

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería Aeroespacial

### Modelado y recreación virtual con Catia v.5 del avión Messerschmitt 109 J

Autor: Ignacio Jiménez Alabernia

Tutor: Manuel Morato Moreno

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

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería Aeroespacial

# **Modelado y recreación virtual con Catia v.5 del avión Messerschmitt 109 J**

Autor:  
Ignacio Jiménez Alabernia

Tutor:  
Manuel Morato Moreno  
Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Gráfica  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2019



Trabajo de Fin de Grado: Modelado y recreación virtual con Catia v.5 del avión Messerschmitt 109 J

Autor: Ignacio Jiménez Alabernia

Tutor: Manuel Morato Moreno

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal



*A mi familia*

*A mis amigos*

*A mis maestros*





# Agradecimientos

---

Me gustaría utilizar este espacio para acordarme de todas aquellas personas que me han ayudado a completar este sacrificado, pero aún más bonito camino. Agradecer a todos los profesores que se han cruzado conmigo y han sido tan importantes en este proceso de formación. Agradecer a mi familia y a mis amigos, tanto unos como otros han estado ayudándome en todo momento en el ámbito más personal, siempre a mi lado en momentos difíciles y siempre a mi lado en la felicidad.

Profesores, familia y amigos, todos ellos maestros, gracias.

*Ignacio Jiménez Alabernia*  
*Grado en Ingeniería Aeroespacial*  
*Sevilla, 2019*



# Resumen

---

El objeto principal de este proyecto será modelar una aeronave desde cero utilizando como herramienta el software CATIA. En concreto, se llevará a cabo la recreación del avión de combate Messerschmitt 109 de la Segunda Guerra Mundial, también conocido como Me-109 o Bf-109, uno de los aviones militares más importantes e influyentes de la época.

En adelante se expondrá tanto el proceso de investigación y recogida de información sobre la citada aeronave como su posterior reproducción. Paso a paso, se podrá ver el camino seguido hasta conseguir la recreación del Messerschmitt 109 en la versión V5R19 de CATIA, así como la forma en la que se han ido tomando decisiones para solventar diferentes problemas conforme han ido surgiendo durante dicho proceso.



# Abstract

---

The main goal of this project will be to create a model of an aircraft using the CATIA software as main tool. In particular, it will be carried out the recreation of the Second World War's combat aircraft the Messerschmitt 109, also known as Me-109 or Bf-109, one of the most important and influential military aircraft from that time.

From now on, the process of investigation and collection of information as well as the subsequent reproduction of the aircraft will be shown. Step by step, the path followed to get the recreation of Messerschmitt 109 in the version of CATIA V5R19 will be visible, as well as the way in which decisions have been made to solve different problems that may have arisen during this process.



# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xv</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xvii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1 <i>Objetivos</i>	1
1.2 <i>Metodología</i>	1
1.2.1 Módulo Part Design	2
1.2.2 Módulo Wireframe and Surface Design	2
1.2.3 Módulo Assembly Design	2
1.3 <i>Alcance</i>	3
<b>2 Proceso Previo al Modelado</b>	<b>5</b>
<b>3 Messerschmitt BF-109</b>	<b>9</b>
<b>4 Proceso de Modelado</b>	<b>11</b>
4.1 <i>Fuselaje</i>	13
4.1.1 Cuadernas	14
4.1.2 Revestimiento	17
4.1.3 Largueros	20
4.2 <i>Cabina</i>	23
4.3 <i>Alas</i>	27
4.3.1 Costillas	27
4.3.2 Revestimiento	32
4.3.3 Largueros	36
4.4 <i>Cola</i>	37
4.4.1 Estabilizador horizontal y timón de profundidad	38
4.4.2 Estabilizador vertical y timón de dirección	41
4.4.3 Estructura externa	45
4.4.4 Estructura interna	45
4.5 <i>Motor</i>	48
4.5.1 Cono	49
4.5.2 Hélice	52
4.6 <i>Tren de aterrizaje</i>	55
4.6.1 Tren de aterrizaje principal	55
4.6.2 Tren de aterrizaje auxiliar	58
<b>5 Montaje Final</b>	<b>61</b>

5.1	<i>Proceso final de diseño</i>	61
5.2	<i>Resultado Final</i>	62
<b>6</b>	<b>Simulaciones Realizadas con el Modelo</b>	<b>69</b>
6.1	<i>DMU Kinematics</i>	69
6.2	<i>Simulaciones</i>	69
6.3	<i>Análisis de interferencias</i>	71
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>73</b>
	<b>Referencias</b>	<b>75</b>
	<i>Enlaces Web</i>	75
	<b>Bibliografía</b>	<b>77</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 2-2-1. Plano 1.	6
Figura 2-2-2. Plano 2.	6
Figura 3-3-1. Messerschmitt 109 en vuelo.	9
Figura 3-3-2. Estructura interna del Me-109.	10
Figura 4-1. Modelo del Me-109 descompuesto.	11
Figura 4-2. Modelo del Me-109.	12
Figura 4-3. Descomposición de la estructura interna del modelo.	12
Figura 4-4. Estructura interna del modelo.	13
Figura 4-5. Partes fuselaje.	13
Figura 4-6. Sketch contorno exterior cuaderna F.	14
Figura 4-7. Sketch contorno completo cuaderna F.	15
Figura 4-8. Extrusión cuaderna F.	15
Figura 4-9. Cuaderna F.	16
Figura 4-10. Cuaderna fuselaje.	16
Figura 4-11. Guías y extracciones de las cuadernas.	17
Figura 4-12. Parte superior de la superficie de unión de cuadernas.	18
Figura 4-13. Superficie entre cuadernas.	18
Figura 4-14. Superficie revestimiento de las cuadernas.	19
Figura 4-15. Revestimiento sólido.	19
Figura 4-16. Sketch para realizar corte de la zona de la cabina.	20
Figura 4-17. Revestimiento final.	20
Figura 4-18. Splines guías de los largueros.	21
Figura 4-19. Perfil de los largueros.	21
Figura 4-20. Medidas de largueros en AutoCAD.	22
Figura 4-21. Largueros y cuadernas del fuselaje.	22
Figura 4-22. Fuselaje completo.	23
Figura 4-23. Partes de la cabina.	23
Figura 4-24. Medida de la zona del hueco de la cabina.	24
Figura 4-25. Esqueleto de la cabina central.	24
Figura 4-26. Extrusión de la unión metálica.	25

Figura 4-27. Estructura metálica de la cabina central.	25
Figura 4-28. Cabina central.	26
Figura 4-29. Cabina completa.	26
Figura 4-30. Partes del ala.	27
Figura 4-31. Plano detallado del perfil alar.	28
Figura 4-32. Puntos del perfil NACA 2315.	28
Figura 4-33. Puntos del perfil en CATIA.	29
Figura 4-34. Sketch con los puntos del perfil.	29
Figura 4-35. Costilla de la raíz del ala.	30
Figura 4-36. Parametrización de las costillas.	30
Figura 4-37. Costillas del ala macizas.	31
Figura 4-38. Costillas del ala.	31
Figura 4-39. Perfiles alares.	32
Figura 4-40. Revestimiento de los perfiles.	32
Figura 4-41. Guías de la punta del ala.	33
Figura 4-42. Revestimiento de la punta sin esquinas.	33
Figura 4-43. Revestimiento del ala.	34
Figura 4-44. Sketch del contorno del alerón.	34
Figura 4-45. Corte del alerón al ala.	35
Figura 4-46. Separación ala-alerón.	35
Figura 4-47. Hueco en el ala para el tren de aterrizaje.	35
Figura 4-48. Revestimiento alar.	36
Figura 4-49. Intersección entre los largueros y el revestimiento.	36
Figura 4-50. Estructura interna del ala.	37
Figura 4-51. Partes de la cola.	37
Figura 4-52. Medidas del estabilizador horizontal en AutoCAD.	38
Figura 4-53. Cálculo a mano para la obtención de medidas en el estabilizador horizontal.	38
Figura 4-54. Secciones del estabilizador horizontal.	39
Figura 4-55. Revestimiento de los perfiles.	39
Figura 4-56. Revestimiento de los perfiles y de la punta del estabilizador horizontal.	39
Figura 4-57. Revestimiento completo del estabilizador horizontal.	40
Figura 4-58. Sketch del límite del timón de profundidad.	40
Figura 4-59. Estabilizador horizontal y timón de profundidad.	41
Figura 4-60. Diferentes posiciones del timón de profundidad.	41
Figura 4-61. Bocetos del esqueleto del estabilizador vertical.	42
Figura 4-62. Superficie que reviste el primer sector del estabilizador vertical.	42
Figura 4-63. Superficie que reviste al completo el estabilizador vertical.	43
Figura 4-64. Revestimiento del estabilizador vertical.	43

Figura 4-65. Estabilizador vertical y timón de dirección.	44
Figura 4-66. Diferentes posiciones del timón direccional.	44
Figura 4-67. Cola del avión.	45
Figura 4-68. Vistas planta y perfil de la cola.	45
Figura 4-69. Secciones de las costillas del estabilizador horizontal.	46
Figura 4-70. Costillas del estabilizador horizontal.	46
Figura 4-71. Scketch del límite del timón de profundidad.	46
Figura 4-72. Costillas del estabilizador horizontal.	47
Figura 4-73. Costillas del estabilizador vertical.	47
Figura 4-74. Estructura interna de la cola.	48
Figura 4-75. Cono y hélice del motor.	48
Figura 4-76. Sketch de la sección de la base del cono.	49
Figura 4-77. Base maciza del cono.	49
Figura 4-78. Base del cono.	50
Figura 4-79. Sketch de la sección del cono.	50
Figura 4-80. Cono macizo.	51
Figura 4-81. Cono completo.	51
Figura 4-82. Elemento de unión de las palas de la hélice.	52
Figura 4-83. Estimación de las secciones de las palas en AutoCAD.	52
Figura 4-84. Secciones de la pala y unión sólida de estas.	53
Figura 4-85. Creación de la superficie de la punta de la pala.	53
Figura 4-86. Hélice.	54
Figura 4-87. Motor del avión.	54
Figura 4-88. Eje de la unión rueda-estructura.	55
Figura 4-89. Sketch de la sección del neumático y el sólido originado.	56
Figura 4-90. Rueda del tren de aterrizaje principal.	56
Figura 4-91. Bocetos del esqueleto de la cobertura fuselada de la rueda.	57
Figura 4-92. Superficie de la cobertura fuselada de la rueda.	57
Figura 4-93. Tren de aterrizaje principal.	58
Figura 4-94. Rueda del tren de aterrizaje auxiliar.	58
Figura 4-95. Superficie que cubre la rueda del tren de aterrizaje auxiliar.	59
Figura 4-96. Tren de aterrizaje auxiliar.	59
Figura 5-1. Detalle del morro.	61
Figura 5-2. Antena.	61
Figura 5-3. Soporte del estabilizador horizontal.	62
Figura 5-4. Modelo en CATIA del Messerschmitt 109 (1).	63
Figura 5-5. Modelo en CATIA del Messerschmitt 109 (2).	63
Figura 5-6. Modelo en CATIA del Messerschmitt 109 (3).	63

Figura 5-7. Modelo Me-109 (1).	64
Figura 5-8. Me-109 real (1).	64
Figura 5-9. Modelo Me-109 (2).	65
Figura 5-10. Me-109 real (2).	65
Figura 5-11. Modelo Me-109 (3).	66
Figura 5-12. Me-109 real (3).	66
Figura 5-13. Plano modelo Me-109.	67
Figura 5-14. Plano real.	67
Figura 6-1. Creación del mecanismo hélice-fuselaje.	70
Figura 6-2. Creación de la junta de revolución del mecanismo.	70
Figura 6-3. Selección de elementos a analizar.	71
Figura 6-4. Colisión alerón-ala.	72
Figura 6-5. Colisión elevador-estabilizador horizontal.	72

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Mediante la realización de este proyecto se lleva a cabo la digitalización del patrimonio aeronáutico, recuperando planos de una aeronave histórica y modelándola en tres dimensiones en ordenador, así como su posterior conservación.

Para ello, se utilizará el software Catia(en concreto la versión V5R19), una herramienta que más adelante comentaremos con detalle, que permite realizar el modelado de infinidad de objetos, alcanzando tanto detalle como se requiera a la vez que ofrece una gran flexibilidad a la hora de trabajar. Por ello se considera una opción muy válida para llevar a cabo la recreación a partir de planos e imágenes de una aeronave.

## 1.1 Objetivos

Durante este trabajo se pondrá en práctica la destreza adquirida en la asignatura *Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador* del tercer curso del Grado en Ingeniería Aeroespacial de la Universidad de Sevilla. Esta asignatura tiene como objetivo introducir al alumno conocimientos para el uso del software CATIA.

Por otro lado, este proyecto se realiza con el objetivo de continuar con el desarrollo del conocimiento adquirido en dicha asignatura, a la vez que se descubren nuevos módulos no incluidos en su programa. Especialmente, se aprenderá a trabajar en el módulo *Wireframe and Surface Design*, el cual, a pesar de no entrar en el temario de la asignatura, se trata de una herramienta sumamente importante en el sector aeronáutico, ya que permite trabajar con superficies, elementos que estarán muy presentes en todas las aeronaves.

## 1.2 Metodología

Para poder llevar a cabo la mencionada recreación del avión seleccionado, la herramienta protagonista será Catia V5R19 (versión utilizada en la asignatura de *Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador*).

La elección de este programa se debe a su gran capacidad a la hora de modelar cualquier objeto tridimensional, con el grado de detalle deseado y ofreciendo una gran flexibilidad a la hora de decidir la forma de diseñarlo. Además, gracias al mencionado módulo *Wireframe and Surface Design*, se podrán recrear las complejas superficies que suelen aparecer en las aeronaves. También cabe destacar la utilidad a lo largo de todo el trabajo que ofrece el módulo *Assembly Design*, facilitando el trabajo a la hora de tratar con conjuntos, permitiendo crear productos a partir del ensamblaje de las distintas partes que lo compongan.

Por otro lado, merece mención el uso simultáneo con CATIA del software AutoCAD, el cual principalmente ha permitido tomar medidas en planos de zonas que no estaban acotadas o zonas en las cuales se buscaba conseguir un mayor grado de detalle.

A continuación, se pasará a mostrar las funciones más utilizadas durante todo el proceso de diseño dentro de cada uno de los módulos. De esta forma será más sencillo de entender para el lector la posterior explicación del proceso de modelado.

### 1.2.1 Módulo Part Design

Herramientas más utilizadas durante la recreación de la aeronave dentro del módulo *Part Design*:

- Sketch: Boceto bidimensional. Permite crear contornos a partir de uniones de líneas en la zona deseada del espacio tridimensional.
- Pad: Extruye un sketch en dirección lineal.
- Pocket: A partir de un sketch realiza un vaciado de material en dirección lineal.
- Shaft: Genera un sólido a partir de la revolución de un sketch alrededor de un eje.
- Rib: Extruye un sketch siguiendo la guía deseada.
- Multi-sections Solid: Genera un sólido a partir de la unión de varios sketches siguiendo las guías deseadas.
- Removed Multi-sections Solid: Lleva a cabo un vaciado material a partir de la unión de varios sketches siguiendo las guías deseadas.
- Edge Fillet: Redondeo de aristas.
- Chamfer: Realiza chaflanes en aristas.
- Shell: Vaciado de un sólido.
- Thick Surface: Da espesor a una superficie.
- Close Surface: Cierra una superficie, creando un sólido macizo a partir de esta.
- Circular Pattern: Crea un patrón circular para repetir elementos alrededor de un eje.
- Mirror: Simetría respecto a un plano.
- Add: Une varios “body”.
- Remove: Elimina un “body” de otro.
- Apply Material: Asigna un material al elemento deseado.

### 1.2.2 Módulo Wireframe and Surface Design

Herramientas protagonistas en la recreación de la aeronave dentro del módulo *Wireframe and Surface Design*:

- Extrude: Extruye una curva en dirección lineal para crear superficies.
- Fill: Crea superficies a partir de contornos cerrados.
- Blend: Crea superficies a partir de la unión de dos curvas en el espacio.
- Multi-sections Surface: Genera superficies a partir de la unión de varias curvas siguiendo las guías deseadas.
- Extract: Extrae elementos de otros ya creados.
- Intersection: Extrae la intersección entre varios elementos.
- Split: Corte de superficies.
- Join: Permite unir diferentes elementos en uno.
- Apply Material: Asigna un material al elemento deseado.

### 1.2.3 Módulo Assembly Design

Las principales funciones utilizadas en el módulo *Assembly Design* serán las pertinentes para crear restricciones que permitan colocar los elementos en su correcto lugar en el espacio:

- Fix: Fija un elemento en el espacio.
- Coincidence: Crea una restricción de concentricidad entre elementos.
- Angle: Crea restricciones angulares entre elementos.
- Distance: Establece una distancia entre dos elementos.
- Contact: Crea una restricción de contacto entre elementos.
- Symmetry: Crea el simétrico de un elemento respecto al plano deseado.
- Existing Component: Inserta un componente existente al conjunto.
- Manipulation: Permite manejar las partes del conjunto en el espacio.
- Explode: Separa todas las partes, eliminando las restricciones.
- Apply Material: Asigna un material al elemento deseado.

### 1.3 Alcance

En este trabajo se reproducirán todas las partes del exterior de una aeronave, así como determinadas zonas de la estructura interna, dando como resultado el modelo digital de la aeronave. En todo momento se seguirán las indicaciones de los planos disponibles de la aeronave, con lo cual estos serán los que marcarán el grado de detalle alcanzado al final del trabajo. Así mismo, para determinadas zonas en las que se desee perfeccionar el modelo se utilizarán imágenes de la aeronave que sirvan como guía.

En adelante, se podría ampliar este trabajo de diferentes formas: simulando diferentes fases de vuelo (rodaduras, aterrizajes, despegues, crucero, giros, etc.); llevando a cabo una investigación más a fondo sobre la estructura interna y su correspondiente modelado en CATIA; e incluso realizar un modelo real a escala del avión a partir de la impresión en 3D del modelo digital.





## 2 PROCESO PREVIO AL MODELADO

---

La idea al inicio de este proyecto era la de modelar un avión lo más moderno posible, con el fin de explotar el software de CATIA diseñando un producto actual. Sin embargo, esta idea tuvo que ser desechada tempranamente debido a la escasez de planos que contengan el grado de detalle necesario para reproducir una aeronave del siglo XXI, tanto militares como comerciales. En gran parte, debido a la gran competencia existente dentro de la industria aeronáutica, lo cual hace que cada empresa trate de facilitar la menor cantidad de información que pueda ser de ayuda a sus competidoras.

Por esta razón, dando un paso atrás en el tiempo, se tomó la decisión de enfocar el trabajo en un avión que hubiera participado en la Primera o Segunda Guerra Mundial. Tras una primera búsqueda general, se encontraron planos de diversos aviones de ambas épocas, consiguiendo así una gran flexibilidad en la elección. Finalmente, se optó por escoger un avión de combate de la Segunda Guerra Mundial ya que, por una parte, es una época más cercana a la actualidad y, por otro lado, en este período las aeronaves sufrieron un gran desarrollo, adquiriendo un diseño notablemente más moderno, lo cual podía ofrecer más juego a la hora de implementar la herramienta CATIA.

Acotado ya el marco de búsqueda de la aeronave a recrear, finalmente se eligió el avión de combate Messerschmitt 109. Uno de los aviones militares más importantes de la historia y, sin lugar a duda, de dicha época, dentro de la cual algunos lo señalan como el más influyente.

Elegida la aeronave de la cual se llevaría a cabo la reproducción de la réplica digital, el proceso previo al modelado más importante fue el encontrar unos planos suficientemente detallados, explicativos y claros que sirvieran como base esencial para la recreación.

Principalmente, los planos sobre los que se cimenta el modelo creado del Messerschmitt 109 son los obtenidos de los libros "*Best of Wylam Books*"<sup>1</sup> y "*Scale Aircraft Drawings WWII*"<sup>2</sup>. Al mismo tiempo, sirviendo de apoyo multitud de fotos que han sido tomadas a lo largo de la historia y hasta el día de hoy (ya que aún se conservan ejemplares de esta en diferentes museos alrededor del mundo) de la aeronave.

---

<sup>1</sup> William Wylam, 1956, Nueva York, Air Age Inc.

<sup>2</sup> Peter M. Bowers, 1991, ...nVAir Age Pub.

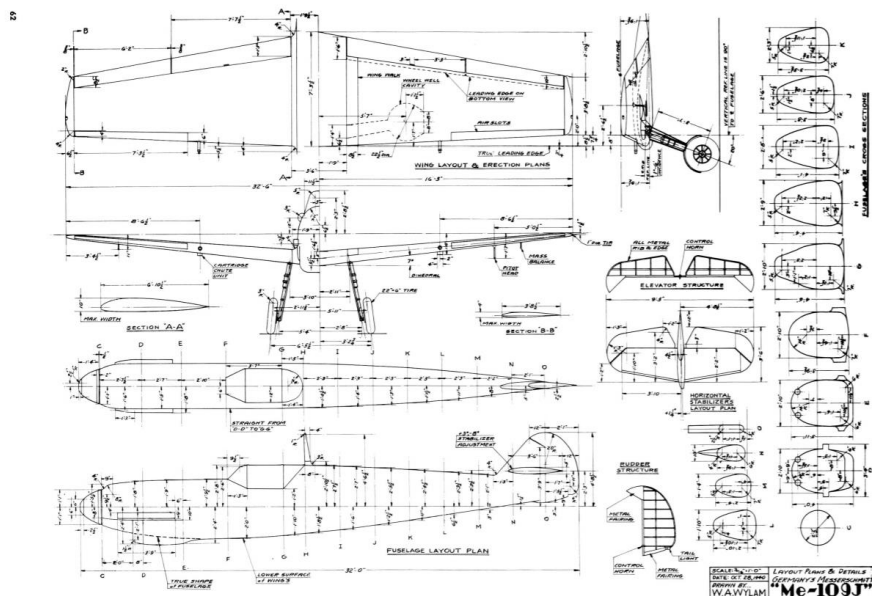


Figura 2-2-1. Plano 1.

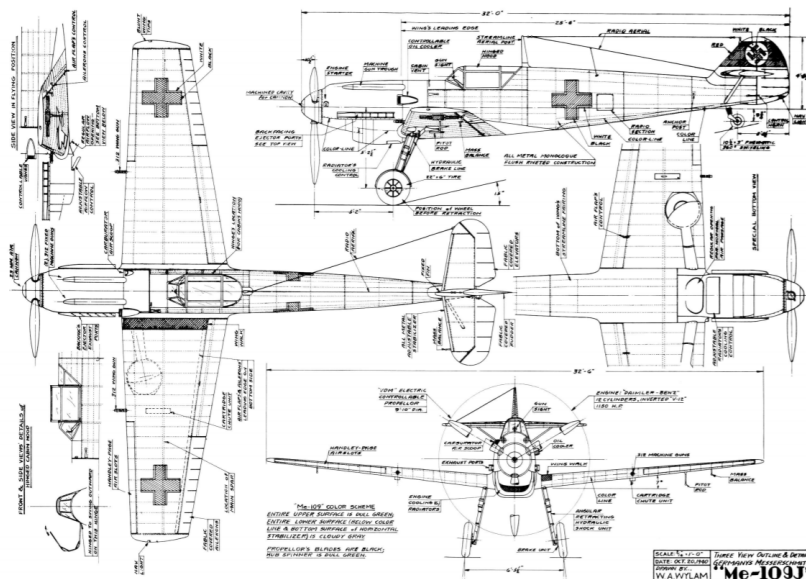


Figura 2-2-2. Plano 2.

En concreto, estos planos serán la guía principal durante el proceso de diseño. Dichos planos presentan la configuración de los modelos previos a la guerra del Me-109B al Me-109-D, pero equipados con el motor de hélice de tres palas del modelo Me-109E. La pintura que da color al avión de estos planos está referida a la de los primeros modelos del Me-109B. En la imagen podemos ver como el autor de los dibujos hace referencia al Me-109J, lo cual es simplemente una forma que utilizaban en la época para referirse a aviones alemanes que no estuvieran disponibles para 1940, cuando se hicieron estos planos.

Por otro lado, tras contactar con varios museos que poseen modelos del Me-109 a modo de exposición (entre ellos el Museo del Aire de Madrid) y participar en varios foros en búsqueda de información sobre la aeronave, un aficionado de la aviación se puso en contacto con nosotros al conocer la situación. Esta persona nos facilitó una gran cantidad de imágenes y datos para este trabajo. Y es que, era un gran entusiasta de las aeronaves que combatieron en la Segunda Guerra Mundial y, en concreto, del avión Messerschmitt 109, sobre el cual había

realizado varias maquetas, llegando a conseguir algún premio de aerodelismo por ellas.

