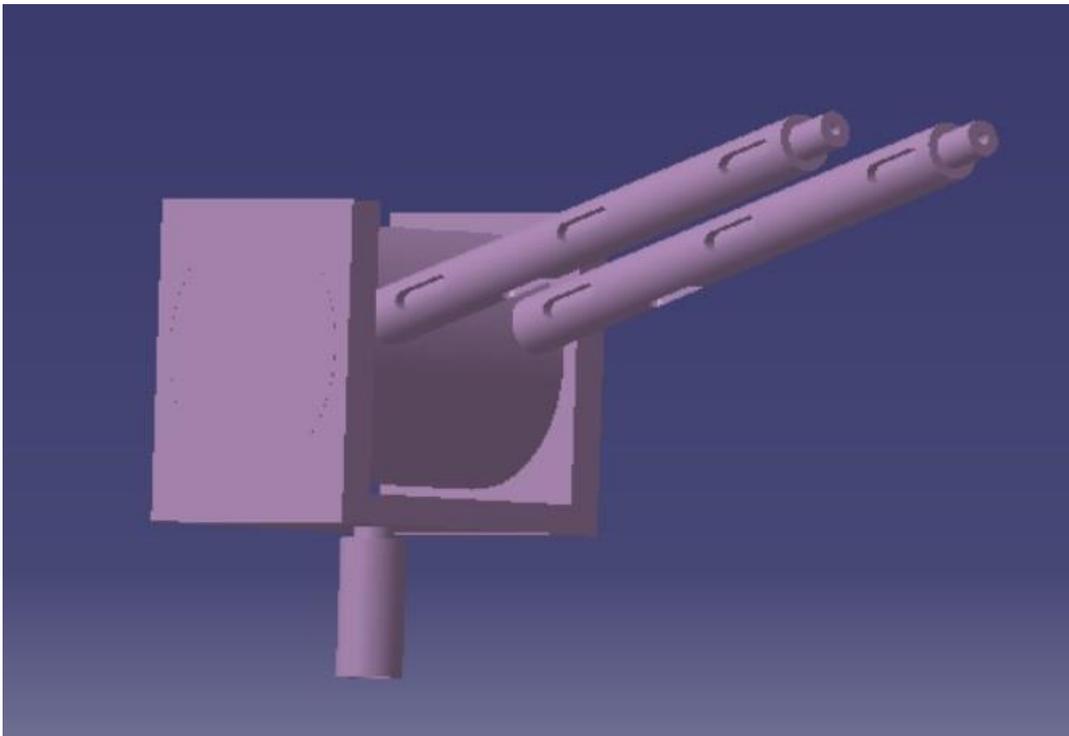


Figura 4-96. Base de rotación sobre el eje z con el eje fijo

Así, la torreta de cola en su lugar correspondiente quedaría como se muestra a continuación. Posteriormente a se le dará un material y su movimiento correspondiente.

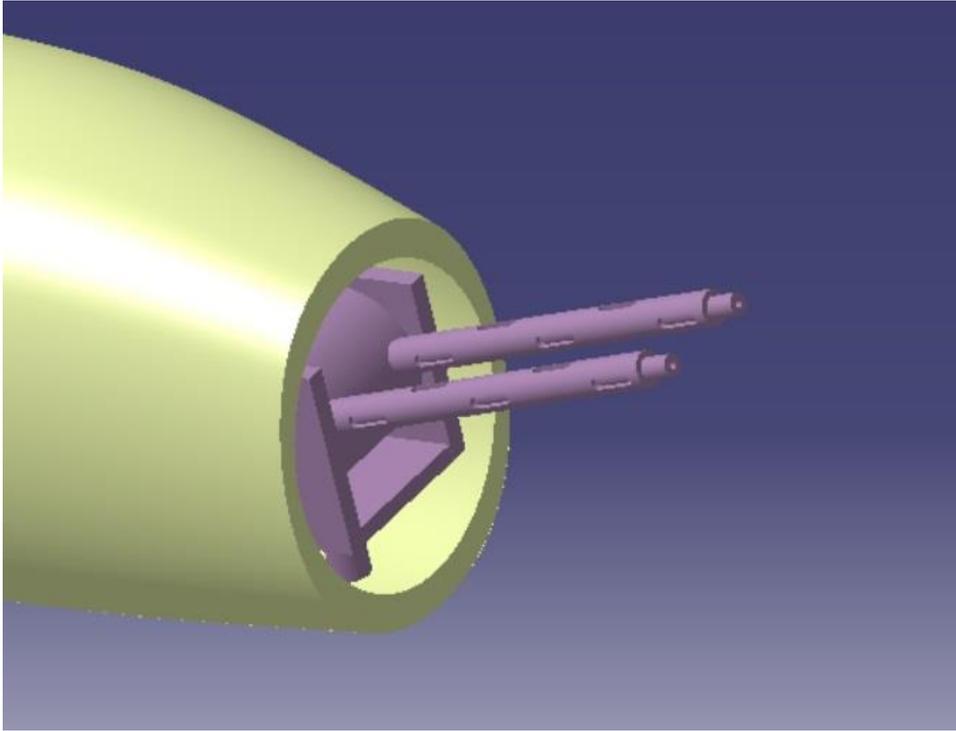


Figura 4-97. Vista general de la torreta de cola

4.5.2. Puesto de artillería de proa

Continuamos con el puesto de proa, como su nombre indica está situado en la proa del avión, debajo de la punta del fuselaje al cual uniremos posteriormente con un *Trim*. Para modelar este puesto, de nuevo, utilizaremos tanto los planos usados hasta ahora como imágenes reales del puesto.

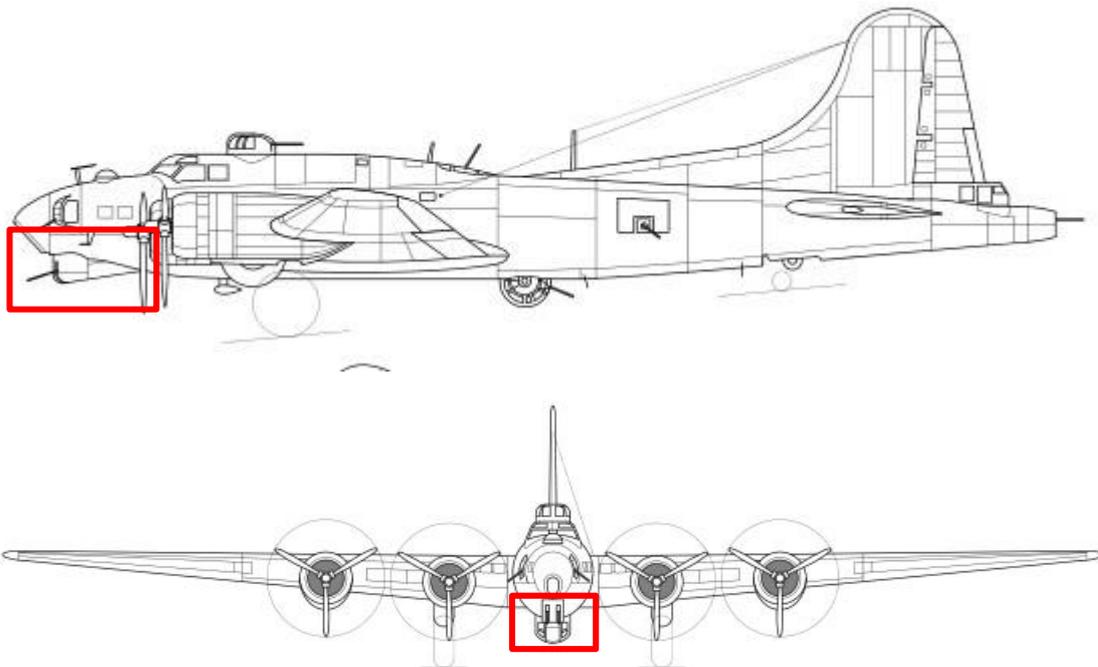


Figura 4-98. Localización puesto de artillería de proa en los planos principales

En este caso no podemos obtener información del plano de planta dado que la torreta se encuentra por debajo del fuselaje. Vemos ahora algunas imágenes reales.



Figura 4-99. Imagen real puesto de proa

Como podemos ver en esta última imagen la torreta presenta dos módulos, una donde se encuentra las ametralladoras y otro que actúa de puente con el fuselaje.

Empezamos modulando el módulo de la ametralladora.

Presentamos la vista de alzado y perfil, donde podemos observar que se le ha dado el redondeo en el lugar correspondiente.

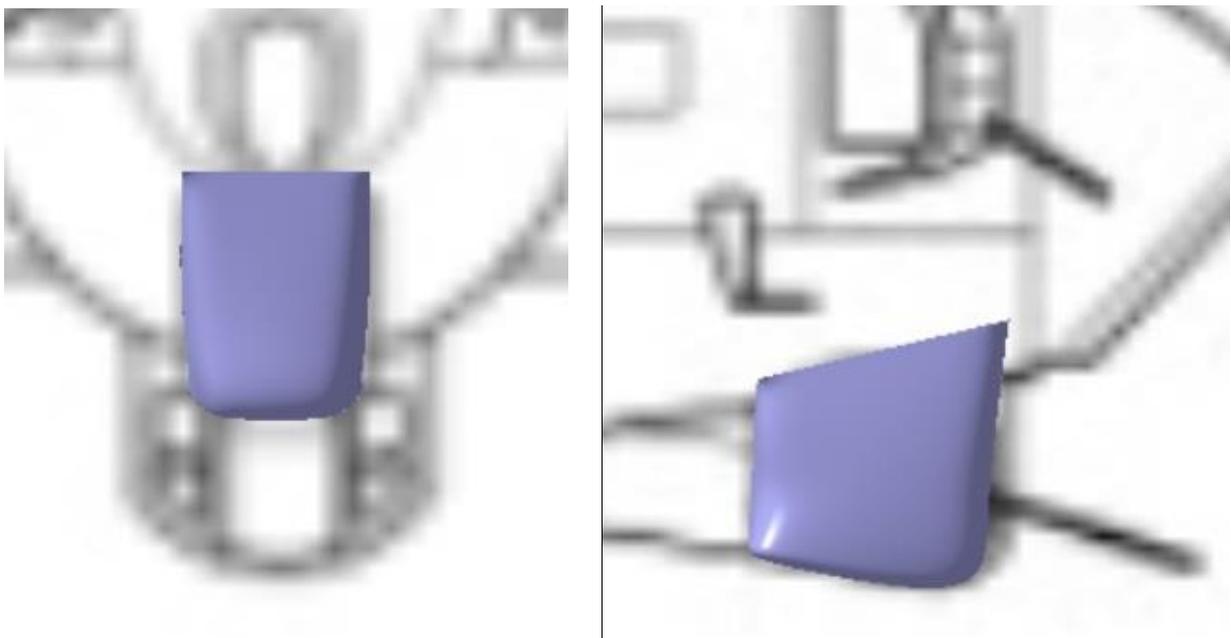


Figura 4-100. Vista de alzado y perfil del módulo 1 del puesto de proa

Modulamos el puente de unión entre este módulo y el fuselaje, también con su redondeo característico.

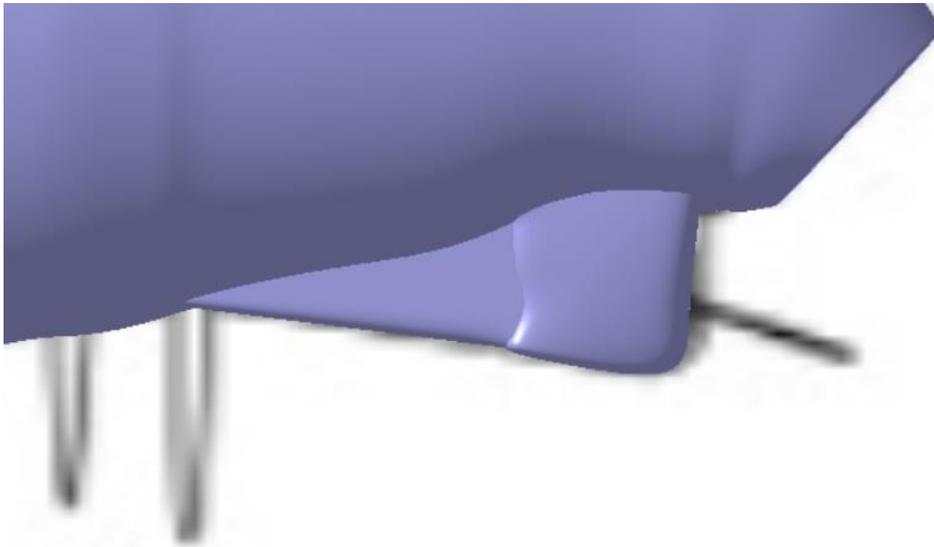


Figura 4-101. Vista de perfil del puesto de proa

Mostramos a continuación una imagen de todos los puntos utilizados para la realización de este puesto de artillería.

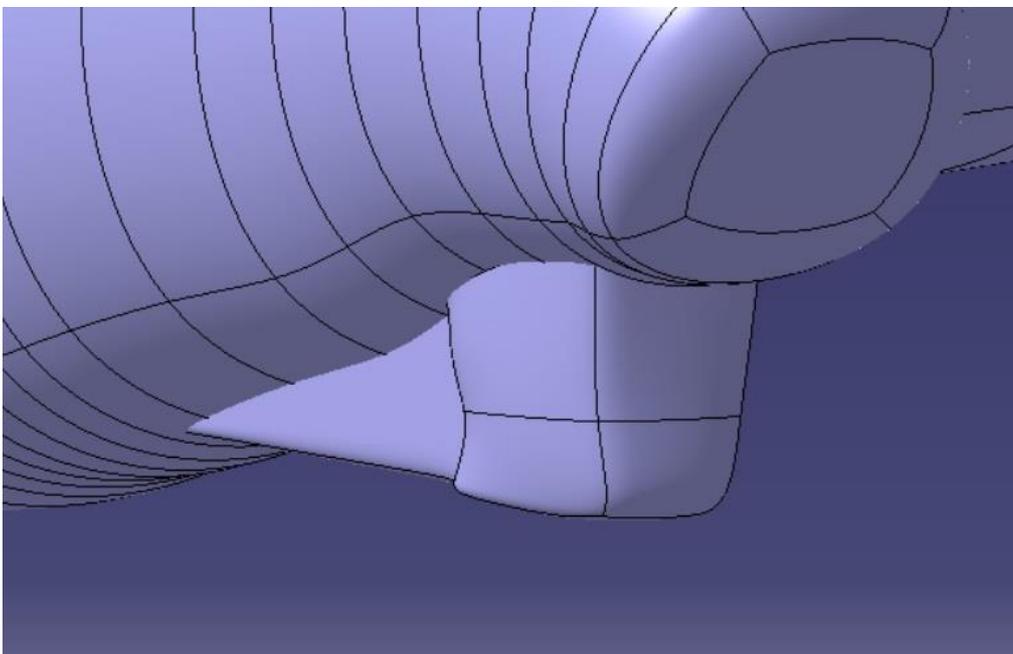


Figura 4-102. Vista de general del puesto de proa

Realizamos de nuevo un *Trim* para transformar nuestro puesto de artillería delantera en superficie con la que nos será más fácil trabajar para implementar todas las demás piezas. Mostramos el *Trim* resultante de todas las partes realizadas hasta ahora.

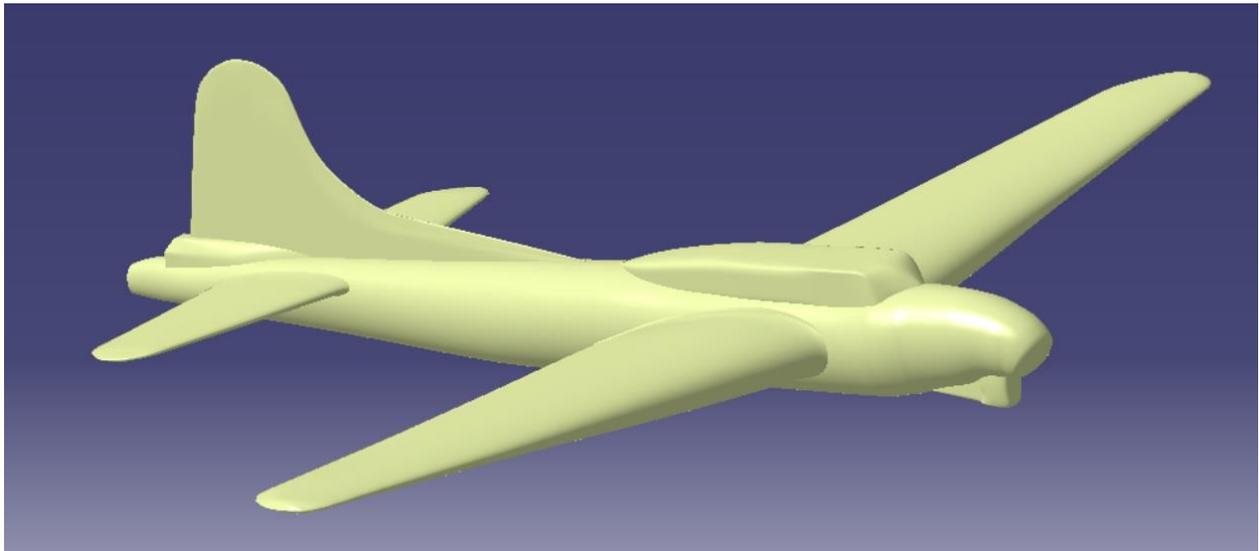


Figura 4-103. Vista general del Trim general con el puesto de proa

Pasamos a implementar las torretas en este puesto, para ello en primer lugar mediante las herramientas *Extrude* y *Split* realizamos un hueco en la superficie generada tal y como se muestra en la imagen posterior.

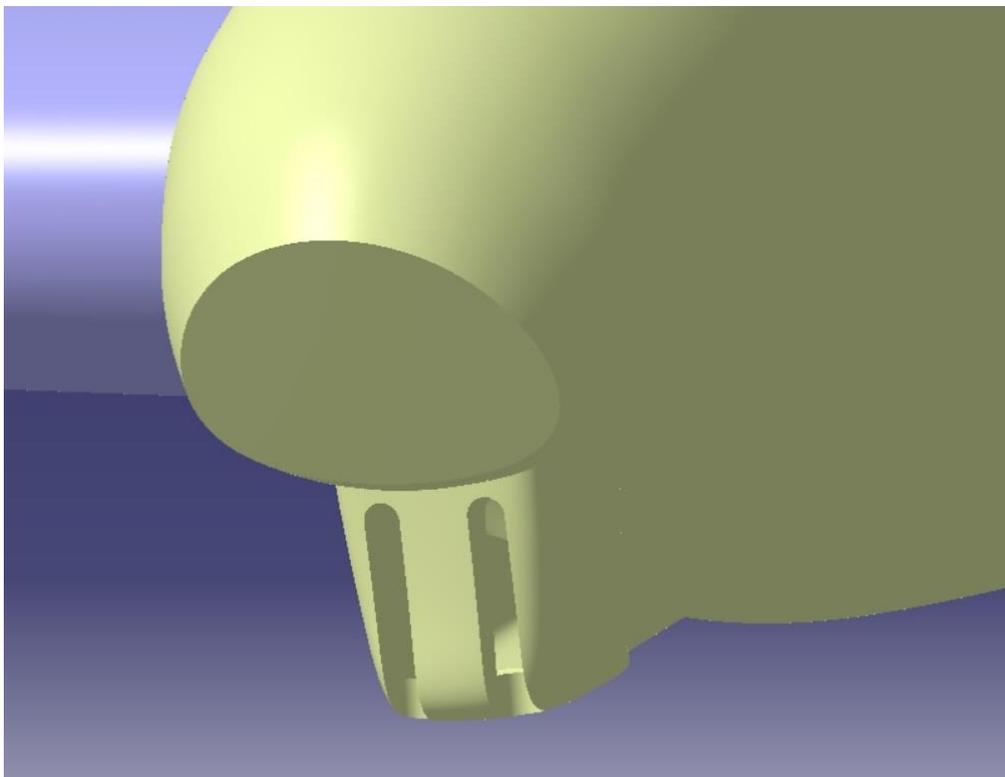


Figura 4-104. Huecos correspondientes en el puesto de proa

A continuación para simular el movimiento de esta torreta, el cual es solo sobre el eje y, apuntado del cañón en la dirección vertical, pondremos un cilindro en el interior del puesto al cual uniremos con

los cañones anteriormente realizados. Este cilindro rotará y así obtendremos el movimiento de torreta que girará sobre el eje del cilindro. Para realizar el giro mencionado debe de tener un eje fijo sobre el cual rotar el sólido, para este caso implemente implementaremos un cilindro en el hueco interior que hará de eje fijo. Lo mostramos a continuación.

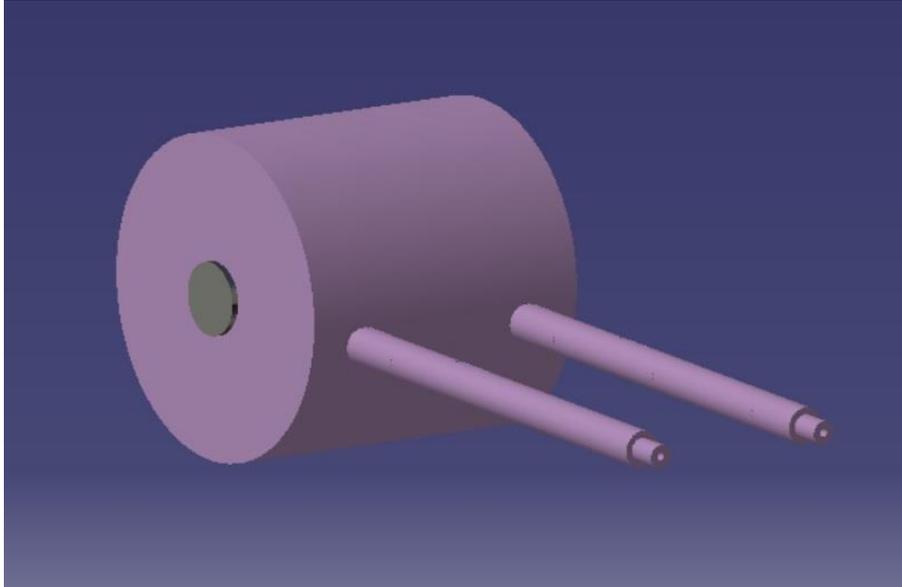


Figura 4-105. Torreta de proa con sus ejes de giro

Así obtenemos el resultado definitivo del puesto de torreta delantero en cuanto a modelaje, en apartados posteriores se le dará tanto el material como el movimiento apropiado con la herramienta *Kinematics*.

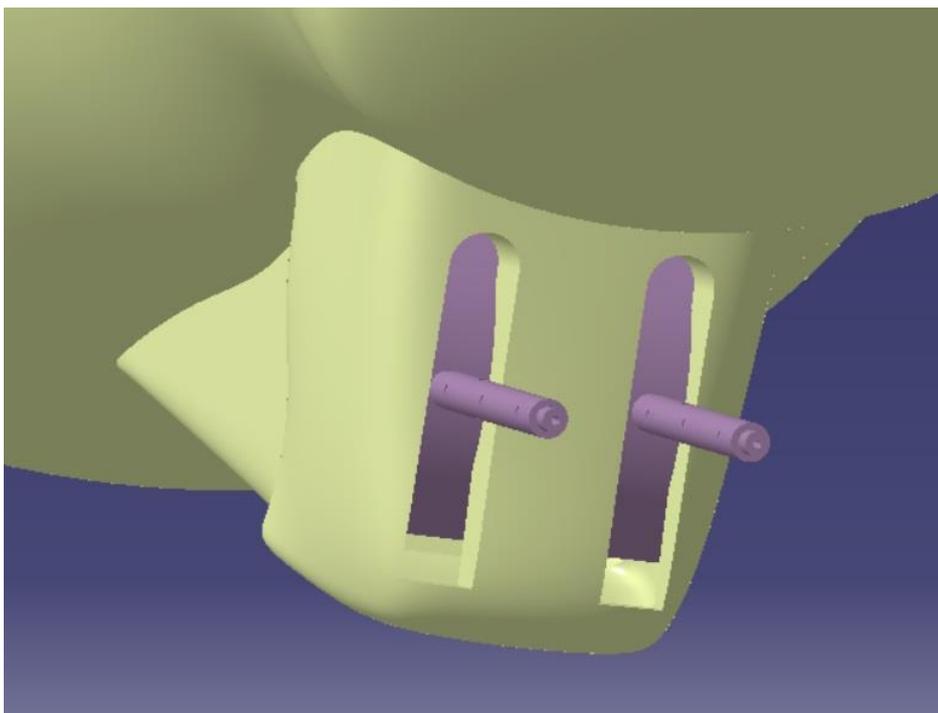


Figura 4-106. Vista general del puesto de proa con su torret

4.5.3. Puesto de artillería dorsal

Continuamos con el puesto dorsal, como su nombre indica está situado en la parte superior del fuselaje, unido a este y a la altura de los motores. Para modelar este puesto, de nuevo, utilizaremos tanto los planos usados hasta ahora como imágenes reales del puesto.