La información recibida de este aficionado fue principalmente obtenida de un exclusivo libro del Me-109: *Catálogo del avión ME 109 J, HA 1.109 K1L, La Hispano Aviación S.A.*

Obtenidos ya los planos e instrucciones necesarias para modelar el avión, se pasaron todas las medidas (que se encontraban en pies y pulgadas) a centímetros, las cuales serán las implementadas en el diseño del avión dentro de la herramienta CATIA, con el fin de dimensionarlo en el sistema internacional.

Por otro lado, cabe recordar también utilización el software AutoCAD, donde, introduciendo los planos ya dimensionados, se ha podido realizar medidas de diversas partes del avión cuyas cotas no aparecían en los planos, así como realizar comprobaciones de medidas que no aparecían del todo claras.



## 3 MESSERSCHMITT BF-109

---

**E**n este apartado se presenta de forma concisa la aeronave que se va a modelar. El Messerschmitt Bf-109 fue uno de los aviones más influyentes de los participantes en la Segunda Guerra Mundial, en la cual sirvió al bando de las potencias del Eje (encabezadas por Alemania, Italia y el Imperio de Japón).



Figura 3-3-1. Messerschmitt 109 en vuelo.

En concreto, fue creado en Alemania, siendo con diferencia el avión más producido de la época (en concreto se diseñaron cerca de 34000 unidades sumando las del Tercer Reich y las de otros países). Fue diseñado en 1934 por Willy Messerschmitt y posteriormente producido entre los años 1936 y 1945 en el país germano, aunque tras la guerra su producción continuó en distintos países, siendo cedido por ejemplo a España, donde sirvió hasta 1967. La causa de esta gran producción fue en gran parte gracias al hecho de que la aeronave estaba compuesta por una simplificada estructura completamente metálica, lo cual dotaba al avión además de una mayor simplicidad en su mantenimiento.

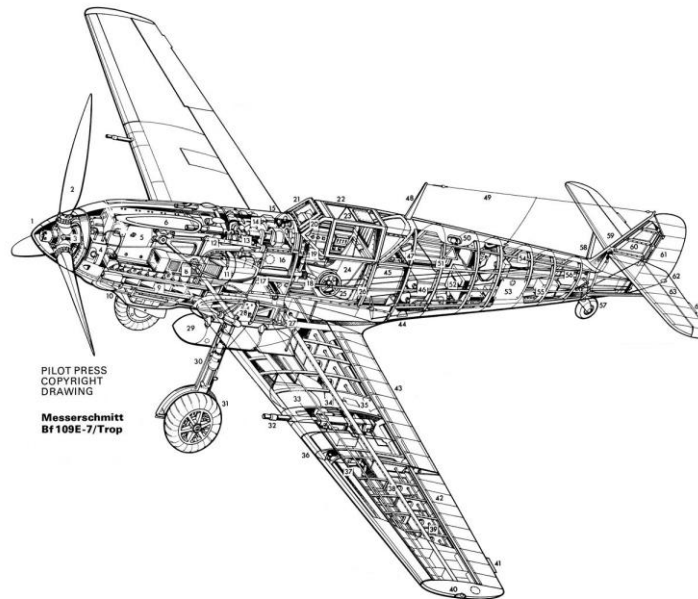


Figura 3-3-2. Estructura interna del Me-109.

En referencia a esta aeronave, se puede encontrar mencionada mediante las abreviaturas Me-109 y Bf-109, ambas válidas. La primera de ellas se refiere al apellido de su propio diseñador (Messerschmitt), mientras que la segunda hace referencia a la compañía que fabricó estos aviones (The Bayerische Flugzeugwerke AG).

Se trata de un avión de combate monoplaza y propulsado por un motor de hélice en el morro compuesto por dos palas en su diseño inicial, pasando a incorporar una tercera en modelos más avanzados. A pesar de que el avión había sido diseñado para incorporar un motor alternativo de dos hélices 610hp Junkers Jumo V-12 invertido, el primer prototipo en realizar un vuelo (1935) tuvo que utilizar un motor 625hp Rolls-Royce Kestrel, debido a que la producción del primer motor se vio retrasada. Las primeras generaciones utilizaron diversas variantes de ese motor Junkers Jumo, pero más adelante el Me-109 comenzó a incorporar los motores Daimler-Benz DB de la serie 600, los cuales añadieron una pala más a la hélice de la aeronave.

Por otro lado, cabe destacar que se trata de un avión con ala trapezoidal baja (modelos más avanzados cambiaron este tipo de ala por un ala elíptica) que alberga diversos cañones y un tren de aterrizaje retráctil que, en su posición retraída, se encuentra albergado en el interior de dichas alas.

Como datos principales sobre este avión para dar una idea de su dimensionado destacan los siguientes: envergadura de 9.9 metros, 9 metros de longitud, una altura de 2.6 metros. Sobre el peso de este, es un avión que pesa en vacío alrededor de los 2000 kg y con un peso máximo en despegue de unos 3000 kg.

Por otro lado, como datos más característicos de las actuaciones de este avión: alcanza un techo entre los 11000 y los 12000 metros, algo más de los 600 km/h de velocidad máxima y una autonomía entre los 700 y los 800 km.

Todos estos datos pueden variar en función del modelo concreto del Me-109, pero nos sirven como referencia de valores entorno a los que se moverían.

El Messerschmitt BF-109 fue evolucionando con el paso del tiempo, dando paso a distintos modelos del propio avión. Tras los primeros prototipos construidos, el primer modelo en aparecer fue el Me-109B, el cual fue dando lugar durante la producción del Messerschmitt BF-109 a los Me-109C, Me-109D, Me-109E, Me-109F, Me-109G, Me-109H, Me-109J y Me-109K. Entre estos, merecen al menos una breve mención los siguientes: en primer lugar, el Me-109E fue el modelo que dio paso al cambio de motor mencionado anteriormente, incluyendo una pala más en la hélice; en segundo lugar, el Me-109F cambió el ala de tipo trapezoidal a unas alas con los bordes redondeados; por último, el Me-109G fue el modelo que más exitoso, siendo con diferencia el modelo más fabricado de todos ellos.

## 4 PROCESO DE MODELADO

---

En este capítulo se mostrará el camino completo seguido para obtener el modelo digital del avión de combate Messerschmitt 109. Se expondrá con detalle este proceso, pudiéndose observar cómo se ha llevado a cabo el modelado de cada una de las partes del avión.

Tal y como se comenta, con el fin de optimizar el trabajo a realizar, se ha dividido la aeronave en diferentes partes, las cuales han sido modeladas por separado para finalmente ensamblarlas en un mismo conjunto.

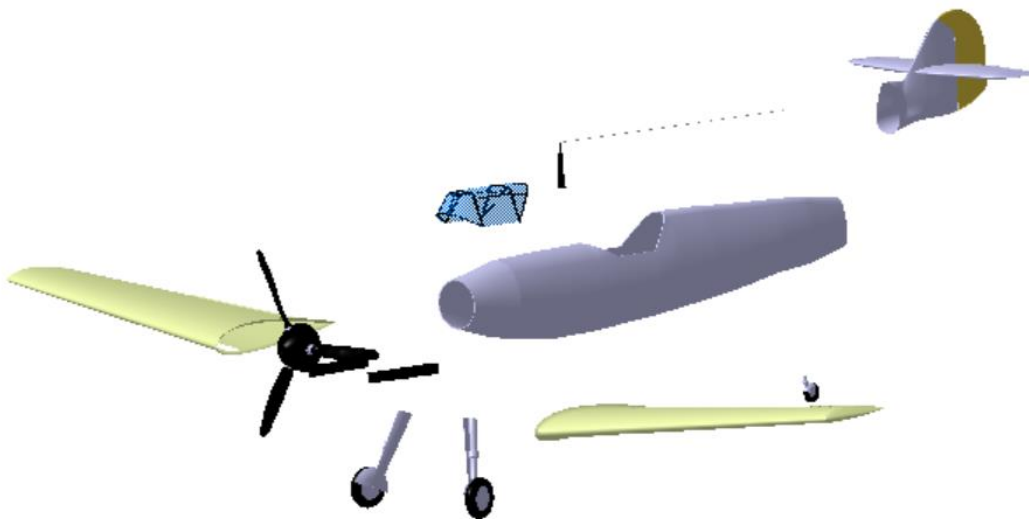


Figura 4-1. Modelo del Me-109 descompuesto.

En la imagen se pueden distinguir las diferentes partes mencionadas (gracias a la herramienta *Explode* en el archivo del modelo final) e ilustra cómo ha sido estructurado el trabajo. Muestra los distintos conjuntos que componen la aeronave que, una vez puestas en conjunto de forma correcta, consiguen reproducir el Messerschmitt 109.

En primer lugar, se ha modelado cada componente que constituye la aeronave utilizando principalmente los módulos de CATIA *Part Design* y *Wireframe and Surface Design* (estos módulos producen archivos .CATPart) de forma simultánea. Estos módulos permiten llevar a cabo el diseño de cualquier objeto en tres dimensiones a partir de la creación de diferentes bocetos (*Sketch*) bidimensionales. El módulo *Part Design* es de gran utilidad para la creación sólidos, mientras que el módulo *Wireframe and Surface Design* ha sido utilizado ante la necesidad de generar superficies, a partir de las cuales se pueden crear volúmenes introduciéndolas en el módulo *Part Design*. Mediante el uso de estos dos módulos se han recreado las alas, el fuselaje, el tren de aterrizaje, los estabilizadores, la cabina, el motor, etc. Cada uno de ellos por separado.

Una vez dada forma a las diferentes partes que componen el Me-109, utilizando el módulo “Assembly Design” (el cual produce archivos .CATProduct) disponible en el software CATIA, se han introducido en un mismo espacio todas ellas. Dentro de este módulo se lleva a cabo un proceso de montaje mediante el cual se consigue colocar cada una de las partes de la aeronave en el lugar que corresponde respecto a las demás. Obteniéndose como resultado el modelo final de la aeronave como un todo.

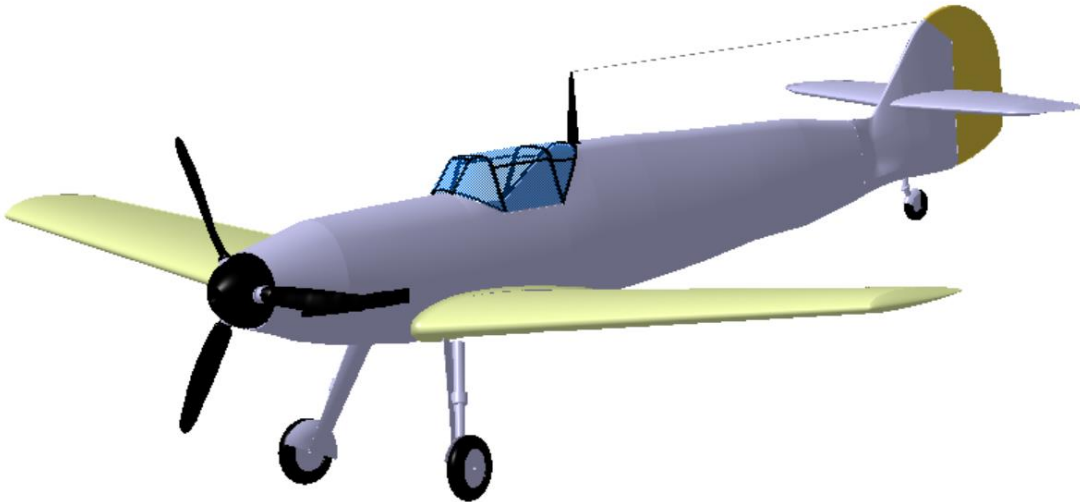


Figura 4-2. Modelo del Me-109.

Del mismo modo y de forma simultánea, se ha reproducido parte de la estructura interna del Messerschmitt 109 con el mayor grado de detalle posible, teniendo en cuenta que sobre esta no aparece ningún dato en los planos. Para llevar a cabo su recreación se han tomado como referencia imágenes y fotografías encontradas sobre distintas zonas de esta estructura interna. Así como cualquier información obtenida de aeronaves similares de la época.

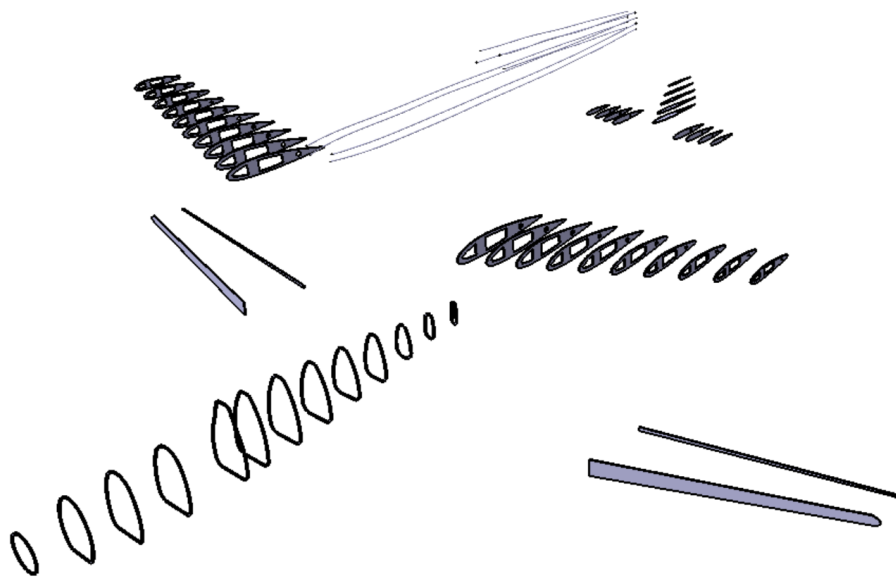


Figura 4-3. Descomposición de la estructura interna del modelo.



De nuevo, como se puede observar en la imagen, para el modelado de la estructura interna se ha procedido de igual forma que para la estructura externa. Se distinguen las diferentes partes modeladas por separado y, una vez obtenidas estas, se ha llevado a cabo el ensamblaje de todas ellas. De esta forma, se obtiene como resultado la estructura mostrada en la siguiente imagen.

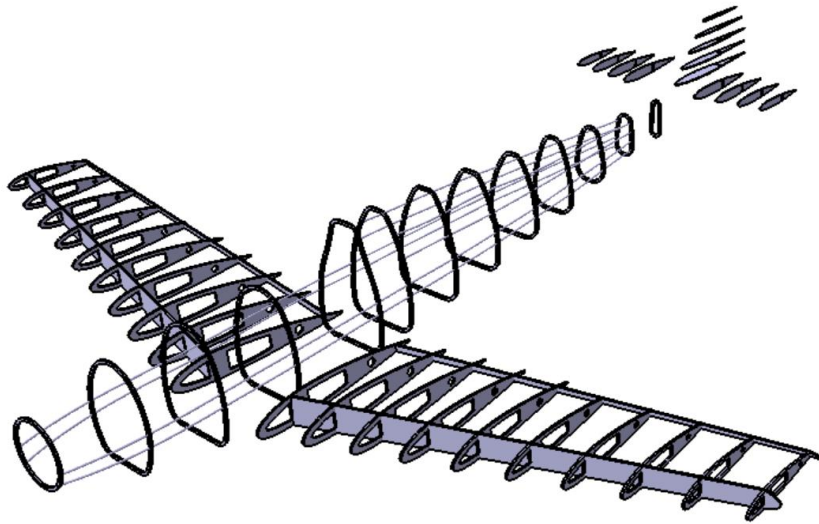


Figura 4-4. Estructura interna del modelo.

Una vez hecha esta breve introducción explicativa sobre cómo se llevará a cabo el modelado del Messerschmitt 109, a continuación, se mostrará detalladamente el proceso realizado para la recreación de cada una de las partes que componen la aeronave.

## 4.1 Fuselaje

En esta primera sección del diseño de las distintas partes del avión se explicará, buscando un equilibrio entre la concisión y el detalle, cómo se ha llevado a cabo el proceso que ha dado forma al fuselaje del Messerschmitt 109.

El fuselaje de un avión es el cuerpo principal de la estructura del avión. Su función principal será, por una parte, albergar a la tripulación, los pasajeros y la carga y, por otro lado, servir de soporte al resto de los conjuntos, ya que será donde se unan las alas, la cola y, en el caso del Me-109, el motor en el morro.

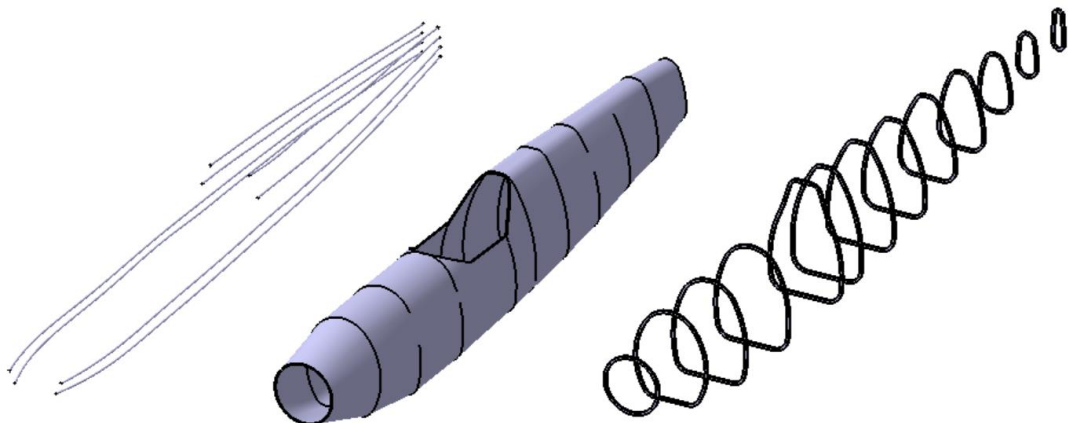


Figura 4-5. Partes fuselaje.

Como se puede observar en la imagen, el diseño completo del fuselaje se ha dividido en los diferentes componentes de este y su posterior unión. Principalmente, se han diseñado por separado las cuadernas que dan forma al fuselaje en el interior, los largueros que sirven de unión de dichas cuadernas y el revestimiento que cubre cuadernas y largueros.

#### 4.1.1 Cuadernas

En primer lugar, se expone el desarrollo del proceso de modelado para la reproducción de las cuadernas que conforman el fuselaje. Observando los planos, se puede observar que, para representar detalladamente la estructura del fuselaje, este se ha dividido en trece secciones. En vista de imágenes tanto del propio avión como de aeronaves similares, se ha considerado que trece cuadernas serían suficientes para dar forma y garantizar la integridad de la estructura del fuselaje.

A partir de los planos, se obtiene el alzado de cada una de las secciones en las que está dividido el fuselaje. Estas secciones serán utilizadas como contorno de las cuadernas. Las cuadernas de una aeronave deben ser huecas, sin embargo, en los planos que disponemos solo se puede obtener información sobre los contornos exteriores. Por ello, se tomará la decisión de realizar un hueco trazando un contorno interior paralelo al exterior, separados una distancia de 3 cm. Dicha solución se ha considerado como buena tras observar imágenes de la estructura interna del Messerschmitt 109.

Por otra parte, examinando imágenes de cuadernas del Me-109 se pueden ver diversos agujeros en ellas. Estos agujeros suelen aparecer con frecuencia en las cuadernas de este tipo de aeronaves con el fin de aligerar peso, de servir como guía y sustento a los largueros que unen las cuadernas o de servir como paso de cableado y tubos de los diferentes sistemas de una aeronave. Con lo cual, en este proceso de diseño se han colocado ciertos agujeros, situándolos de manera lógica sobre las cuadernas.

Por último, se ha optado por dar un espesor de 1 cm a cada una de las cuadernas.

A continuación, se muestra el modelado de la cuaderna correspondiente a la sección F, siendo el proceso similar al seguido para el diseño de las doce restantes.

El primer paso será representar el contorno de la sección en dos dimensiones. Para ello se crea un *Sketch*, en el cual, introduciendo diferentes geometrías, cotas y restricciones (paralelismos, tangencias, coincidencias, etc.), se alcanza el resultado de la siguiente imagen.

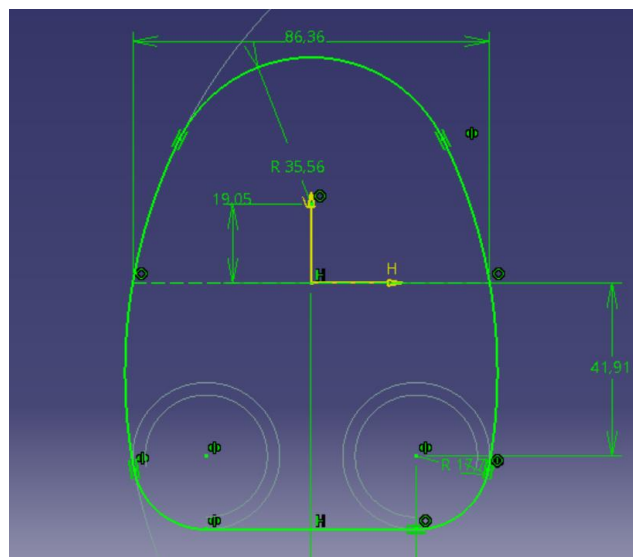


Figura 4-6. Sketch contorno exterior cuaderna F.

Cabe destacar el gran uso que se ha dado, en el proceso de creación de las cuadernas, de la función de simetría, la cual permite ahorrar una gran carga de trabajo ya que todas estas secciones son simétricas respecto al eje vertical que pasa por el medio de ellas.

Una vez obtenido el contorno exterior de la cuaderna, el siguiente paso es crear su contorno interior. Para ello, como se ha indicado previamente, se traza un contorno paralelo al exterior hacia dentro, separados una distancia de 3 cm. En este paso se utiliza muy a menudo la función *Offset*, ya que permite realizar curvas paralelas a las ya existentes, separándolas una distancia deseada.

Tras realizar el paralelismo del contorno completo, el siguiente paso será realizar el agujereado de la cuaderna. Dado que no se dispone de información exacta sobre su colocación ni su tamaño, se sitúan de forma que, por aquellos por los que más tarde vayan a pasarlos largueros, estos lo puedan hacer sin problema, evitando choques o curvaturas extrañas de los mismos. Por otro lado, los agujeros que no vayan a sustentar ningún larguero tendrán como principal función aligerar el peso de la estructura, para lo cual no será muy importante su colocación exacta en la cuaderna, con lo cual se han colocado donde más cómodo ha resultado según la cuaderna y su disposición.

El resultado obtenido tras realizar el contorno interior y los agujeros existentes en la cuaderna se puede observar en la siguiente imagen.

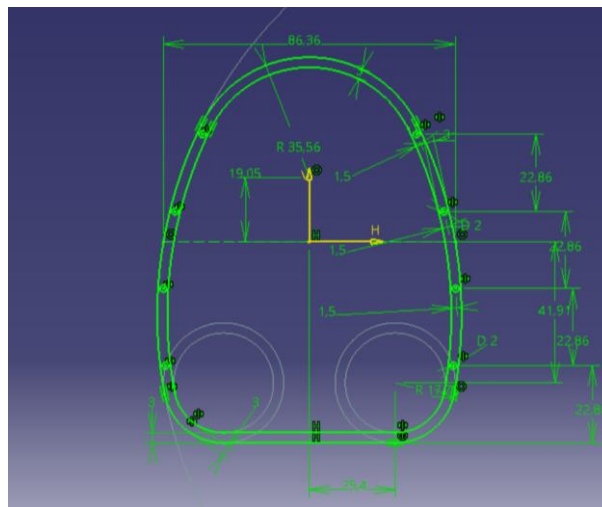


Figura 4-7. Sketch contorno completo cuaderna F.

Representada la proyección del alzado de la cuaderna, el paso final sería darle profundidad, obteniendo así su reproducción tridimensional. Para ello, seleccionando el *Sketch* en el cual se ha realizado el anterior proceso, se utilizará la función *Pad*. Al realizar esta extrusión, se da un espesor de 1 cm a la cuaderna, como se había indicado previamente.

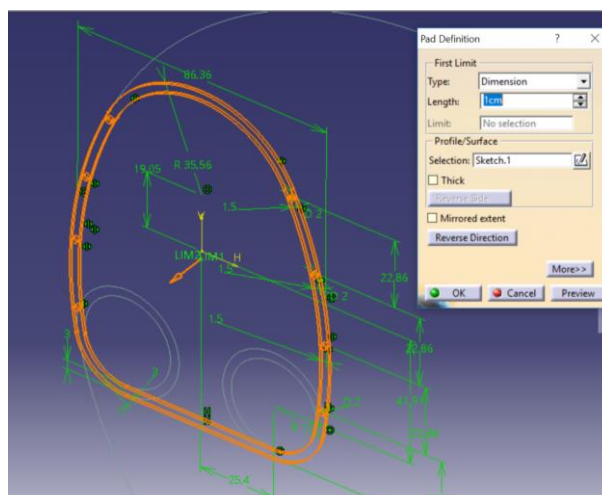


Figura 4-8. Extrusión cuaderna F.