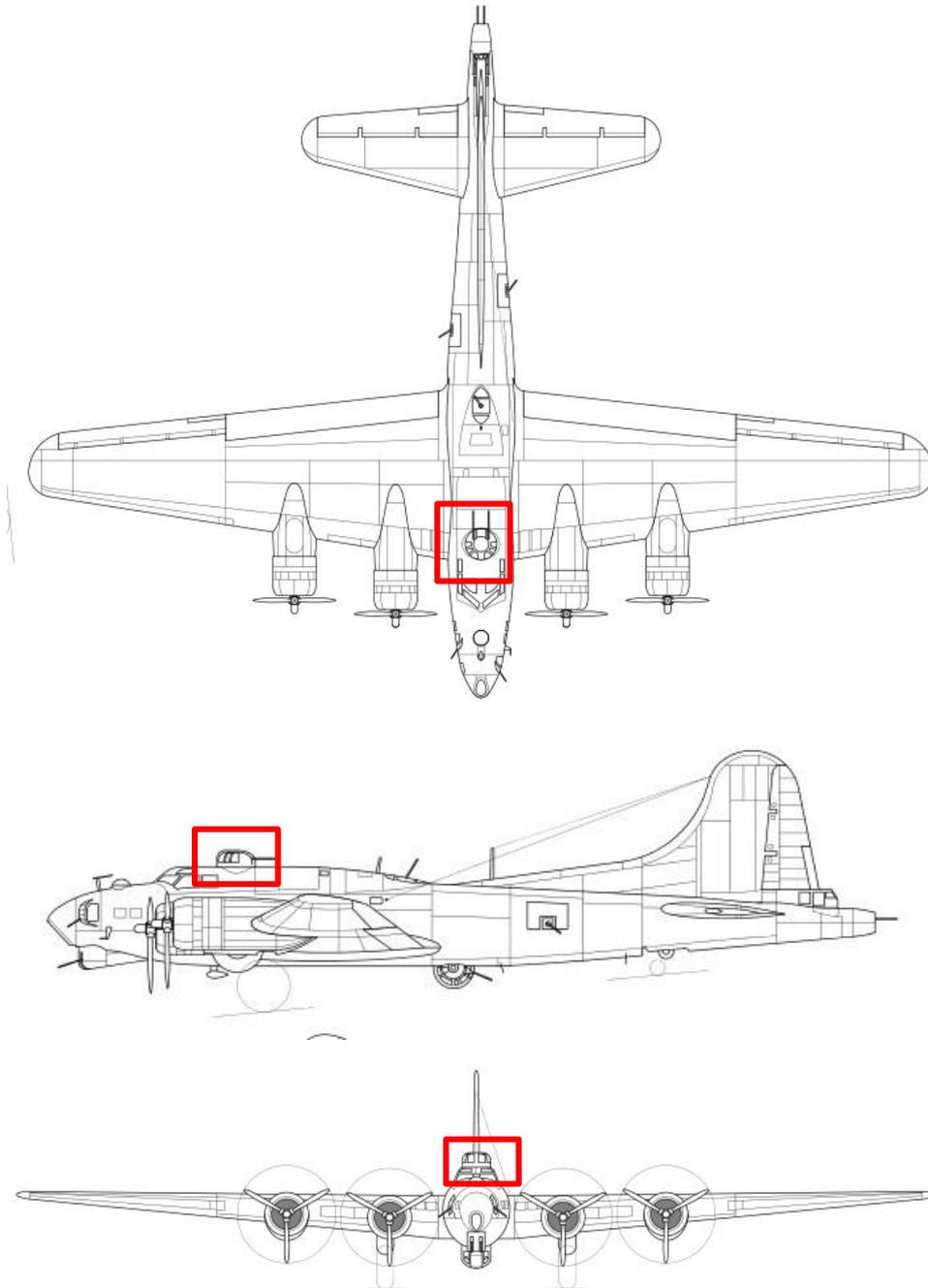


Figura 4-107. Localización del puesto de artillería dorsal en los planos principales

Mostramos también imágenes reales del puesto de artillería dorsal.



Figura 4-108. Imagen real del puesto de artillería dorsal

Aunque parezca una semiesfera perfecta no lo es, presenta diferentes radios de curvatura en la parte donde se encuentran las torretas, mostramos las tres vistas y la vista general del modelado en CATIA para hacer ver estas diferencias.

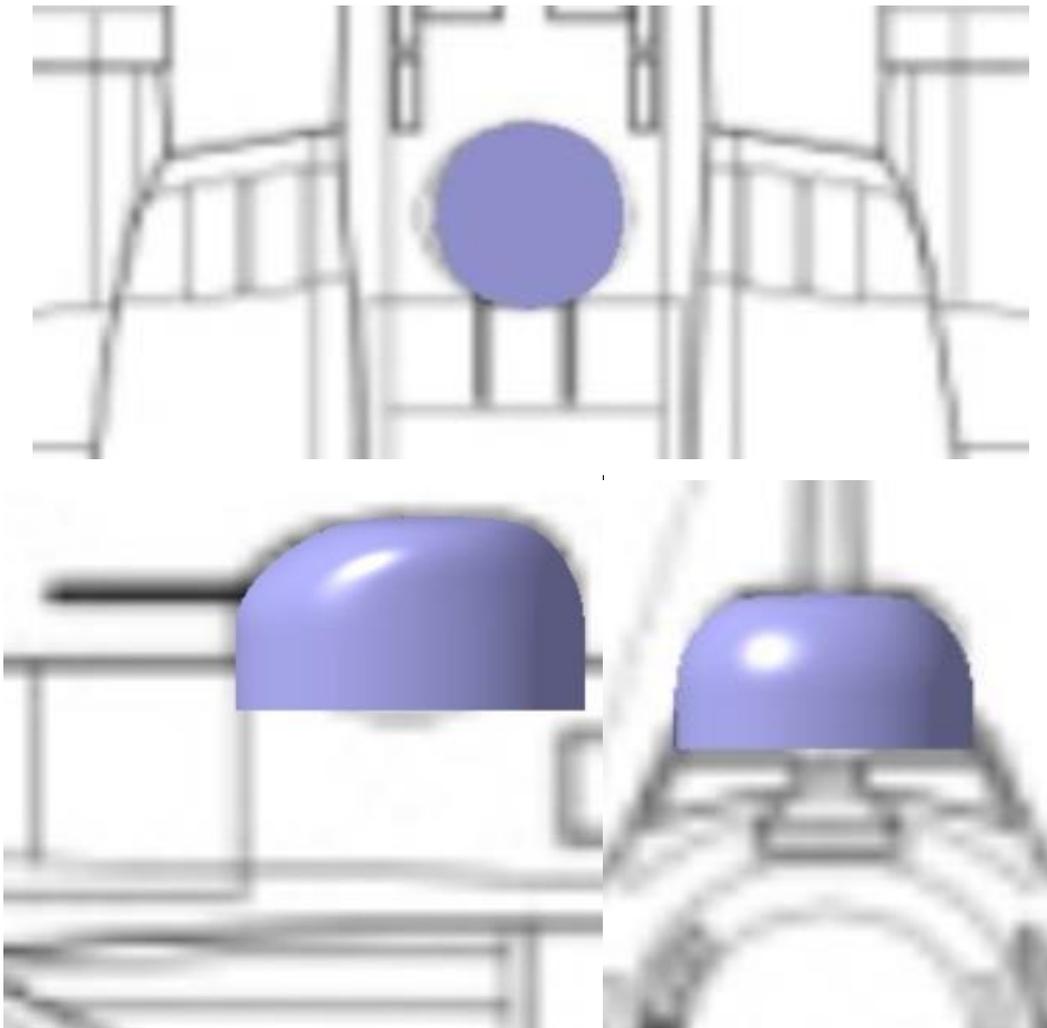


Figura 4-109. Vistas del modelado del puesto de artillería dorsal

Modelamos a continuación donde irá la torreta, para ello observamos la realidad para ver los huecos que hay en el puesto por los cuales sobresale la torreta.



Figura 4-110. Imagen real de los huecos de la torreta dorsal

Para esta torreta tenemos tanto un movimiento de giro en el eje z como un movimiento de giro hacia arriba y hacia abajo, para modelar el primero de estos movimientos pondremos una base cilíndrica debajo de nuestro módulo de torreta con el cual irá unido y rotará sobre su eje. También implementaremos los huecos correspondientes que se pueden observar en la imagen real, para ello hemos utilizado la herramienta *Extrude* en un plano que cortase a nuestro puesto y hemos realizado un *Split* para obtener la superficie resultante, la cual posteriormente pasaremos a sólido para poder modelar el movimiento. También añadiremos un eje en el interior de la torreta que se utilizará para que se gire sobre esta los cañones dando el movimiento vertical requerido.

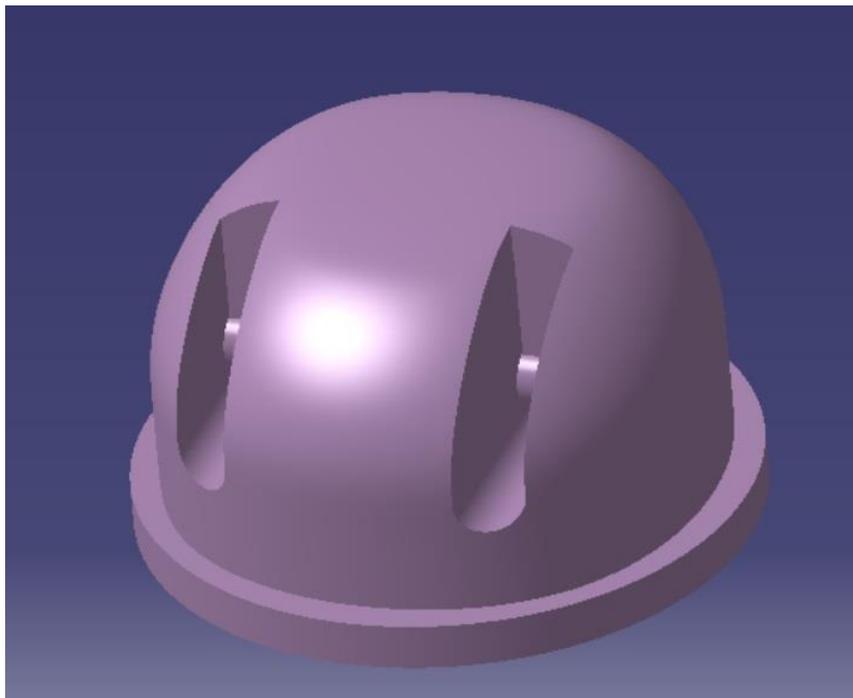


Figura 4-111. Modelo de los huecos de la torreta dorsal y sus ejes de giro

Para modelar el movimiento vertical, nuevamente introducimos un cilindro en el módulo, al cual irán unidos los cañones para poder efectuar el movimiento de giro sobre el eje anteriormente mencionado.

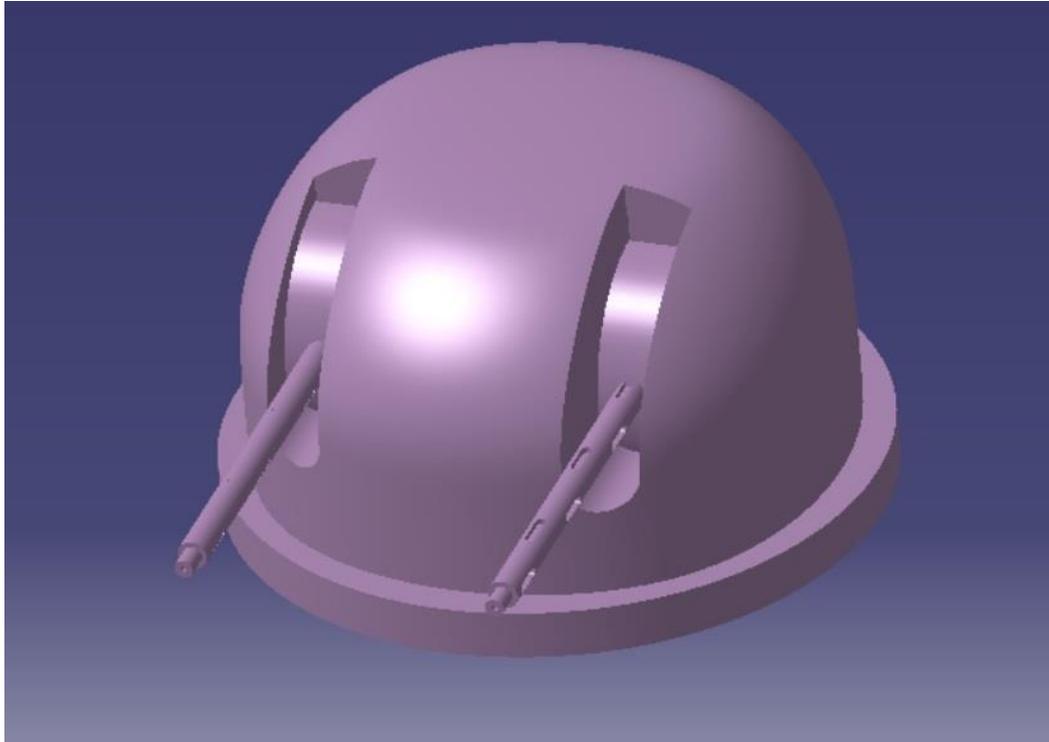


Figura 4-112. Modelo final de la torreta dorsal

Así, con las torretas incluidas, antes de aplicarle material y movimiento, quedaría como:

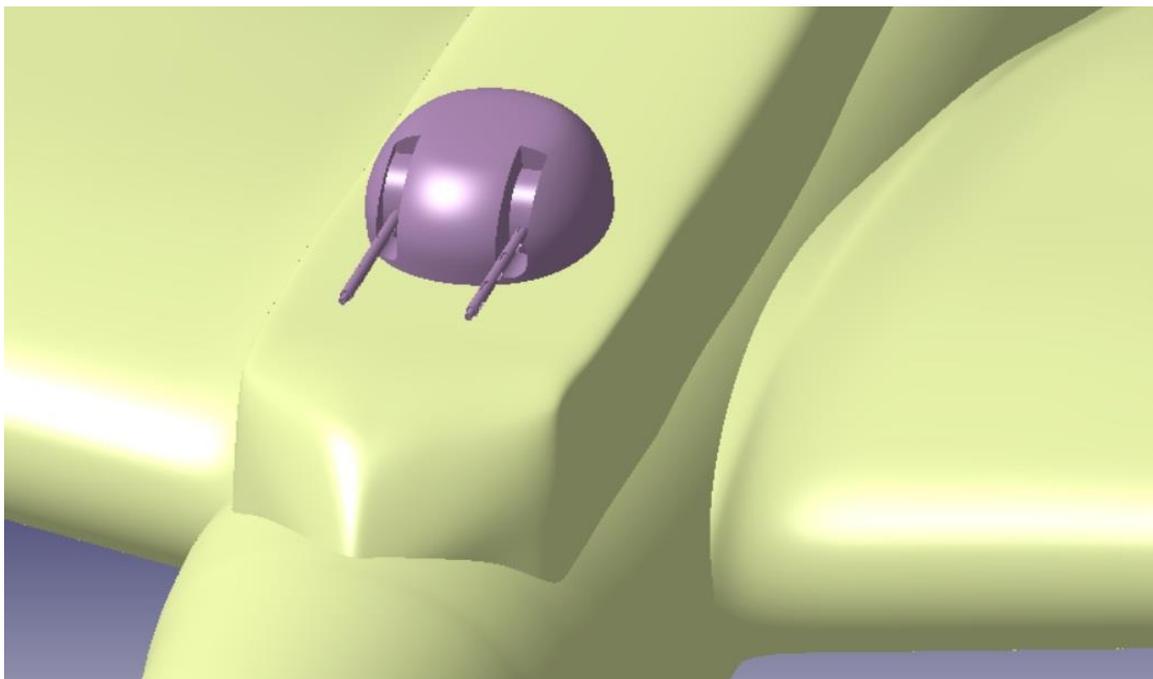


Figura 4-113. Vista general de la torreta dorsal en el fuselaje

4.5.4. Puesto de artillería ventral

Continuamos con el puesto ventral (o de barriga), como su nombre indica está situado en la barriga del fuselaje a la altura del borde de salida de nuestras alas, este puesto está colgando desde el interior del fuselaje y no desde las paredes del fuselaje más cercanas para darle mayor maniobrabilidad, de hecho, hubo problemas en la sujeción de esta torreta, tanto en pleno vuelo como a la hora del aterrizaje por no tener mucho margen de altura respecto del suelo. Para modelar este puesto, de nuevo, utilizaremos tanto las planos usados hasta ahora como imágenes reales del puesto.

Del plano en planta de la aeronave no podemos sacar información dado que no se ve esta torreta al estar debajo del fuselaje. Mostramos los otros dos planos y la localización de la torreta.

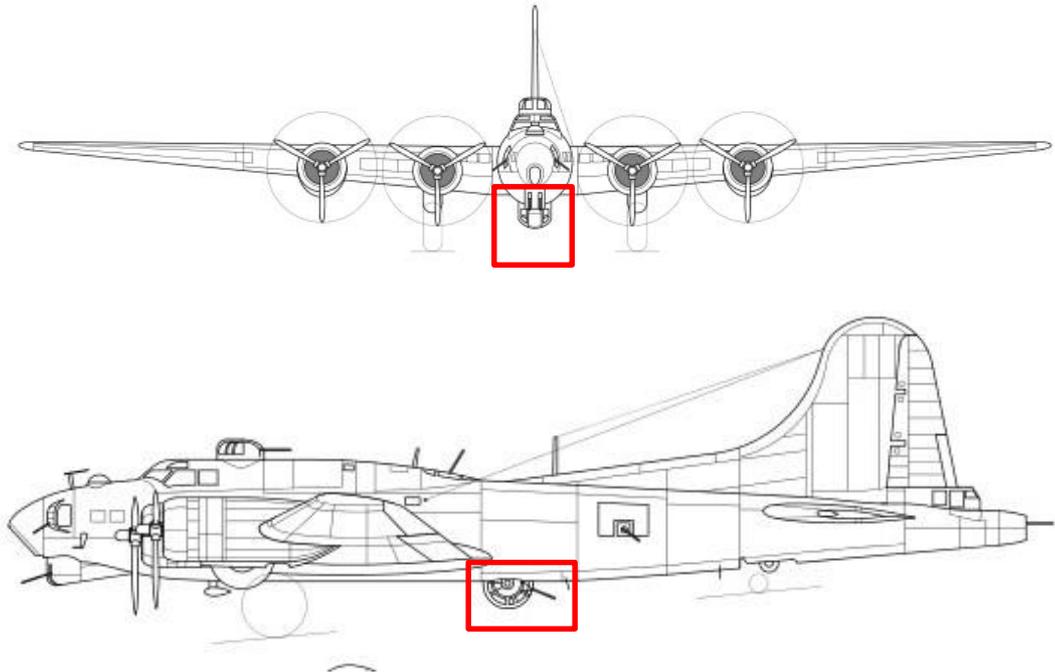


Figura 4-114. Localización del puesto de artillería ventral en los planos principales

Mostramos también imágenes reales del puesto de artillería ventral (o de barriga).



Figura 4-115. Imagen real del puesto de artillería ventral

Podemos ver como tiene una gran similitud con una esfera perfecta, aunque tiene paredes planas en los lugares de sujeción. Pasamos a modelarlo.

Empezamos en primer lugar en realizar una esfera casi perfecta en el lugar correspondiente y posteriormente mediante dos planos simétricos realizamos las paredes rectas mediante la herramienta *Split*.

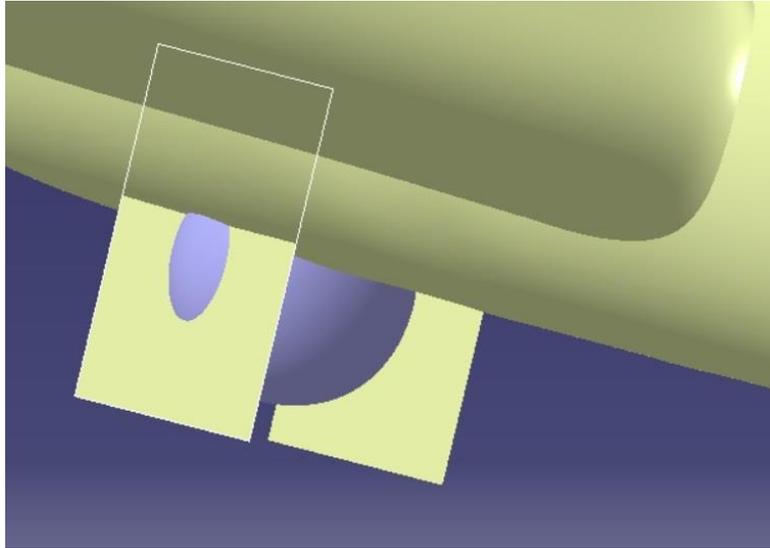


Figura 4-116. Corte para obtener paredes rectas en el puesto ventral

Realizamos también el eje de la torreta por el cual podrá efectuar el movimiento de giro sobre el eje perpendicular a z y poder apuntar los cañones hacia arriba o hacia abajo, realizamos también el hueco correspondiente en el fuselaje por el que sobresaldrá tendremos:

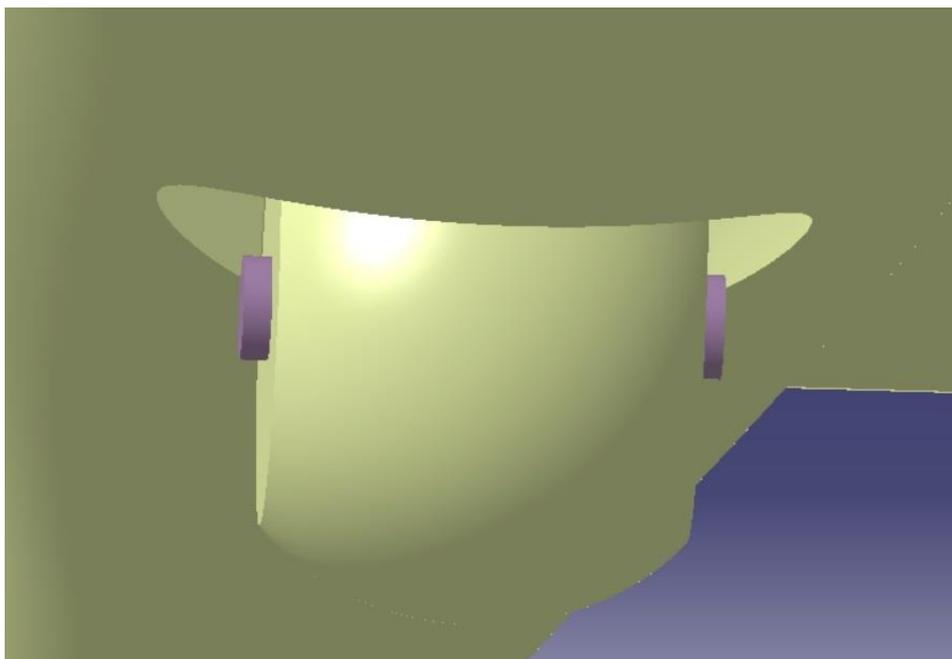


Figura 4-117. Eje de giro y hueco correspondientes en el puesto ventral

Y a continuación modelamos el mecanismo sobre el que colgará y se sujetará para realizar este movimiento de giro sobre el eje z.

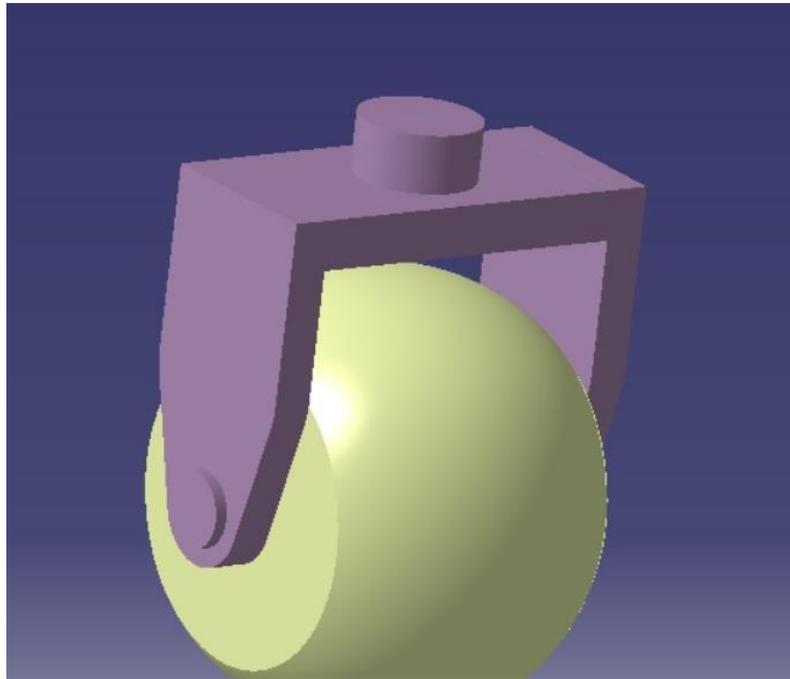


Figura 4-118. Mecanismo para el giro del eje z en el puesto ventral

Se implementa sobre esta unión un cilindro sobre el cual todo el mecanismo y la torreta girarán para darnos el movimiento de giro sobre el eje z, movimiento de apuntar hacia la derecha e izquierda.

Observando la realidad podemos ver unos salientes del puesto donde están colocadas las torretas.



Figura 4-119. Imagen real de los salientes del puesto ventral

Así modulamos estos salientes por *Imagine & Shape* quedando como se ve a continuación, con torretas incluidas.

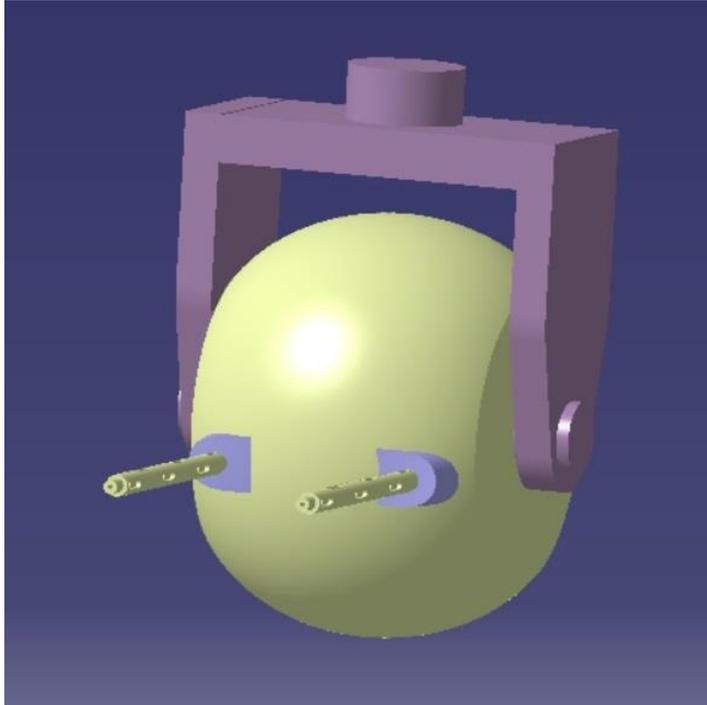


Figura 4-120. Modelo de los salientes del puesto ventral

Y viéndolo en conjunto con el fuselaje quedaría como:

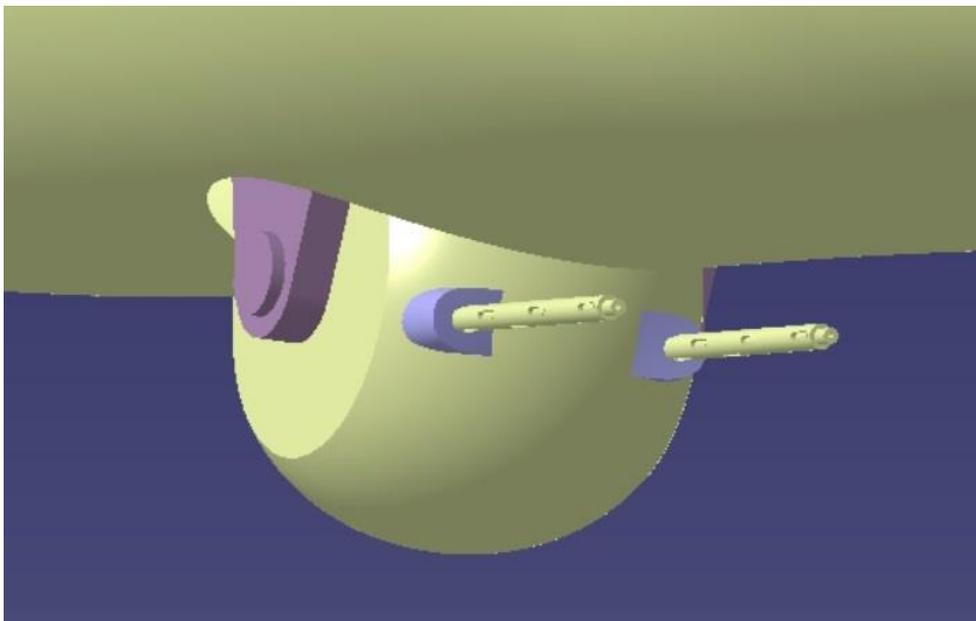


Figura 4-121. Imagen general del puesto de artillería ventral

Y así ya tendríamos completo este módulo en cuanto a modelado, posteriormente se le aplicará material y los movimientos correspondientes.

4.5.5. Puesto de artillería frontales

Son unos puestos los cuales no presentan movimientos y apuntan siempre donde apunta el avión.

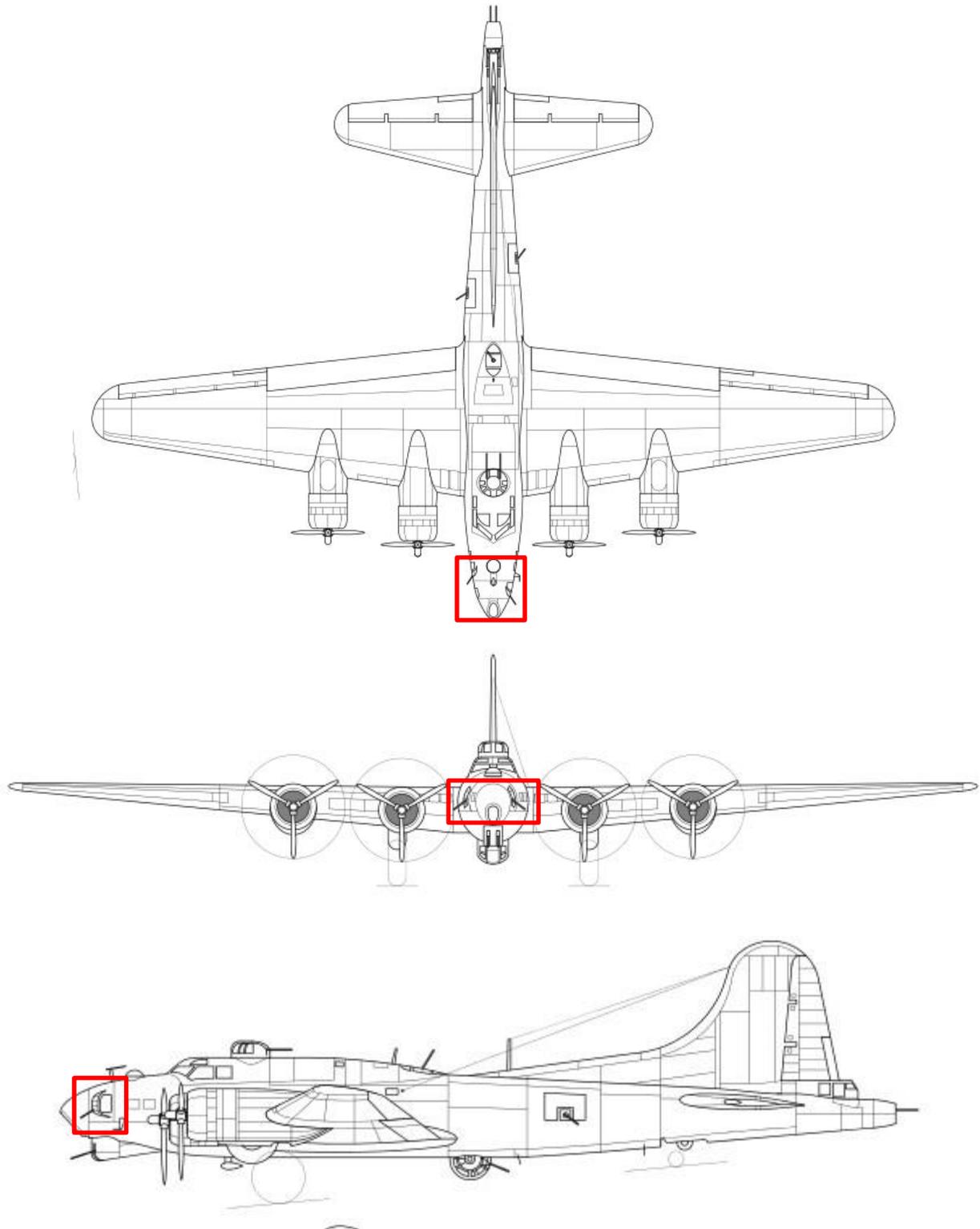


Figura 4-122. Localización del puesto de artillería frontal en los planos principales

Así observamos la realidad para la correcta representación de estos salientes.



Figura 4-123. Imagen real del puesto de artillería frontal

Modelamos estos salientes y colocamos las torretas en su lugar correspondiente.

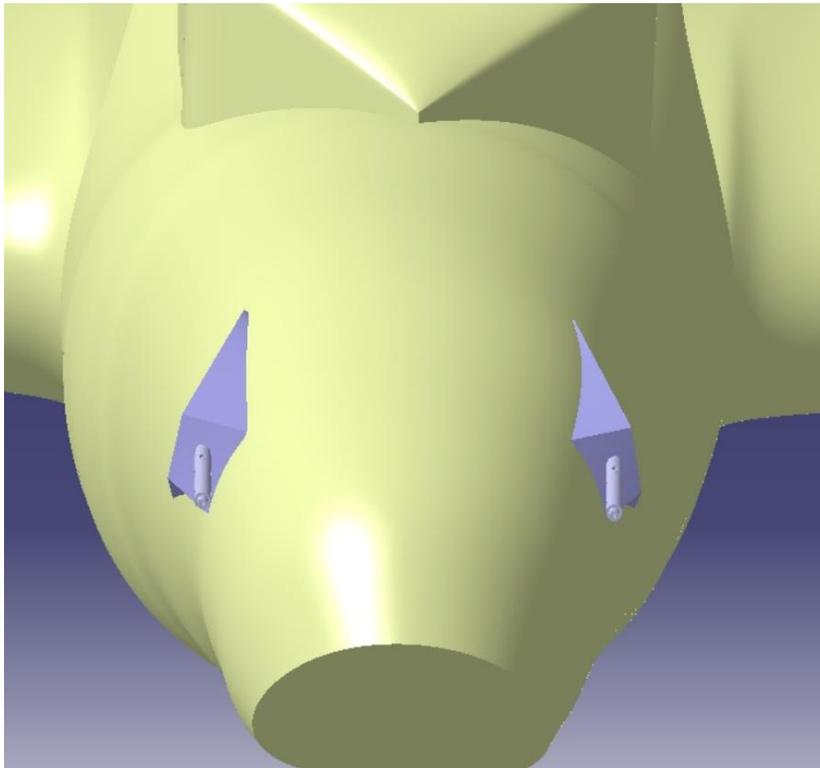


Figura 4-124. Modelo del puesto de artillería frontal

Y así quedaría completamente modelado, posteriormente se le aplicará el material.

4.5.6. Puestos de artillería laterales

Son unos puestos los cuales se encuentran en los laterales del fuselaje, entre el ala y los estabilizadores. Estos puestos tienen tanto movimiento de giro respecto del eje z, para dar un movimiento de apuntado hacia la derecha e izquierda y un movimiento de giro respecto del eje x para dar un movimiento de apuntado hacia arriba y hacia abajo, estas torretas son más parecidas a las torretas con trípode instaladas en la memoria popular.

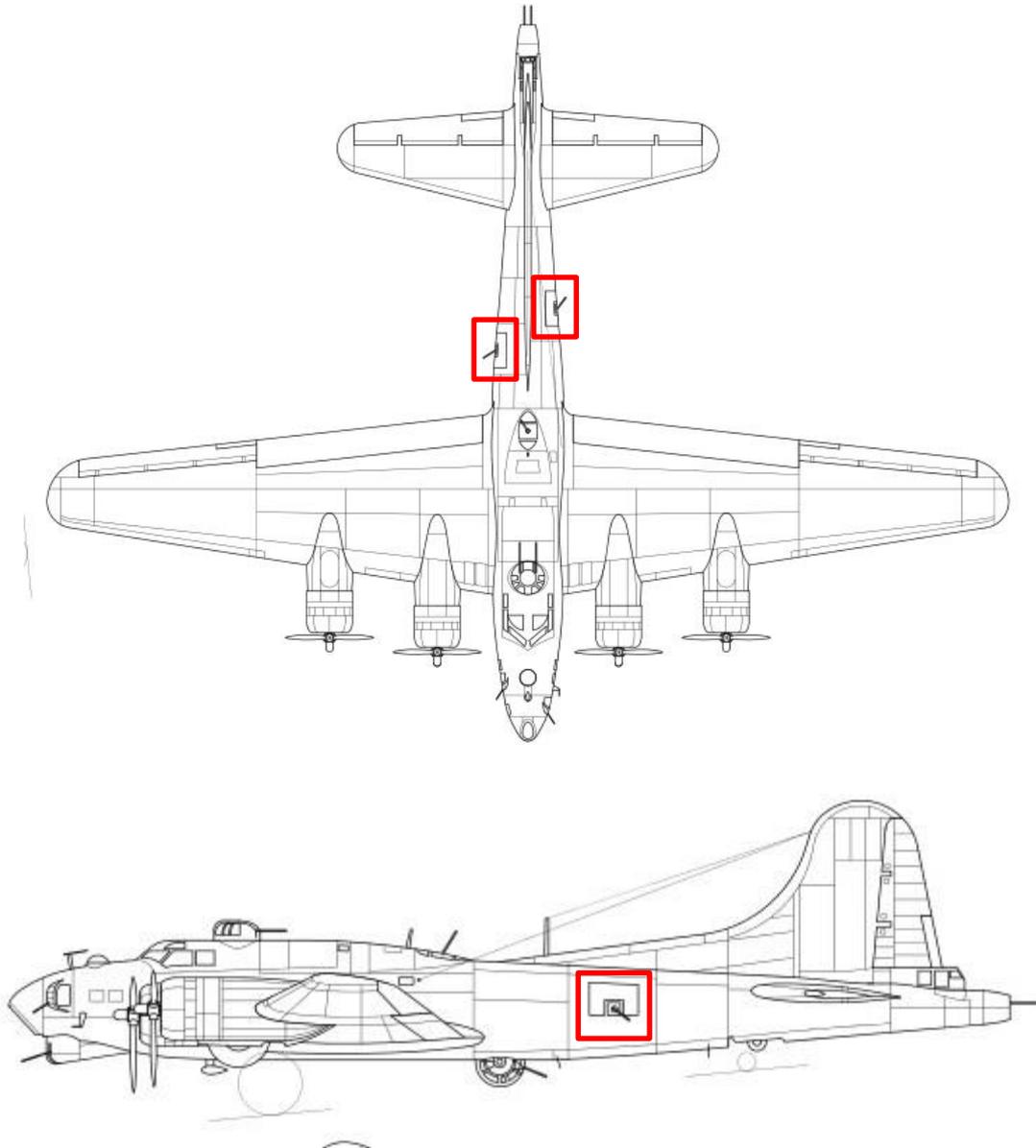


Figura 4-125. Localización de los puestos de artillería laterales en los planos principales

Así observamos la realidad para la correcta representación de estos salientes.



Figura 4-126. Imagen real del puesto de artillería lateral

Empezamos a modular el puesto lateral izquierda, comenzando por la torreta, para ello unimos nuestro cañón a elementos básicos formados por la herramienta *Extrude* tales como cilindros o cajas rectangulares, entre estos elementos nos podemos encontrar un soporte para que el operario de la torreta la pueda manejar manualmente y un cilindro en la parte inferior el cual será el eje de giro de la torreta. Mostramos a continuación el resultado.

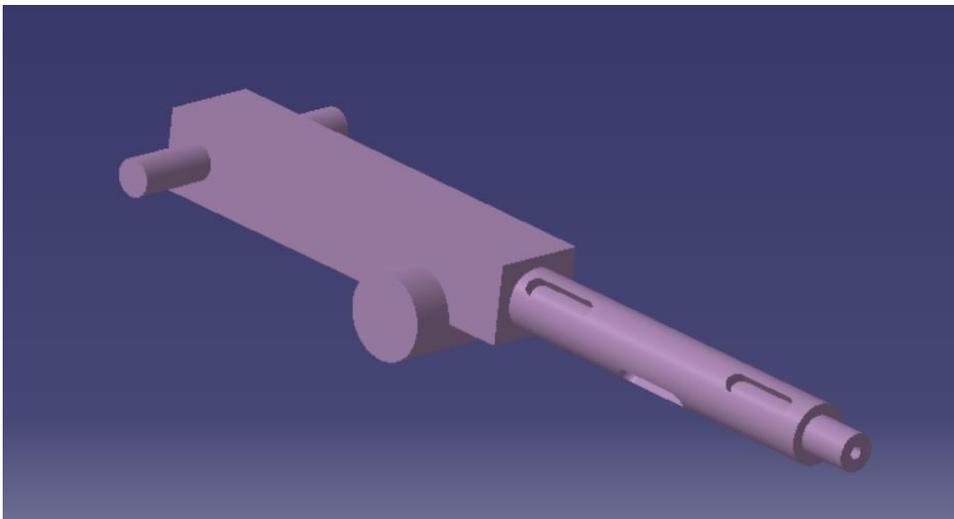


Figura 4-127. Modelo de la torreta lateral

Este cilindro en la parte inferior nos da el movimiento de apuntas hacia arriba o hacia abajo, en la siguientes pieza implementaremos el giro respecto del eje z, es decir, el que realiza el movimiento de apuntar hacia derecha o izquierda.

Para ello en primer lugar realizaremos un soporte sobre el cual pueda girar la parte de la torreta ya mostrada y a la vez en su parte inferior tendrá el eje de giro para rotar sobre el eje z todo el conjunto expuesto.

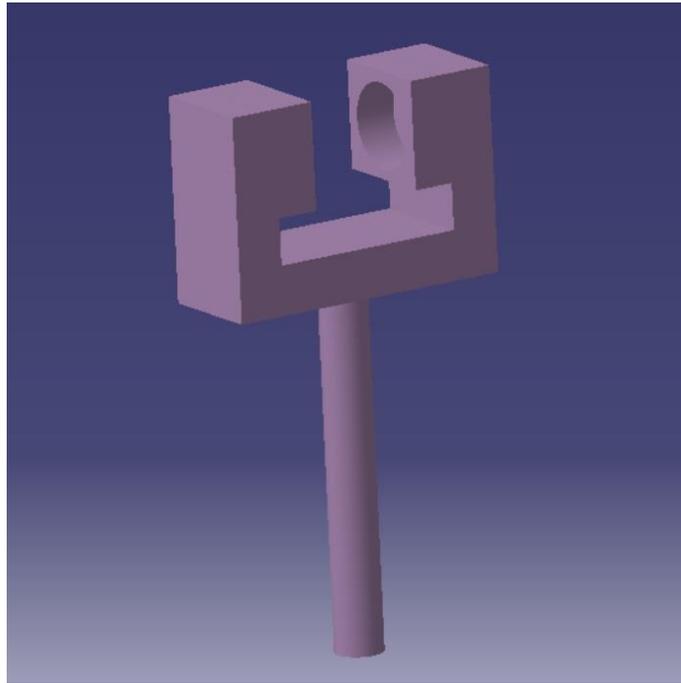


Figura 4-128. Modelo del soporte para girar respecto al eje z de la torreta lateral

Así, realizamos en otro *Part* distinto el eje fijo sobre el que realizará el giro sobre el eje z, mostramos todo en conjuntos, y con el hueco sobre el fuselaje correspondiente, el cual se ha hecho a través de las herramientas *Extrude* y *Split* tal y como se ha explicado anteriormente. De igual forma realizamos el mismo proceso para el puesto lateral derecho, quedando en conjunto como se muestra en la imagen siguiente.



Figura 4-129. Imagen general de los puestos de artillería lateral

Y así quedarían nuestras torretas laterales a expensas de darle el material y movimiento correspondientes.

4.5.7. Puesto dorsal trasero

Se trata de un puesto en el que va solo una torreta, este se encuentra en la espalda del fuselaje, al acabar la cabina. Esta torreta presentará tres grados de libertad, uno es el giro sobre el eje z, que le da opción para apuntar el cañón hacia izquierda y derecha, otro es el giro respecto el eje y, que le da opción para apuntar el cañón hacia arriba y abajo, y otro es el desplazamiento sobre el eje x, que le da la opción a desplazarse sobre el eje fijo a izquierda y derecha.

Mostramos donde estará situado el puesto respecto a nuestros planos como ya es habitual.

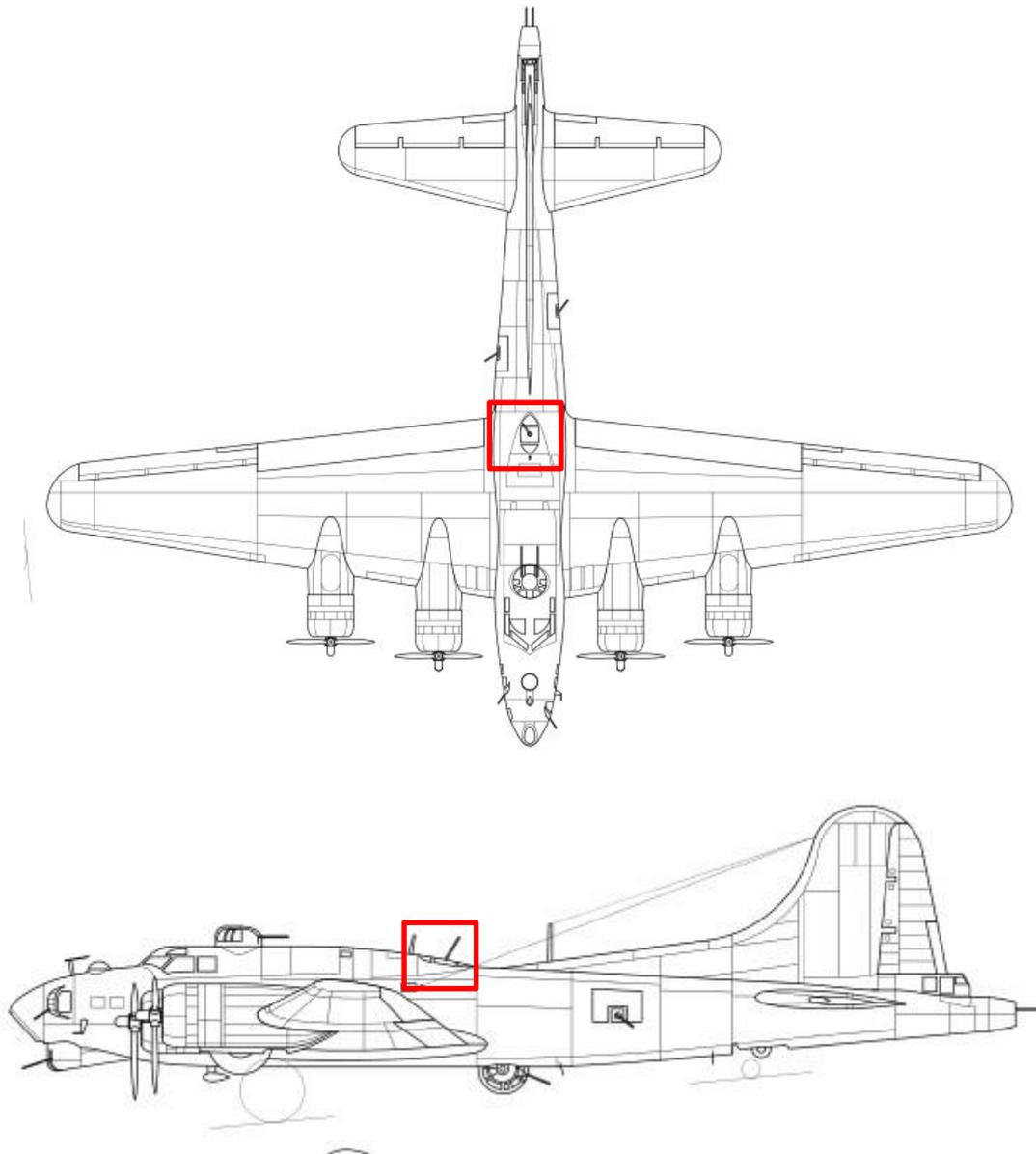


Figura 4-130. Localización del puesto de artillería dorsal trasero en los planos principales

El plano de alzado no nos dará información sobre este puesto dado que lo tapa la cabina de la aeronave.

Mostramos una foto de la realidad como ya es habitual para poder plasmar con la mayor precisión posible nuestro modelo.



Figura 4-131. Imagen real del puesto de artillería dorsal trasero

Empezamos a modelar este puesto, para ello aplicamos al cañón la caja y la sujeción para el operario como en los puestos manuales anteriores, posteriormente se el añade debajo de la torreta un cilindro vertical, el cual se usará para que gire la torreta sobre el eje z, es decir, darle al cañón el movimiento de apuntado hacia arriba y abajo.

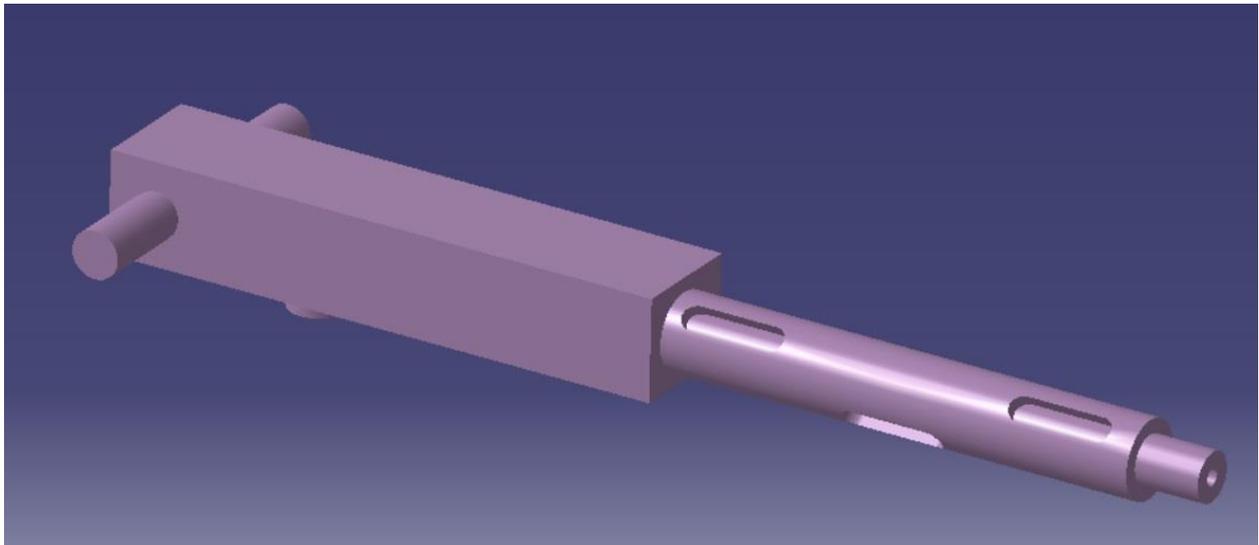


Figura 4-132. Modelo de la torreta del puesto de artillería dorsal trasero

Posteriormente se realiza la pieza que actuará como punto de apoyo para el giro sobre el eje perpendicular a z y a su vez hará que todo el conjunto mostrado gire sobre el eje y y también se desplace sobre el eje fijo en la dirección y.

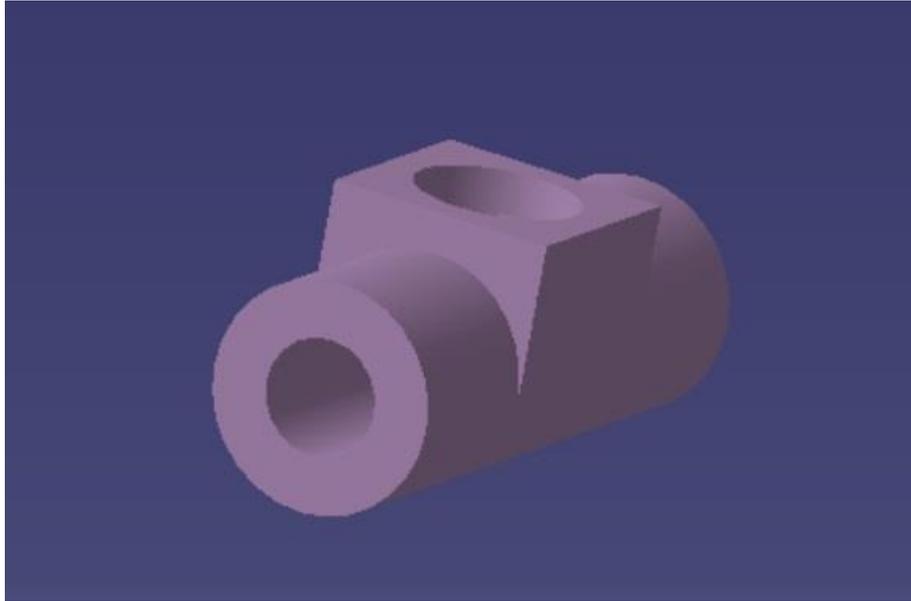


Figura 4-133. Modelo pieza para realizar los giros en la torreta dorsal trasera

A continuación mostramos todo el conjunto junto al fuselaje y al eje fijo unido a este.