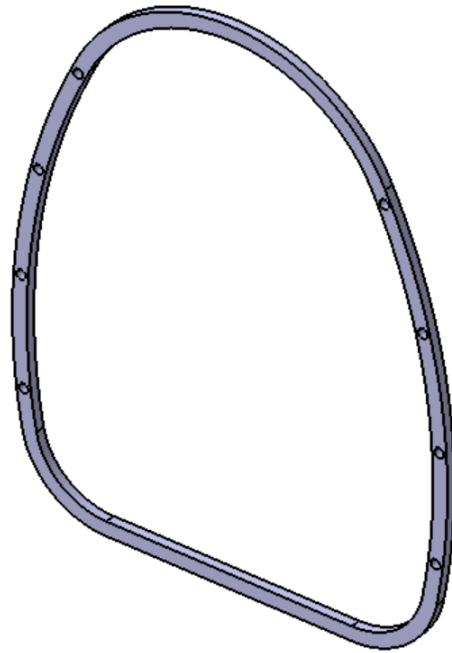


Figura 4-9. Cuaderna F.

Tras repetir este proceso para realizar el modelado de las restantes cuadernas, se introducen todas en el módulo *Assembly Design* por medio de la función *Existing Component*. Una vez están todas dentro de este módulo, se colocan en el espacio de forma correcta, introduciendo restricciones de paralelismo y distancia entre ellas (siguiendo las medidas que separan las secciones en los planos), situándolas todas en el plano simétrico del avión y siguiendo una línea horizontal del avión marcada en los planos.

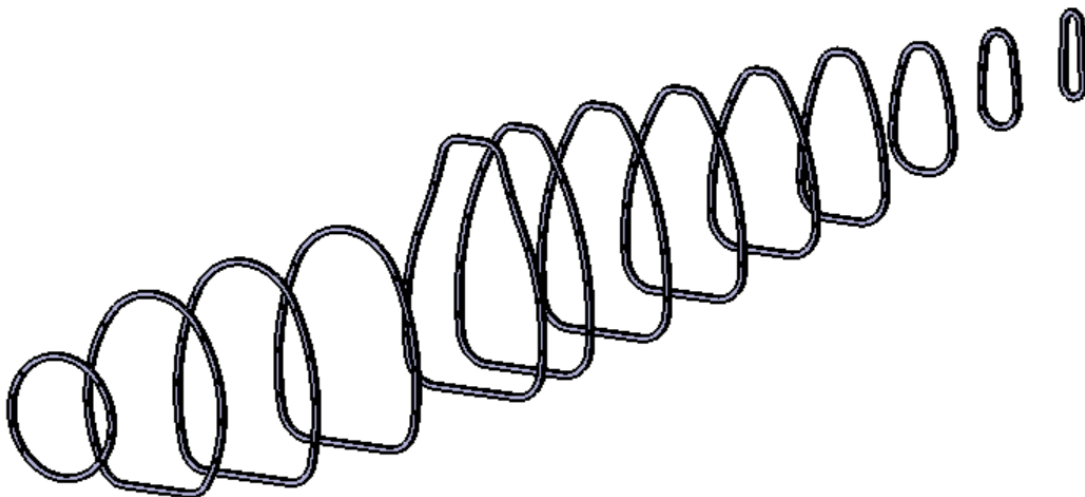


Figura 4-10. Cuaderna fuselaje.

### 4.1.2 Revestimiento

Una vez realizado el modelado de las trece cuadernas, se creará el revestimiento que cubrirá las mismas. Para llevarlo a cabo, se trabajará principalmente dentro del módulo *Wireframe and Surface Design*. Este módulo permite trabajar con superficies, siendo un módulo muy potente a la hora de diseñar cualquier objeto con un espesor pequeño, como en este caso.

En primer lugar, se crea un archivo *.CATPart* a partir del archivo *.CATProduct* en el cual se encuentran las trece cuadernas modeladas previamente utilizando la función correspondiente dentro de las herramientas del módulo *Assembly Design*. Convertido este archivo, lo introducimos en el módulo *Wireframe and Surface Design*, donde dará comienzo el modelado del revestimiento del fuselaje.

Este revestimiento se irá creando sección a sección, es decir, se unirán las dos primeras cuadernas, después la segunda con la tercera y así sucesivamente hasta tener todas ellas y unir las finalmente utilizando el comando *Join*.

Para ello se comienza usando la función *Extract* para extraer al espacio tridimensional el contorno de cada una de las secciones. Posteriormente, se crean dos líneas que sirvan de guía para la superficie que una ambos contornos, mediante la creación de puntos (*Point*) y líneas (*Line*).

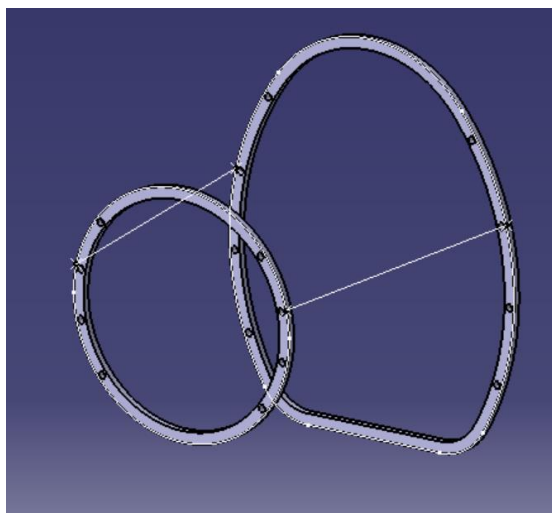


Figura 4-11. Guías y extracciones de las cuadernas.

En esta imagen podemos ver marcados en blanco tanto los contornos extraídos como las líneas que servirán de guías.

El siguiente paso, será utilizar la herramienta *Multi-Sections Surface*, en la cual se introducirán como secciones a unir las y se indicarán como guías los contornos de sendas cuadernas. Dicho de forma más coloquial, se harán recorrer a cada una de las líneas los contornos, creando a su paso una superficie, que será la cubierta de esta sección del fuselaje.

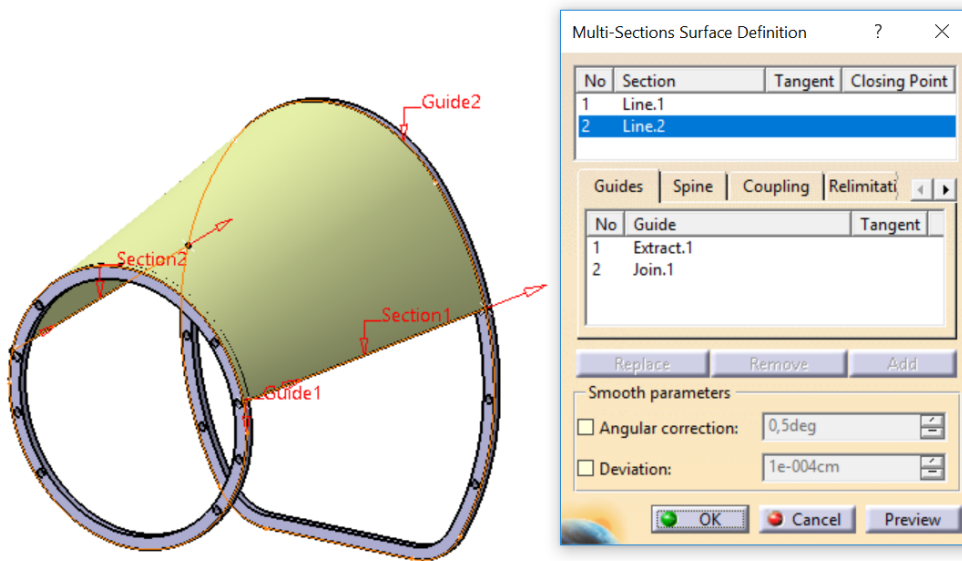


Figura 4-12. Parte superior de la superficie de unión de cuadernas.

Como se ve en la imagen, se realiza la acción mencionada en primer lugar para unir ambas guías por una parte del fuselaje, a continuación, se realiza la misma operación para la otra, cerrando así la sección.

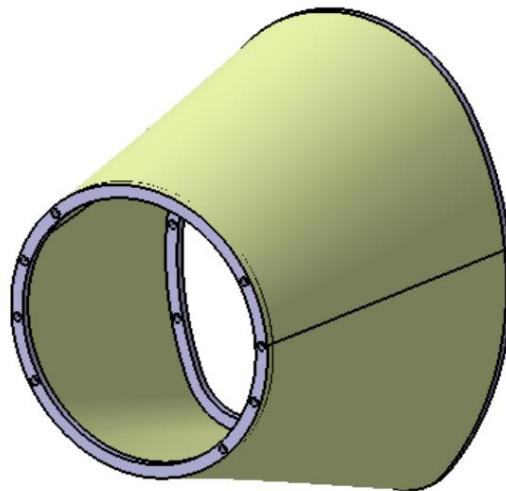


Figura 4-13. Superficie entre cuadernas.

Se repite este proceso para el resto de las secciones hasta alcanzar la sección M (dejando la N y la O sin revestimiento ya que irán dentro de la cola), donde el revestimiento del fuselaje se unirá posteriormente con el diseñado para la cola de la aeronave.

Una vez modeladas las once secciones mencionadas, se ejecuta la función *Join* introduciendo todas ellas. De esta forma se unen dando como resultado final la superficie del revestimiento completo del fuselaje del Messerschmitt 109.

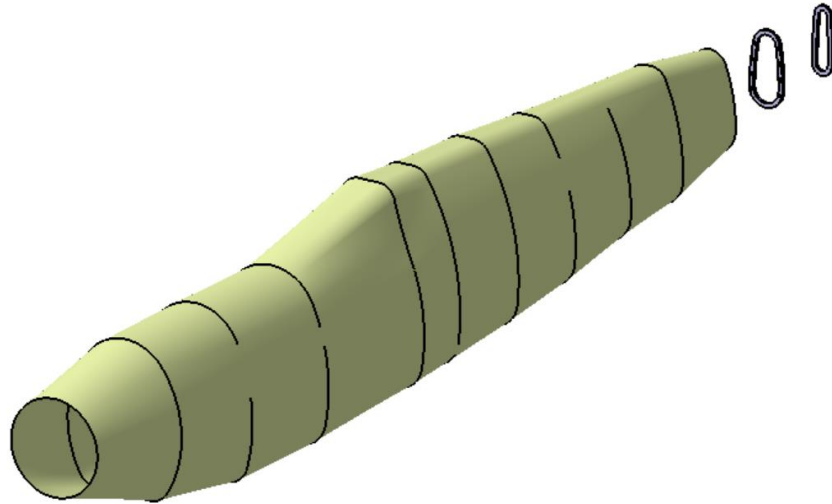


Figura 4-14. Superficie revestimiento de las cuadernas.

Al haber creado este revestimiento utilizando el módulo de CATIA *Wireframe and Surface Design*, se ha obtenido como resultado una superficie, es decir, el revestimiento en este momento no tiene espesor. Para darle el espesor que tiene realmente el revestimiento del fuselaje del Me-109, se introducirá esta superficie en el módulo *Part Design* y, una vez ahí, se aplica la función *Thick Surface*, introduciendo el valor de espesor que se desee. En este caso, se ha introducido el valor de 1 mm, un valor estimado haciendo una media de los espesores que tienen los revestimientos de los fuselajes de aeronaves similares de la época.

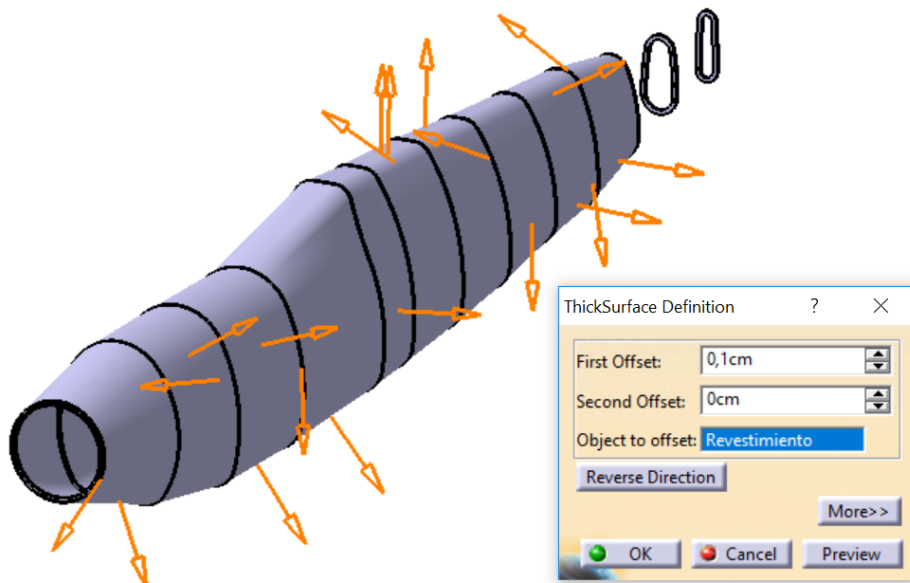


Figura 4-15. Revestimiento sólido.

En último lugar, se puede observar que no existe hueco para alojar la cabina del piloto. Para abrir esa zona, se realiza un boceto (*Sketch*) en un plano paralelo al de simetría del avión, separado de este una distancia suficiente como para que no interseque con el fuselaje. En este boceto se dibuja el contorno de la cabina vista desde el perfil de la aeronave, información que se puede sacar de los planos de los que se disponen.

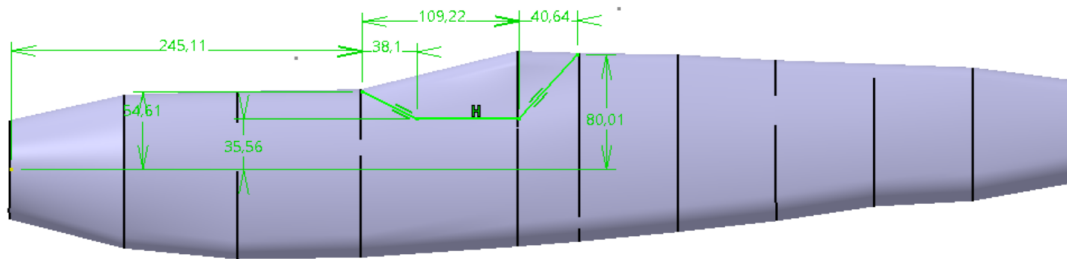


Figura 4-16. Sketch para realizar corte de la zona de la cabina.

Una vez creado este boceto, se utiliza la herramienta *Pocket*. De esta forma se consigue realizar un corte al fuselaje con la forma del contorno dibujado (el de la cabina), dando como resultado el mostrado en la siguiente imagen, el cual sería el revestimiento final del fuselaje del Messerschmitt 109.

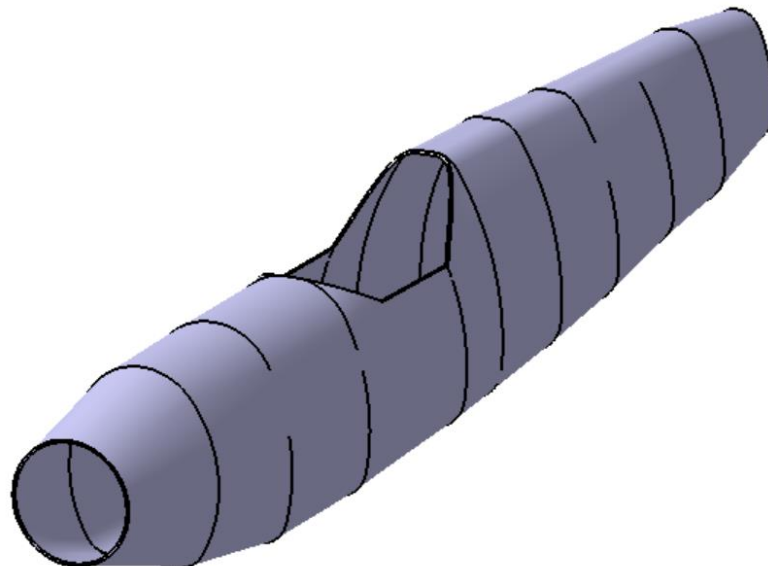


Figura 4-17. Revestimiento final.

### 4.1.3 Largueros

Para el diseño de los largueros que unen y sustentan las cuadernas del fuselaje, en primer lugar, se crea de nuevo un archivo *.CATPart* a partir del archivo *.CATProduct* que contiene todas las cuadernas posicionadas de forma correcta. Se abre este archivo en el módulo *Wireframe and Surface Design*, en el cual se crean líneas que sirvan como guías para los largueros y en la punta de dichas líneas se crean sus secciones transversales, mediante la creación de un *Sketch* perpendicular a ella en su punta. Para la creación de las guías se utiliza la función *Spline*, que permite crear una línea a partir de la unión de varios puntos. Con lo cual, previamente también se han creado puntos en el centro de cada uno de los agujeros por los que pasarán los largueros posteriormente.



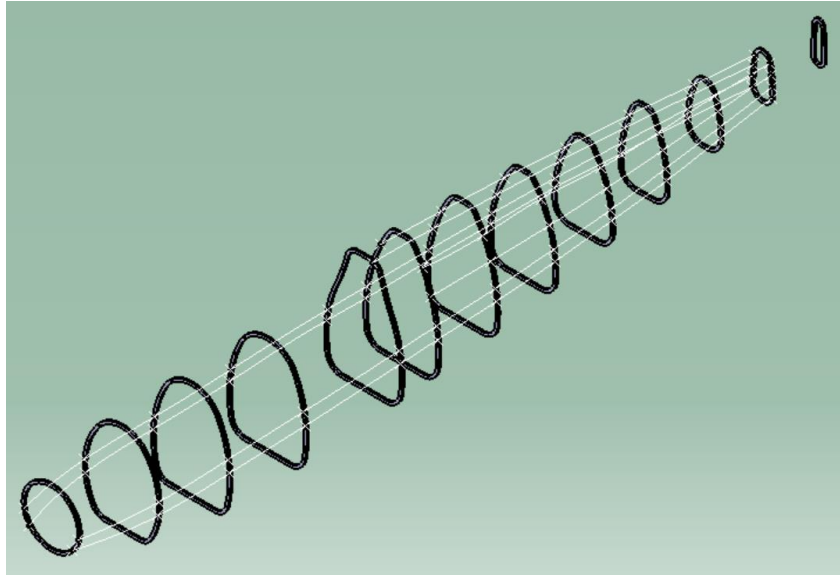


Figura 4-18. Splines guías de los largueros.

Una vez realizadas las guías y la sección transversal de los largueros sus puntas, se pasa a trabajar en el módulo *Part Design* para, gracias al uso de la función *Rib*, se hace recorrer dicha sección a lo largo de la guía, creando así el larguero macizo.

Repitiendo esta operación para la creación de todos los largueros se obtiene un resultado insatisfactorio, ya que se puede observar una excesiva curvatura en ciertas zonas de los largueros. Lo cual es especialmente visible atendiendo a la vista del perfil de estos.

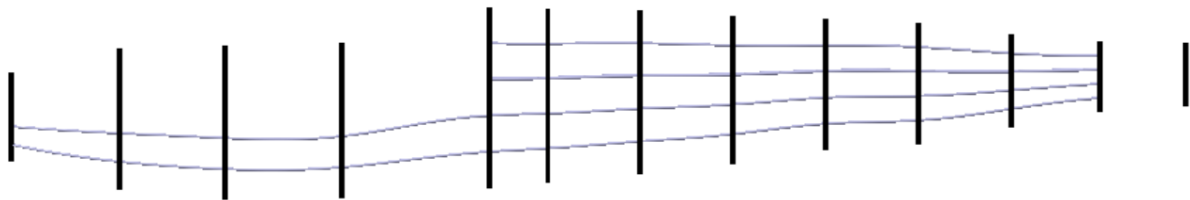


Figura 4-19. Perfil de los largueros.

Este error aparece debido a que los agujeros, como se indicó al inicio, habían sido colocados de forma aproximada en cada cuaderna. Por esta razón, los largueros cambian en exceso de curvatura conforme avanzan por las cuadernas.

Para solucionar este problema, se utilizará el programa AutoCAD. En este programa, tras indicar una de las cotas conocidas, se escala automáticamente el plano al completo, permitiendo calcular cotas no indicadas en este a partir de mediciones sobre los dibujos. Con lo cual, para cada larguero se traza una recta en el perfil del fuselaje entre las dos cuadernas en las que se encuentren sus puntas. De esta forma podemos encontrar la posición en la que se debe alojar cada agujero en las cuadernas con respecto al plano horizontal del avión definido en los planos como se indica en la siguiente imagen (se muestran el perfil de las guías de los largueros y los puntos de corte con la cuaderna H).

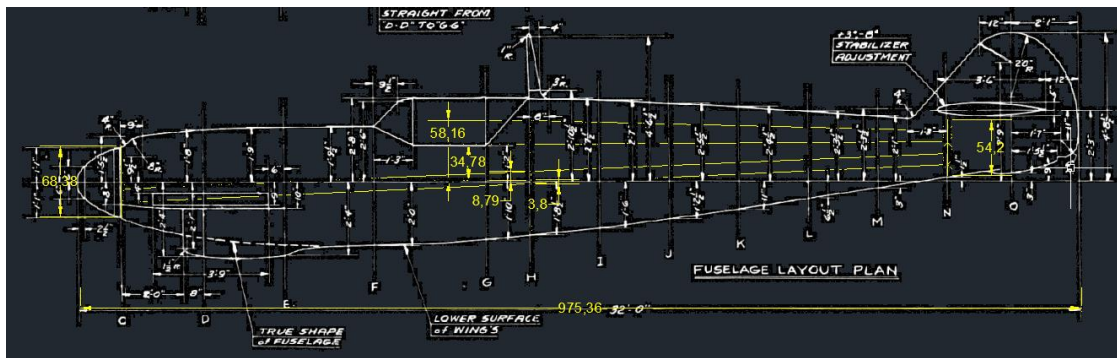


Figura 4-20. Medidas de largueros en AutoCAD.

Tras realizar todas las mediciones, se colocan los agujeros de nuevo en cada cuaderna, ahora en su posición correcta, y se realiza de nuevo el proceso anterior para la creación de los largueros. Obteniéndose en esta ocasión un resultado que se acerca mucho más al real.

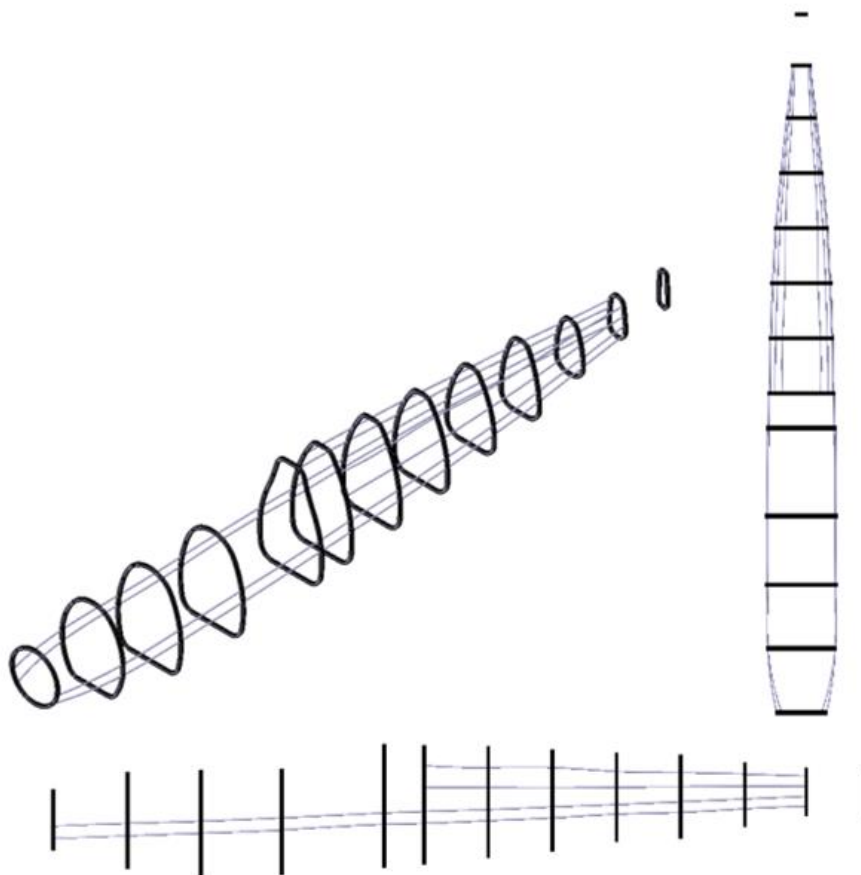


Figura 4-21. Largueros y cuadernas del fuselaje.