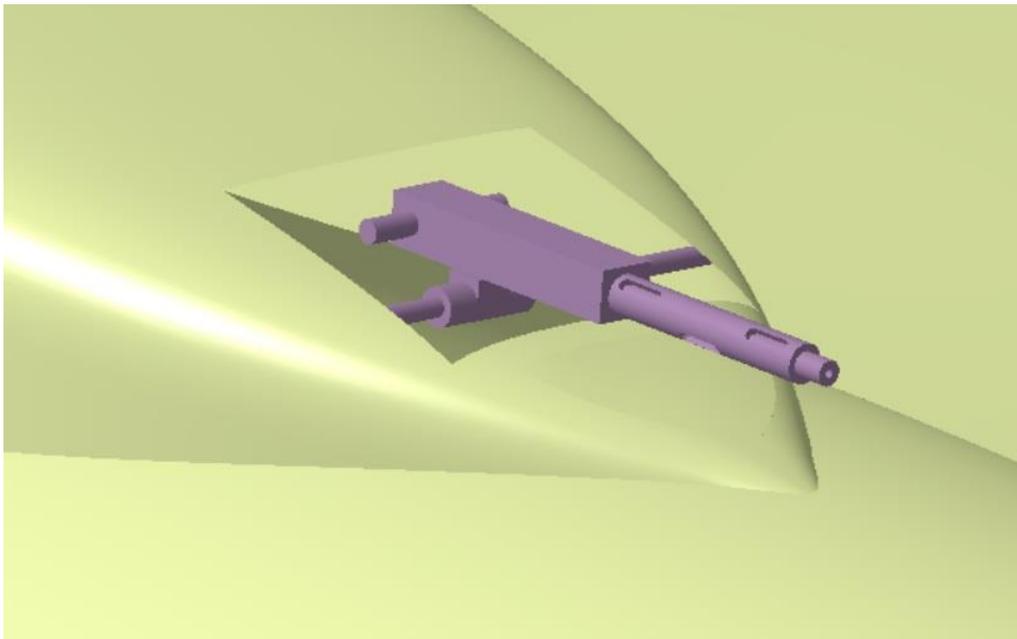


Figura 4-134. Imagen general del puesto de artillería dorsal trasera

Y con esta última torreta concluimos este apartando habiendo realizado un total de 13 ametralladoras en sus posiciones correspondientes.

4.8 Superficies de control y compuerta

En este apartado modularemos las superficies de control tales como timón de dirección, de profundidad, flaps y alerones y también la compuerta con sus respectivos ejes para producir sus movimientos posteriormente.

4.8.1. Timón de dirección

Comenzamos con el timón de dirección, hubicado en el estabilizador vertical, el cual presenta un movimiento de giro sobre el eje z y produce movimiento de guiñada en la aeronave.

Lo hubicamos en el plano como siempre.

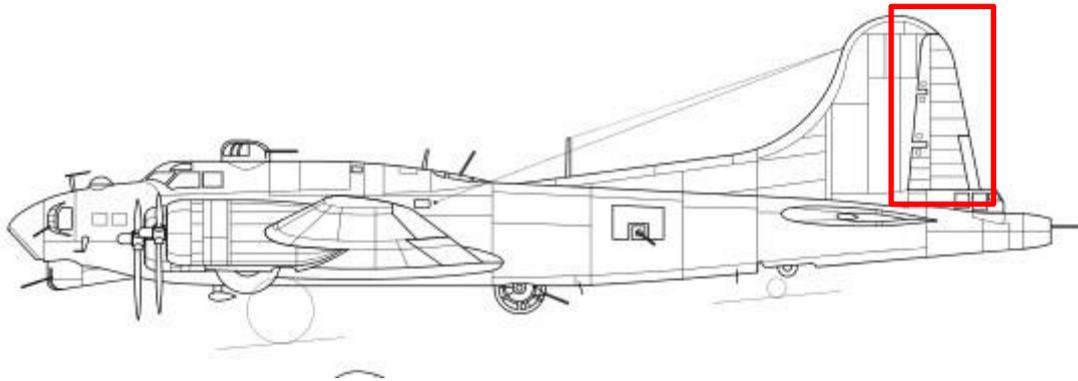


Figura 4-135. Localización del timón de dirección en el plano principal

Así en primer lugar realizamos un *Extrude* que corte al resto del avión en la parte de union a eliminar.

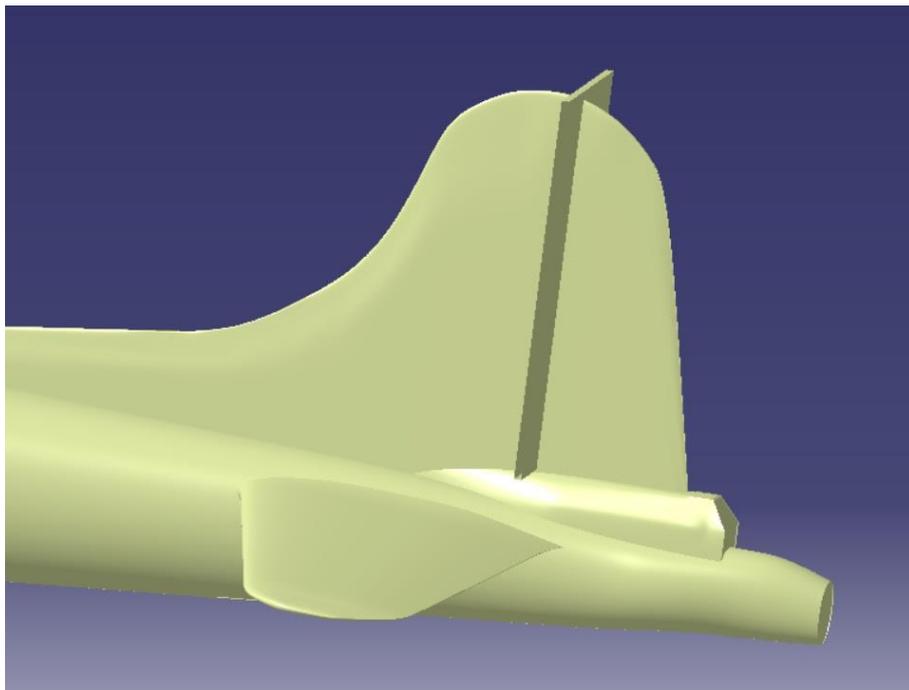


Figura 4-136. Superficie para cortar el estabilizador vertical

En la superficie del timón de dirección resultante aplicamos unos ejes, uno unido al timón y otro fijo respecto al resto del fuselaje para conseguir el movimiento de giro deseado.

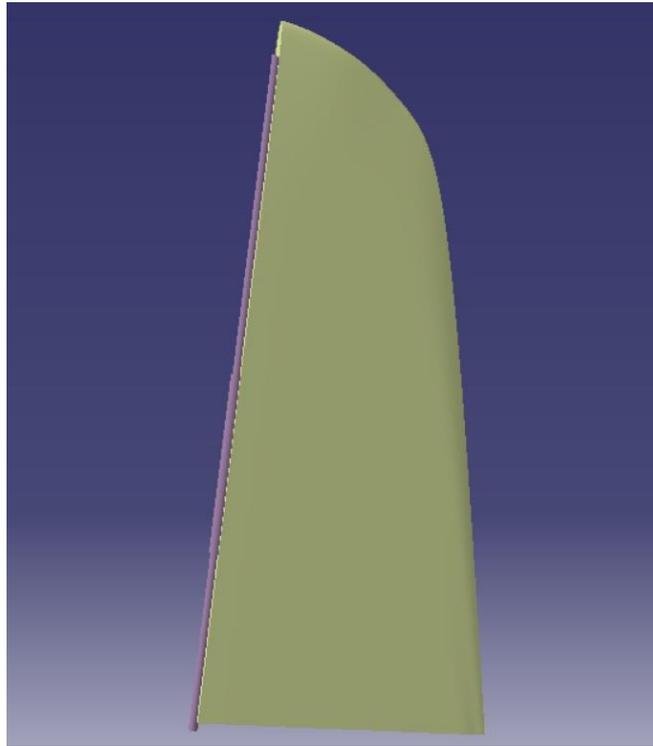


Figura 4-137. Modelo del timón de dirección

Y así, unido al fuselaje quedaría como se muestra a continuación a expensas de aplicarle el material.

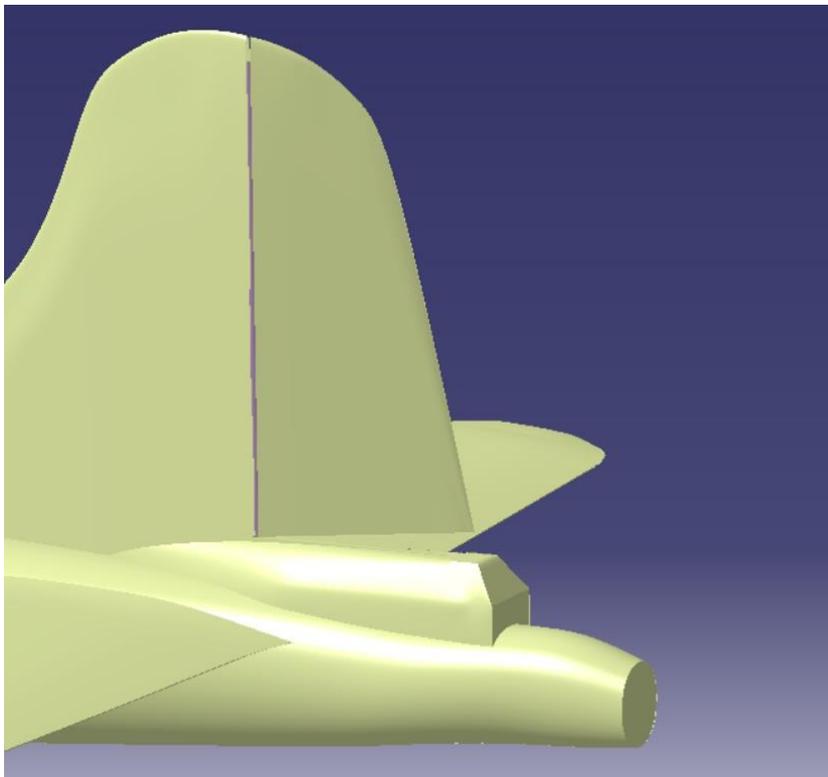


Figura 4-138. Imagen general del timón de dirección en el estabilizador vertical

4.8.2. Timón de profundidad

Continuamos con el timón de profundidad, ubicado en el estabilizador horizontal, se divide en dos partes y presentan un movimiento de giro sobre el eje y produciendo un movimiento de cabeceo en la aeronave. Lo ubicamos en el plano como siempre.

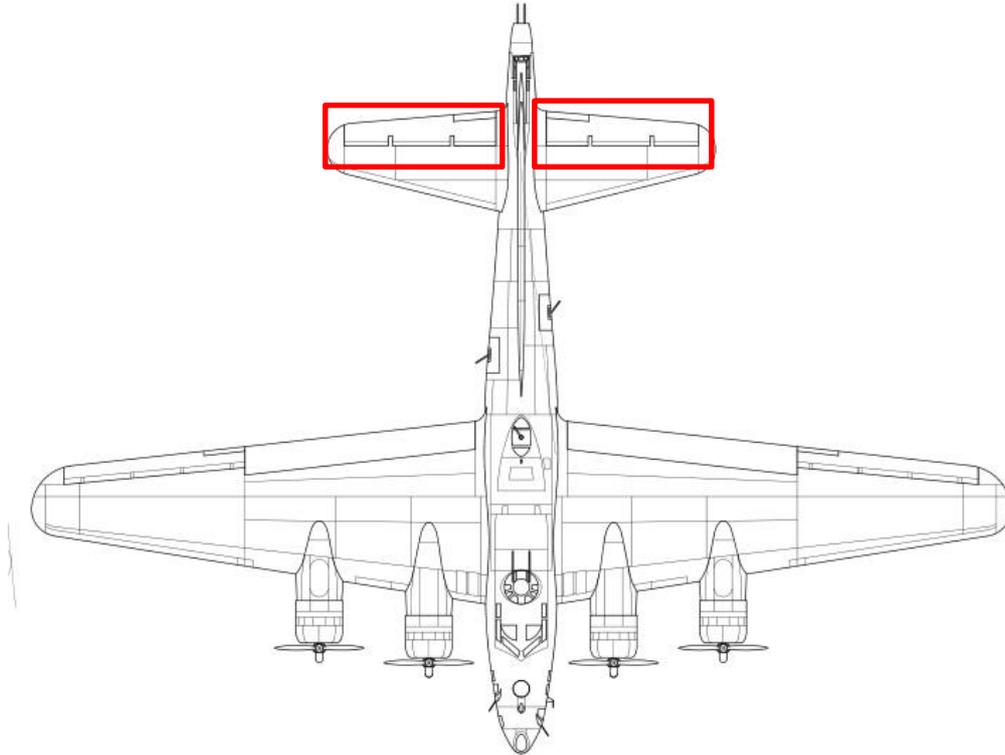


Figura 4-139. Localización del timón de profundidad en el plano principal

Así en primer lugar realizamos un *Extrude* para dejar un hueco que se ajuste correctamente a la geometría necesaria.

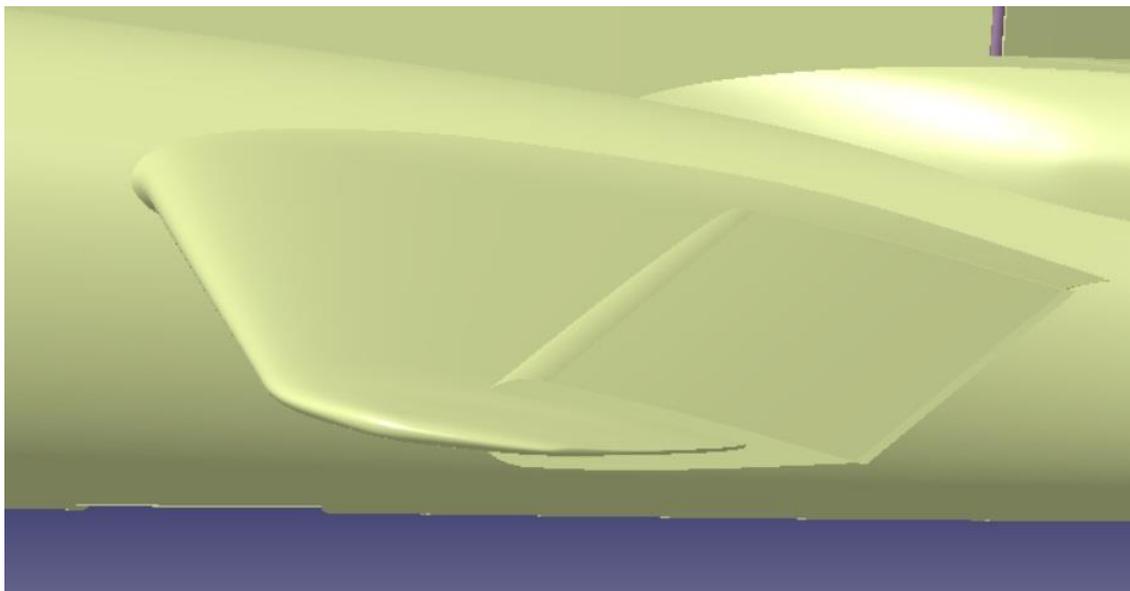


Figura 4-140. Superficie para cortar el estabilizador horizontal

Así vemos que queda un hueco con forma de superficie aerodinámica, donde colocaremos nuestro timón de profundidad, este será un poco más pequeño a la parte quitada para que pueda girar sin chocarse con el resto del estabilizador horizontal.

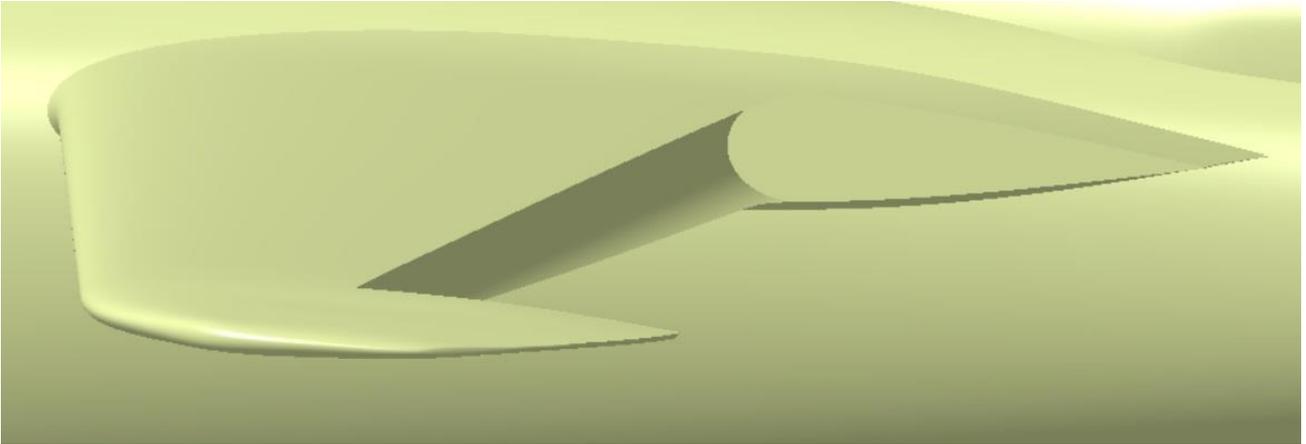


Figura 4-141. Corte realizado sobre el estabilizador horizontal

Así, creando unos *Sketch* en las paredes del hueco, algo menores a la parte eliminada y realizando un *Multi-Sections Volume* con los *Guides* acordes para que mantenga la forma aerodinámica y añadiéndole los ejes correspondientes sobre los que girará tenemos el timón de profundidad completo.

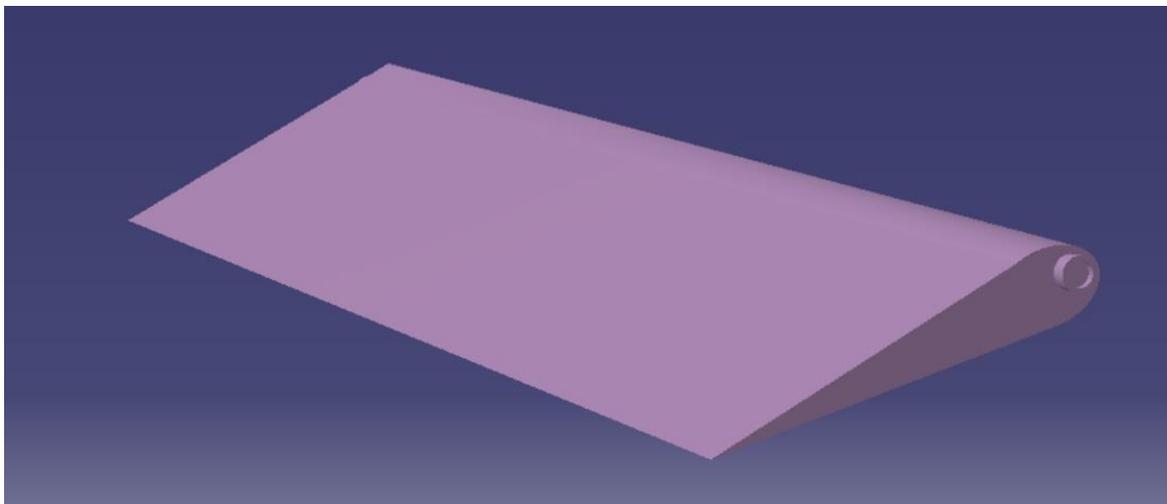


Figura 4-142. Modelo del timón de profundidad

Vemos como quedaría en el estabilizador horizontal.

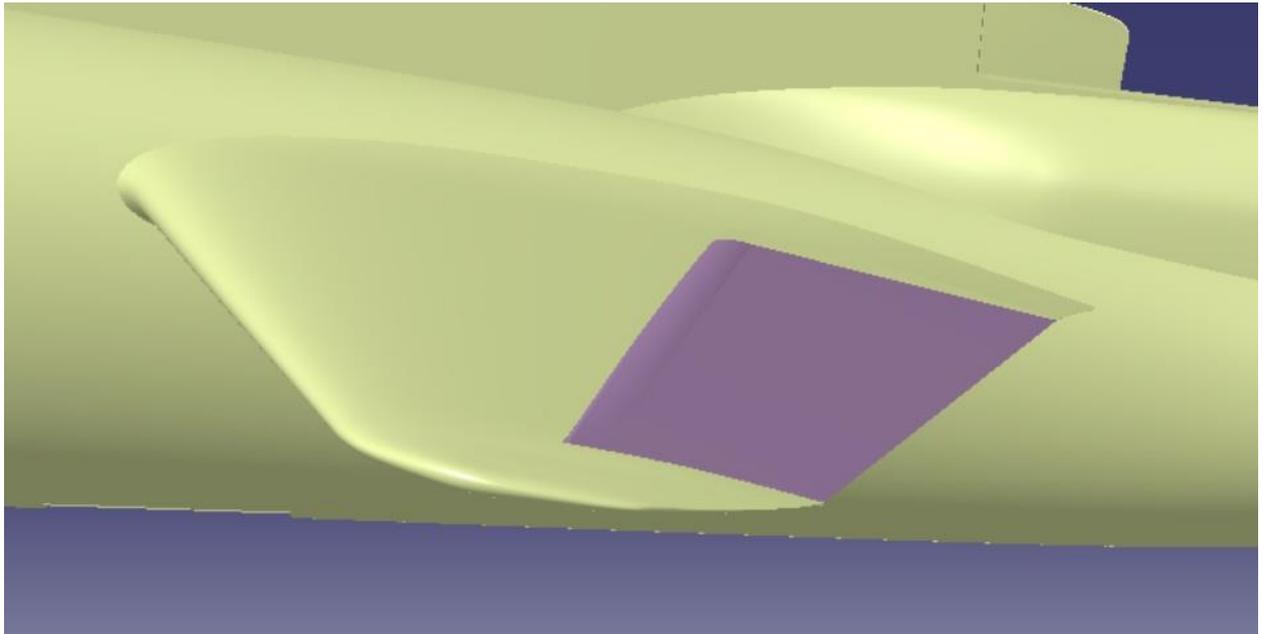


Figura 4-143. Timón de profundidad en el estabilizador horizontal

Aplicando la simetría correspondientes realizamos el otro timón de profundidad.

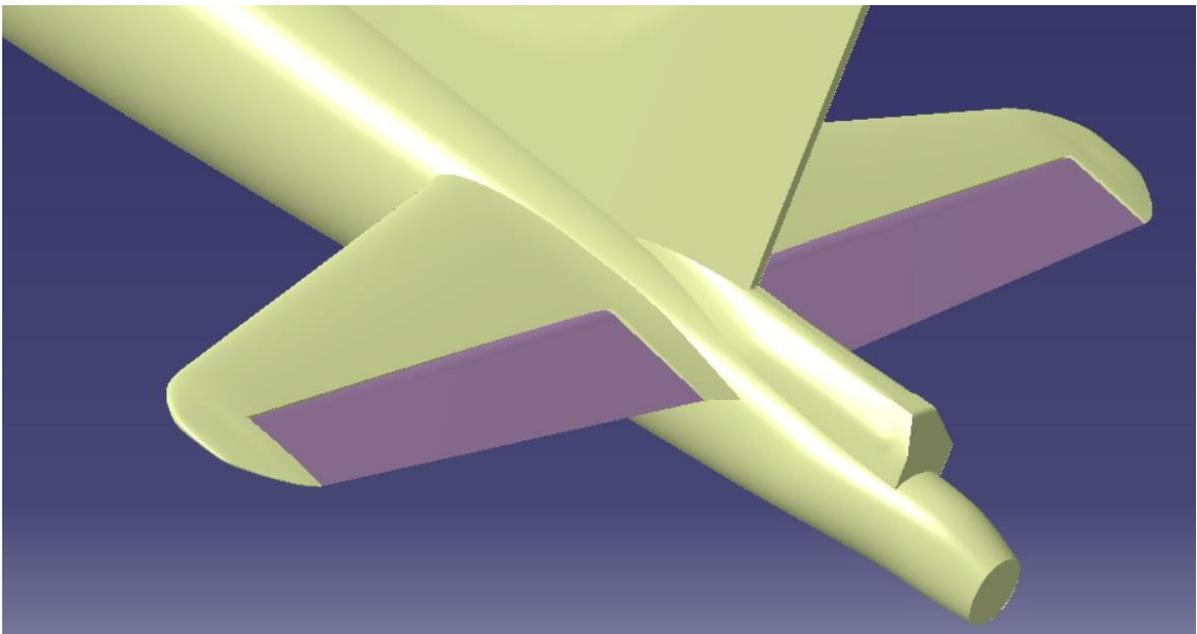


Figura 4-144. Imagen general timón de profundidad

Y así quedaría nuestro timón de profundidad a expensas de aplicarle materiales posteriormente.

4.8.3. Flaps

Continuamos con la modelización de los flaps de las alas, estos son del tipo flaps de intrados, por lo que solo estarán en el intrados del ala, presentarán un giro respecto del eje y que les permite desplegarse y retraerse, son usados para proporcionar mayor sustentación cuando están desplegados.

Aunque no se vean en el plano en planta por estar bajo el ala se señala la posición donde se encuentran.

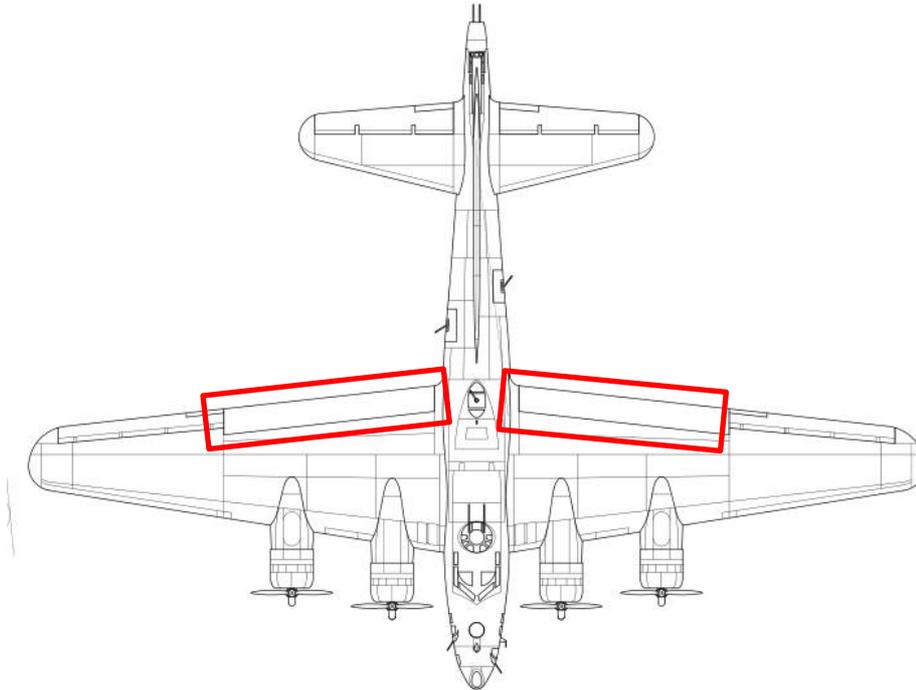


Figura 4-145. Localización de los flaps en el plano principal

Mostramos una foto de la realidad para modelizarla a partir de ella ya que en los planos solo podemos observar la longitud de estos.