Esta vez el resultado es bastante más satisfactorio, como se puede observar desde diferentes vistas en la anterior imagen. Aunque no son exactamente como los largueros reales que implementaba el Messerschmitt 109 debido a la falta de información concreta sobre estos, se puede aceptar como buena esta aproximación teniendo en cuenta imágenes disponibles sobre la aeronave.

De esta forma se ha conseguido llevar a cabo por completo el modelado del fuselaje del Messerschmitt 109, tanto de la estructura externa como de la interna.

Poniendo todo ello en conjunto en un archivo .CATProduct y dando transparencia al revestimiento dentro de sus propiedades gráficas, se puede ver el resultado obtenido de este proceso.

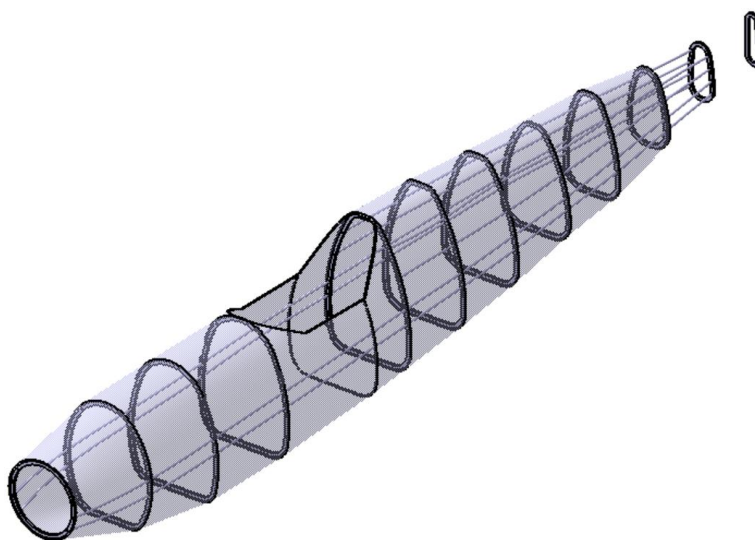


Figura 4-22. Fuselaje completo.

## 4.2 Cabina

La cabina de un avión militar monoplaza como el que se está modelando sirve como alojamiento para el piloto, la cual proporciona protección al mismo mientras este dirige la aeronave. En el interior de este elemento se encuentran también todos los controles e instrumentos para manipular el vehículo, así como el asiento que acomoda al piloto, junto a todos los elementos de seguridad (cinturones de seguridad, sistema de eyección del piloto...).

En esta sección se explicará el proceso llevado a cabo para realizar el modelado de la cabina del Messerschmitt 109. Para ello, esta se ha dividido en tres partes: delantera, central y trasera. El motivo de esta separación es la movilidad que tendrá la zona central, la cual tendrá como grado de libertad la rotación respecto a un eje con el fin de servir como entrada y salida para el piloto, mientras que las secciones trasera y delantera estarán fijadas al fuselaje.

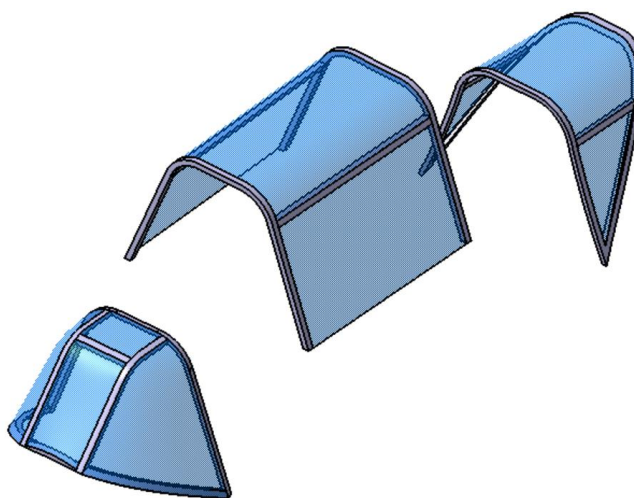


Figura 4-23. Partes de la cabina.

La recreación de las tres secciones se ha realizado de igual forma para cada una de ellas. En primer lugar, se han creado las uniones metálicas que dan forma y rigidez a la estructura a partir de barridos con la función *Rib*. En segundo lugar, se han cerrado los huecos mediante la creación de superficies, dándoles posteriormente una transparencia para imitar al cristal.

Debido a la similitud del modelado de cada una de las partes de la cabina y con el fin de evitar una excesiva repetitividad, solo se procederá a explicar de forma detallada la reproducción de la sección central.

El primer paso consiste en tomar medidas del hueco que deja la cabina en el fuselaje para tomarlas como referencia en el diseño de la base de la cabina. De esta forma, al terminar el proceso, ambos elementos encajarán de forma correcta. Para ello, se utiliza la función *Measure Between* en el archivo que contiene el revestimiento del fuselaje. Esta herramienta permite medir distancias entre dos elementos cualesquiera, como se puede observar en la siguiente imagen, que sirve de ejemplo del ejercicio llevado a cabo.

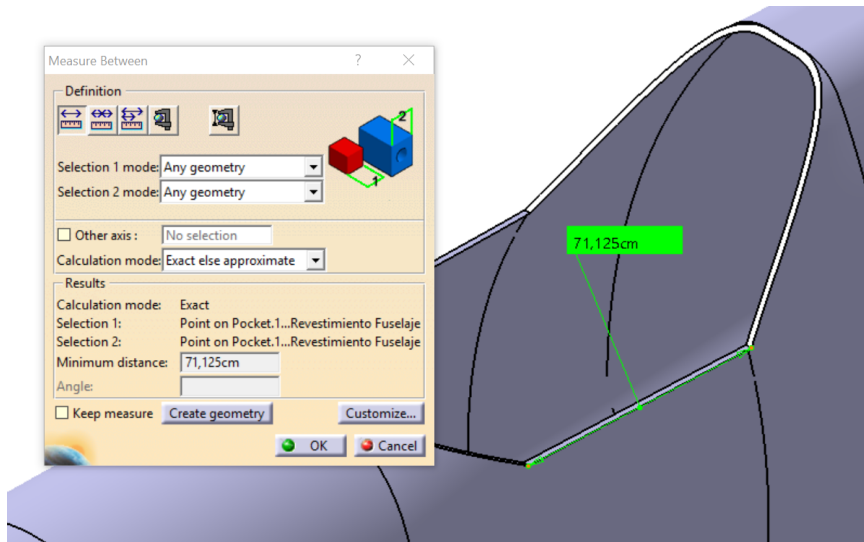


Figura 4-24. Medida de la zona del hueco de la cabina.

De esta forma, se obtiene la base sobre la que se modelará esta sección de la cabina. A partir de esta y siguiendo las medidas de esta sección existentes en los planos, se utiliza la herramienta *Sketch* para crear las líneas que seguirán las uniones de hierro de la cabina, las cuales se pueden observar en la imagen.

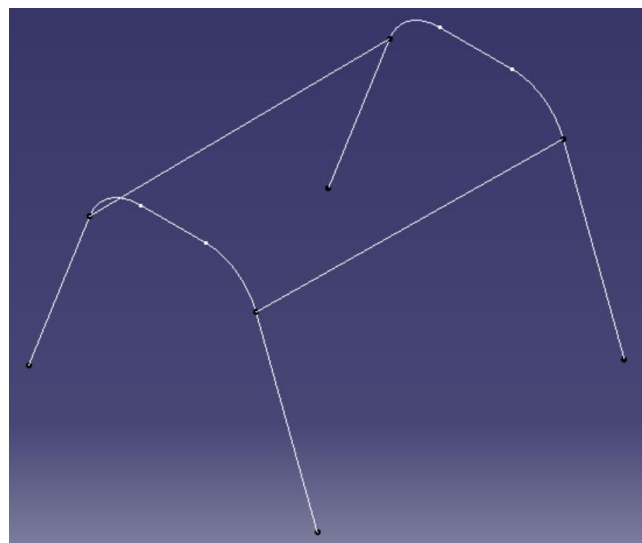


Figura 4-25. Esqueleto de la cabina central.

A continuación, se crean bocetos en uno de los extremos de cada una de las guías, con el contorno de las secciones de cada una de estas uniones metálicas. Con las secciones ya creadas y, por otro lado, las guías obtenidas en el paso anterior, se ejecuta la herramienta *Rib* para cada una de las cuatro. Como ejemplo se muestra la creación de una de ellas.

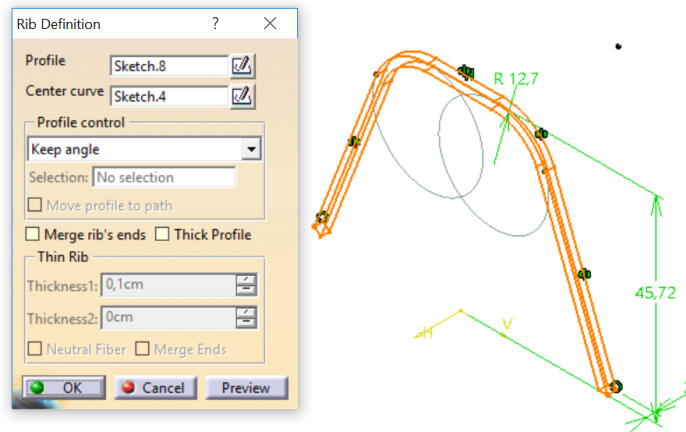


Figura 4-26. Extrusión de la unión metálica.

Tras repetir este mismo paso con las guías restantes, se obtiene la estructura metálica al completo de esta parte central de la cabina.

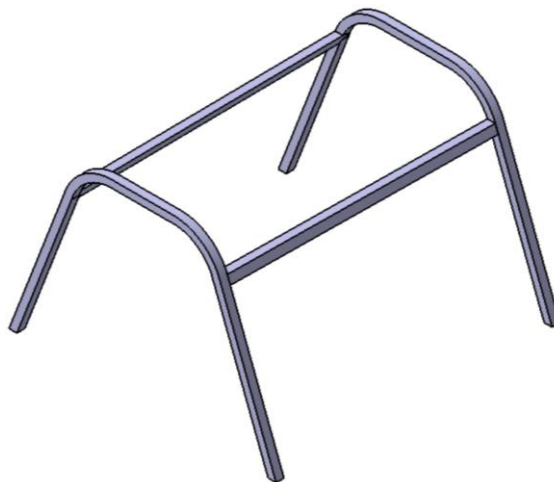


Figura 4-27. Estructura metálica de la cabina central.

Con esta estructura modelada, resta crear las superficies que simularán los cristales de la cabina. Como se va a pasar de trabajar con sólidos a trabajar con superficies, se cambia del módulo *Part Design* al módulo *Wireframe and Surface Design*. En este módulo, se utilizarán fundamentalmente las herramientas *Fill* y *Multi-Sections Surface*, en función del hueco que se esté llenando.

En este caso, mediante el comando *Fill*, que permite crear una superficie sobre un contorno cerrado, se crearán las ventanas laterales. Por ello, se traza una línea mediante el comando *line* que una el hueco de la base del cristal y se crea una superficie en el rectángulo de cada uno de los cristales laterales.

Por otro lado, se utilizará el comando *Multi-Sections Surface* para la recreación del cristal superior, introduciendo las dos líneas rectas de los laterales como elementos a unir y los dos contornos de los interiores de la estructura metálica trasera y delantera como guías.

Por último, entrando en las propiedades gráficas de las tres superficies, se selecciona para ellas un color de tono azul y se da cierto grado de transparencia. De esta forma se consigue simular el cristal existente en la realidad en estos huecos.

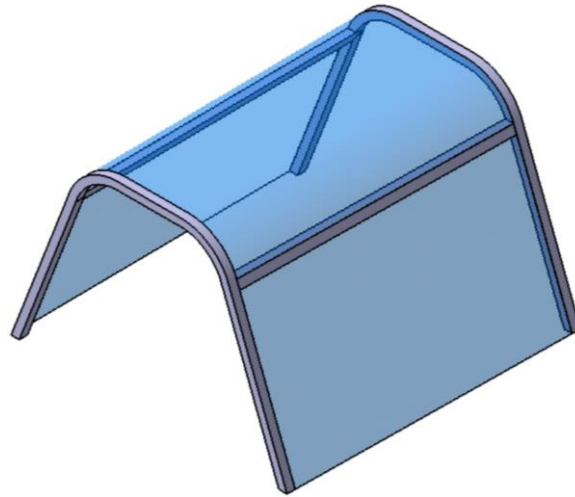


Figura 4-28. Cabina central.

Repitiendo todo este proceso para las dos partes restantes de la cabina con sus correspondientes medidas indicadas en los planos, se obtienen las tres secciones presentadas al inicio de este apartado, que en conjunto conforman la cabina del Messerschmitt 109.

Una vez diseñadas las tres partes de la cabina, se entra a trabajar en el módulo *Assembly Design*, donde se introducen los tres archivos .CATPart en los que se encuentran mediante el comando *Existing Component*. Una vez se encuentran las tres partes de la cabina dentro de un mismo espacio tridimensional, utilizando fundamentalmente las restricciones *Fix*, *Contact Constraint* y *Offset Constraint*, se consigue situar las piezas en el espacio de acuerdo con lo que indican los planos, así como dejar la capacidad a la parte central de rotar, dando ese grado de libertad en el eje donde irá enganchada.

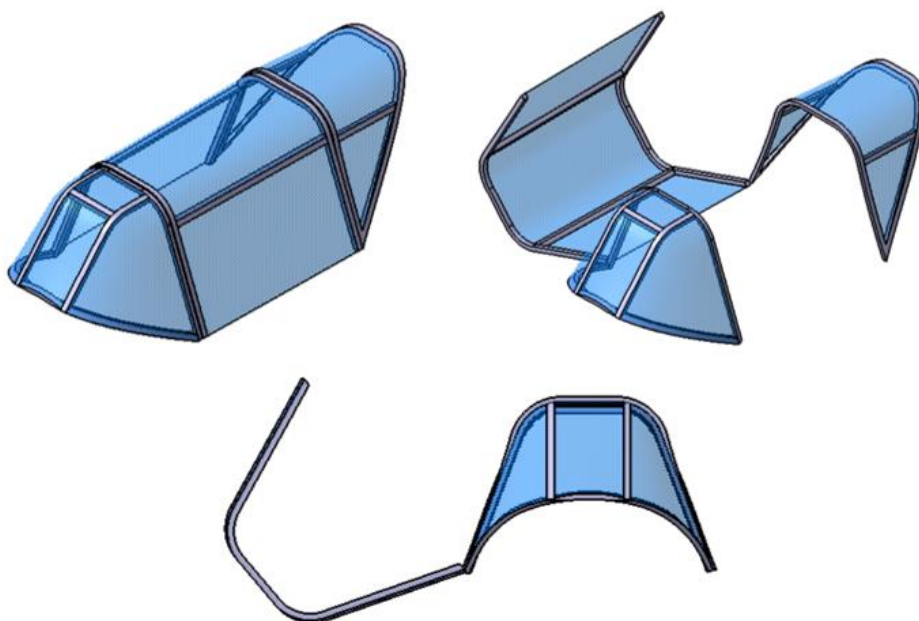


Figura 4-29. Cabina completa.

### 4.3 Alas

En esta sección se explicará detalladamente cuál ha sido el proceso de modelado que ha dado como resultado la reproducción de las alas del Messerschmitt 109. La función principal de este elemento en un avión es la de aportar la sustentación necesaria a la aeronave para que este pueda elevarse en el aire. Por otra parte, las alas darán la capacidad de maniobrar el avión, pudiendo controlar el movimiento de balanceo haciendo uso de los alerones y spoilers que incorpora cada ala. Por último, cabe destacar la existencia de flaps y slats en los bordes de salida y ataque de las alas, los cuales permiten aumentar o disminuir la curvatura del perfil con el fin de variar la sustentación en función de la fase de vuelo en la que se encuentre la aeronave.

Las alas estarán constituidas por costillas, largueros y un revestimiento. Todo esto, modelados por separado y, tras ello, puesto en conjunto, dando como resultado el ala que se buscaba.

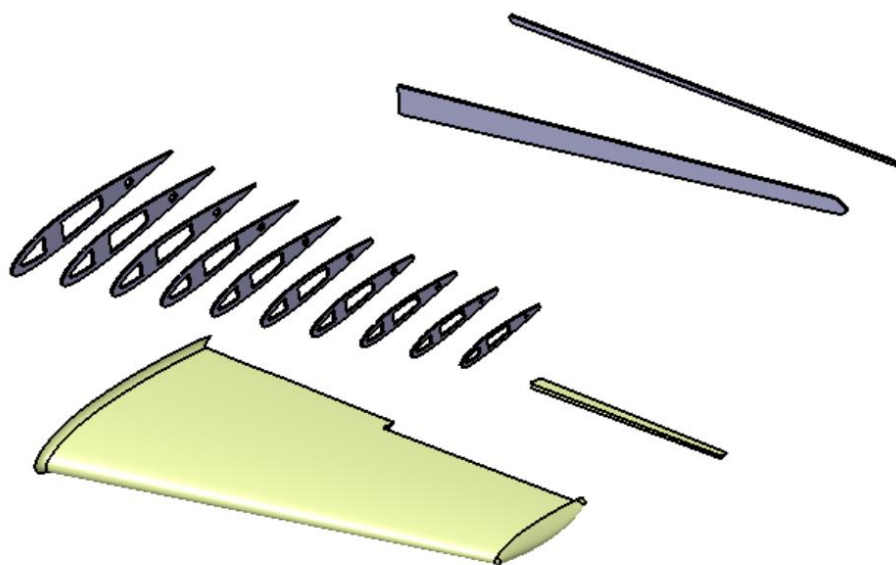


Figura 4-30. Partes del ala.

#### 4.3.1 Costillas

Para diseñar las costillas de las alas haciendo uso del software CATIA es necesario conocer los perfiles que conforman las alas del Me-109. Como en los planos que se han seguido durante el proceso de diseño únicamente se da información sobre el espesor y la cuerda del perfil en la punta y en la raíz del ala, ha sido necesario llevar a cabo un proceso de investigación con el fin de poder obtener información más detallada sobre las distintas secciones de las alas. Participando en diversos foros de aficionados a la aviación de la Segunda Guerra Mundial se consiguió dar con varias fuentes que aseguraban que el perfil que implementaba el Messerschmitt 109 se asemejaba mucho al perfil NACA 2315 en la raíz del ala y al perfil NACA 2310 en la punta.

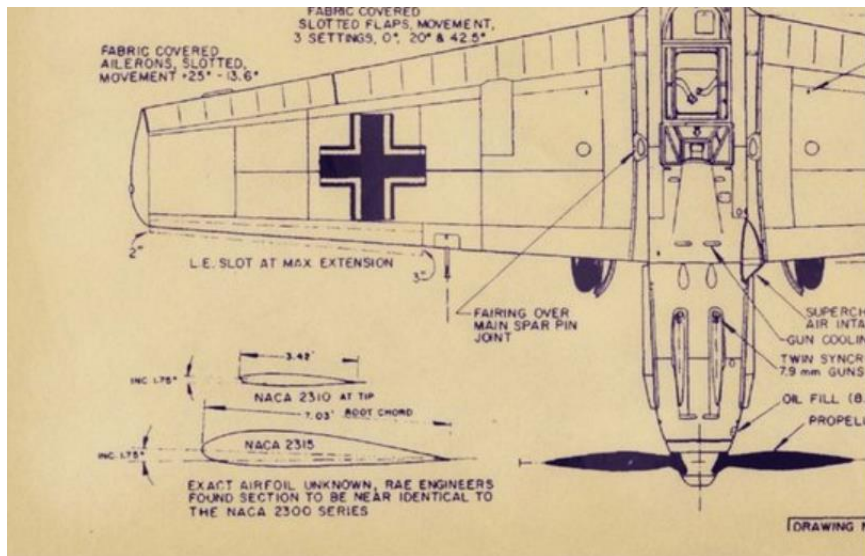
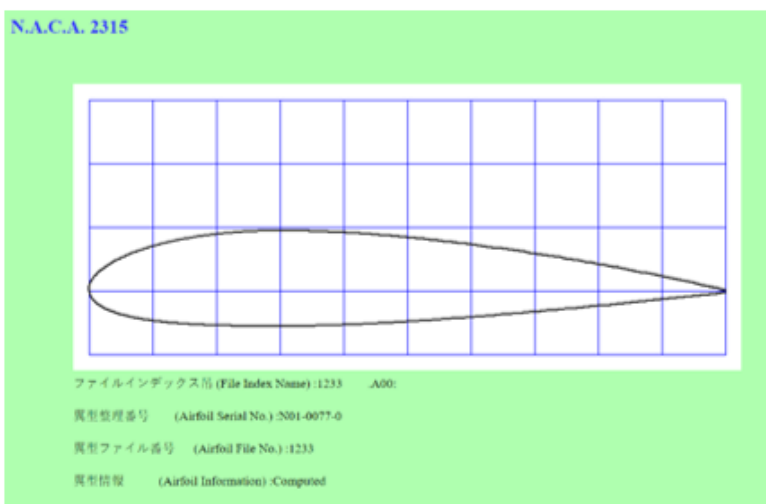


Figura 4-31. Plano detallado del perfil alar.

Con esta información se puede representar con mayor exactitud el perfil alar de la aeronave. En primer lugar, se deben obtener los puntos del perfil a implementar. Para ello se hace uso de la base de datos existente en la web <http://kurisawa.pro.tok2.com/aeronautics/Airfoils/15-0021.html>, donde se pueden encontrar las coordenadas de los puntos de multitud de perfiles alares distintos.



座標 (Ordinates)		
X (%)	Y <sub>u</sub> (%)	Y <sub>l</sub> (%)
0	0.00	0.00
1.25	2.83	-1.96
2.5	3.85	-2.74
5.0	5.27	-3.67
7.5	6.29	-4.25
10	7.09	-4.65
15	8.25	-5.14
20	8.98	-5.38
30	9.50	-5.50
40	9.22	-5.29
50	8.46	-4.77
60	7.35	-4.06
70	5.95	-3.22
80	4.28	-2.28
90	2.36	-1.27
95	1.29	-0.73
100	0.16	-0.16
前縁半径 : L.E.R. : 2.48 %		
前縁傾斜 : Slope of L.E. : 0.133		
引用文献 : Reference (for input) : 0		
同一文献 : References (same data) :		
プロット座標データ (Ordinates for plot)		

Figura 4-32. Puntos del perfil NACA 2315.



Una vez obtenidos los puntos del perfil alar del Messerschmitt 109, se hace uso de la macro existente en CATIA que permite importar una cantidad de puntos a partir de la inclusión de estos en el archivo de Excel *GSD\_PointSplineLoftFromExcel.xls* que se genera automáticamente al instalar el software CATIA. Con los puntos insertados en este archivo y con un *Part Design* abierto en CATIA se presiona Alt+F8, de esta forma se da la orden de importar los puntos en el espacio tridimensional de CATIA.

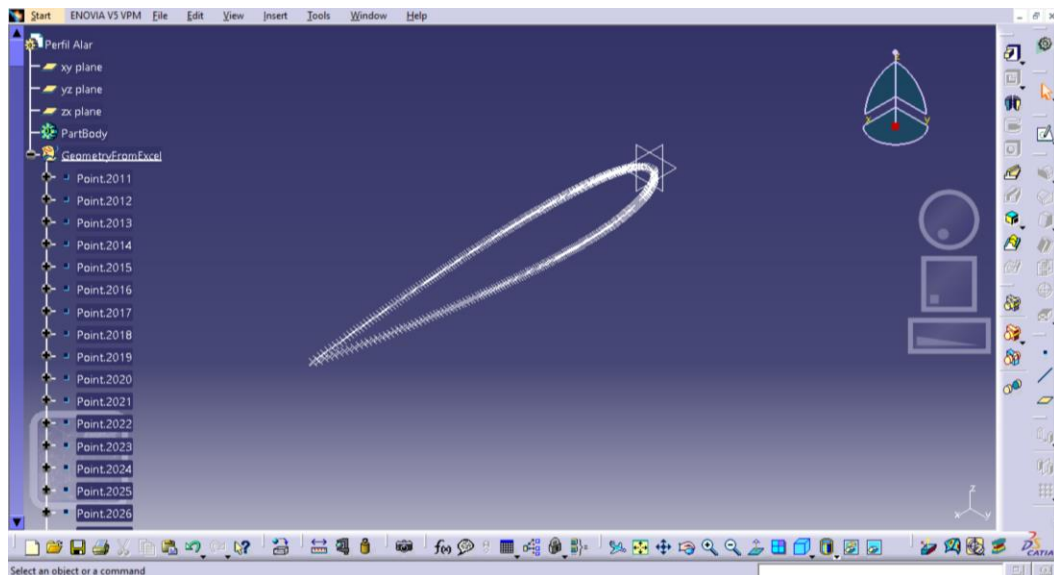


Figura 4-33. Puntos del perfil en CATIA.