Figura 4-146. Imagen real del flap

Así, realizando una serie de *Extrudes* y *Split* quitamos la parte correspondiente del ala y en su lugar implementamos el flaps mostrado a continuación.

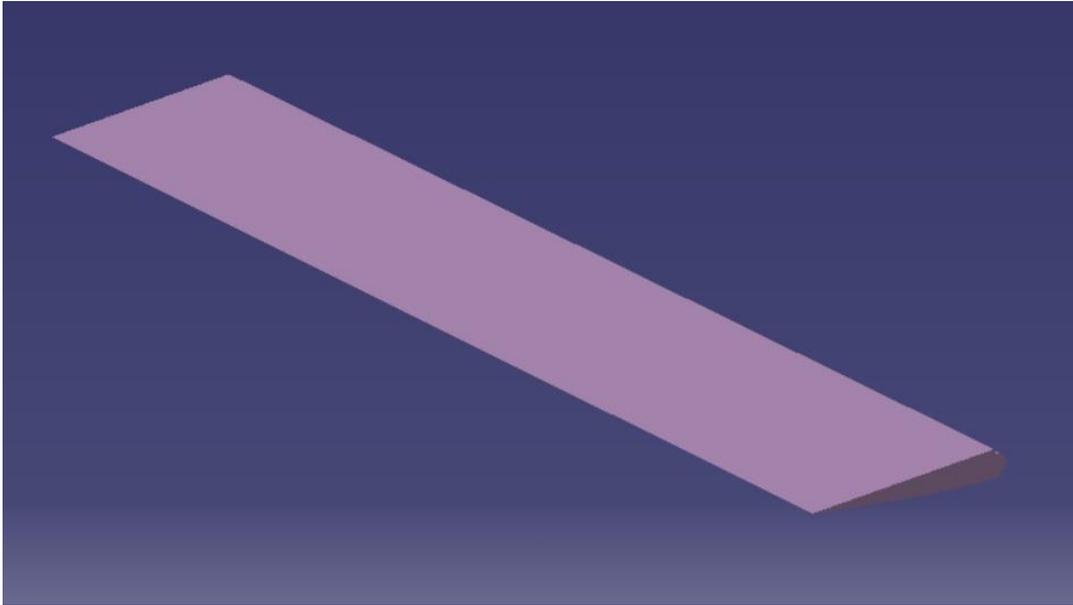


Figura 4-147. Modelo del flap

Este flap se ha realizado mediante un *Multi-Sections Volume* utilizando unas *Guides* determinadas para que se ajuste a la forma aerodinámica del ala. También se han implementando en el flap unos cilindros que actuarán como ejes de giro.

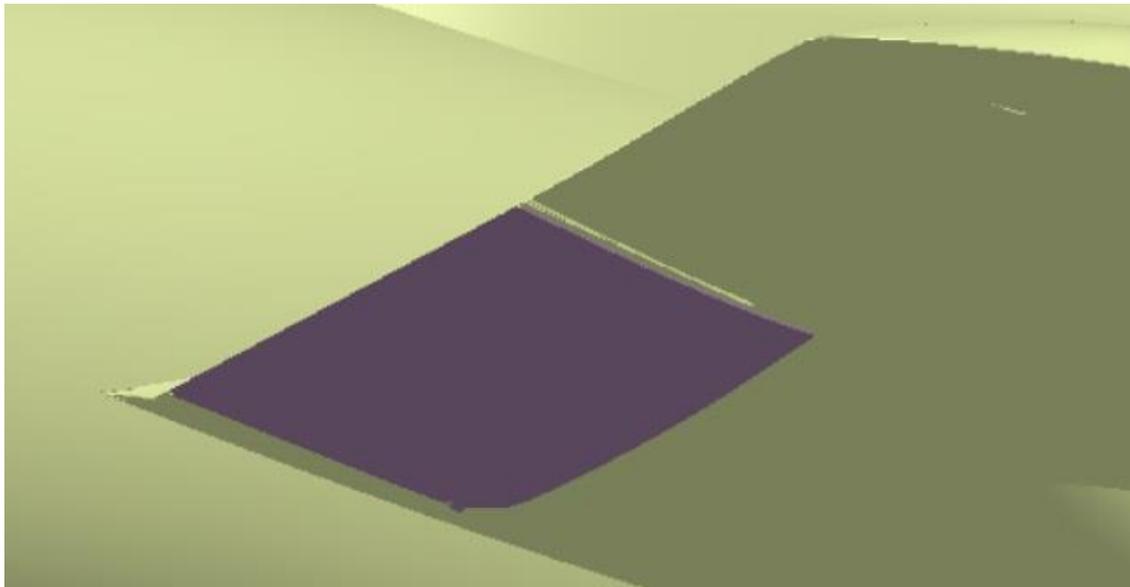


Figura 4-148. Imagen general del flap debajo del ala

Aplicamos la simetría correspondiente para realizarlo en la otra ala, y así quedaría definido el flap a expensas de aplicarle el material correspondiente.

4.8.4. Alerones

Continuamos con la modelización de los alerones de las alas, presentarán un giro respecto del eje y cuyo giro en sentido contrario cada uno permite un movimiento de alabeo a la aeronave según cual esté desplegado hacia arriba o hacia abajo.

Se señala la posición donde se encuentran.

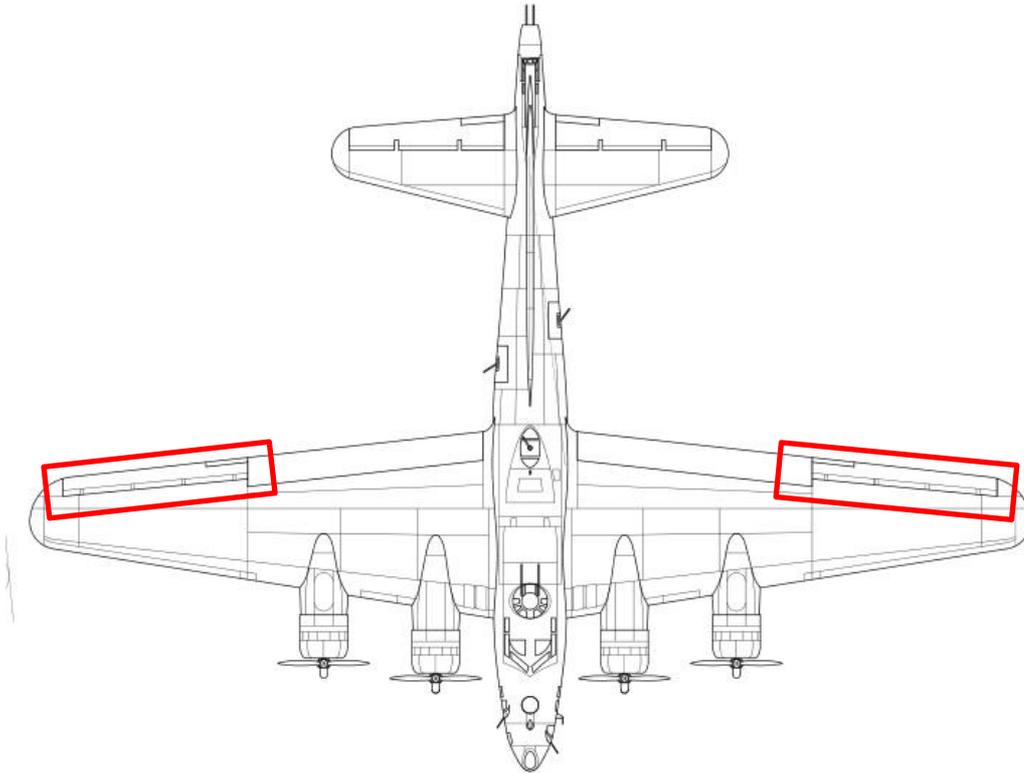


Figura 4-149. Localización de los alerones en el plano principal

Así realizamos un *Extrude* para poder realizar un *Split* y eliminar la parte del ala donde irá situado el alerón.

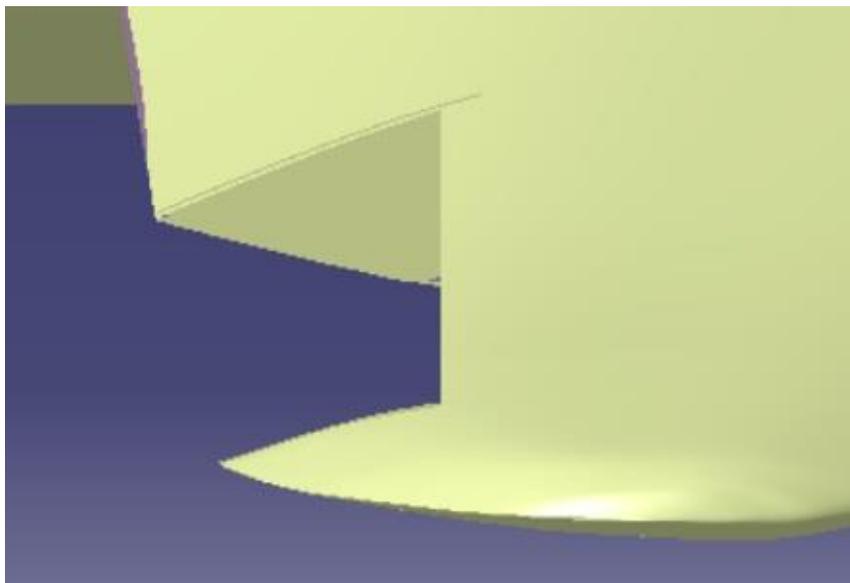


Figura 4-150. Corte realizado sobre el ala para el alerón

Así, como en el caso del timón de profundidad en las paredes resultantes del hueco anterior realizamos *Skecth* donde dibujaremos el perfil un alerón algo más pequeño que la parte quitada para que pueda girar sin problemas. Así realizamos un *Multi-Sections Volume* con sus *Guides* correspondientes para que se ajuste a la forma aerodinámica propia de un alerón.

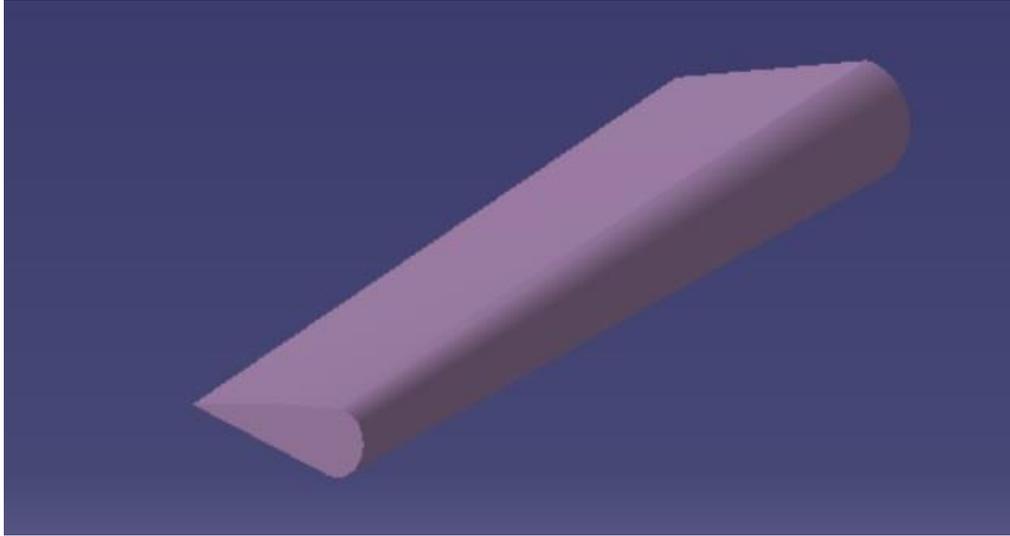


Figura 4-151. Modelo del alerón

Y así vemos como quedaría junto al resto del ala.

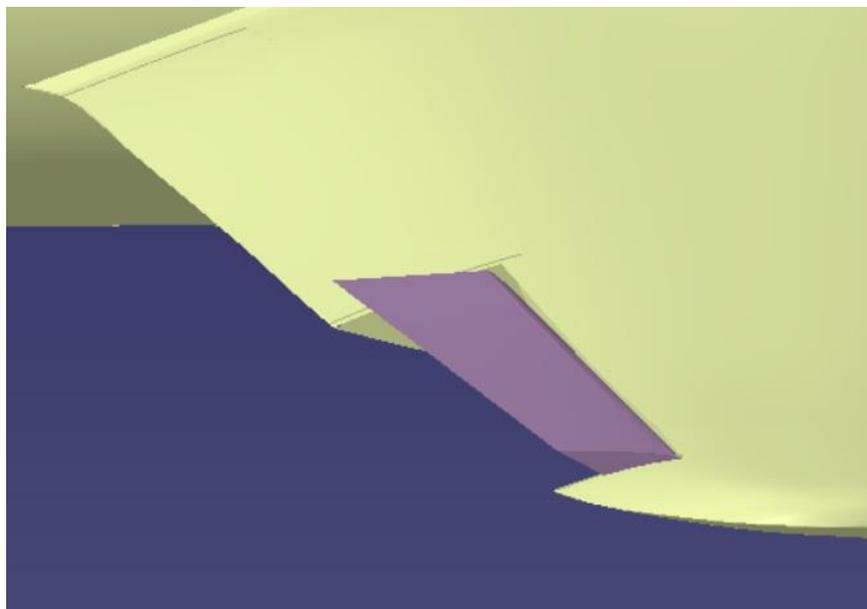


Figura 4-152. Imagen general del alerón en el ala

Aplicamos la simetría en el lugar correspondiente para obtener el alerón del otro semiala.

4.8.5. Compuerta

Continuamos con la modelización de la compuerta del bombardero por la cual se lanzarían las bombas, son dos compuertas que se abren girando sobre el eje x.

Aunque no se ve en los planos por estar debajo del fuselaje se muestra su localización.

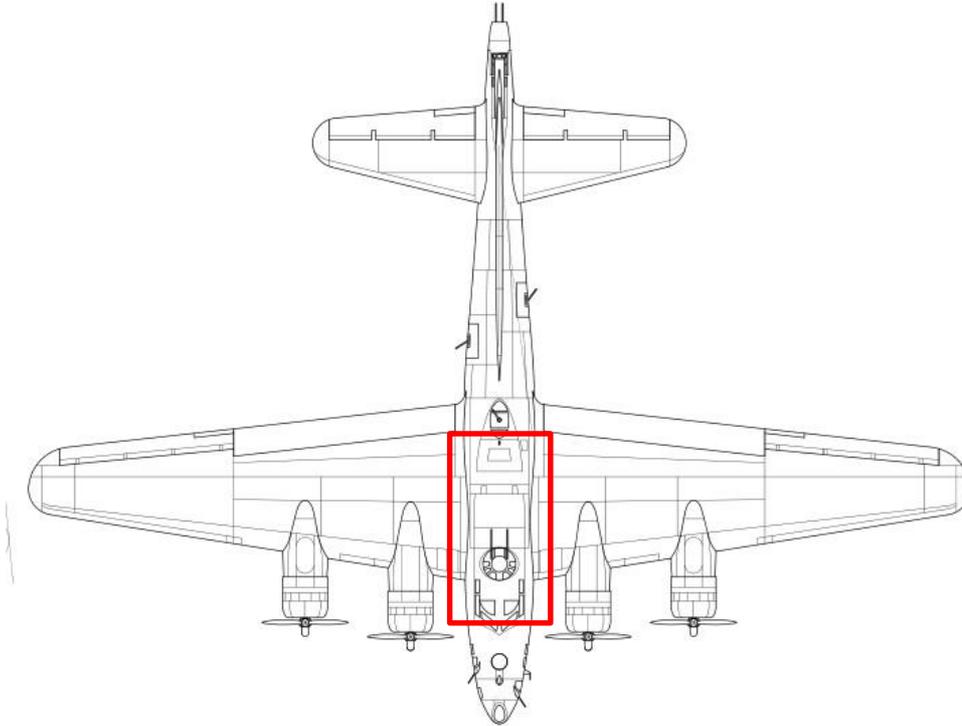


Figura 4-153. Localización de la compuerta en el plano principal

Así realizamos un *Extrude* para cortar la parte del fuselaje correspondiente.

Realizamos las compuertas con *Multi-Section Volume* de tal forma que al ser cerradas se ajuste al resto del fuselaje, también le implementamos cilindros para obtener el giro deseado para abrir y cerrar las compuertas.

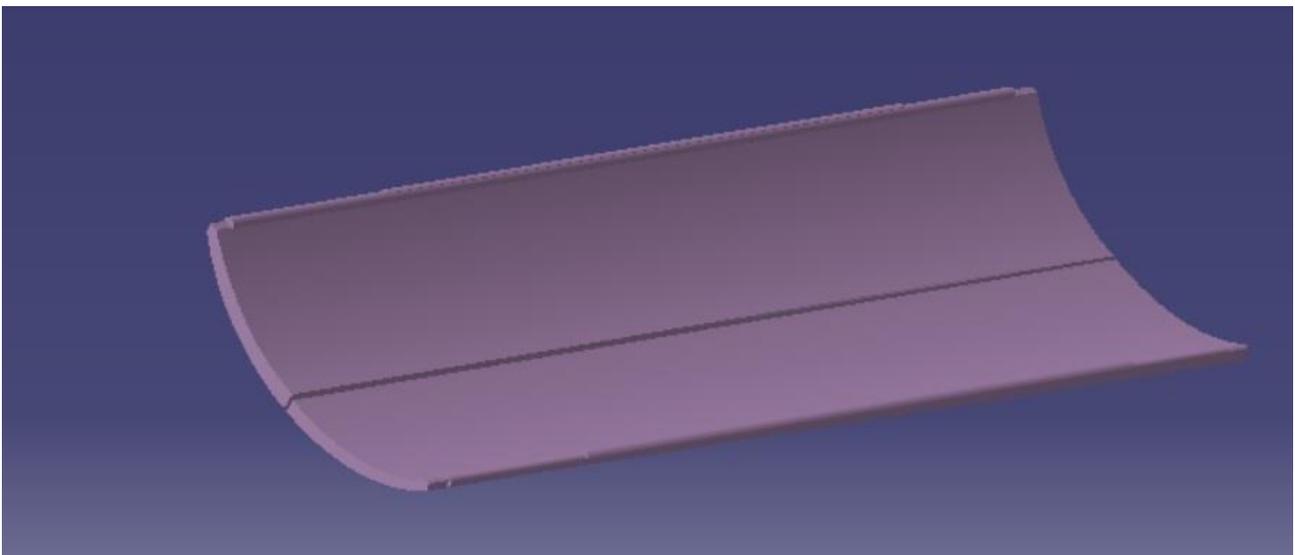


Figura 4-154. Modelo de la compuerta del bombardero

Y junto al fuselaje y con las compuertas abiertas quedaría como se muestra a continuación.

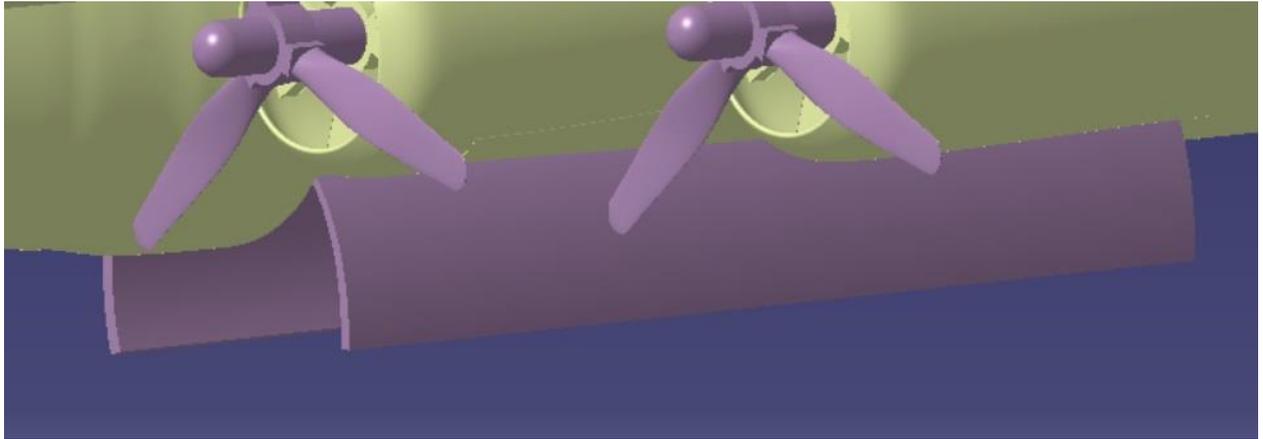


Figura 4-155. Imagen general de la compuerta en el fuselaje

Solo quedaría darle el material y el movimiento para terminarlas.

4.9 Detalles

En este apartado pondremos los detalles implementados en nuestro modelo.

En primer lugar modelaremos los cristales que presenta nuestra aeronave, estos cristales los obtendremos de aplicar *Extrudes* a planos que cortan en las partes requeridas, y tras la aplicación de un *Split* conseguiremos la superficie cortada, le hemos añadido el material *Plexiglass* para que se pueda observar mejor las superficies que son cristales y también poder ver el interior de la aeronave a través de estas ventanas.

Empezamos por la parte delantera.

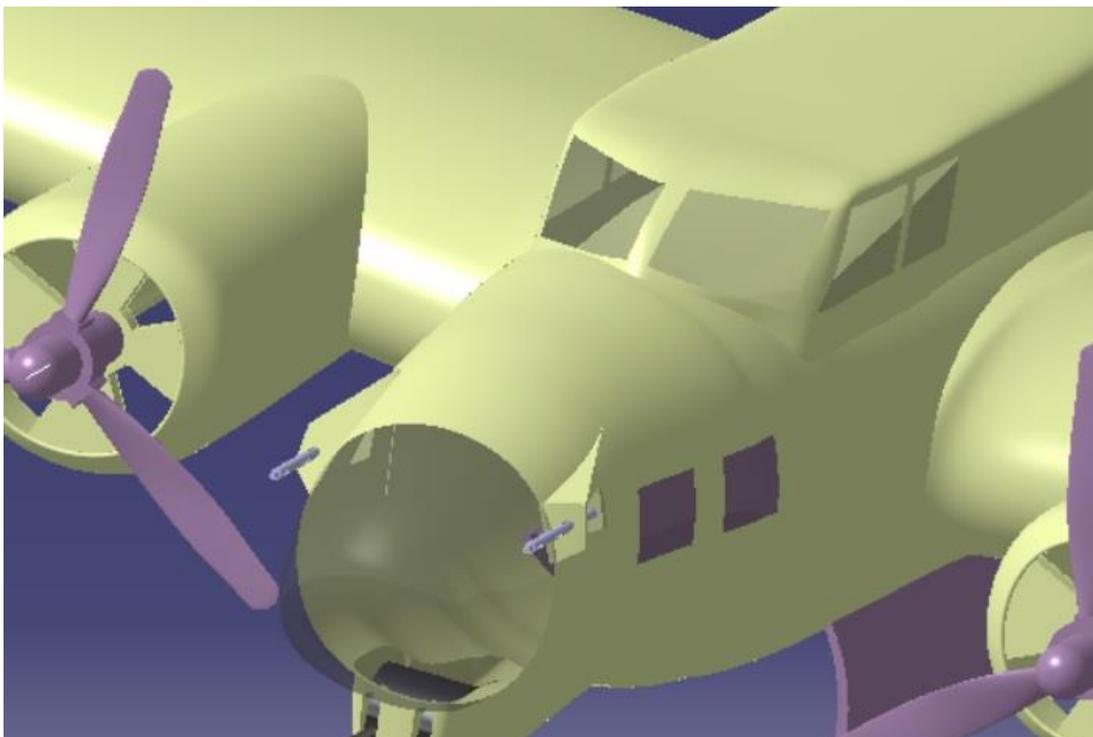


Figura 4-156. Cristales en la parte delantera del fuselaje

Donde podemos ver cristales típicos en la cabina para la tripulación de vuelo, así como cristales en el morro del avión para que los operarios de las torretas puedan ver satisfactoriamente el exterior, este es el caso de los operarios de la torreta de proa y las dos delanteras fijas.

Seguimos con la parte central del fuselaje.

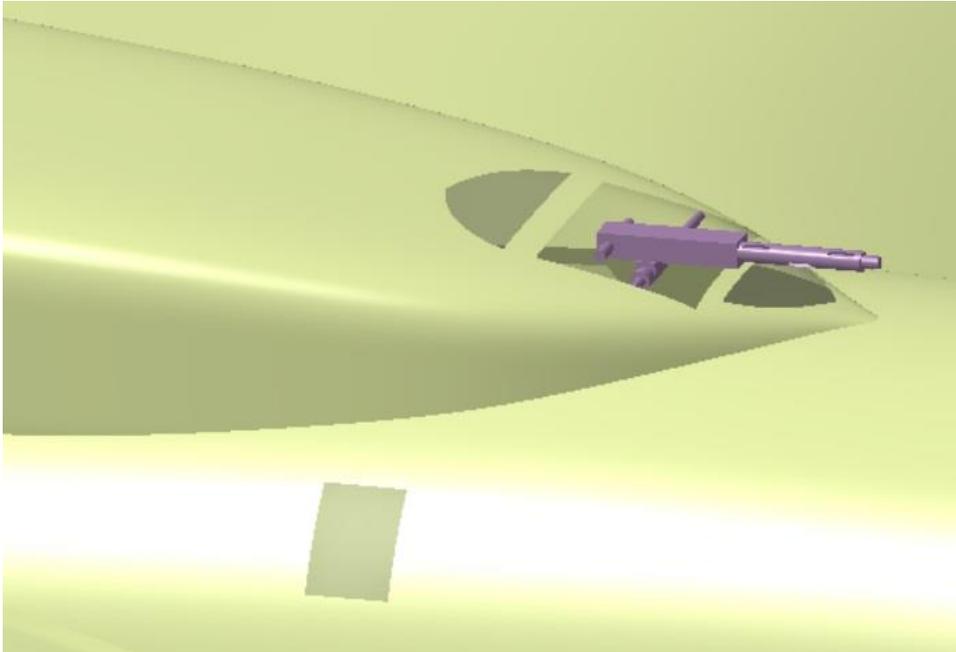


Figura 4-157. Cristales en la parte dorsal del fuselaje

Donde podemos ver los cristales de la zona central del fuselaje, tanto laterales como frontales para que el operario de la torreta de espalda trasera pueda observar el exterior satisfactoriamente.

Por ultimo implementamos los cristales del puesto de cola.

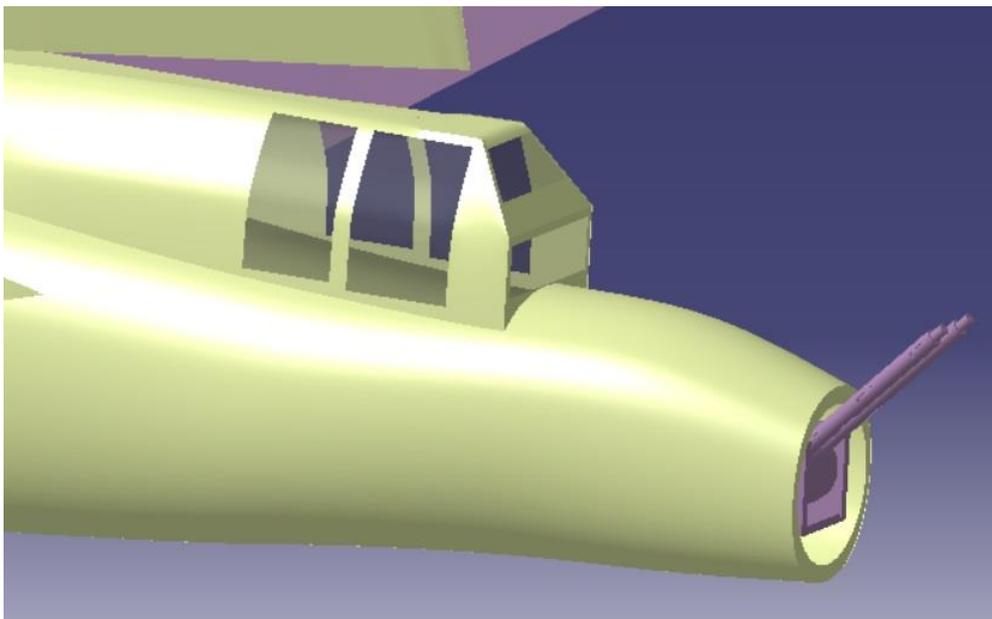


Figura 4-158. Cristales en la parte trasera del fuselaje

Estos cristales actuarán como puerta de observación al exterior por parte del operario de torreta de cola.

Continuamos modulando la pequeña cúpula de cristal situada en la parte delantera del avión, se muestra en los planos su situación exacta.

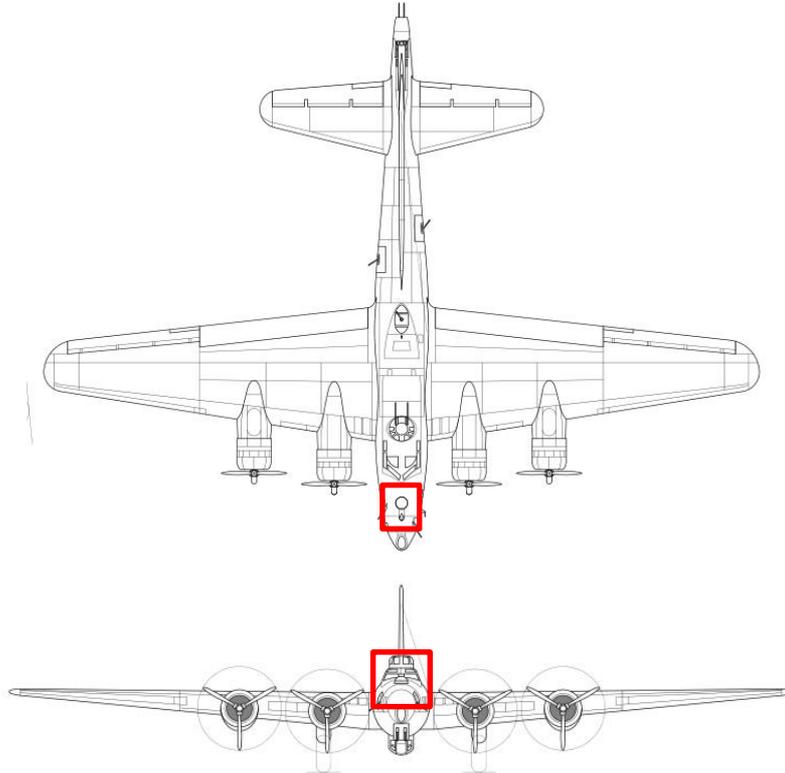


Figura 4-159. Localización cúpula de cristal

Y mostramos una imagen real de la cúpula.



Figura 4-160. Imagen real de la cúpula de cristal

Lo modulamos mediante la herramienta *Imagine & Shape* mediante una esfera para el cristal y un toroide para la parte que lo rodea.

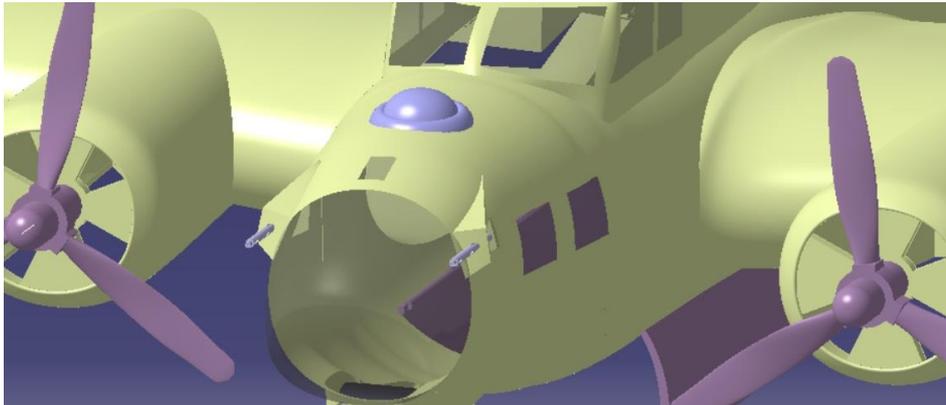


Figura 4-161. Modelo de la cúpula de cristal

Modulamos también el sensor situado delante de esta cúpula.

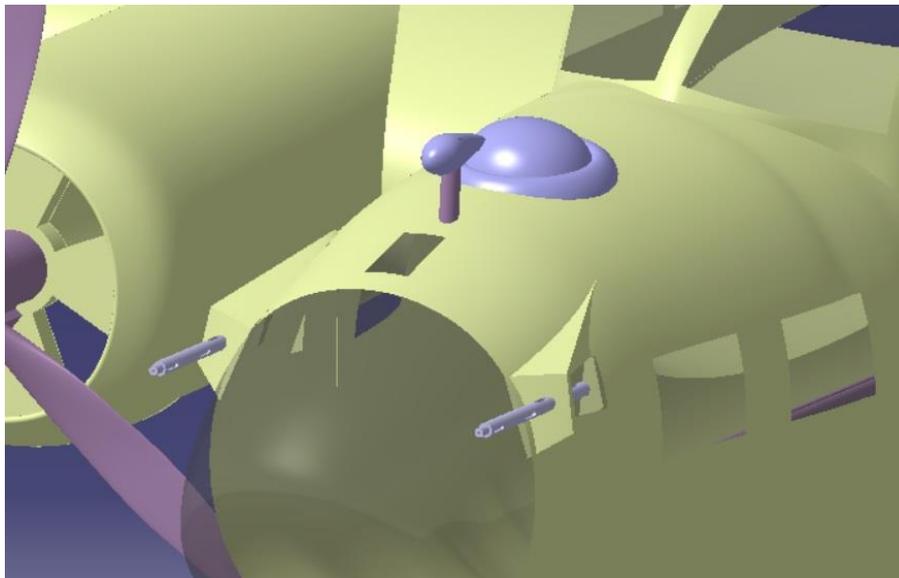


Figura 4-162. Modelo del sensor superior

A continuación modelamos el sensor situado debajo de la cabina.

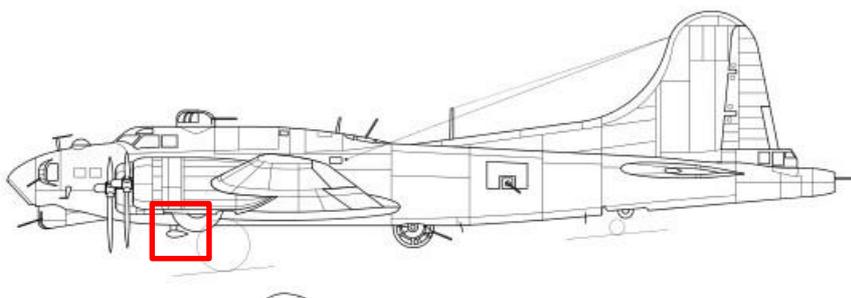


Figura 4-163. Localización del sensor inferior

Quedando como se muestra a continuación.

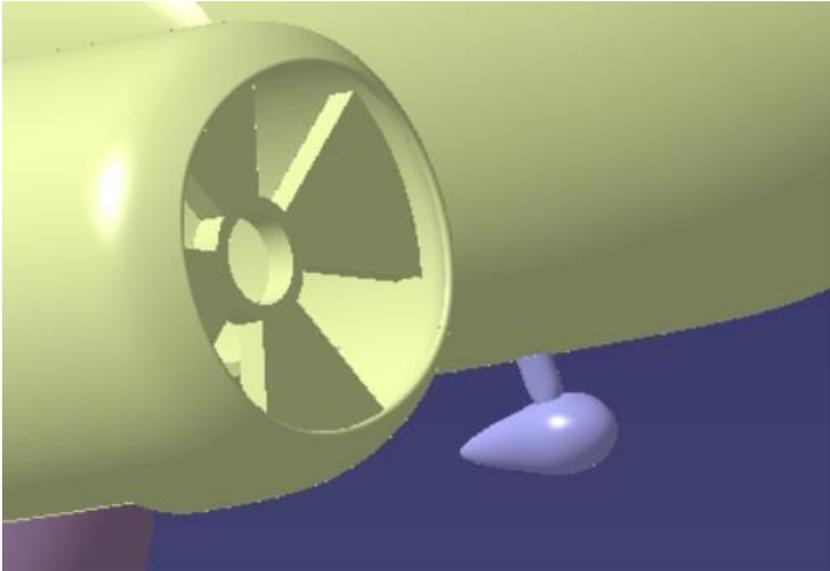


Figura 4-164. Modelo del sensor inferior

5 MATERIAL

Una vez realizados todos los sólidos de nuestro modelo se les aplicará material, si bien se ha utilizado en cada parte un material acorde tales como aluminios, titanio u otros metales bien es cierto que no se han aplicado exactamente conforme a la realidad dado que no se conoce exactamente y se escapa del alcance de este TFG al no requerirse un análisis estructural posterior con el cual los materiales si que tendrían un efecto importante.

Así iremos mostrando imágenes de los distintos elementos que componen nuestra aeronave una vez aplicado el material y una imagen de la realidad, para hacer notar más la semejanza.

- Cuerpo de la aeronave

Empezamos mostrando el fuselaje, alas, estabilizadores y góndolas, es decir, el cuerpo de la aeronave que se mantiene fijo, el diseño se ha orientado a parecerse al famoso Boeing B-17 *Nine o Nine*, para obtener el cuerpo de la aeronave, además de utilizar las herramientas *Extrude* y *Split* para los distintos colores y cristales también se ha utilizado el módulo *Photo Studio* para añadirle los símbolos correspondientes.



Figura 5-1. Comparativa material fuselaje realidad-modelo

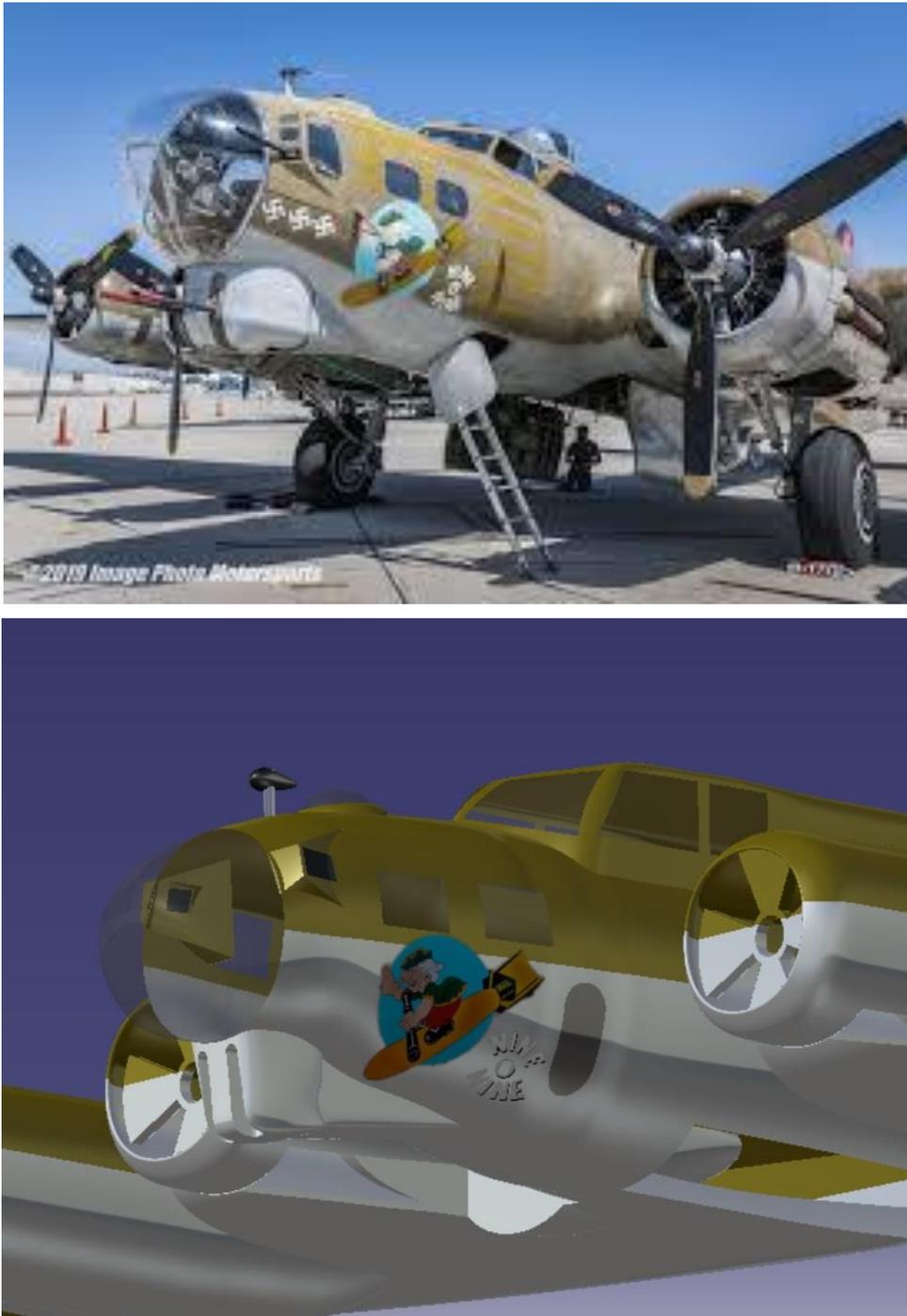


Figura 5-2. Comparativa material de la parte delantera del fuselaje realidad-modelo

- Superficies de control

Aunque en la realidad se pueda observar que estas son del mismo color que el fuselaje nosotros le aplicaremos un color distinto para que se puedan ver más satisfactoriamente.



Figura 5-3. Material en las superficies de control del modelo

Y los flaps se verían como se muestra a continuación.

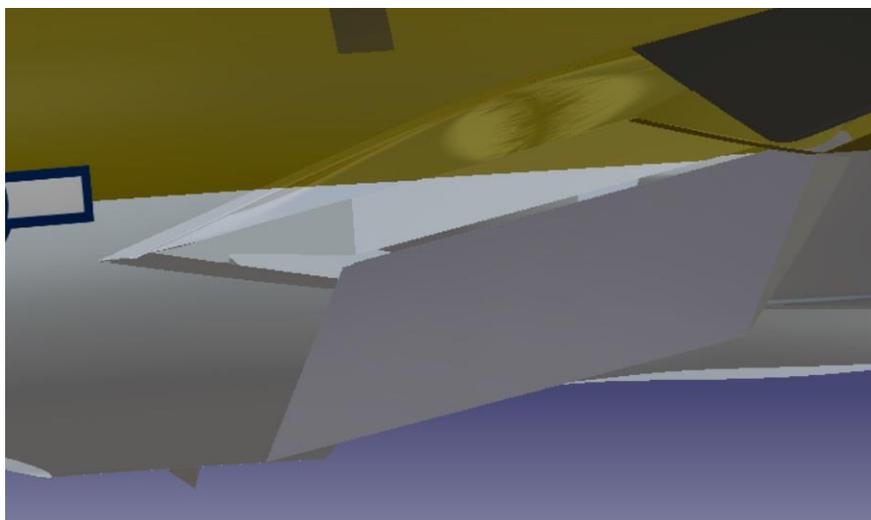


Figura 5-4. Comparativa material del flap realidad-modelo

- Hélice

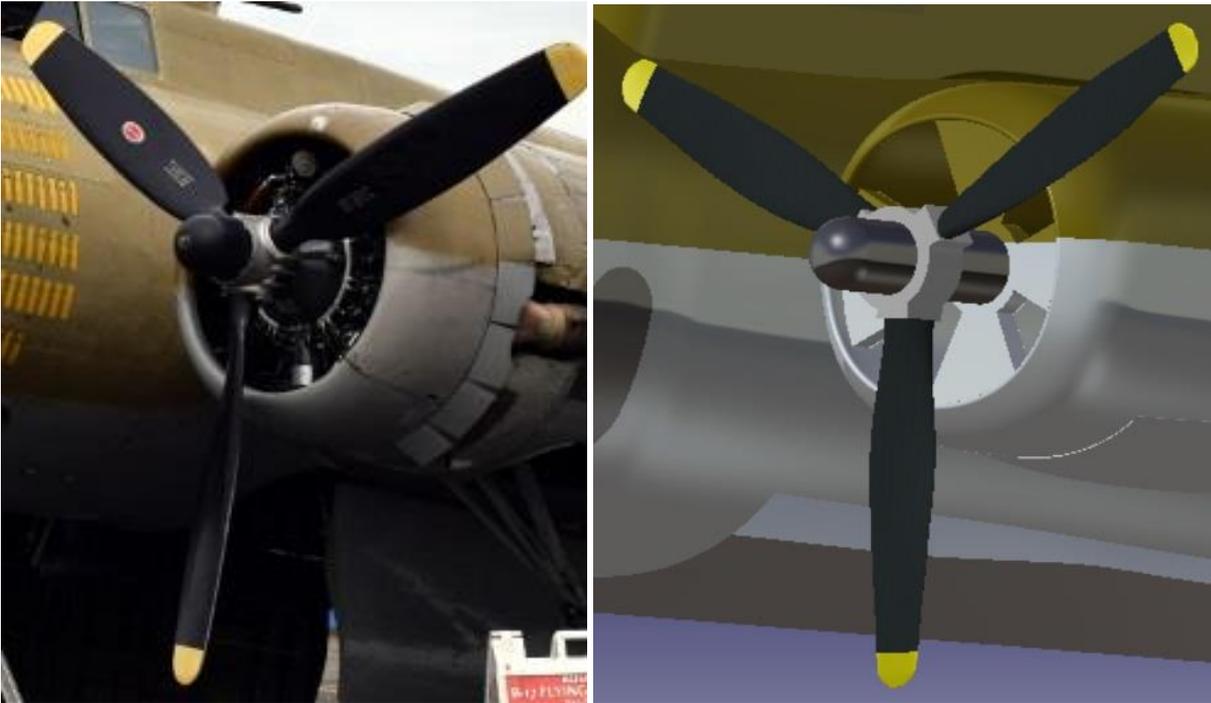


Figura 5-5. Comparativa material de la hélice ealidad-modelo

- Torreta de proa

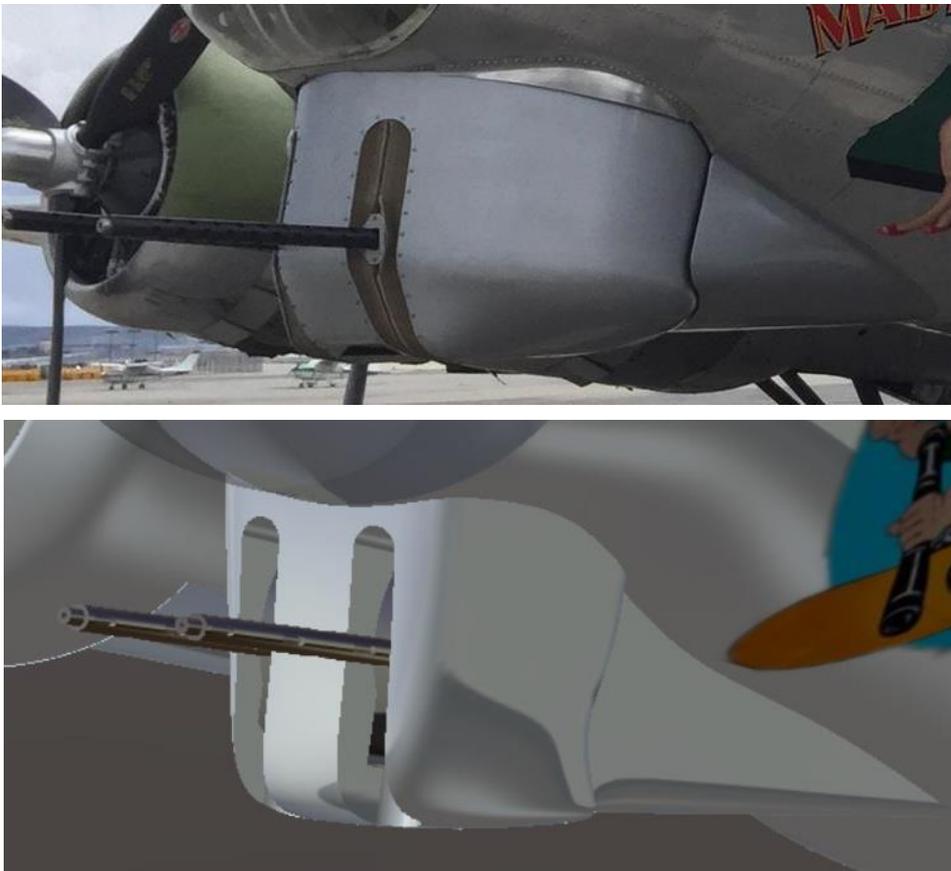


Figura 5-6. Comparativa material de la torreta de proa realidad-modelo

- Torreta de espalda



Figura 5-7. Comparativa material de la torreta de espalda realidad-modelo

- Torreta de cola



Figura 5-8. Comparativa material de la torreta de cola realidad-modelo

- Torreta lateral

Aunque haya muchos tipos de torretas laterales al ser estas manuales y que se pueden usar en cualquier otra situación se han elegido estas por ser las más cómodas de modelar, en cuanto a la ventana que da al exterior también hay varios tipos pero se ha elegido esta cuadrada por ser la que se implementa en el modelo *Nine o Nine*.