El siguiente paso será proyectar estos puntos en un boceto, creando un *Sketch* paralelo a la sección y utilizando la función *Project 3D Elements*. Realizado este paso, se elimina el vínculo existente entre el *Sketch* y los puntos en el espacio tridimensional usando la función *Isolate*. Por último, fijamos los puntos dentro del *Sketch* mediante la restricción *Fix*. De esta forma se obtienen los puntos que definen el perfil alar en una sección del ala.

Sin embargo, al medir la longitud del perfil esta sale del orden de la unidad, lo cual ocurre debido a que los puntos obtenidos del perfil en la base de datos están en valores nominales. Para solucionar este problema simplemente se debe escalar el archivo Excel multiplicando todas las celdas por el valor deseado de longitud de la sección y repetir el anterior proceso. Obteniéndose así la situación de los puntos el perfil alar real que se buscaba.

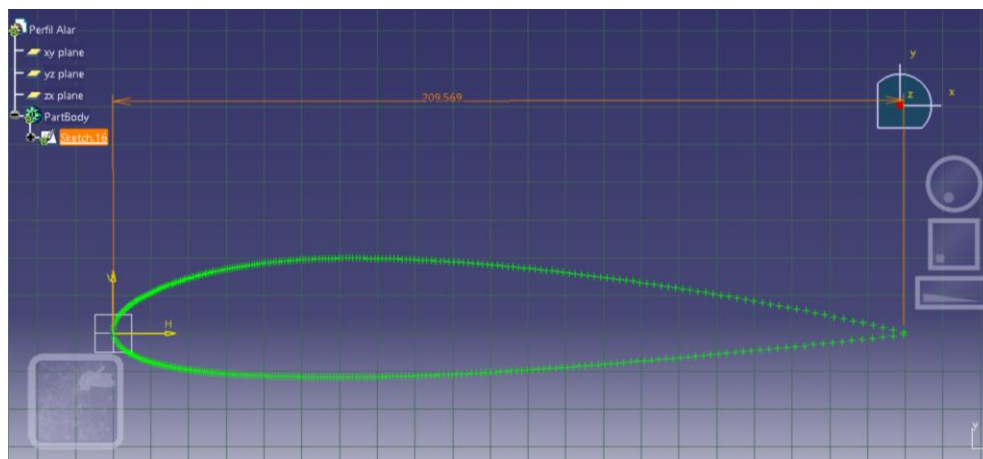


Figura 4-34. Sketch con los puntos del perfil.

Se puede comprobar que el espesor del perfil varía mínimamente con respecto al indicado en los planos del avión. Esto se debe a que se ha representado una aproximación del perfil real, como se ha indicado previamente, el perfil alar NACA 2315.

Para conseguir la costilla tridimensional hay que unir los puntos con una curva mediante la creación de una *Spline* y darle el espesor deseado a esta utilizando la función *Pad*. En este caso se ha dado un espesor de 2 cm a cada costilla.

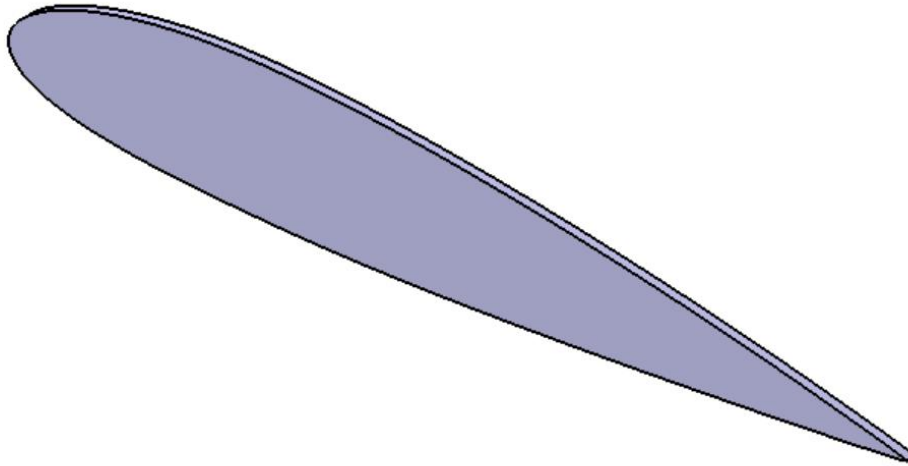


Figura 4-35. Costilla de la raíz del ala.

En los planos seguidos para el diseño no aparece el número de costillas que incorpora cada ala. Con lo cual se ha tomado la decisión de realizar el diseño de diez costillas, tras ver dibujos de la estructura interna del Messerschmitt 109 y ver que aeronaves similares de la época incorporaban un número similar de costillas por ala.

Conociendo la longitud y el posicionamiento de las secciones de la punta y la raíz del ala, se divide esta en 9 trozos paralelos y de igual ancho. Realizando una parametrización utilizando la vista en planta del ala se obtiene la cuerda de cada una de las secciones intermedias. En la siguiente imagen se muestra el cálculo llevado a cabo a mano para para obtener las medidas deseadas.

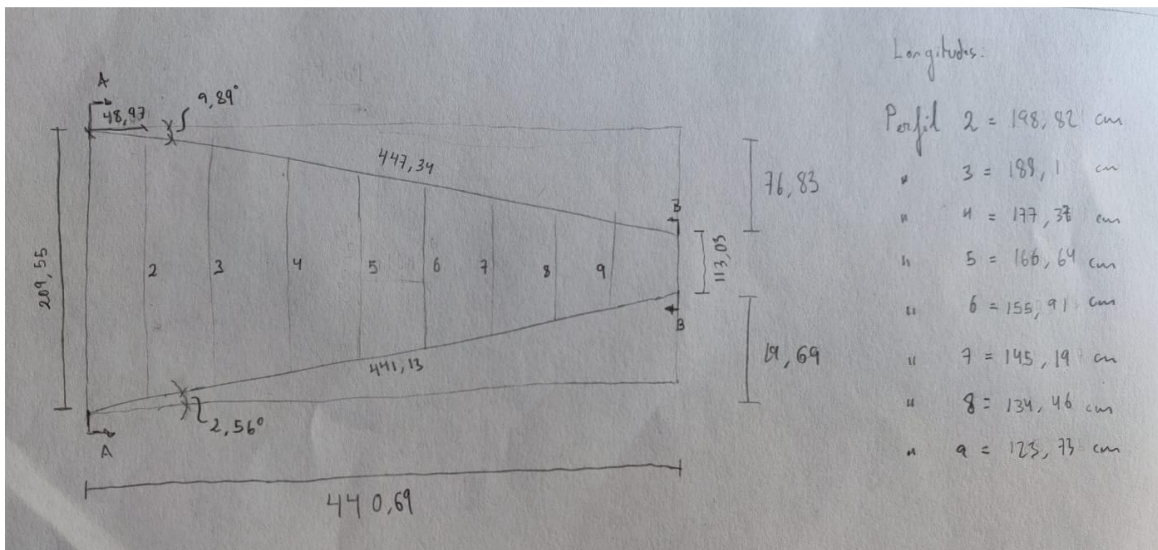


Figura 4-36. Parametrización de las costillas.

Conocidas la longitud de todas las secciones, habrá que repetir el proceso explicado para la representación de la costilla de la sección del encastre del ala para el resto. Una vez modeladas todas costillas, se colocan en el espacio tridimensional en un archivo .CATProduct y se sitúan correctamente en el espacio. De esta forma se obtiene el resultado que se muestra a continuación, donde se puede intuir ya la forma que tendrá el ala.

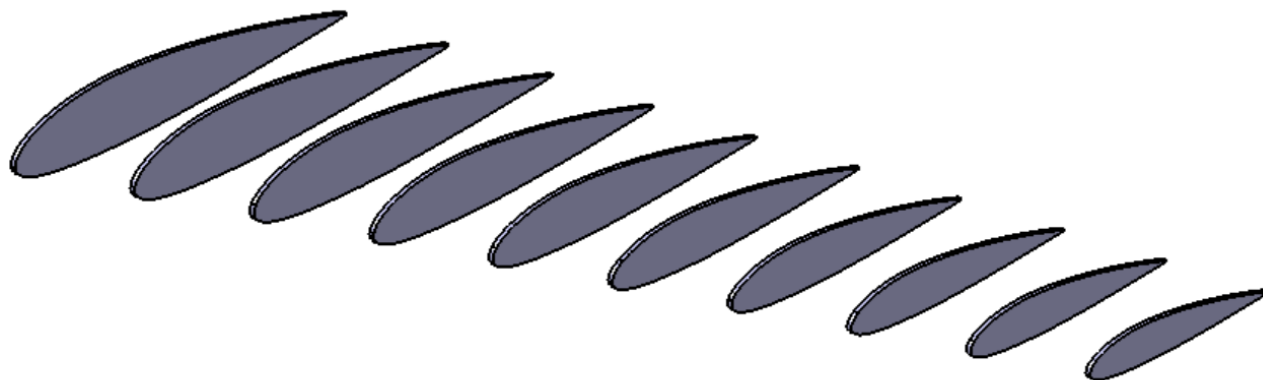


Figura 4-37. Costillas del ala macizas.

Por último, a pesar de no disponer de excesiva información sobre la estructura interna de la aeronave, se ha observado que las costillas de los aviones de esta época, por lo general, presentan varios huecos (ya sea para dejar pasar tubos, cables, etc. de los distintos sistemas o bien para rebajar algo el peso de la estructura eliminando material innecesario).

Para realizar este vaciado en las costillas, en primer lugar se ejecuta la operación *Generate CATPart from Product*, que crea un archivo .CATPart a partir del último .CATProduct realizado, de esta forma se pasa a trabajar en el módulo *Part Design* de nuevo.

Una vez en este módulo, se crean varios bocetos (*Sketch*), en los extremos del conjunto de costillas, con la forma que se busca que tengan los agujeros en las costillas. Tras ello, se ejecuta la herramienta *Removed Multi-sections Solid*, para eliminar todo el material existente entre los dos bocetos creados. De esta forma se consigue el resultado mostrado en la siguiente imagen.

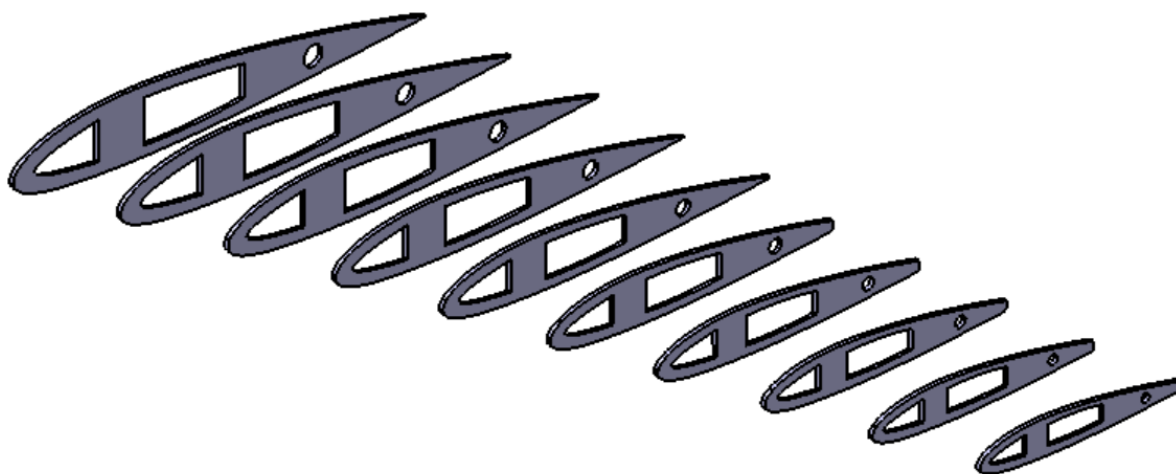


Figura 4-38. Costillas del ala.

### 4.3.2 Revestimiento

Realizado el modelado de las diez costillas que conforman el ala, lo siguiente será obtener el revestimiento que las cubra. Este revestimiento será el que convierta esta estructura en una superficie aerodinámica.

En primer lugar, se crea un archivo .CATPart en el que estén los perfiles alares de cada una de las secciones que se han creado anteriormente para el diseño de las costillas, de la forma que se muestra en la siguiente imagen.



Figura 4-39. Perfiles alares.

Una vez creado este archivo, lo abrimos en el módulo *Wireframe and Surface Design*, ya que al estar reproduciendo un revestimiento lo más lógico es trabajar con superficies. Ejecutando la herramienta *Multi-Sections Surface* e introduciendo todos estos perfiles alares como secciones a unir, se obtiene como resultado una superficie que cubrirá las diez costillas, desde la raíz del ala hasta la punta.

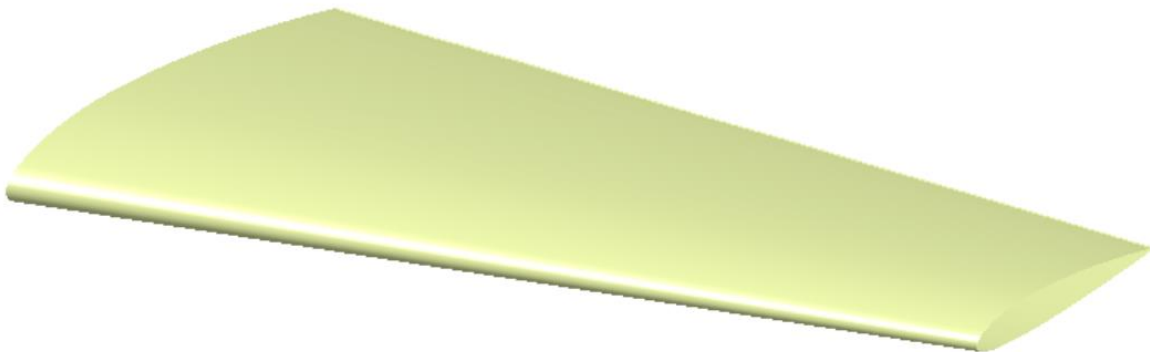


Figura 4-40. Revestimiento de los perfiles.

Como se puede observar, falta por modelar la punta del ala, una geometría compleja cuyo diseño se llevará a cabo en este mismo módulo, pero en este caso requerirá de un trabajo más fino que el anterior.

El primer paso es crear un *Sketch* que sirva como guía de la geometría de la punta del ala a partir de la vista en planta del avión de los planos. En segundo lugar, se crean dos secciones perpendiculares al perfil alar de la punta creando dos nuevos *Sketch*, sirviendo la vista en alzado de los planos como fuente de información para ello.

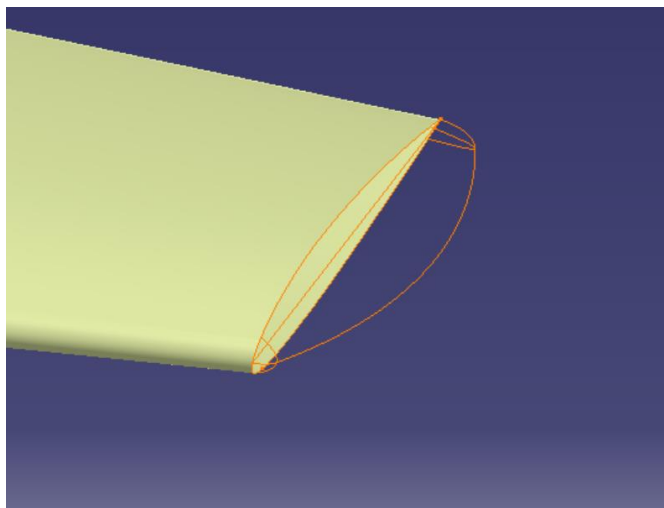


Figura 4-41. Guías de la punta del ala.

Una vez creados estos bocetos, se ejecuta de nuevo la función *Multi-Sections Surface* introduciendo las dos secciones perpendiculares al último perfil alar como elementos a unir y el propio perfil alar y la guía que delimita la punta del ala como guías.

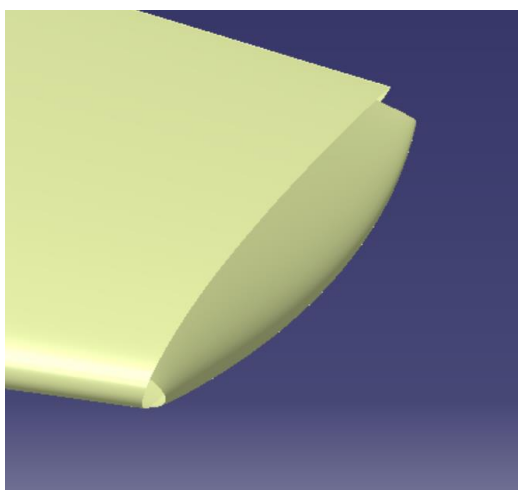


Figura 4-42. Revestimiento de la punta sin esquinas.

Para cerrar el ala en los dos pequeños huecos en los extremos de la punta que se ven en la anterior imagen el software de CATIA da bastantes problemas debido a que aparecen choques entre vértices. La solución llevada a cabo finalmente para conseguir cerrar la superficie alar comienza utilizando la función *Extract*, convirtiendo así en líneas en el espacio tridimensional los bordes de los huecos que se quieren cerrar. A continuación, se unen los bordes del perfil alar con las respectivas secciones perpendiculares a este creadas previamente aplicando de nuevo *Multi-Sections Surfaces* utilizando como guía los bordes de la línea representada previamente como delimitación del borde de la punta del ala. Así se consigue el resultado mostrado en la siguiente imagen, el revestimiento desde la punta hasta el ala y la superficie que delimita la punta de esta.

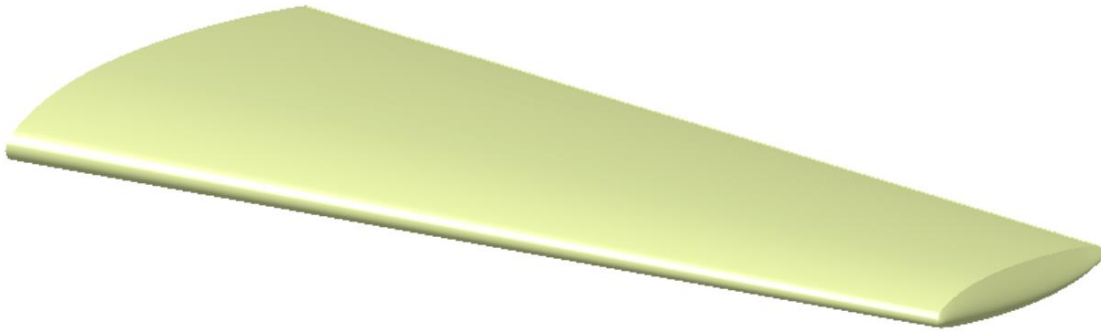


Figura 4-43. Revestimiento del ala.

El resultado obtenido es una superficie de espesor nulo, ya que se ha creado utilizando el módulo *Wireframe and Surface Design*, lo cual es irreal ya que no se puede construir algo sin espesor. Para convertir esta superficie en un sólido se introduce en el módulo *Part Design* y se ejecuta la función *Thick Surface*. Sin embargo, el software da bastantes problemas a la hora de introducir cualquier valor de espesor (por muy pequeño que sea), debido a que detecta ciertos choques en algunos puntos debido a la complejidad de la geometría generada.

Teniendo en cuenta que este revestimiento en la realidad cuenta con un espesor muy pequeño respecto a su volumen total, finalmente se toma la decisión de dejarlo modelado como una superficie. Sabiendo aun así que esta no puede en la realidad carecer de espesor.

El siguiente paso en el modelado del ala será separar el alerón del propio ala, con el fin de poder darle movilidad en su montaje final. Para ello lo primero es crear un *Sketch* en un plano paralelo a la vista en planta del ala lo suficientemente separado de esta en el cual se proyecta el contorno del alerón.

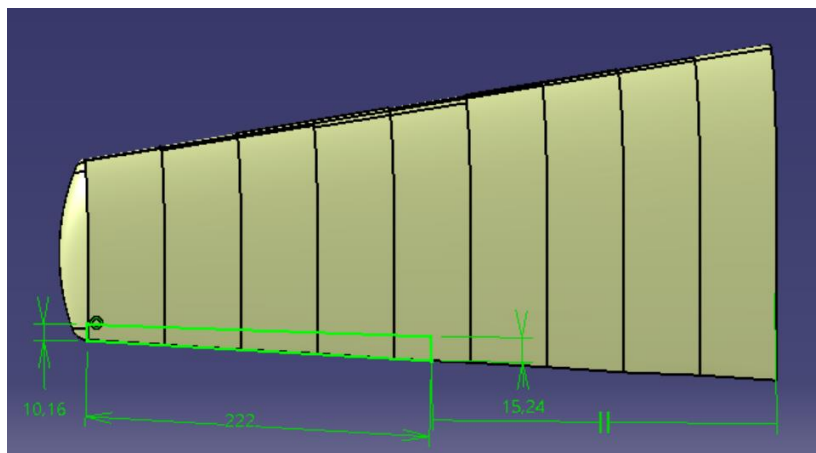


Figura 4-44. Sketch del contorno del alerón.

A continuación, lo lógico puede parecer utilizar la función *Pocket* para vaciar la zona del alerón, sin embargo, al estar trabajando con una superficie, el software no permite realizar este vaciado. Como solución, se utilizará la herramienta *Pad* y se creará un bloque sólido con la forma del contorno creado. Con este bloque creado, se ejecuta *Split*, seleccionando como elemento a cortar el ala y como elemento de corte este bloque.

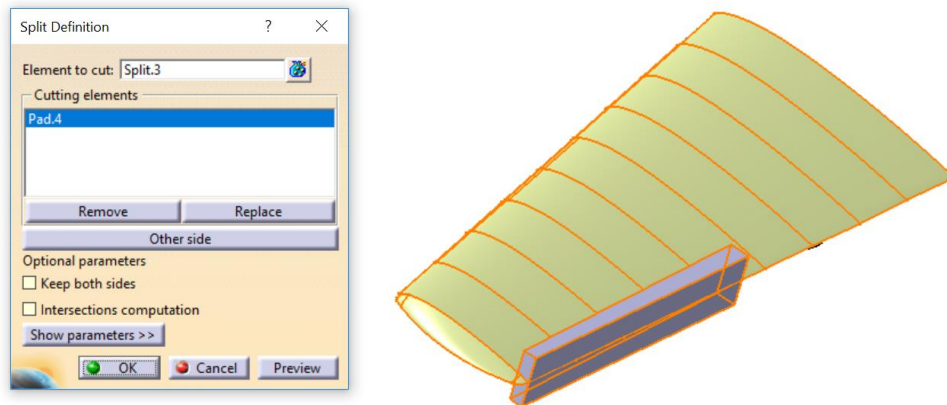


Figura 4-45. Corte del alern al ala.

De esta forma se quita la zona del ala ocupada por el bloque (zona que ocupará el alerón). Guardando, abriendo de nuevo el ala inicial y repitiendo la misma operación seleccionando en la definición de *Split* la opción “*Other side*”, se obtiene en esta ocasión como resultado la superficie del alerón.

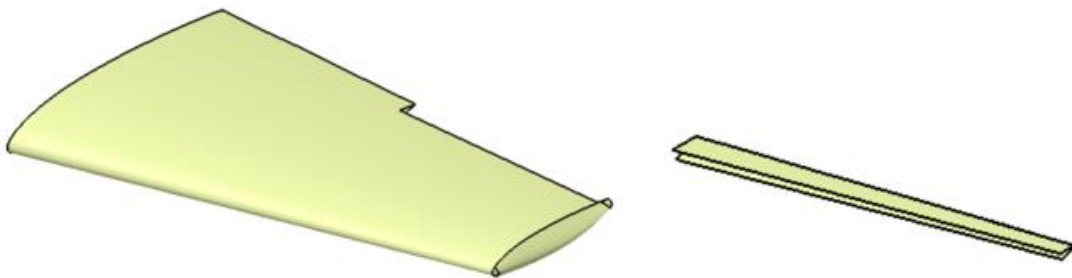


Figura 4-46. Separación ala-alerón.

Repitiendo el proceso realizado para quitar al ala el material de la zona del alerón, se crea el agujero en la zona inferior en el cual se alojará el tren de aterrizaje cuando se encuentre retraído en vuelo.