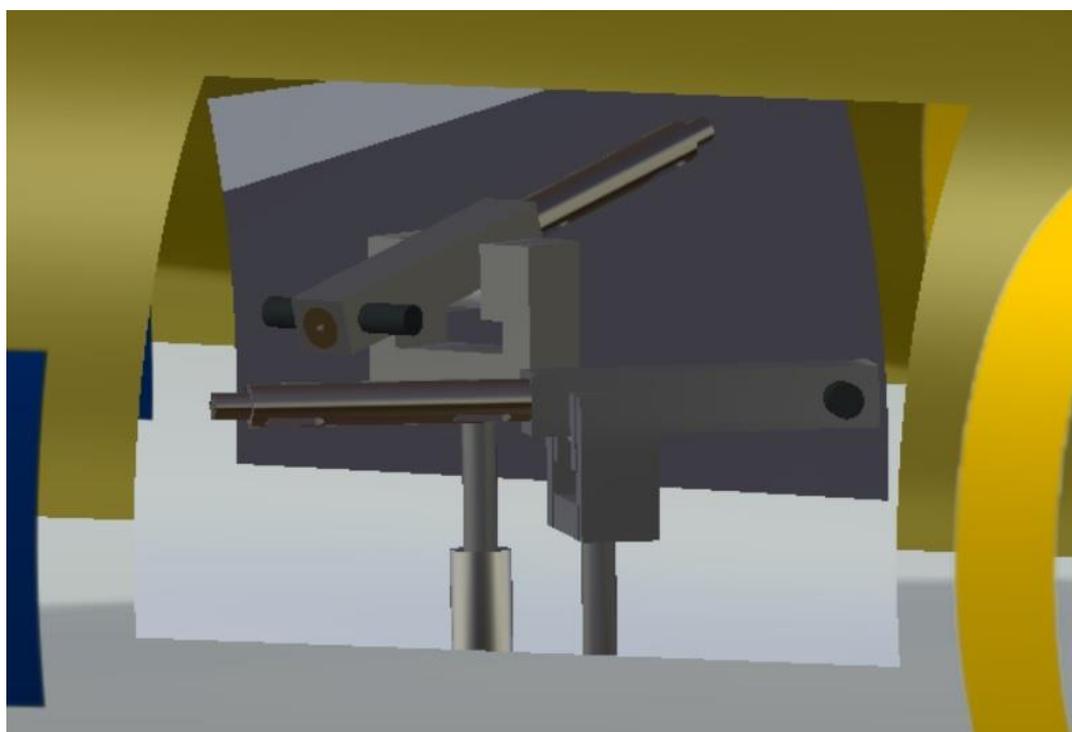


Figura 5-9. Comparativa material de las torretas laterales realidad-modelo

- Torreta de espalda trasera

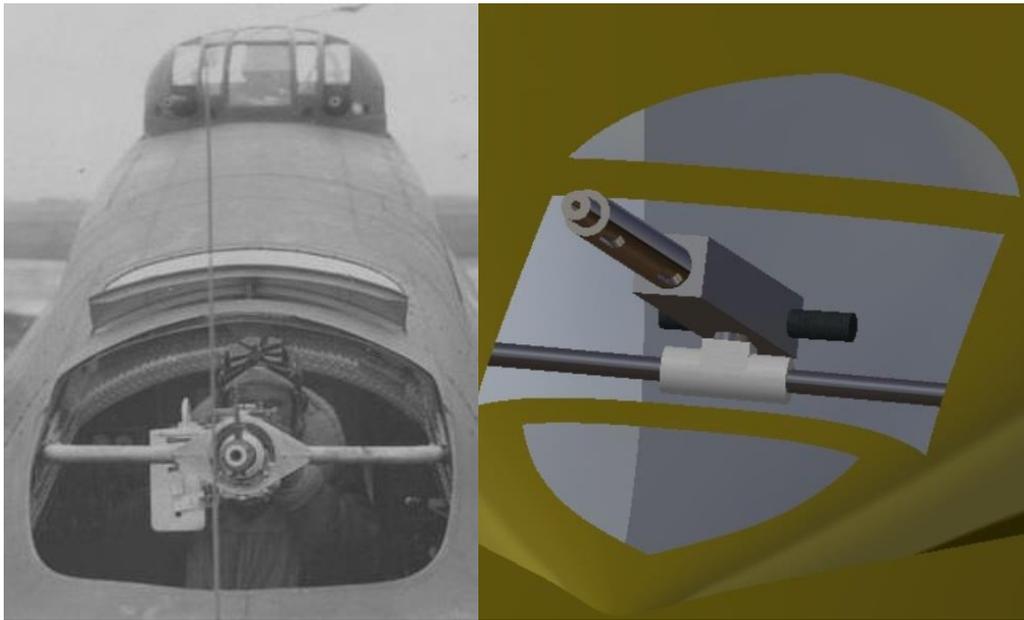


Figura 5-10. Comparativa material de la torreta dorsal trasera realidad-modelo

- Torreta de Barriga

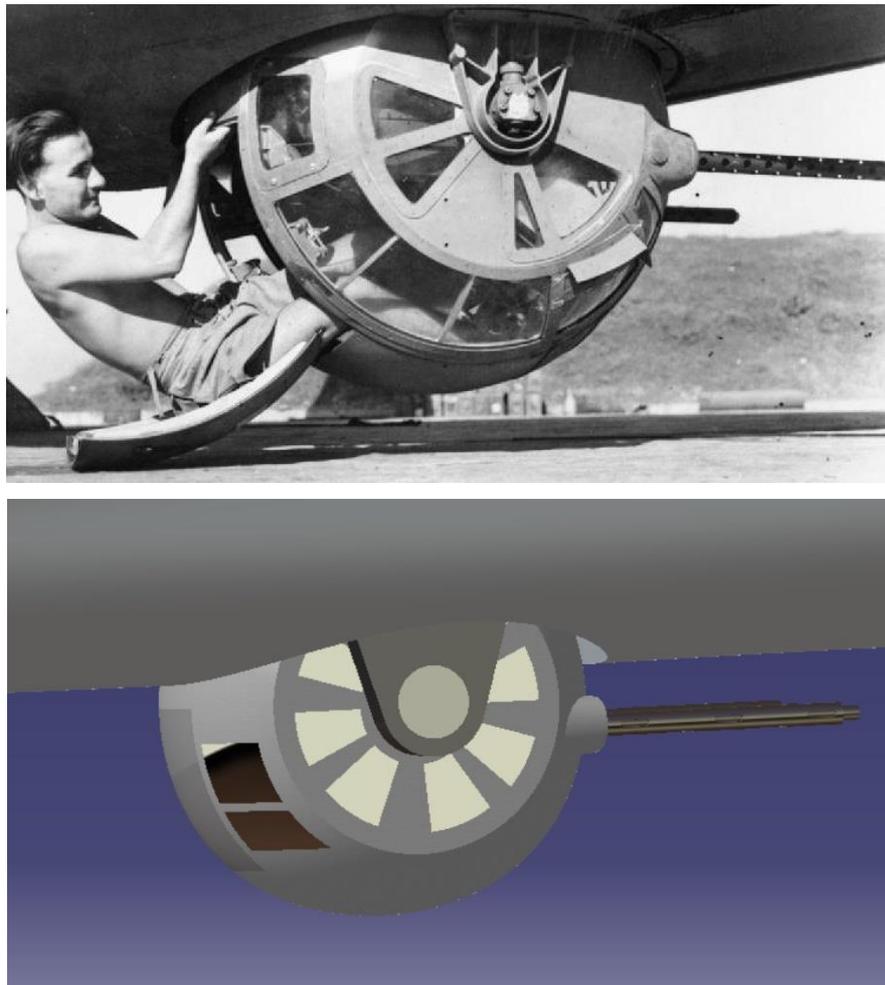


Figura 5-11. Comparativa material de la torreta ventral realidad-modelo 1

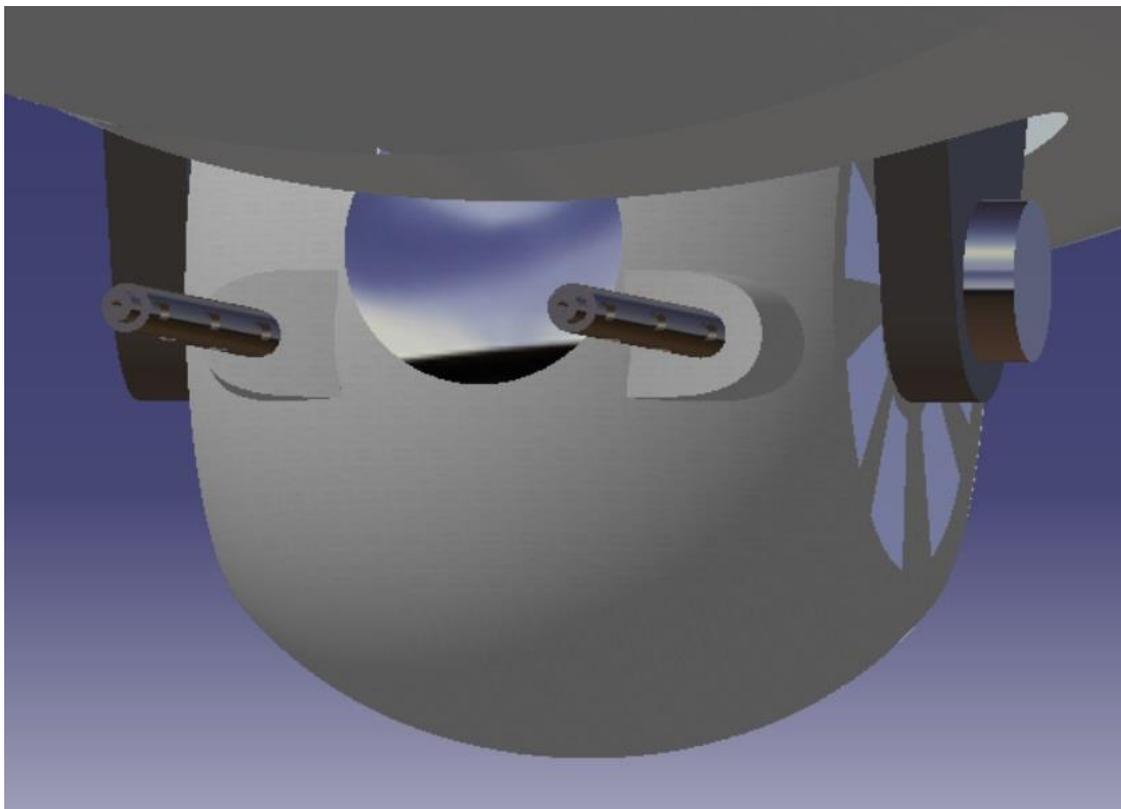


Figura 5-12. Comparativa material de la torreta ventral realidad-modelo 2

- Torreta delantera y detalles

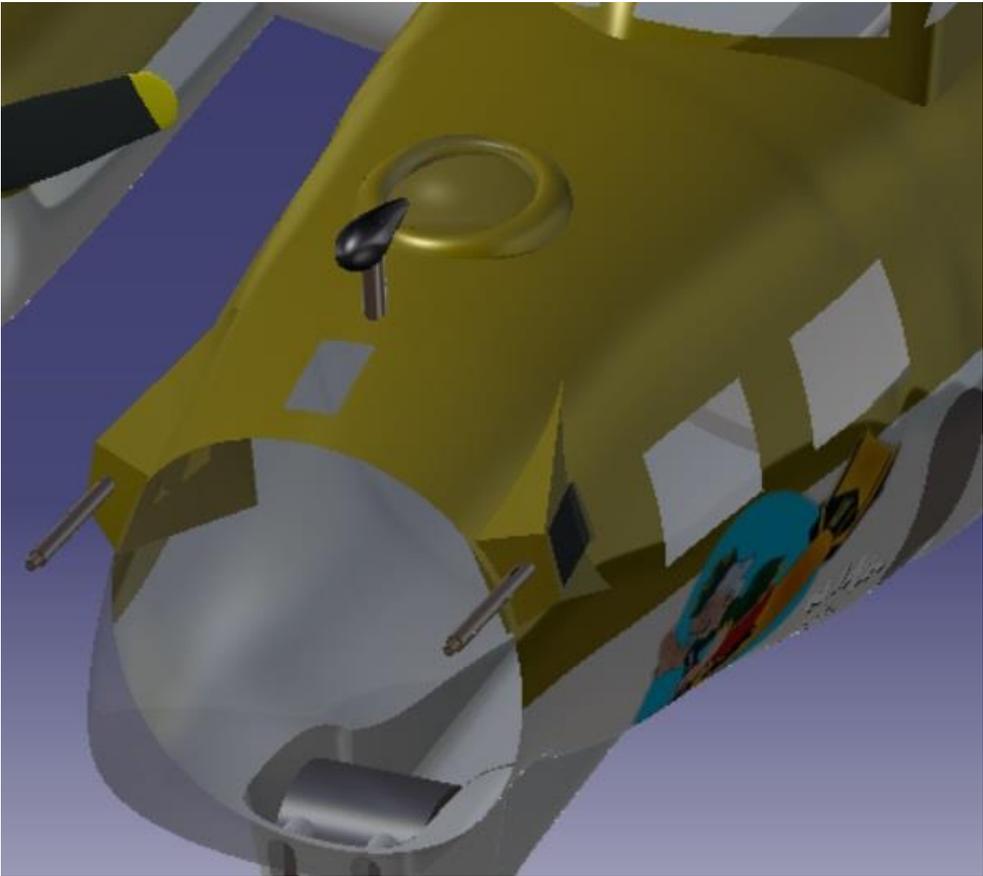


Figura 5-13. Comparativa material torreta delantera y detalles realidad-modelo

- Tren delantero



Figura 5-14. Imagen real del tren de aterrizaje

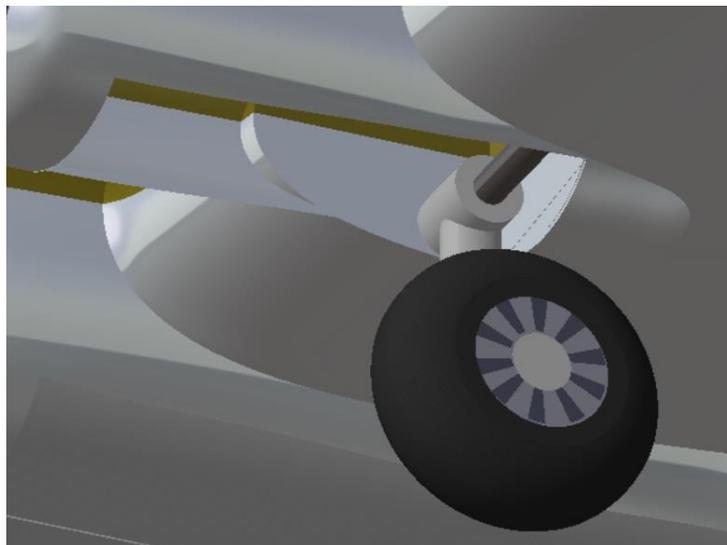


Figura 5-15. Modelo del tren de aterrizaje delantero

- Tren trasero

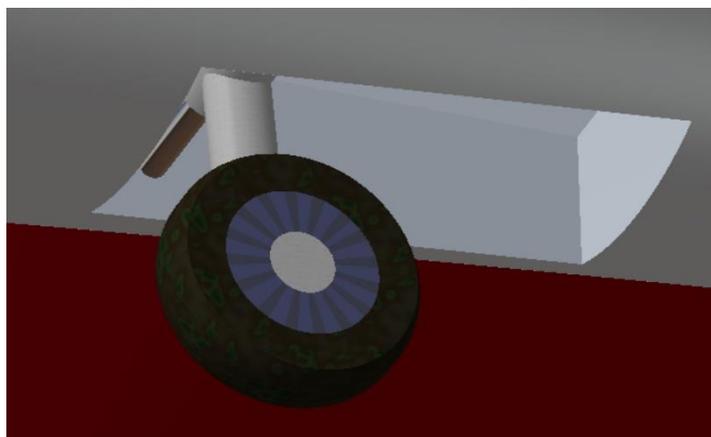


Figura 5-16. Modelo del tren de aterrizaje trasero

Mostramos a continuación algunas fotos del resultado final de nuestra aeronave.



Figura 5-17. Vistas generales de nuestro modelo final

Y mostramos también algunas fotos del avión renderizado.



Figura 5-18. Comparativa renderizado modelo-realidad



Figura 5-19. Renderizado de nuestro modelo volando sobre las nubes



Figura 5-20. Renderizado de nuestro modelo despegando con el atardecer de cara

6 MECANISMOS CON KINEMATICS

En este apartado expondremos todos los mecanismos realizados así como algunas de sus posiciones para hacer ver de una manera gráfica sus movimientos.

Cabe decir que para realizar el mecanismo en primer lugar deben de estar las distintas partes que intervienen en él con restricciones entre ellas mediante el módulo *Assembly Constrains*, una hecho esto nos metemos en el módulo *Kinematics* y definimos el mecanismo con el que trabajar, para ello tenemos que, indispensablemente tener una parte fija en el mecanismo, la cual se seleccionará con la orden *Fixed Part*, y posteriormente se seleccionará el tipo de articulación que existe entre las distintas partes mediante la orden *Joint*, dentro de esta herramienta se ha utilizado sobretodo la opción *Revolute Joint*, la cual se usa para definir giros, otras articulaciones que también se han utilizado son *Rigid Joint* y *Cylindrical Joint*, los cuales son uniones rígidas y giros con traslación respectivamente.

Vamos a exponer una lista de todos los mecanismos realizamos en nuestro modelo, en total se han realizado 20 mecanismos. Algunos de ellos estarán compuestos de uno, dos o hasta tres grados de libertad y se irá resaltando según se vayan exponiendo.

Como algunos mecanismos se repiten, por ejemplo las cuatro hélices entre ellas o las dos torretas laterales como expondremos una de ellas.

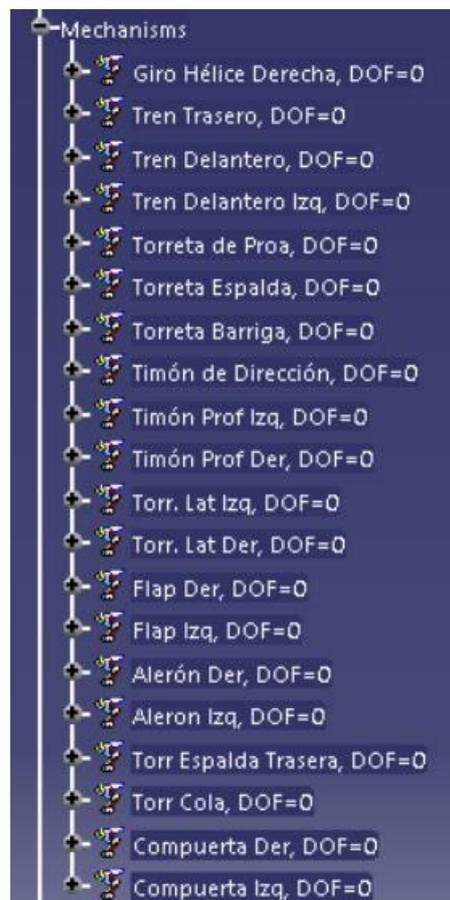


Figura 6-1. Listado de todos los mecanismos llevados a cabo

- Hélice.

Presenta un giro respecto del eje x (longitud del avión), este giro es continuo, las aspas giran sobre la planta motora que permanece fija.

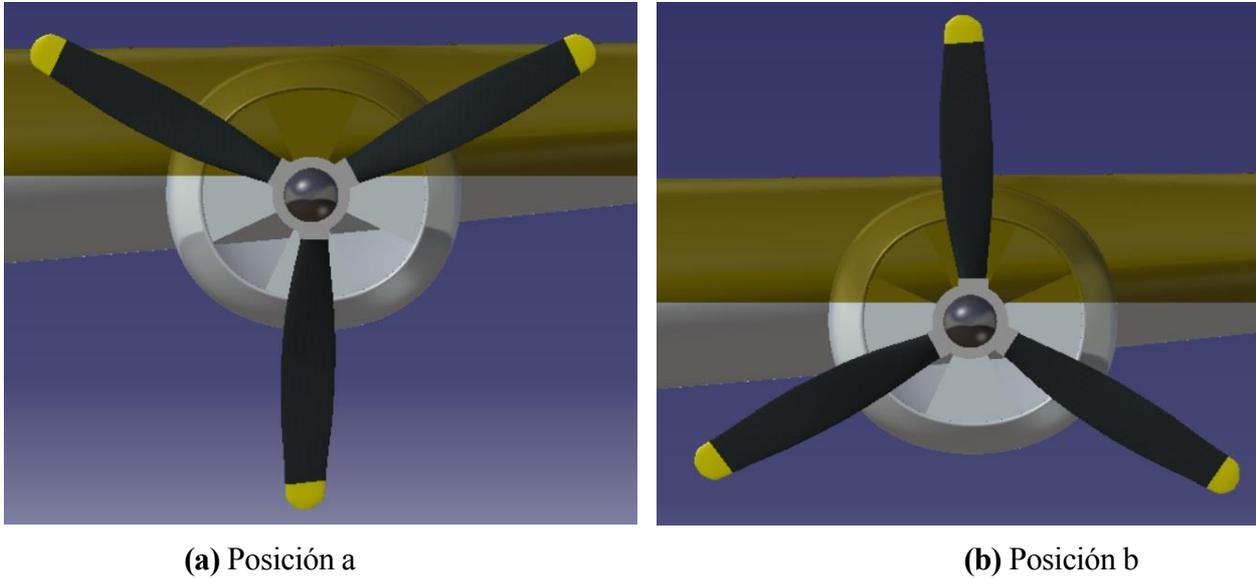


Figura 6-2. Posiciones del mecanismo de la hélice

- Tren de aterrizaje delantero.

Presenta dos giros, uno el de la rueda respecto del eje del tren, continuo y sobre el eje y, y otro del eje del tren de aterrizaje, sobre el eje y, y con dos límites claros, tren desplegado y tren retraído.

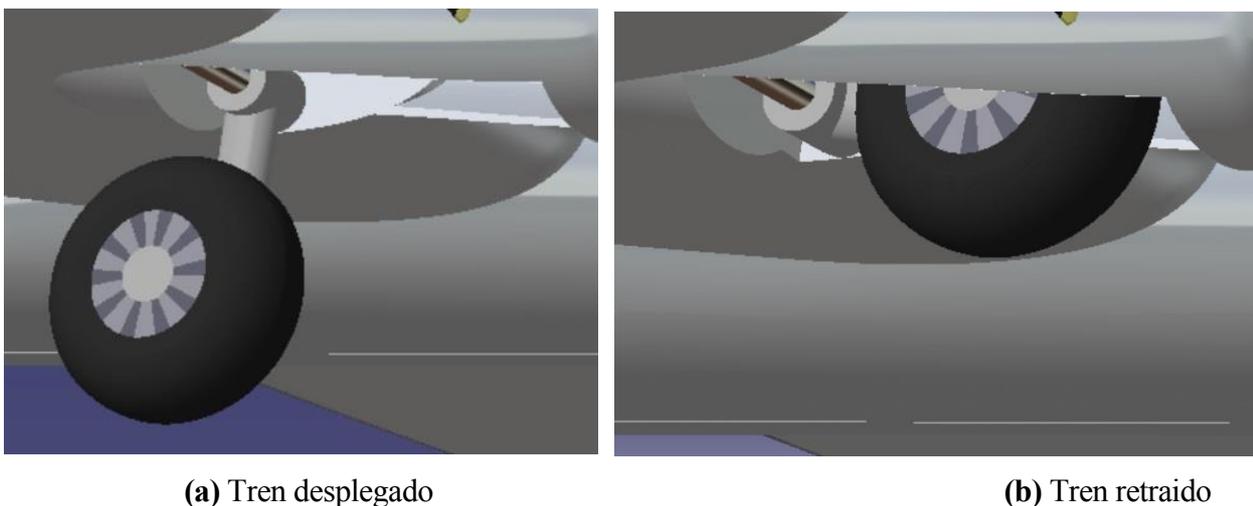


Figura 6-3. Posiciones límite del mecanismo del tren de aterrizaje principal

- Tren de aterrizaje trasero

Presenta dos giros, uno el de la rueda respecto del eje del tren, continuo y sobre el eje y, y otro del eje del tren de aterrizaje sobre el eje y, y con dos límites claros, tren desplegado y tren retraído.

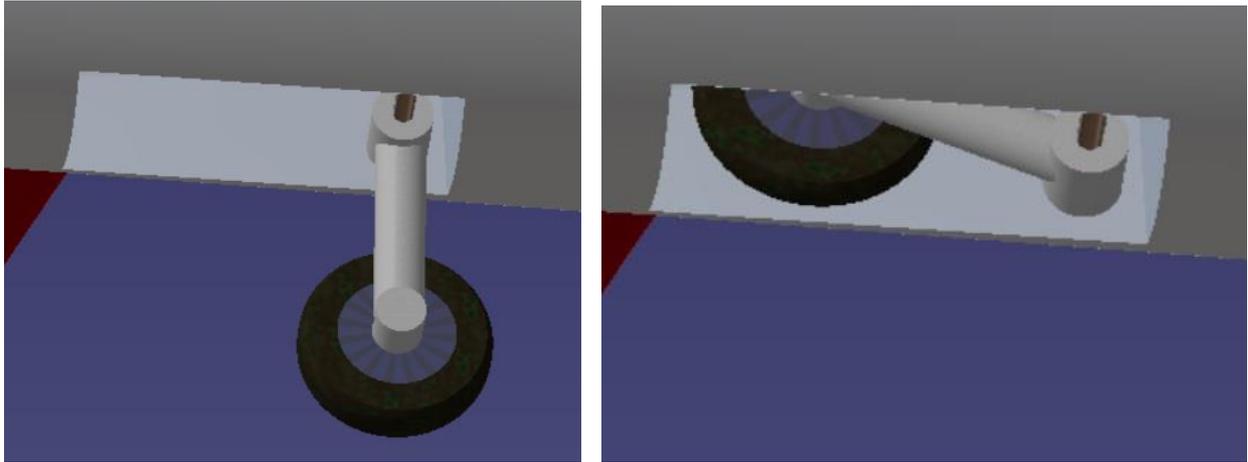


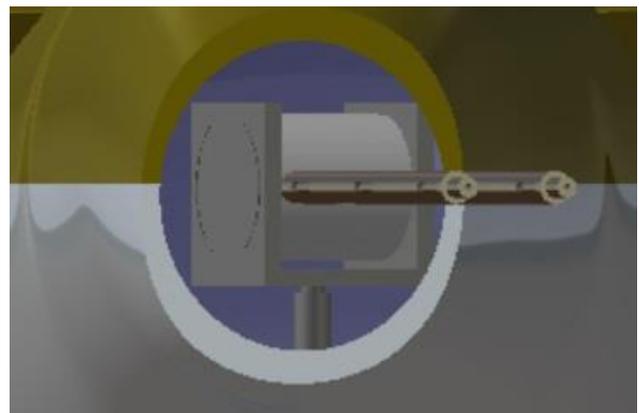
Figura 6-4. Posiciones límite del mecanismo del tren de aterrizaje trasero

- Torreta de cola

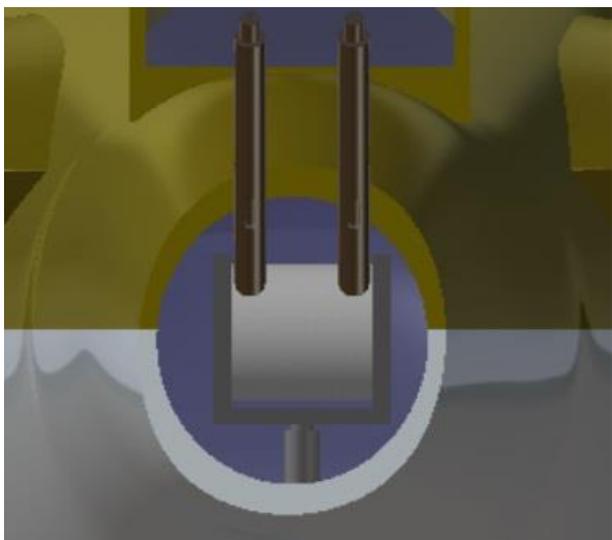
Presenta dos giros, uno en el eje y y otro en el eje z, esto le proporciona el movimiento de apuntado tanto para arriba, abajo, izquierda y derecha con límites definidos. Mostramos los límites de los giros. Primer el del eje z y posteriormente el otro.



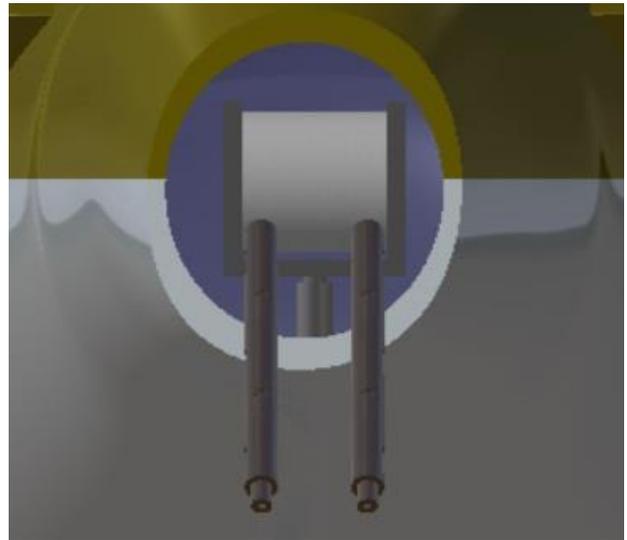
(a) 25° hacia la izquierda



(b) 25° hacia la derecha



(c) 45° hacia arriba

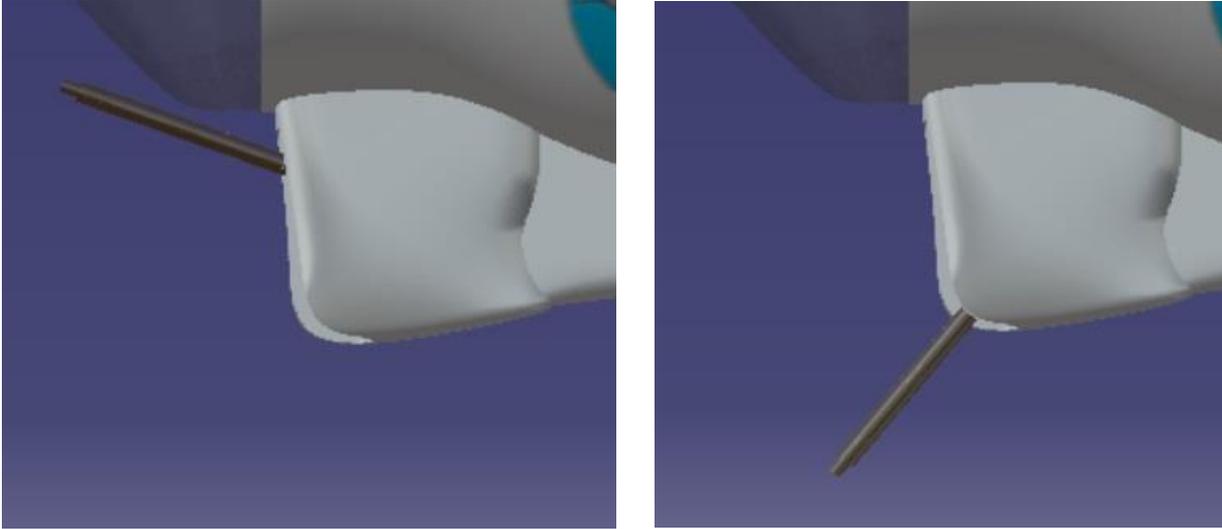


(d) 45° hacia abajo

Figura 6-5. Posiciones límite del mecanismo de la torreta de cola

- Torreta de proa

Presenta un solo giro en el eje y que proporciona el apuntado hacia arriba y hacia abajo entre dos límites establecidos. Mostramos los límites del giro.



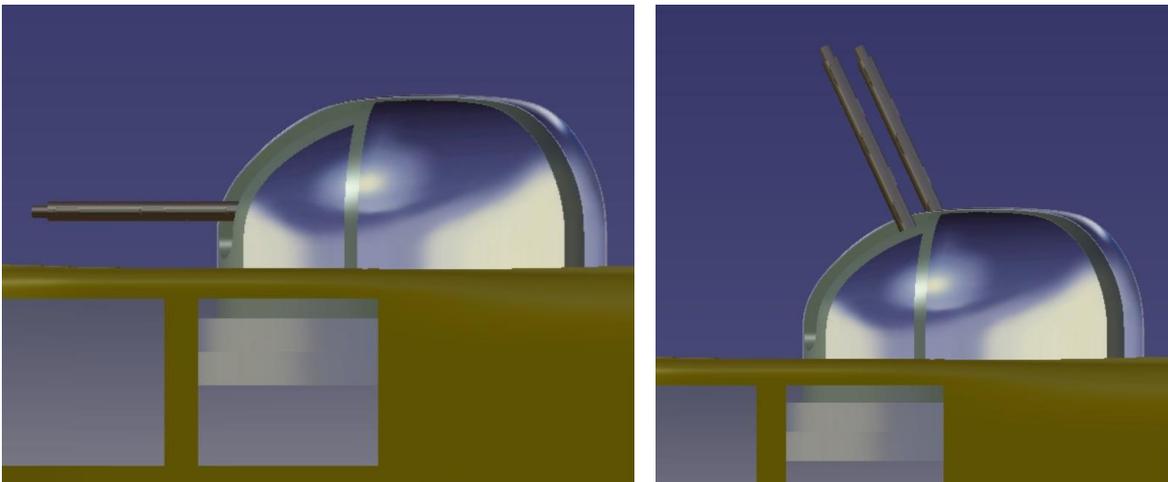
(a) 20° hacia arriba

(b) 50° hacia abajo

Figura 6-6. Posiciones límite del mecanismo de la torreta de proa

- Torreta de espalda

Presenta dos giros, uno sobre el eje z sin límites y otro respecto al eje perpendicular al eje z que proporciona el apuntado hacia arriba y hacia abajo entre dos límites establecidos. Mostramos los límites del giro.



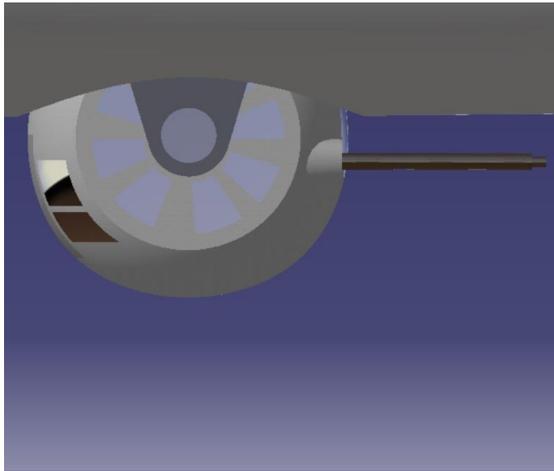
(a) 0° posición más baja

(b) 65° posición más alta

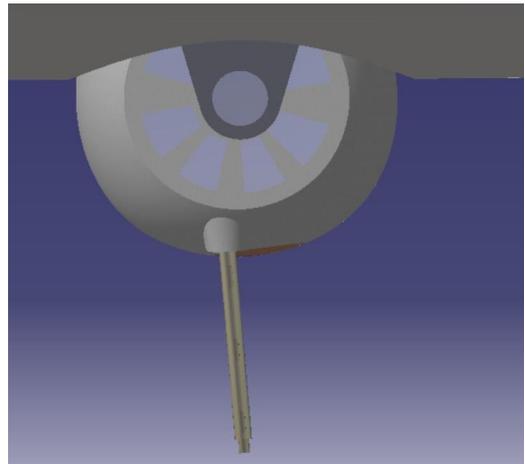
Figura 6-7. Posiciones límite del mecanismo de la torreta de espalda

- Torreta ventral

Presenta dos giros, uno sobre el eje z sin límites y otro respecto al eje perpendicular al eje z que proporciona el apuntado hacia arriba y hacia abajo entre dos límites establecidos. Mostramos los límites del giro.



(a) 0° posición más alta

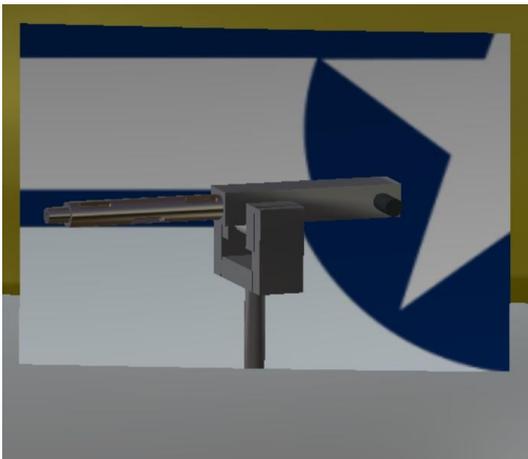


(b) 85° posición más baja

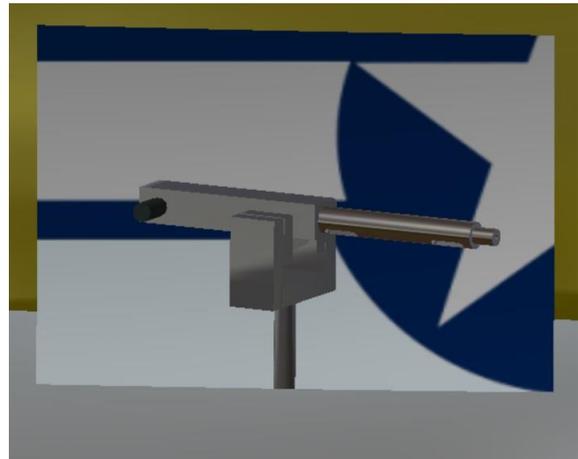
Figura 6-8. Posiciones límite del mecanismo de la torreta ventral

- Torretas laterales

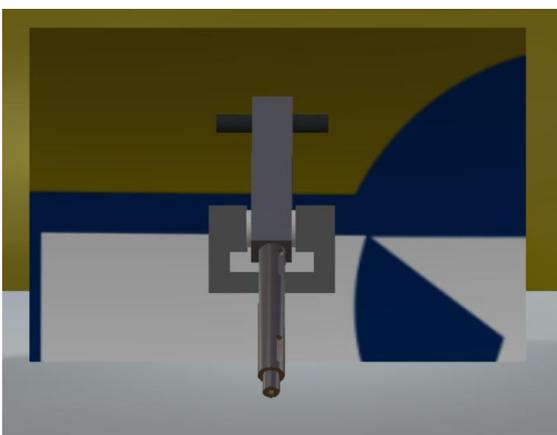
Presentan dos giros los dos de ellos limitados, uno es un giro sobre el eje z que proporciona el apuntado hacia derecha e izquierda y otro es un giro sobre el eje perpendicular a z que proporciona el apuntado hacia arriba y hacia abajo. Mostramos primero el giro sobre el eje z y posteriormente el otro.



(a) 65° hacia la izquierda



(b) 65° hacia la derecha



(a) 50° hacia abajo

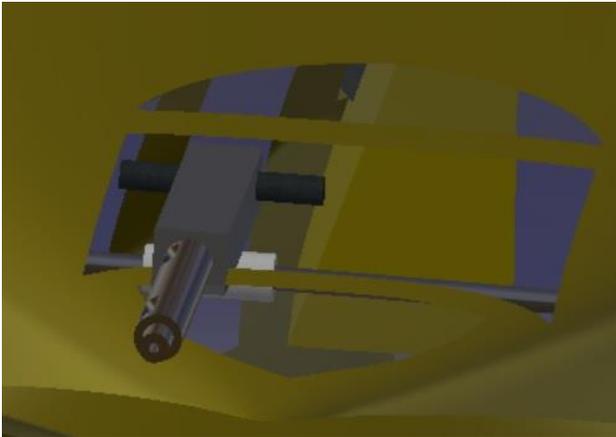


(b) 70° hacia arriba

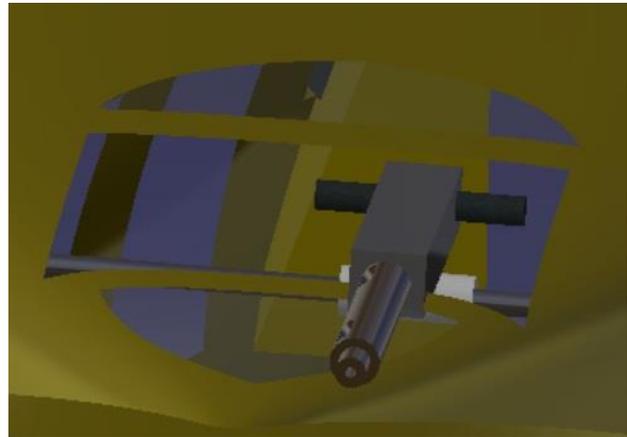
Figura 6-9. Posiciones límite del mecanismo de las torretas laterales

- Torreta dorsal trasera

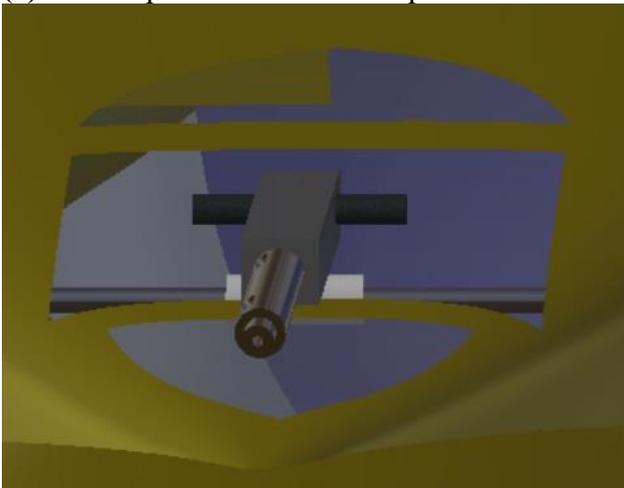
Presenta dos giros, los dos de ellos limitados, y una traslación, también limitada. Uno de los giros es sobre el eje y que proporciona el apuntado hacia arriba y hacia abajo y el otro es un giro perpendicular al eje $de\ y$ que proporciona el apuntado hacia la derecha e izquierda. La traslación es sobre el eje y . Mostramos en primer lugar los límites de la traslación seguidos de los del giro con el eje z y el otro giro.



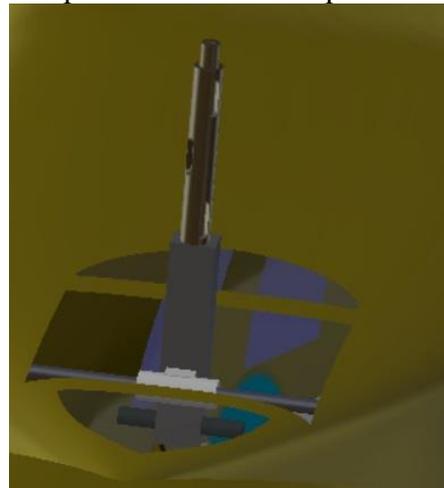
(a) Límite posición hacia la izquierda. 140mm



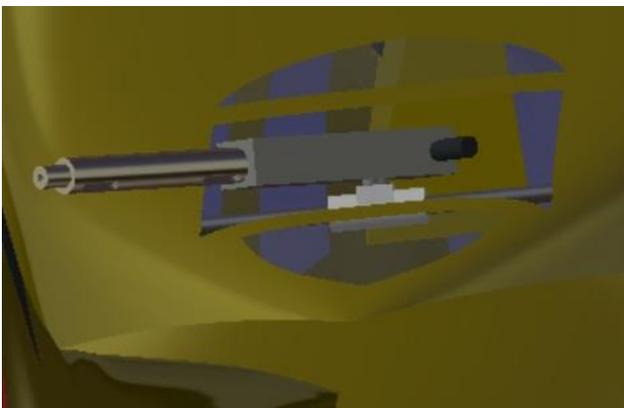
(b) Límite posición hacia la izquierda. 140mm



(c) 0° posición más baja



(d) 80° posición más alta



(e) 45° hacia la izquierda

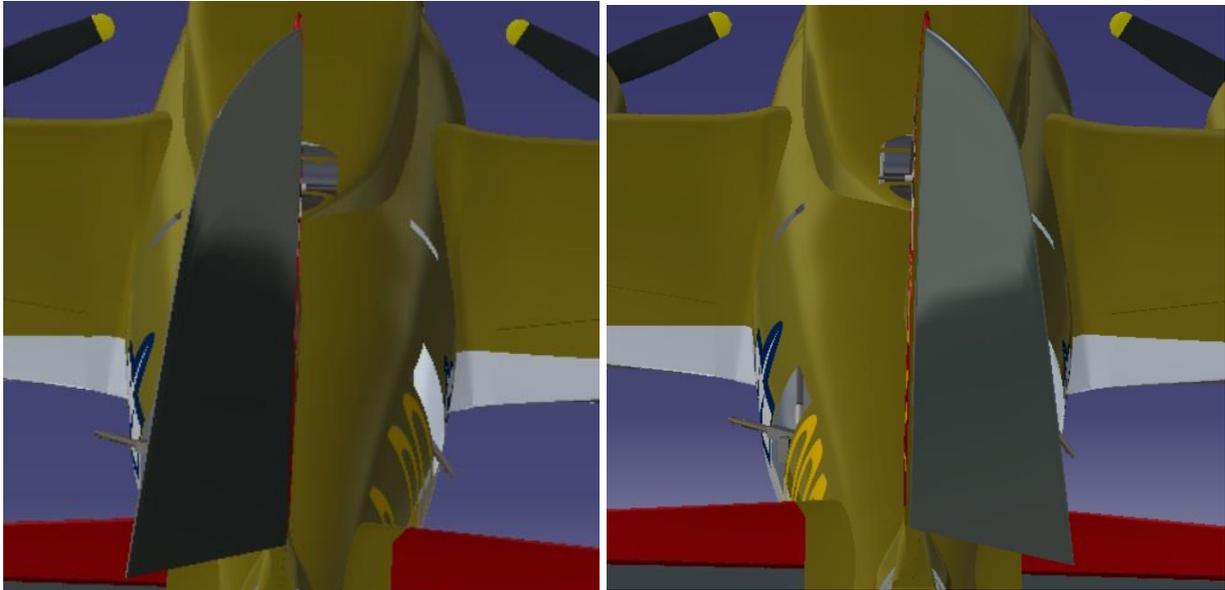


(f) 45° hacia la derecha

Figura 6-10. Posiciones límite del mecanismo de la torreta dorsal trasera

- Timón de dirección

Presenta un giro respecto del eje z entre dos límites definidos y nos proporciona un movimiento de guiñada en la aeronave. Mostramos los límites de este giro.



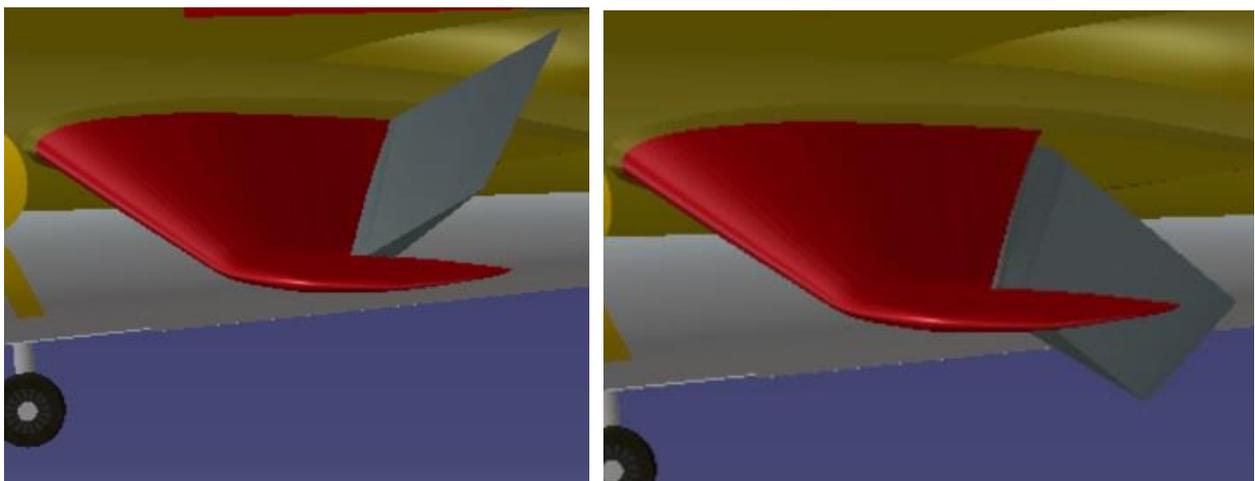
(a) 45° hacia la izquierda

(b) 45° hacia la derecha

Figura 6-11. Posiciones límite del mecanismo del timón de dirección

- Timón de profundidad

Presenta un giro respecto del eje y entre dos límites definidos y nos proporciona un movimiento de cabeceo en la aeronave. Mostramos los límites de este giro.



(a) 35° posición más alta

(b) 35° posición más baja

Figura 6-12. Posiciones límite del mecanismo del timón de profundidad

- Flap derecho

Presenta un giro respecto del eje y entre dos límites definidos, es un flap de intradós por lo que solo se encontrará en esta parte del ala, nos proporciona una mayor sustentación cuando están desplegados. Mostramos los límites de este giro.



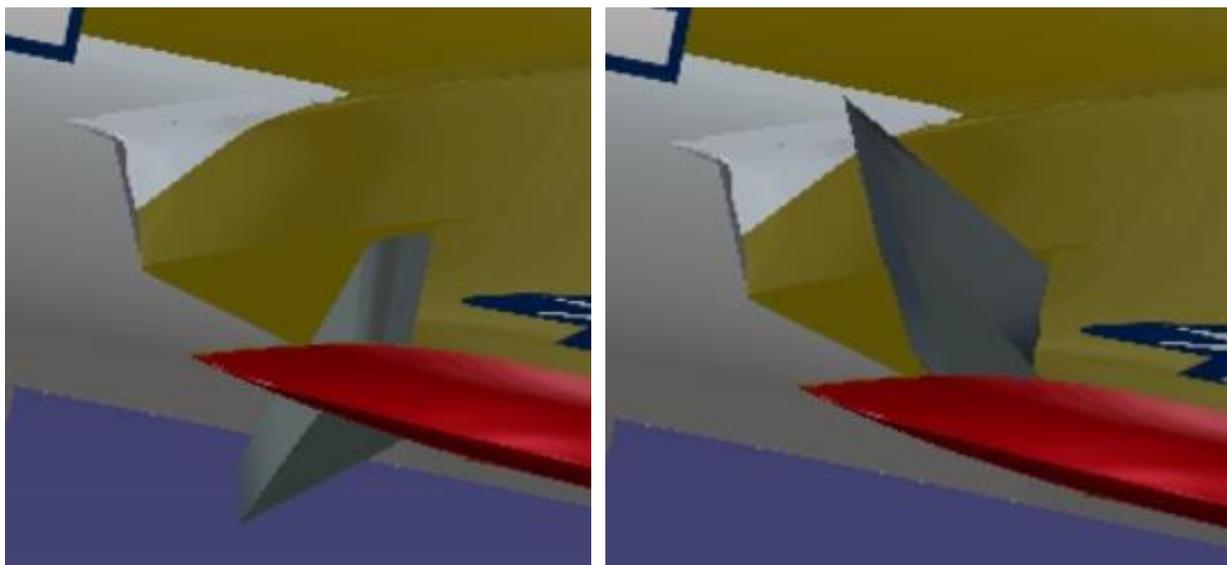
(a) 0° Flap plegado

(b) 75° Flap desplegado

Figura 6-13. Posiciones límite del mecanismo de los flaps

- Alerón

Presenta un giro respecto del eje y entre dos límites definidos, son dos y se mueven de forma antisimétrica para producir un movimiento de alabeo a la aeronave. Mostramos los límites de este giro.



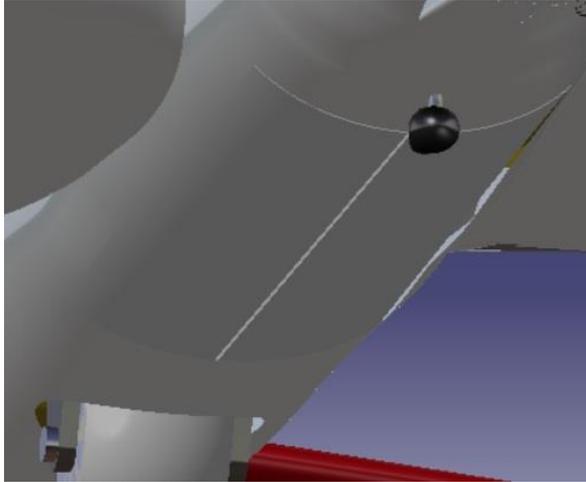
(a) 50° Posición más baja

(b) 50° Posición más alta

Figura 6-14. Posiciones límite del mecanismo de los alerones

- Compuertas

Presentan un giro respecto del eje x entre dos límites definidos, compuerta cerrada y compuerta abierta, su función es la de abrirse para lanzar las bombas al objetivo. Mostramos los límites del giro.



(a) 0° Compuerta Cerrada



(b) 80° Compuerta abierta

Figura 6-15. Posiciones límite de las compuertas del bombardero

7 CONCLUSIONES

La mayor dificultad que nos hemos encontrado a la hora de realizar este proyecto es la de la gran cantidad de planos existentes con pequeñas diferencias entre ellos sobre esta aeronave dado que su principal fabricación fue en tiempos de la II Guerra Mundial y se implementaron cambios armamentísticos para el óptimo funcionamiento del avión, a su vez, estas pequeñas diferencias también se deben a que algunos modelos fueron fabricados por empresas distintas a Boeing por la inmediata necesidad de una gran cantidad de bombarderos de estas características, se ha modelado la aeronave siempre usando planos principales apoyados en planos secundarios y observando la realidad.

Otra gran dificultad también ha sido la no existencia de un único camino para realizar la aeronave y la elección sobre el camino que el alumno debía tomar para obtener el mejor resultado posible. Siendo este problema nuevo para el alumno dado que su anterior contacto con CATIA V5 fue en la asignatura de *Diseño y fabricación asistidos por Ordenador* donde se aprendieron a utilizar el programa para unas piezas y unos procedimientos específicos. Tras la finalización del trabajo el alumno piensa que ha superado de forma satisfactoria esta toma de decisiones.

El objetivo de este trabajo ha sido el de focalizar aún más en los módulos de CATIA V5 que el alumno ya conocía como los módulos *Part Design* y *Assembly Design* y el aprender a utilizar nuevos módulos como el *Imagine & Shape*, *Generate Shape Design* y *Photo Studio* para la realización 3D de la aeronave y módulos como el *DMU Kinematics* para la realización de mecanismos de todas las partes móviles como superficies de control, hélices, tren de aterrizaje y torretas, siendo de especial interés la implementación de los mecanismos de estas últimas y el motivo principal por el que el alumno eligió esta aeronave para la realización de su trabajo fin de grado.

En definitiva, se han conseguido alcanzar satisfactoriamente los objetivos iniciales tanto en la realización de la aeronave con todos los módulos antes mencionados con el respectivo aprendizaje que el alumno se lleva en un programa tan importante para el diseño en la ingeniería como es CATIA como en el crecimiento personal del alumno al enfrentarse ante decisiones de diseño variadas y elegir la más óptima de ellas para el alcance de este trabajo.

Por último, se han dejado de lado la realización de partes como el interior de la aeronave o la interior del motor, la primera de estas se dejó de lado porque desde el punto de vista del alumno carecía de interés ingenieril frente a los mecanismos que se tomaron como prioridad, la segunda de estas se dejó de lado por la gran complejidad que presenta un motor por dentro y que se escapaba del alcance del trabajo, así, tomando de base este trabajo, se podrían realizar nuevos trabajos que realizarán estas partes así como análisis estructurales o aerodinámicos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] (1991) Boeing B-17 Flying Fortress. [Online]. Available: <https://www.boeing.com/history/products/b-17-flying-fortress.page>
- [2] (1993) Documental B-17 Flying Fortthress by World's Deadliest Aircraft TV Show
- [3] (1990) Documental B-17 Flying Fortthress by Wings TV Show de Discovery Channel
- [4] (1988) Documental B-17 Flying Fortthress by Delta Editrice
- [5] (2012) EAA Flight Training Manual by The EAA Flight Department
- [6] La Segunda Guerra Mundial en Imágenes. Artilleros B-17: Defensores de la fortaleza. [Online]. Available : <https://www.ww2enimágenes.com/2014/11/artilleros-b-17-defensores-de-la.html>
- [7] Avioes militares. Boeing B-17 Flying Fortress. [Online]. Available: http://asasdeferro.blogspot.com/2015/10/boeing-b-17-flying-fortress_17.html
- [8] (1982). B-17 Flying Fortress in Detail and Scale, Part 1 de Alwyn T.Lloyd y Terry D.Moore
- [9] (1983). B-17 Flying Fortress in Detail and Scale, Part 2
- [10] (2011). B-17 Flying Fortress In Action de David Doyle