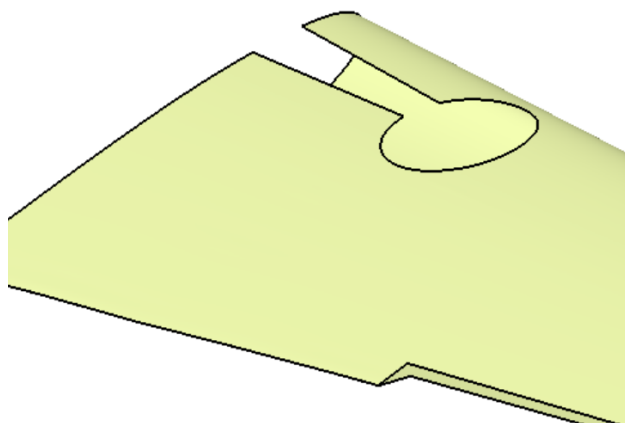


Figura 4-47. Hueco en el ala para el tren de aterrizaje.

Por último, se modelará la zona del encastre ala-fuselaje, ya que esta unión tiene un acabado redondeado como se puede ver en imágenes del avión y en los planos. Para ello, se crea en primer lugar un *Sketch* en un plano perpendicular a la sección de la raíz del ala en el cual se dibuja este pequeño redondeo. Acto seguido, se hace recorrer a dicho *Sketch* el contorno del perfil alar de la raíz haciendo uso de la herramienta *Sweep*. De esta forma se obtiene el redondeo de la zona del encastre del ala, dando por concluido el modelado del revestimiento del ala del Messerschmitt 109.

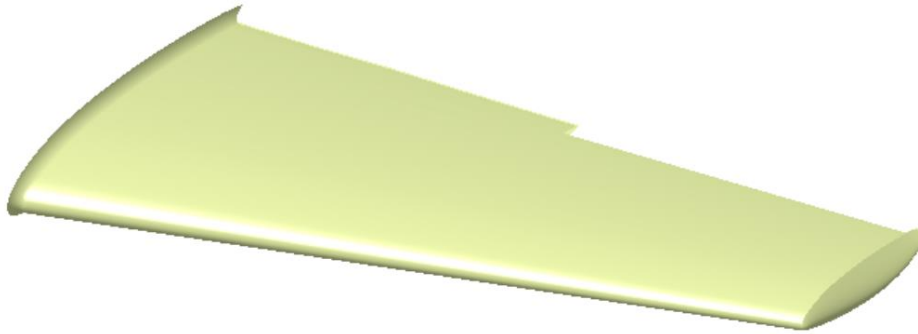


Figura 4-48. Revestimiento alar.

### 4.3.3 Largueros

Para terminar con el diseño de la estructura completa del ala de la aeronave, únicamente resta modelar los largueros de esta. Dichos elementos sirven como unión de las costillas que dan forma a la superficie alar, así como un elemento estructural importante soportando las variaciones de cargas que sufrirán las alas en las distintas fases del vuelo.

La recreación de estos elementos se llevará a cabo realizando una intersección entre el revestimiento del ala y el plano en el que estén contenidos los largueros. Debido a la falta de información detallada sobre la colocación de estos, se colocarán dos largueros, uno a la altura de la separación ala-alerón y otro en una zona cercana al borde de ataque del ala. Para tomar esta decisión han servido como fuente de información dibujos de la estructura interna del Me-109 vistos previamente.

El primer paso será crear los planos en los que estarán contenidos los largueros. Obtenidos dichos planos, se ejecuta la función *Intersection* seleccionando como elementos a intersecar el revestimiento del ala y los dos planos. De esta forma se crean los contornos de los largueros en el interior del revestimiento.

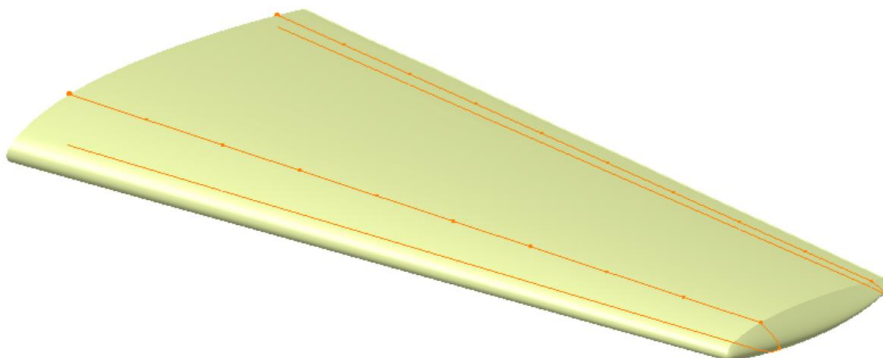


Figura 4-49. Intersección entre los largueros y el revestimiento.



Para crear los largueros a partir de estas trayectorias es necesario que estas curvas sean cerradas, por ello se dibujan dos líneas mediante la herramienta *Line* que cierren sendas trayectorias. Por último, se unen estas dos líneas con sus respectivas trayectorias utilizando la función *Join*, para poder realizar un *Pad* a cada una de ellas de dos centímetros de espesor para obtener como resultado final los largueros de las alas de la aeronave.

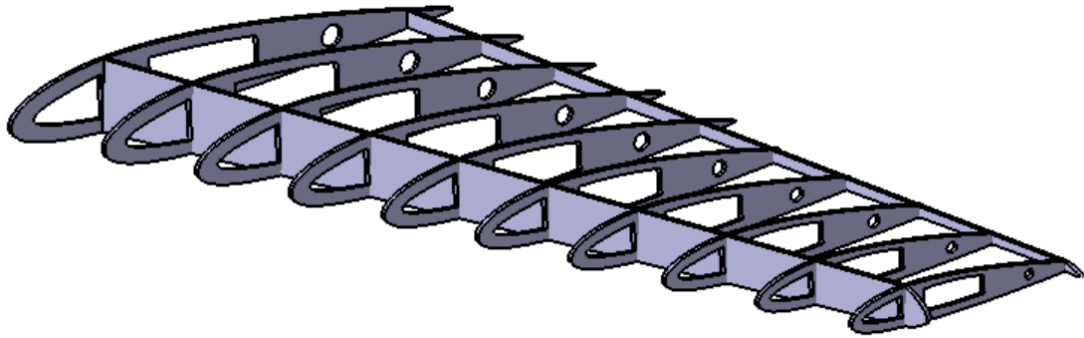


Figura 4-50. Estructura interna del ala.

#### 4.4 Cola

En este apartado se mostrará cómo se ha llevado a cabo el modelado de la cola del Messerschmitt 109. En esta sección del avión se encuentran el final del fuselaje, el estabilizador horizontal, el estabilizador vertical, el timón de profundidad y el timón de dirección.

En la siguiente imagen se pueden observar los distintos elementos (tanto de la estructura interna como de la externa) que se han modelado para, tras realizar su correspondiente ensamblaje como conjunto, dar como resultado la cola de la aeronave.

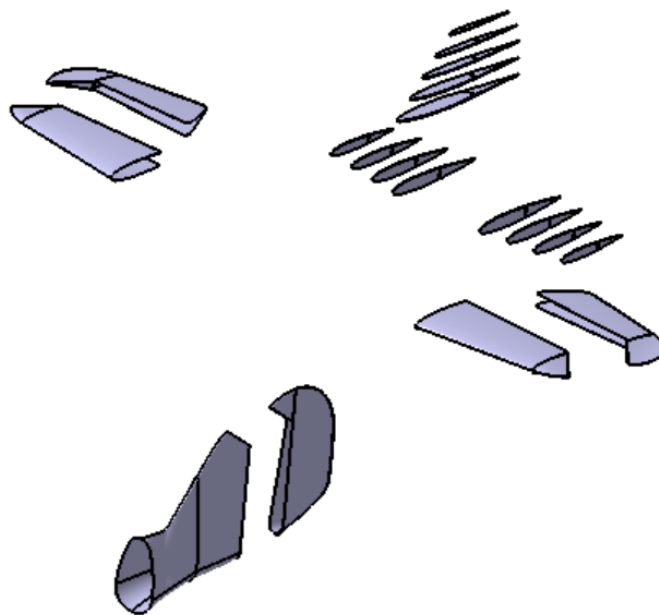


Figura 4-51. Partes de la cola.

### 4.4.1 Estabilizador horizontal y timón de profundidad

Por un lado, el estabilizador horizontal tiene como principal misión dotar de estabilidad longitudinal a la aeronave, así como aportar sensación de confort a los pasajeros y tripulación en las diferentes fases de vuelo. Por otro lado, el timón de profundidad es un elemento situado en el borde de salida del estabilizador horizontal que permite al piloto aumentar o disminuir el momento de cabeceo.

Para realizar el modelado de estas dos partes del avión, en primer lugar, se ha obtenido el revestimiento completo, incluyendo estabilizador y timón. Para ello, se han creado seis secciones a lo largo del revestimiento, conociendo el espesor máximo, la longitud de la sección de la raíz y que se trata de una sección simétrica, se puede asemejar a un perfil tipo NACA.

Se divide el revestimiento en siete secciones (se consideran suficientes como guías para producir dicho revestimiento), obteniendo sus respectivas dimensiones a partir de un sencillo cálculo a mano como se puede observar en la siguiente imagen, utilizando tanto medidas de los planos como ángulos que obtenemos sirviéndonos del programa AutoCAD.

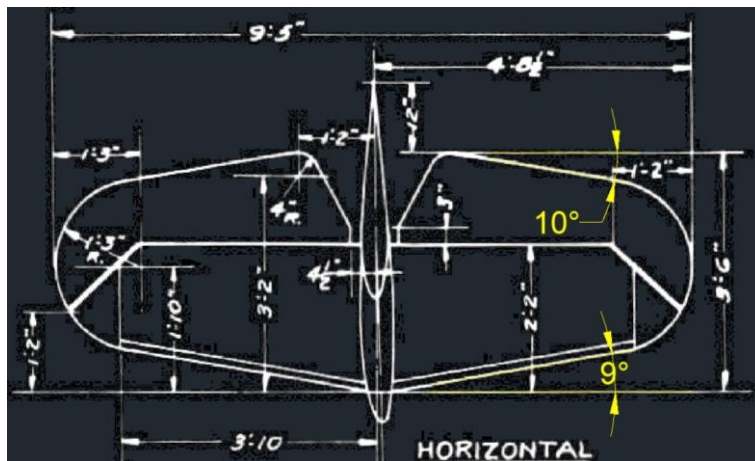


Figura 4-52. Medidas del estabilizador horizontal en AutoCAD.

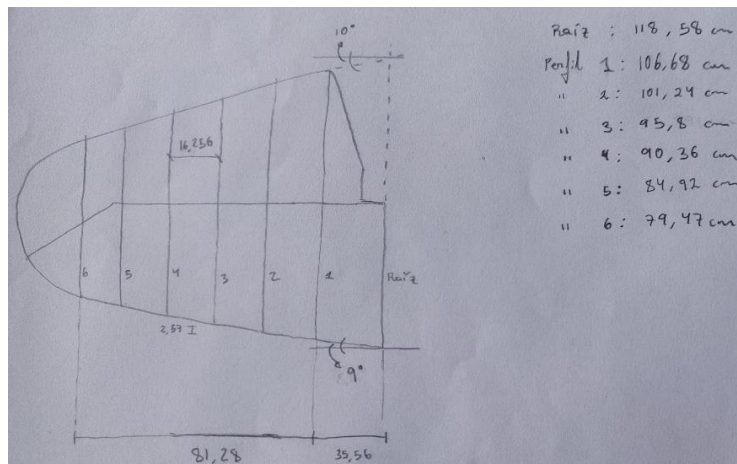


Figura 4-53. Cálculo a mano para la obtención de medidas en el estabilizador horizontal.

Obtenidas las longitudes de cada uno de los espesores, se procede a reproducir en CATIA los siete perfiles, repitiendo el mismo proceso explicado en el apartado de las alas para la recreación de los perfiles alares. Tras realizar esto, se colocan juntos los seis perfiles en un archivo .CATProduct, situándolos de forma correcta en el espacio tridimensional.

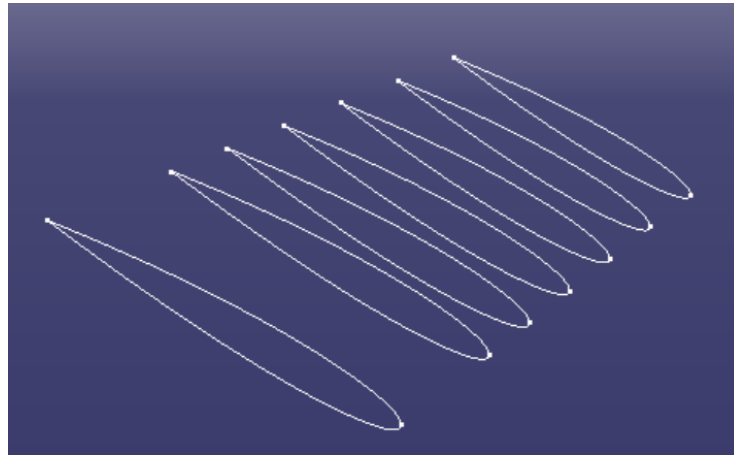


Figura 4-54. Secciones del estabilizador horizontal.

El siguiente paso será crear un archivo .CATPart a partir de este archivo que contiene todos los perfiles. Una vez dentro del módulo *Wireframe and Surface Design*, se utiliza la función *Multi-Sections Surface*, introduciendo los siete perfiles como elementos a unir.

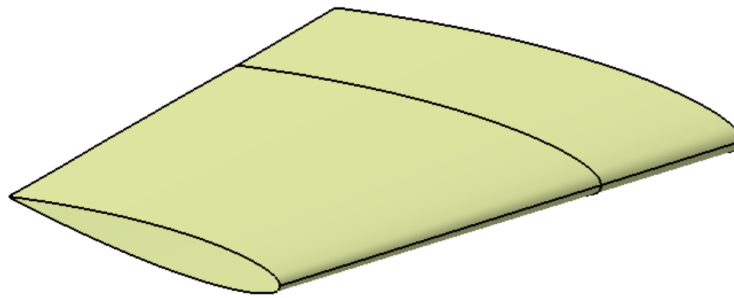


Figura 4-55. Revestimiento de los perfiles.

Para cerrar la punta del estabilizador horizontal se emplea la función *Fill*, que permite crear una superficie a partir de la unión de distintas líneas que en conjunto formen una curva cerrada. Se crea un *Sketch* para dibujar la trayectoria de la curva que delimita el borde del estabilizador horizontal vista desde la planta de la aeronave y posteriormente se introduce en la herramienta *Fill* esta curva junto a la curva del perfil más cercano a la punta.

Finalmente, se obtiene la superficie que cubre tanto al estabilizador horizontal como al timón de profundidad. Aplicando la herramienta *Thick Surface*, se aplica un ligero espesor a dicha superficie, obteniendo un sólido a partir de esta.

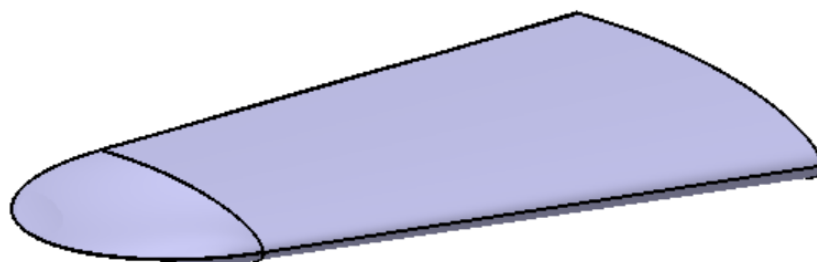


Figura 4-56. Revestimiento de los perfiles y de la punta del estabilizador horizontal.

El último paso será realizar un corte, para que la forma del elemento modelado sea igual a la representada en los planos que están sirviendo como guías, dejando espacio en el borde de salida para el movimiento del timón de dirección. Esto se consigue utilizando la herramienta *Pocket* del módulo *Part Design*, seleccionando un *Sketch* que contenga la silueta de la zona a recortar en un plano paralelo al plano horizontal del avión.

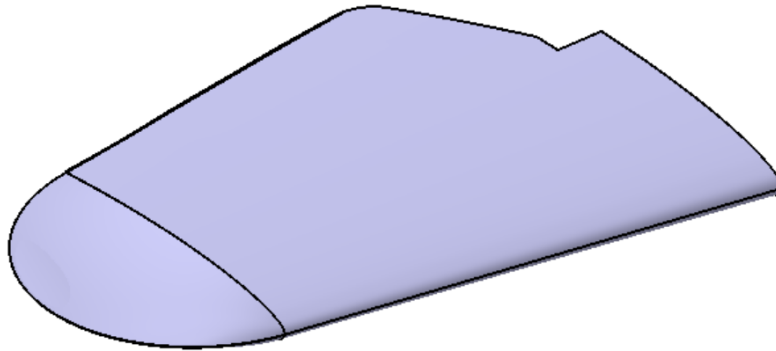


Figura 4-57. Revestimiento completo del estabilizador horizontal.

Para conseguir dividir este revestimiento en estabilizador horizontal y timón de profundidad, se realiza un corte repitiendo la acción anterior. En esta ocasión, se crea un boceto con la curva que separa ambos elementos vistos desde la planta.

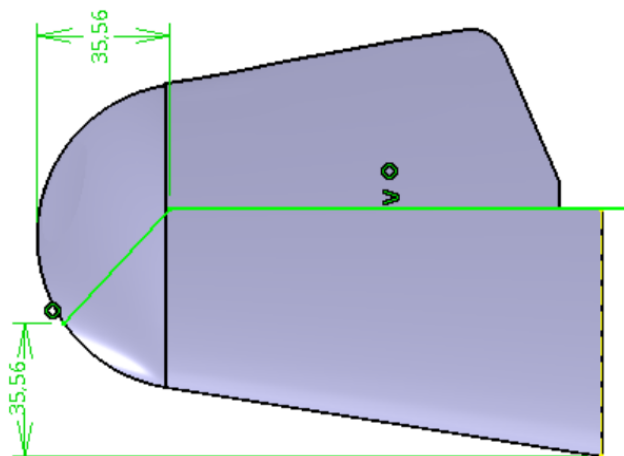


Figura 4-58. Sketch del límite del timón de profundidad.

Se ejecuta la operación *Pocket* en primer lugar en un sentido, se guarda como un archivo .CATPart nuevo, se realiza un *Pocket* en segundo lugar en sentido contrario y se guarda como otro nuevo archivo .CATPart. De esta forma, se obtienen el timón de profundidad y el estabilizador horizontal por separado.

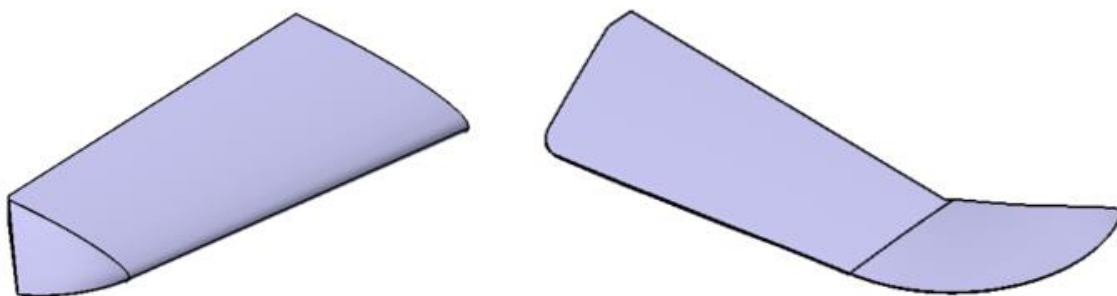


Figura 4-59. Estabilizador horizontal y timón de profundidad.

Por último, se juntan ambos elementos en un archivo .CATProduct, imponiendo diferentes restricciones con el objetivo de colocarlos de forma correcta en el espacio y dejando como único grado de libertad el giro del timón de profundidad, dando la posibilidad al piloto de seleccionar el ángulo de giro deseado.

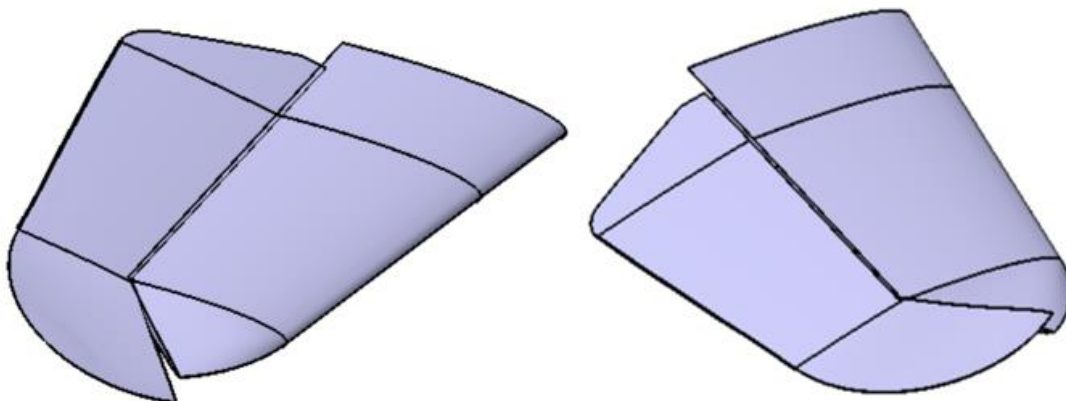


Figura 4-60. Diferentes posiciones del timón de profundidad.

#### 4.4.2 Estabilizador vertical y timón de dirección

Por su parte, el estabilizador vertical de un avión tiene como misión dar estabilidad direccional durante las diferentes fases del vuelo. Mientras tanto, el timón de dirección, el cual se encuentra en el borde de salida del estabilizador vertical, tiene como función proporcionar control direccional alrededor del eje vertical al piloto de la aeronave.

Para llevar a cabo el diseño de estos dos elementos del Messerschmitt 109, en primer lugar, se han modelado ambos como conjunto, para posteriormente separarlos y darle al timón de dirección su movilidad.

Para ello, se representan las tres últimas secciones de la aeronave que aparecen en los planos (secciones M, N y O). A continuación, se realiza un boceto de la trayectoria que sigue la cola del avión en su plano de simetría, visto desde su perfil.

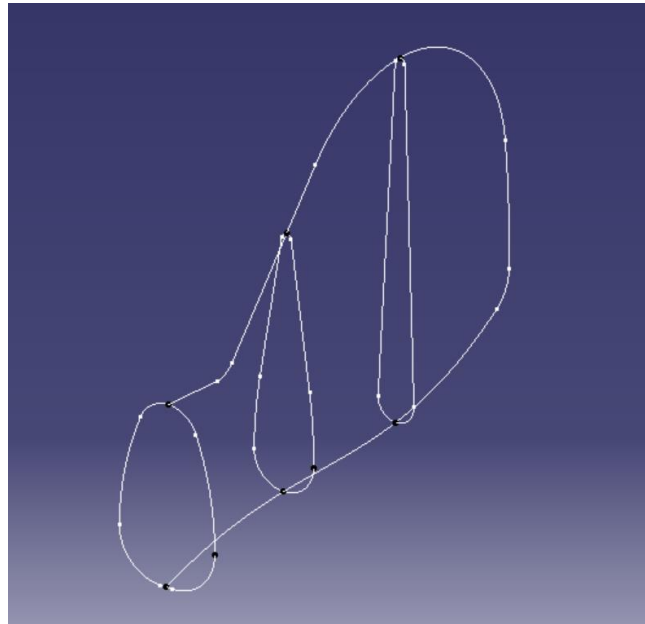


Figura 4-61. Bocetos del esqueleto del estabilizador vertical.

De esta forma, se obtienen las secciones de la cola vertical del avión y las trayectorias que deben seguir las uniones entre ellas.

Para realizar la superficie que cubrirá la cola vertical, se pasa a trabajar en el módulo *Wireframe and Surface Design*. Aquí se utilizará en primer lugar la función *Multi-Sections Surface*, introduciendo las secciones M, N y O como elementos a unir y la trayectoria representada en el plano de simetría como guías superior e inferior.

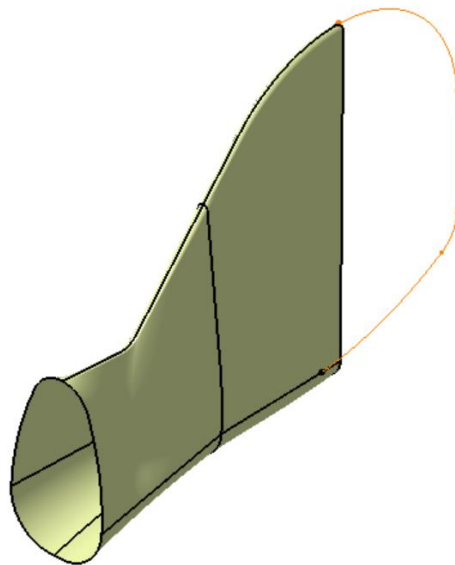


Figura 4-62. Superficie que reviste el primer sector del estabilizador vertical.

Para cerrar esta superficie en el borde de salida, se utiliza la herramienta *Blend*. Se divide la sección O, por la que se busca cerrar la superficie, en dos simétricas y se introduce una de estas y la trayectoria del borde de salida visto desde el perfil (seleccionado en naranja en la anterior imagen) como elementos a unir, de esta forma se obtiene la mitad de la superficie. Para terminar de cerrar el borde de salida, se realiza una simetría de la superficie que se acaba de obtener utilizando el comando *Symmetry*, introduciendo como plano de referencia el de simetría del avión.

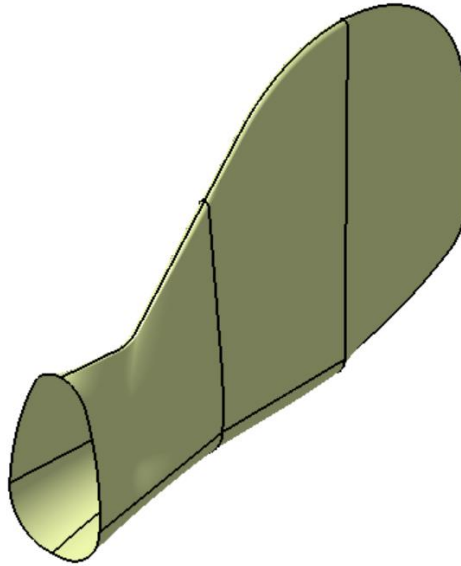


Figura 4-63. Superficie que reviste al completo el estabilizador vertical.

Una vez obtenida por completo la superficie que recubre la cola vertical, se vuelve al módulo *Part Design* para aplicar la función *Thick Surface* y dar así el espesor deseado a esta superficie y aportando así un mayor realismo al generar un sólido. En concreto, se debe dar el mismo espesor que se dio previamente al revestimiento del fuselaje, con el fin de que la unión final de ambos elementos encaje a la perfección.

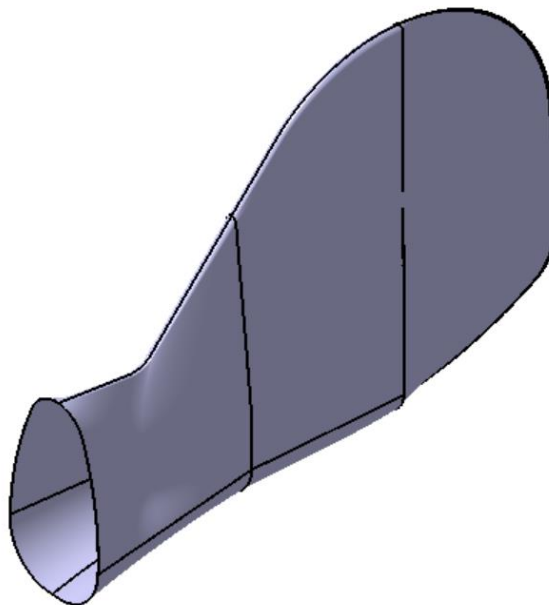


Figura 4-64. Revestimiento del estabilizador vertical.

Modelado el revestimiento completo de la parte vertical de la cola de la aeronave, el siguiente paso es separar estabilizador vertical y timón de dirección.

Para ello, se repite el proceso llevado a cabo para obtener el estabilizador horizontal y el timón de profundidad por separado a partir del revestimiento completo de ambos. En esta ocasión, se crea un boceto con la curva que delimita ambos elementos vistos desde el perfil. Se ejecuta la operación *Pocket* en primer lugar en un sentido, se guarda como un archivo *.CATPart* nuevo, se realiza un *Pocket* en segundo lugar en sentido contrario y se guarda como otro nuevo archivo *.CATPart*.

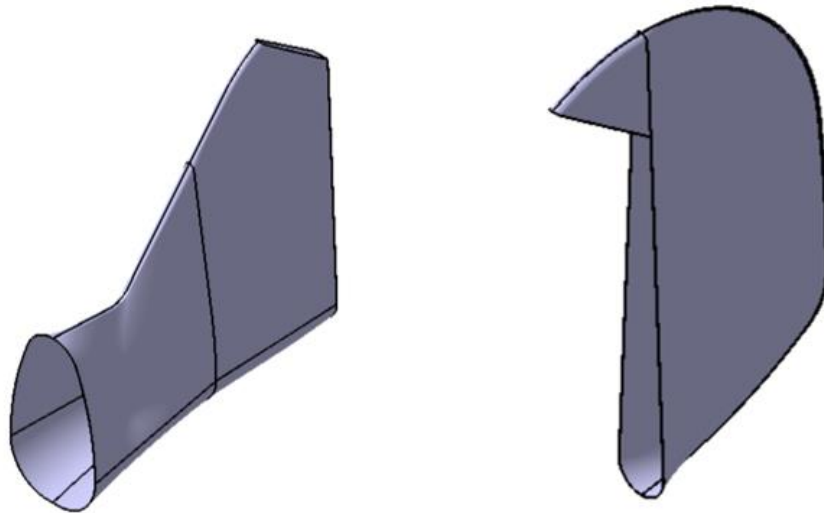


Figura 4-65. Estabilizador vertical y timón de dirección.

Finalmente, se juntan ambos elementos en un archivo .CATProduct, imponiendo diferentes restricciones con el objetivo de colocarlos de forma correcta en el espacio y dejando como único grado de libertad el giro del timón de dirección alrededor del eje vertical de la aeronave, dejando la posibilidad al piloto de seleccionar el ángulo de giro deseado.

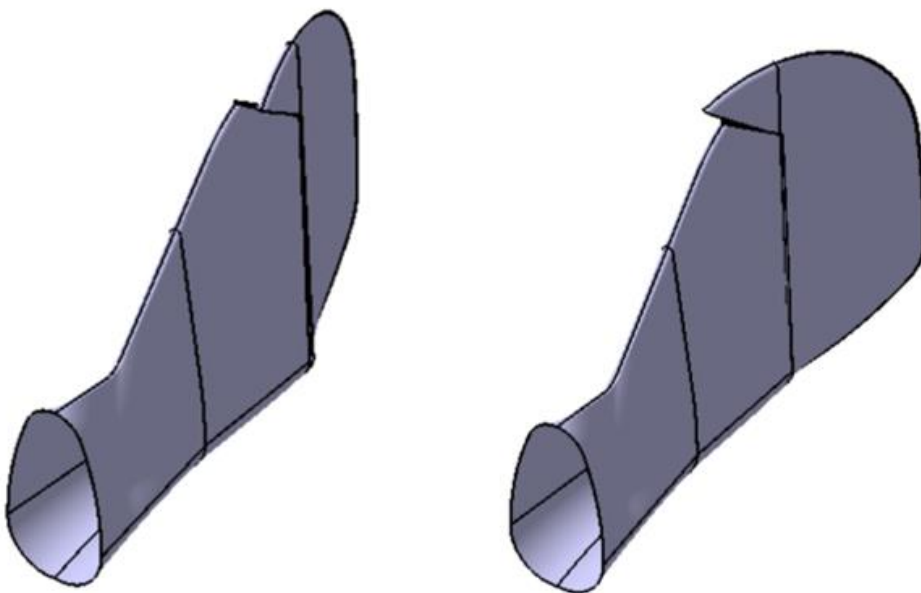


Figura 4-66. Diferentes posiciones del timón direccional.



### 4.4.3 Estructura externa

Uniendo el estabilizador vertical y el timón de dirección con el estabilizador horizontal y el timón de profundidad modelados anteriormente en el módulo *Assembly Design*, se obtiene como resultado la estructura externa de la cola del Messerschmitt 109.

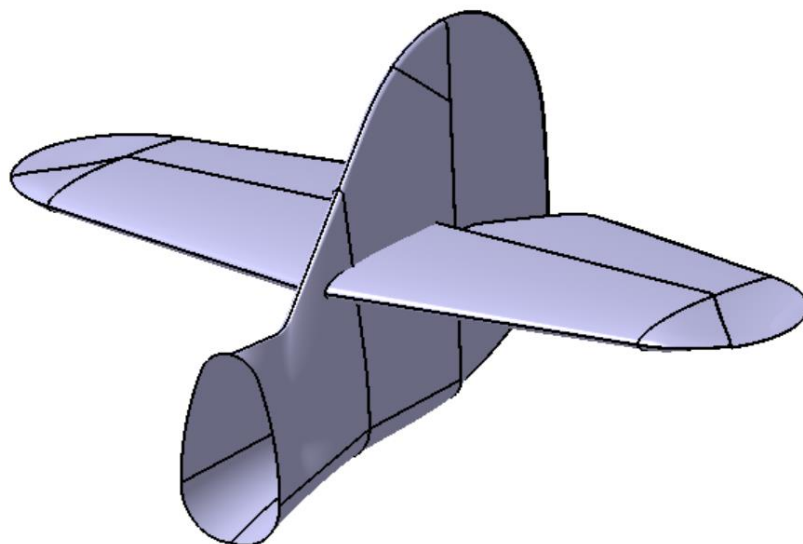


Figura 4-67. Cola del avión.

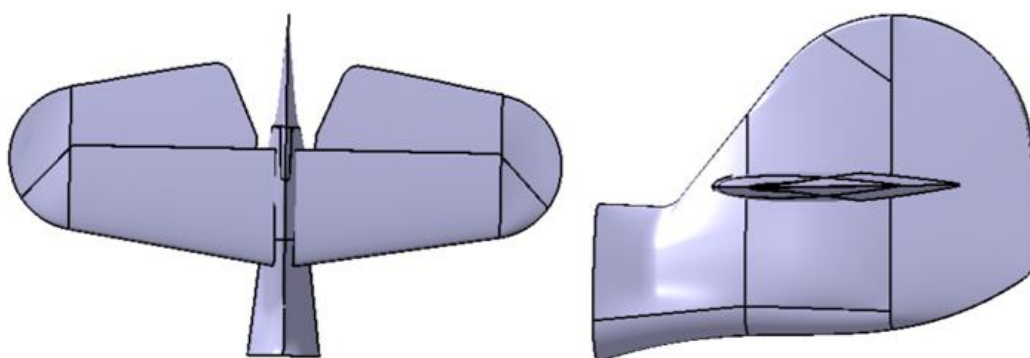


Figura 4-68. Vistas planta y perfil de la cola.

### 4.4.4 Estructura interna

Una vez realizado el modelado de la cola de la aeronave, el siguiente paso será llevar a cabo el de su estructura interna. Esta se diseñará de forma aproximada, debido a la falta de información sobre ella. En concreto, se representarán las costillas que dan forma a ambos estabilizadores a la vez que aportan rigidez estructural al conjunto.

Se mostrará únicamente la forma de modelar las costillas del estabilizador horizontal, siendo el proceso de diseño de las del estabilizador vertical idéntico.

Utilizando como base imágenes de la estructura interna del Messerschmitt 109, se toma la decisión de modelar cuatro costillas en cada una de las alas.

En primer lugar, se obtienen las intersecciones de cuatro planos paralelos verticales separados idénticamente unos de otros con la superficie modelada originalmente del estabilizador horizontal. Esto se consigue utilizando la función *Intersect*, donde se introducen cada plano y dicha superficie, obteniéndose así los bocetos

de los contornos de cada una de las costillas.

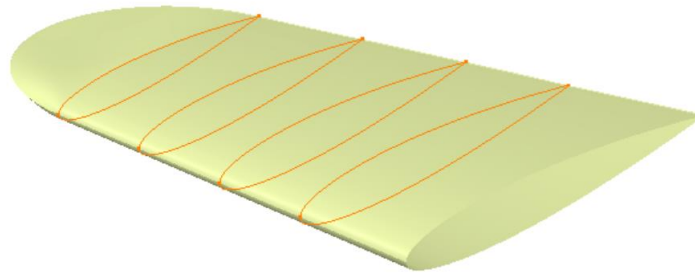


Figura 4-69. Secciones de las costillas del estabilizador horizontal.

El segundo paso será dar un espesor a las costillas, convirtiendo los cuatro contornos en cuatro costillas macizas. Para ello, se ejecuta el comando *Pad*, donde se aplica un espesor de 1 cm como valor representativo, ya que no conocemos el espesor real.

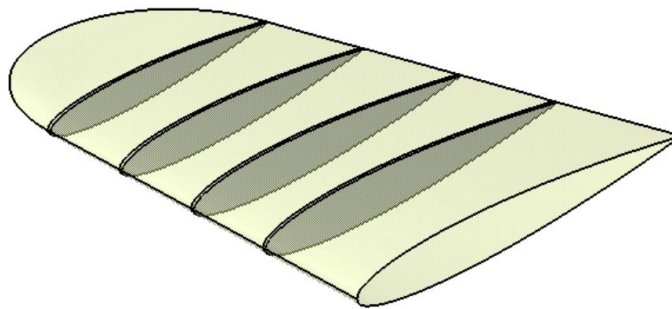


Figura 4-70. Costillas del estabilizador horizontal.

Por último, se cortan las costillas en dos partes, una parte que irá dentro de la estructura fija y otra dentro de la parte móvil (timón de profundidad en este caso). Esto se consigue creando el boceto (*Sketch*) de un rectángulo fino y alargado en un plano paralelo a la horizontal del avión separado de este una distancia considerable, colocando el eje de simetría de los lados más largos del rectángulo en la línea que separa al estabilizador horizontal y al timón de profundidad.

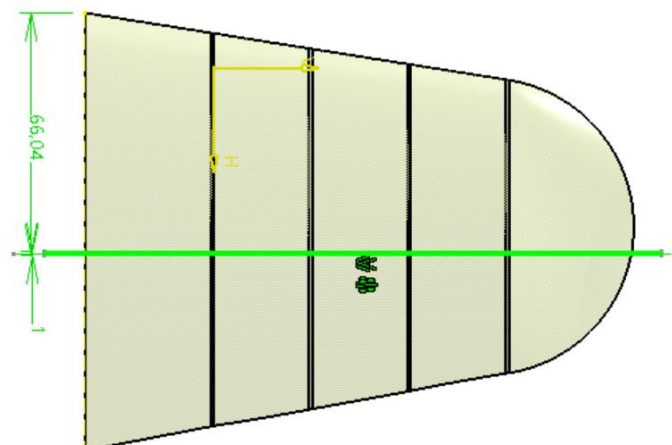


Figura 4-71. Scketch del límite del timón de profundidad.

Por último, se utiliza la función *Pocket* para realizar el corte de este rectángulo y las costillas. Dando como resultado el mostrado en la siguiente imagen, donde se pueden ver las costillas que conforman la estructura interna del estabilizador horizontal completo.

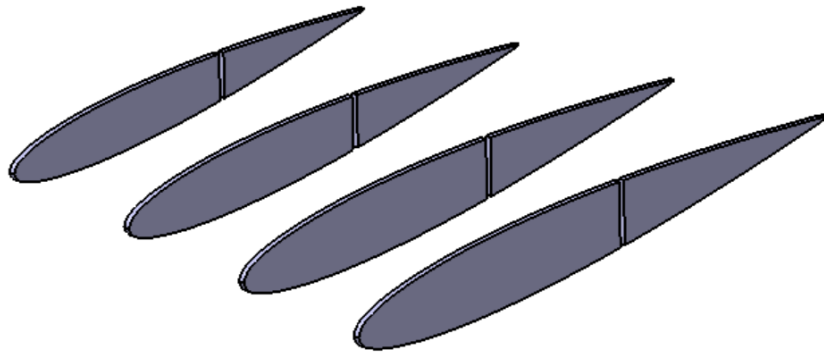


Figura 4-72. Costillas del estabilizador horizontal.

Como se ha indicado previamente, repitiendo este mismo proceso se consiguen recrear las costillas del estabilizador vertical. En este caso se ha tomado la decisión de representar cinco, en base a imágenes y dibujos de esta sección. Dando como resultado final el mostrado en la siguiente imagen.

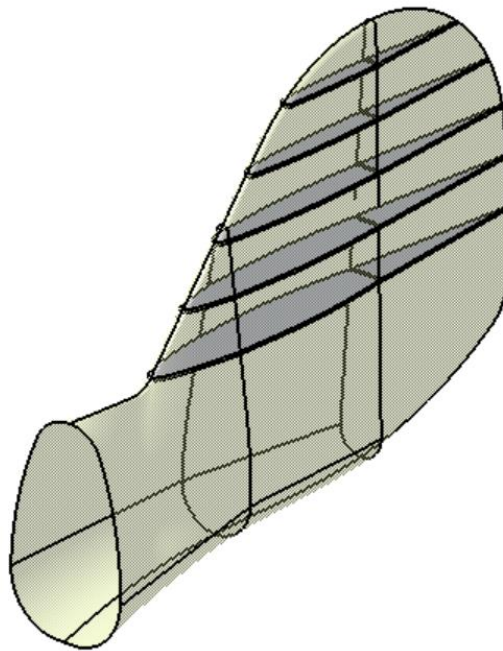


Figura 4-73. Costillas del estabilizador vertical.

Para permitir la movilidad tanto del timón de profundidad como del timón de dirección, será necesario aplicar un redondeo en las esquinas de las caras de los cortes de las costillas que se encuentran en la zona de separación estabilizador-timón. Realizado esto, se puede dar por concluido el modelado de la estructura interna de la sección de cola del Messerschmitt 109.

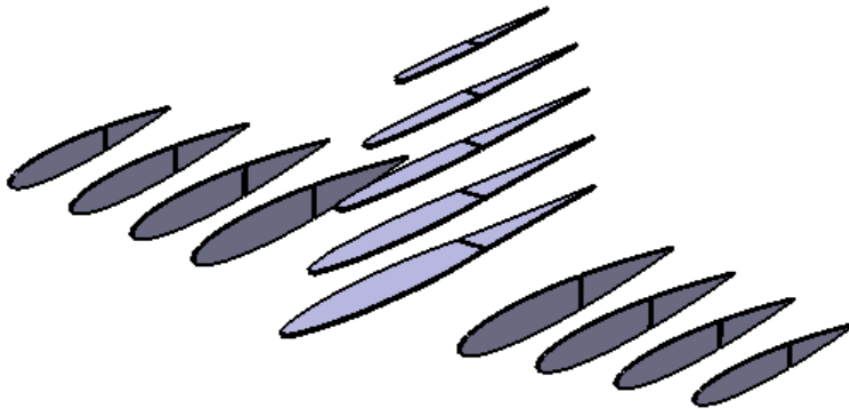


Figura 4-74. Estructura interna de la cola.

## 4.5 Motor

En esta sección se mostrará el proceso llevado a cabo para reproducir la planta de potencia del Messerschmitt 109. La función de este elemento principalmente será la de aportar el empuje necesario a la aeronave en cada una de sus fases de vuelo, consiguiendo así contrarrestar la resistencia que aparecerá y aportar la velocidad necesaria a la aeronave para crear la sustentación.

En esta ocasión se recreará únicamente la zona visible del motor, ya que el proceso de diseño de toda la estructura interna de un motor podría en sí mismo ocupar un proyecto a parte completo. De esta forma, como se muestra en la siguiente imagen, se han modelado la hélice, el cono que cubre el motor en el morro y el elemento que sirve de unión de las tres palas. Tras el modelado de estos elementos, se llevará a cabo su posterior puesta en conjunto con el eje del motor, en el interior de dicho cono.

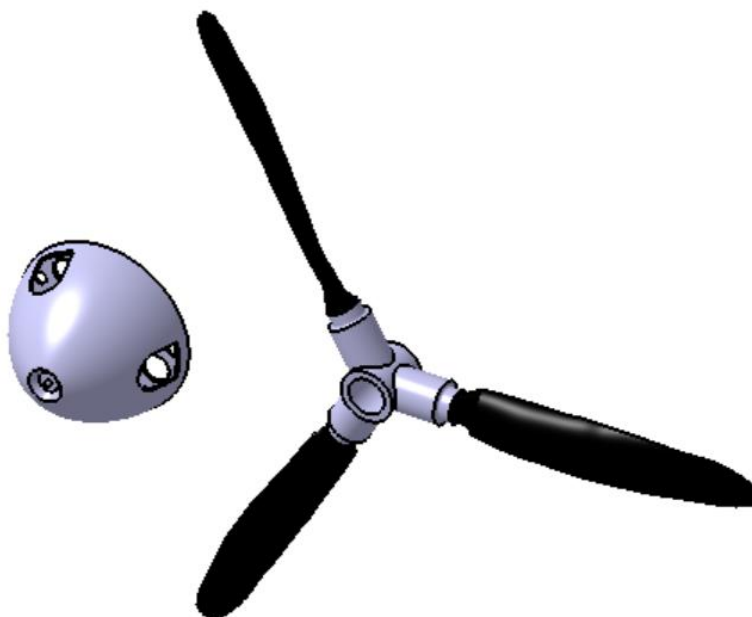


Figura 4-75. Cono y hélice del motor.

### 4.5.1 Cono

Para reproducir esta parte del motor ha sido necesario realizar una búsqueda de fotografías y dibujos de esta, ya que la información existente los planos que se han seguido durante todo el trabajo no ofrecían excesivo grado de detalle.

El cono que cubre el motor en el morro estará compuesto de dos partes, una base por la cual pasará el eje del motor desde el interior del fuselaje y un cono que servirá de resguardo para la unión entre hélices y que hará del morro una zona más eficiente aerodinámicamente hablando.

En primer lugar, se ha diseñado la base, una especie de anillo compuesta de diversos agujeros con el fin de aligerar pesos y permitir la refrigeración del motor. Al tratarse de un elemento con simetría de revolución, este se generará utilizando la herramienta *Shaft*. Para ello, primero se crea un boceto (*Sketch*) que contenga el contorno de un corte en la chapa creado por un plano que contenga a su eje de simetría. Seleccionando este *Sketch* como elemento a revolucionar y eligiendo correctamente el eje respecto al cual se debe realizar el giro, se ejecuta la función *Shaft* mencionada, obteniéndose el elemento buscado, pero sin los agujeros pertinentes.

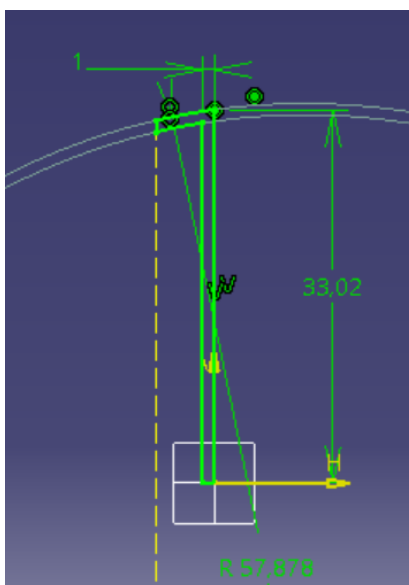


Figura 4-76. Sketch de la sección de la base del cono.

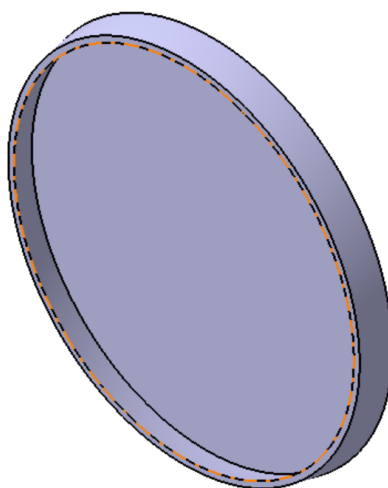


Figura 4-77. Base maciza del cono.

Observando imágenes de esta pieza del motor, se puede observar la existencia en ella de varios nervios que le aportan rigidez y varios agujeros cuya función se ha comentado previamente. Para estos elementos, se usa la función *Stiffener* para los nervios, *Pocket* para los diferentes tipos de agujeros y *Chamfer* para dar un acabado avellanado a dichos agujeros. El resultado tras aplicar todo esto, y utilizar *Circular Pattern* para crear un patrón de simetría alrededor del eje de simetría de revolución y solo tener que realizar cada operación una vez, se puede ver en la siguiente imagen.

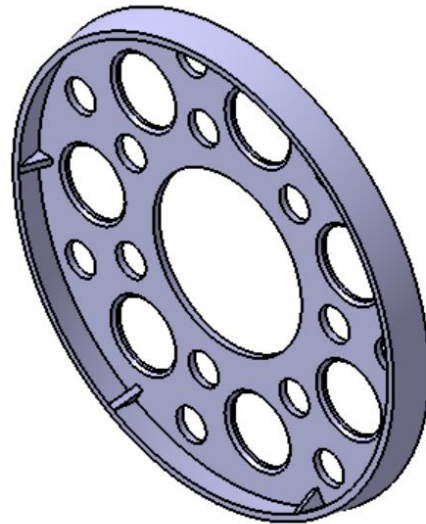


Figura 4-78. Base del cono.

A continuación, para realizar el diseño del cono que se situará sobre esta base, se realiza un proceso parecido, ya que se trata de nuevo de un elemento axisimétrico.

El primer paso es crear un *Sketch* con el contorno del corte que produciría un plano que contenga al eje de simetría de la pieza y, acto seguido, ejecutar *Shaft* para crear el sólido.

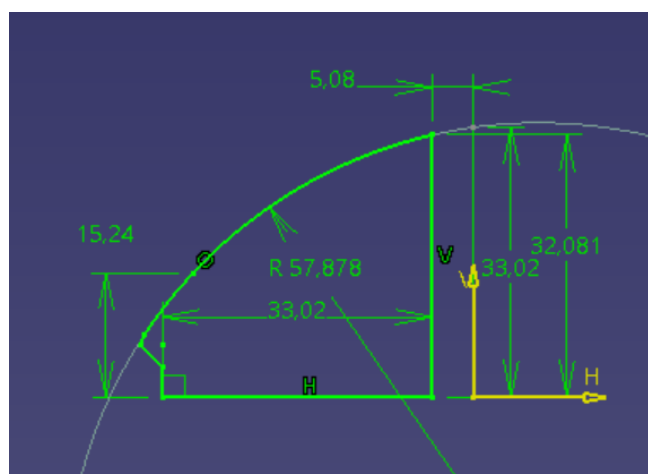


Figura 4-79. Sketch de la sección del cono.

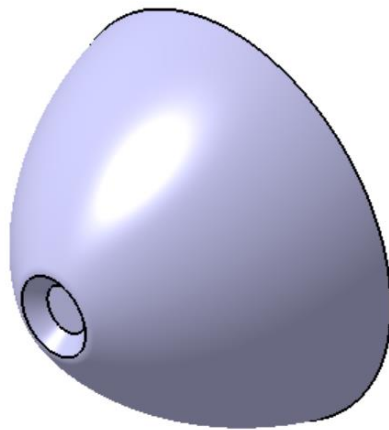


Figura 4-80. Cono macizo.

En esta ocasión se ha obtenido un bloque macizo (debido al *Sketch* que se ha creado). Para realizar el vaciado del interior se utiliza la herramienta *Shell*, donde se selecciona como cara a vaciar la que unirá este elemento con la base y se aplica un espesor final de 1 cm. De esta forma, se consigue crear el hueco en la pieza donde se alojará la unión de las hélices.

En los planos de la aeronave se puede leer una nota que indica que en el morro del avión existe un pequeño cañón, observando fotografías de la aeronave se puede distinguir este detalle. Para recrearlo, únicamente será necesario utilizar la función *Pad* para crear el cañón a partir de un *Sketch* con su proyección en la punta del morro.

Además, será necesario crear los huecos en la superficie del cono por los cuales pasarán los ejes que sostengan las palas de la hélice. Esto se consigue utilizando la función *Pocket*, para crear unos agujeros algo más grandes que el diámetro de dichos ejes, y de nuevo se utiliza la herramienta *Circular Pattern* para crear los otros dos agujeros restantes sin necesidad de repetir la operación de *Pocket* para cada uno de ellos.

Siguiendo estos pasos, se consigue obtener el cono completo (con la base incluida), como se muestra en la imagen siguiente.

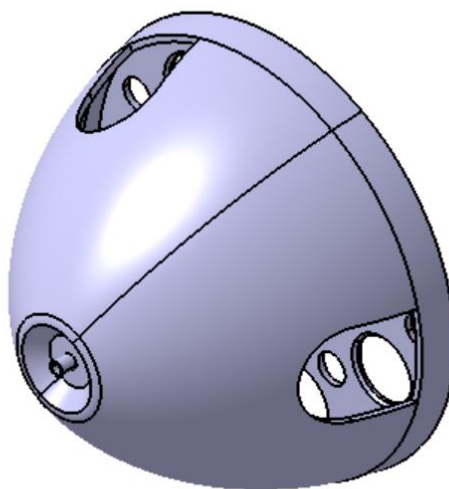


Figura 4-81. Cono completo.

## 4.5.2 Hélice

Se trata de un elemento del avión del cual se dispone de muy poca información como para poder recrearla con la exactitud con la que se ha realizado el diseño de las demás estructuras del avión.

En primer lugar, se ha diseñado intuitivamente el elemento que sirve de unión de las tres palas de la hélice y que albergará al eje del motor que dará movimiento a dichas palas. Se ha utilizado la función *Pad* para crear los distintos cilindros que dan forma a esta pieza. Como no se dispone de ninguna medida de este elemento, se ha recreado teniendo en cuenta el espacio del cual dispondrá dentro del cono modelado previamente, teniendo en cuenta que debe caber dentro de él, con cierta holgura y sin aportar excesivo peso. Además, los diámetros de los ejes que sirven de base para las palas deben de ser ligeramente menores al ancho de los huecos realizados en el cono de la punta del avión.

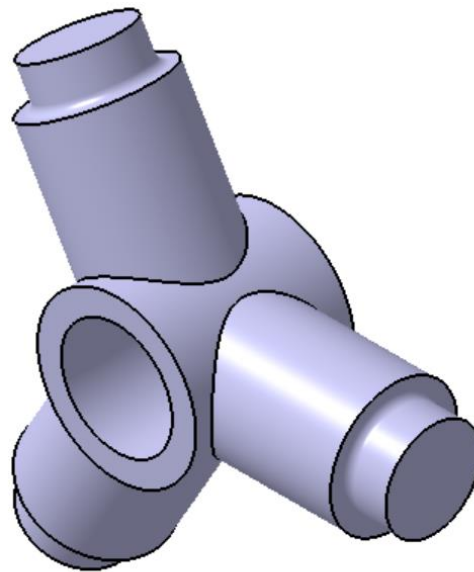


Figura 4-82. Elemento de unión de las palas de la hélice.

Para poder obtener más información sobre la geometría de las palas de la hélice, se han introducido de nuevo los planos en el software AutoCAD, para realizar estimaciones de cotas que no aparecen en los planos originales. Dibujando varias líneas sobre la proyección de una de las palas de la hélice, se divide en varias secciones y se observa cómo varían a lo largo de dicha pala.

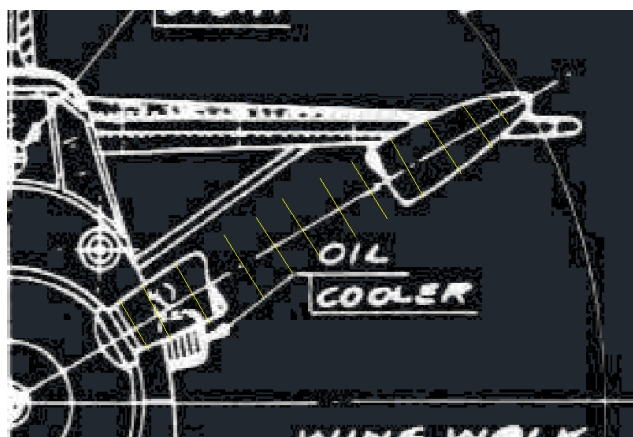


Figura 4-83. Estimación de las secciones de las palas en AutoCAD.



Por otro lado, al no conocer el perfil exacto de las secciones, se ha tomado la decisión de aproximarlas mediante la creación de una curva utilizando la función *Spline* de tres puntos.

De esta forma, se introducen todas las secciones en su posición correcta en el espacio y se ejecuta la herramienta *Multi-Sections Solid*, introduciendo dichas secciones como elementos a unir.

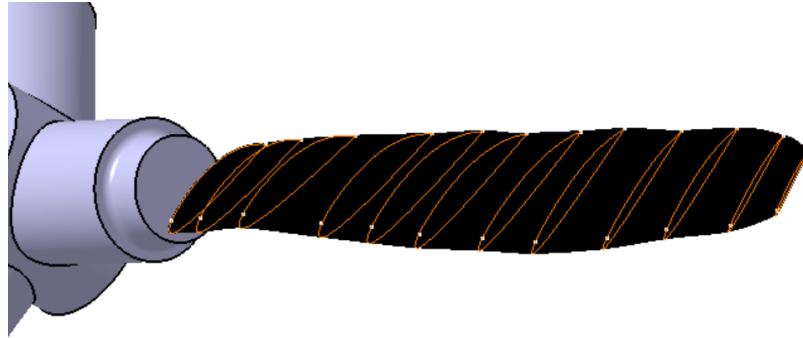


Figura 4-84. Secciones de la pala y unión sólida de estas.

A continuación, se vuelve a utilizar *Multi-Sections Solid* para unir el perfil de la raíz de la pala con el eje cilíndrico. Por el extremo exterior también es necesario “cerrar” la pala, en el sentido de darle a la punta de la pala la forma aerodinámica que le corresponde. Para ello será necesario trabajar en el módulo *Wireframe and Surface Design*. Una vez allí, se crea un boceto (*Sketch*) en la punta de la pala de la trayectoria, vista desde el alzado, que debe seguir la pala en esta zona. Tras realizar esto, se ejecuta la función *Blend* para crear una superficie que una el perfil del extremo de la pala y este último *Sketch* creado.

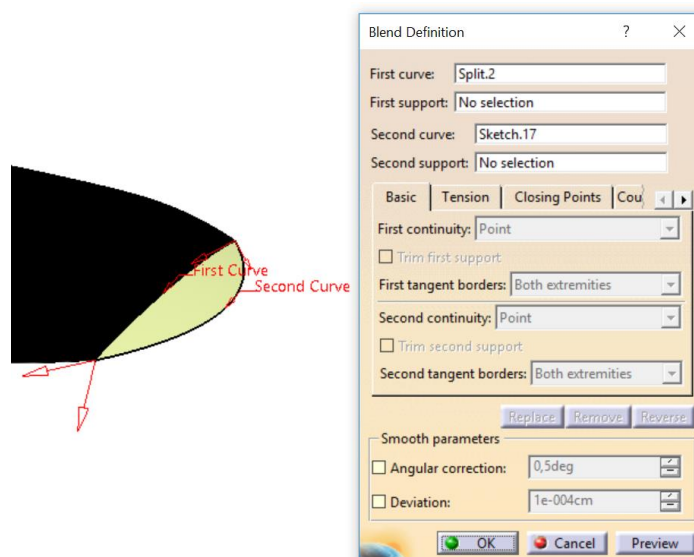


Figura 4-85. Creación de la superficie de la punta de la pala.

Para crear un sólido a partir de esta superficie, se regresa al módulo *Part Design*, donde se utiliza *Close Surface*, seleccionando la superficie que se acaba de generar en la punta de la pala como superficie a cerrar.

Por último, se utiliza la herramienta *Circular Pattern* para crear las dos palas restantes copiando la que se ha modelado (ya que las tres deben ser exactamente iguales), seleccionando como eje de referencia el eje de simetría de las palas.

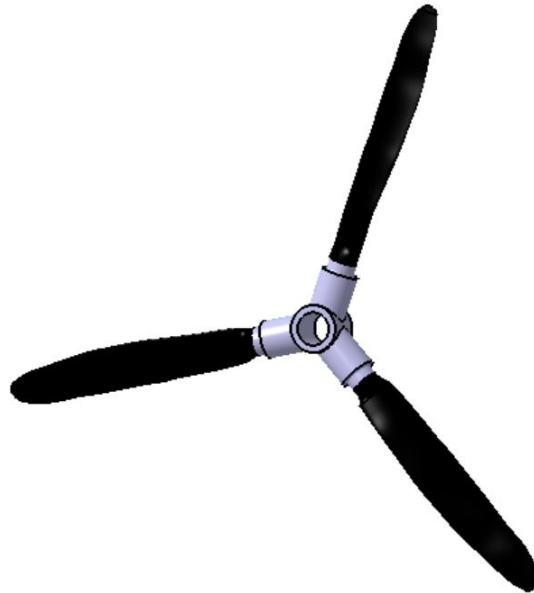


Figura 4-86. Hélice.

Juntando en el módulo *Assembly Design* la hélice con el cono reproducidos a partir de la imposición de restricciones tales como contacto entre superficies y concentricidad, conseguimos como resultado la recreación exterior de la planta motora, como se puede ver en las siguientes imágenes.

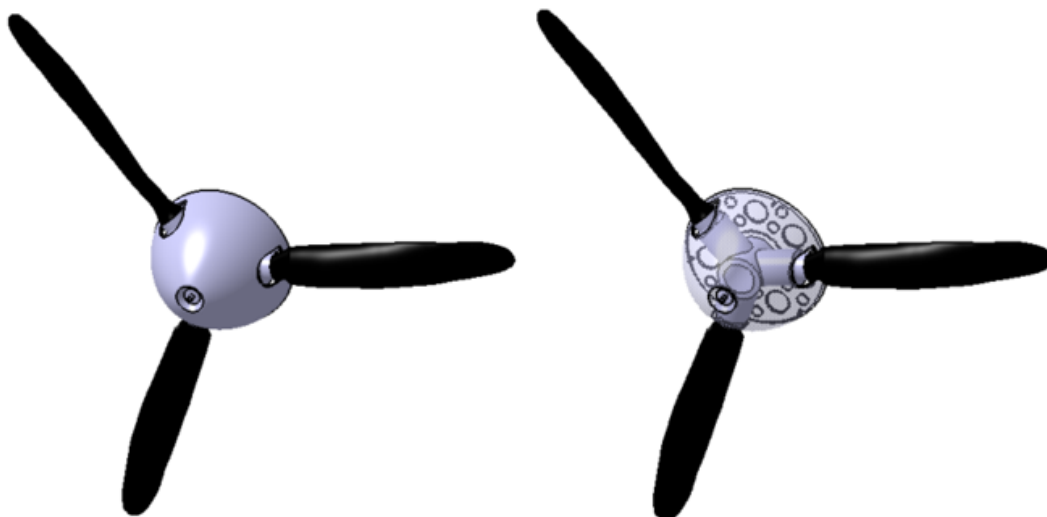


Figura 4-87. Motor del avión.

## 4.6 Tren de aterrizaje

En este apartado se mostrará cómo se ha realizado el modelado en CATIA del tren de aterrizaje del Messerschmitt 109.

El tren de aterrizaje de una aeronave en general tiene como funciones principales, por un lado, absorber las cargas de contacto que se producen durante las fases de rodaje, despegue y aterrizaje, y, por otro lado, junto a otros sistemas, permitir el control de la aeronave en tierra a bajas velocidades (dirección y frenado).

El tren de aterrizaje del Me 109 está compuesto por un tren principal que consta de dos ruedas situadas cada una a la altura de cada una de las alas y un tren auxiliar compuesto por una sola rueda en la zona inferior de la cola de menor tamaño que las ruedas del tren principal.

Sobre este sistema los planos muestran datos a grandes rasgos, sin entrar en detalle de las llantas o de los soportes que unen la estructura del avión y las ruedas, con lo cual se han utilizado como guías para el modelado de estas partes imágenes y dibujos de la aeronave, respetando en todo momento las cotas existente en los planos que se han seguido desde el inicio.

### 4.6.1 Tren de aterrizaje principal

Esta sección será la encargada de soportar aproximadamente el 90% del peso de la estructura. Se pueden distinguir tres elementos en este conjunto: rueda, eje de unión a la estructura del avión y superficie fuselada (la cual permite reducir al máximo la resistencia aerodinámica del tren en vuelo una vez retraído dentro del ala). A continuación, se mostrará el proceso llevado a cabo para recrear estas tres partes.

En primer lugar, se ha diseñado el eje metálico que une la rueda con el ala del avión. Este, se puede observar en imágenes del avión, está compuesto de dos tramos, un primer cilindro al cual sigue un segundo de un diámetro algo menor. Para reproducirlo en CATIA se crean tres bocetos (*Sketch*) de los círculos que componen las cuatro bases de sendos cilindros, situados de forma correcta en el espacio. Tras ello, se ejecuta *Multi-Sections Solid*, seleccionando dichos bocetos como elementos a unir, de esta forma se crea la barra sólida. Además, se conoce la existencia de un refuerzo en forma de anillo en la unión entre ambos cilindros, el cual se creará utilizando la función *Shaft*, haciendo girar alrededor del eje un *Sketch* con el contorno de dicho anillo situado en la unión de los dos ejes.

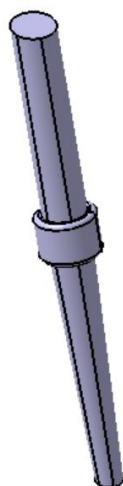


Figura 4-88. Eje de la unión rueda-estructura.

El siguiente paso será modelar la rueda, cuyo eje de simetría debe estar situado a la altura del final la pata que se acaba de diseñar. De los planos se obtiene el dato del tamaño del neumático (22x6 pulgadas), el cual se puede reproducir utilizando la herramienta *Shaft*, haciendo girar la sección que produciría un corte en el neumático un plano que contenga a su eje de simetría.

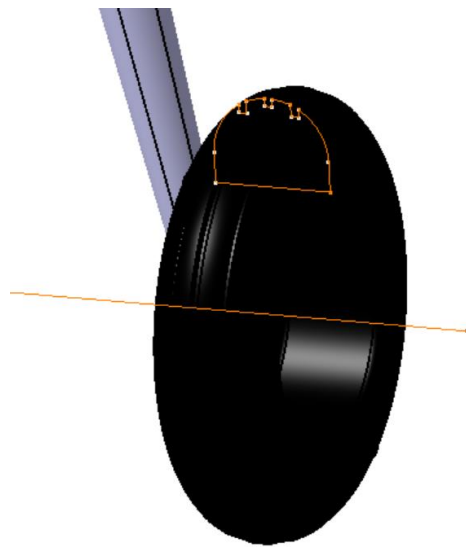


Figura 4-89. Sketch de la sección del neumático y el sólido originado.

Una vez creado el neumático, se crean dos bocetos (*Sketch*) de dos círculos en su interior (ambos con otro pequeño círculo centrado en el eje, que será el hueco por el que pase el eje que une la rueda con el tubo rígido), de tal forma que, al unirlos ejecutando *Multi-Sections Solid*, dé como resultado la llanta del neumático.

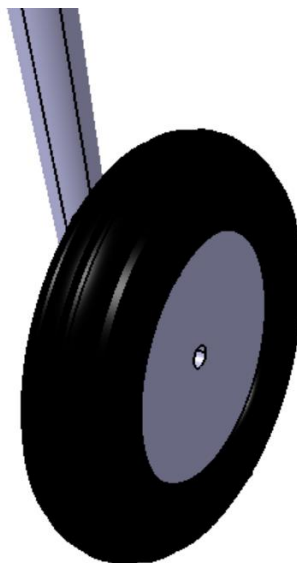


Figura 4-90. Rueda del tren de aterrizaje principal.

Alcanzado este punto, solo resta diseñar la superficie aerodinámica que cubrirá el tren cuando se encuentre retraído. De esta pieza no se dispone de ninguna información, con lo cual la única referencia para modelarla serán imágenes en las que se pueda apreciar con detalle esta zona.

Para llevar a cabo su diseño trabajará en el módulo *Wireframe and Surface Design*, ya que es una pieza que se puede aproximar como una superficie. La superficie que cubre la rueda será una especie de cuarto de esfera, el cual se puede generar mediante la unión de tres bocetos (*Sketch*) (dos de la sección de la superficie en sus extremos y un tercero en su plano medio) por medio de la herramienta *Multi-Sections Surface*.

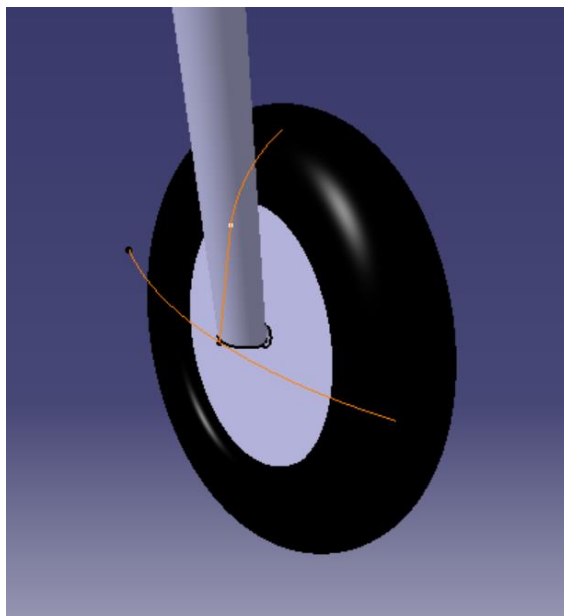


Figura 4-91. Bocetos del esqueleto de la cobertura fuselada de la rueda.

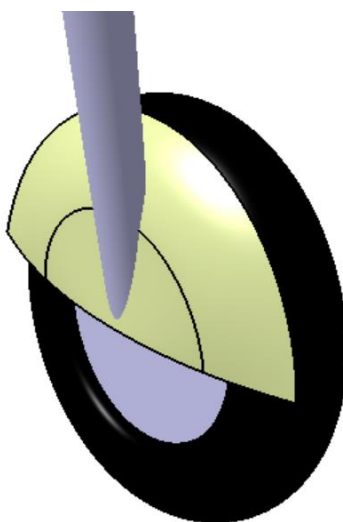


Figura 4-92. Superficie de la cobertura fuselada de la rueda.

De igual forma, se crea la superficie aerodinámica que cubrirá el eje que une la rueda con el resto del avión.

Obtenidas las dos superficies, se les da un pequeño espesor para convertirlas en un sólido mediante la función *Thick Surface* volviendo al módulo *Part Design*. De esta forma se ha recreado, de la forma fiel a la realidad posible teniendo en cuenta la información de la cual se dispone, el tren de aterrizaje principal del Messerschmitt 109.

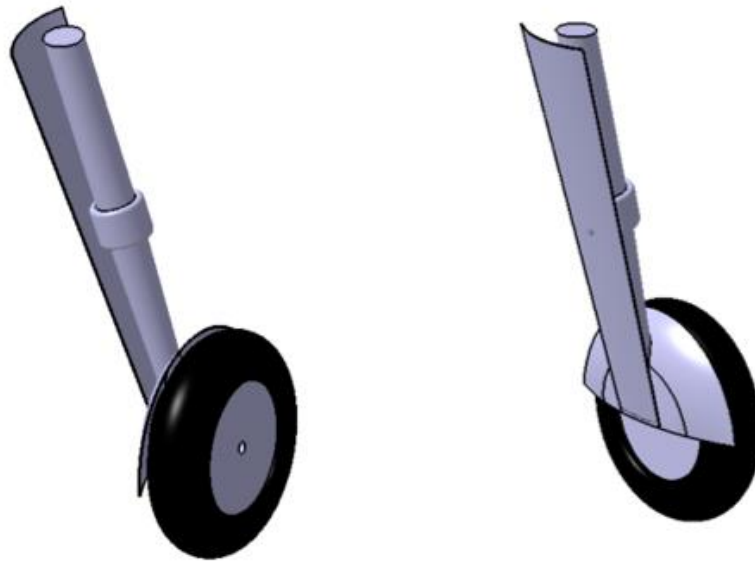


Figura 4-93. Tren de aterrizaje principal.

Como se puede observar, se ha modelado únicamente una de las dos patas del tren de aterrizaje principal, ya que ambas serán exactamente iguales. Con el fin de optimizar el proceso de diseño, para obtener la pata restante bastará con crear una simetría (respecto al plano de simetría del avión) de la pata modelada en el montaje final del avión.

#### 4.6.2 Tren de aterrizaje auxiliar

Este elemento debe soportar aproximadamente un 10% del peso de la estructura, teniendo como función principal el equilibrado de la aeronave. Para su modelado se han distinguido dos partes: rueda (neumático y llanta) y estructura metálica que une la rueda con el fuselaje.

El primer paso será modelar la rueda, lo cual se realizará de forma completamente idéntica a como se hizo para el tren de aterrizaje principal (en este caso con las medidas de la rueda del auxiliar, que está compuesta por un neumático de dimensiones 10.5x3 pulgadas), con lo cual se omitirá la explicación del proceso para evitar la repetitividad. En la siguiente imagen se muestra el resultado obtenido.

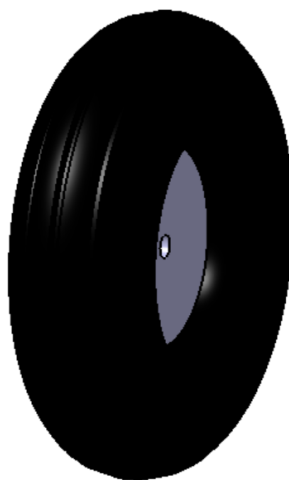


Figura 4-94. Rueda del tren de aterrizaje auxiliar.

Obtenida la rueda del tren auxiliar, se buscará reproducir la estructura mencionada previamente que una rueda y fuselaje de la forma más exacta posible observando imágenes y dibujos de esta zona del avión, ya que de nuevo los planos carecen de información detallada sobre esta parte.

Primero, trabajando en el módulo *Wireframe and Surface Design* se creará la superficie que cubre cierta zona de la rueda. Para ello, se crean dos bocetos (*Sketch*) de los extremos de esta superficie sobre la rueda y se ejecuta *Multi-Sections Surface*, consiguiendo de esta forma dicha superficie.

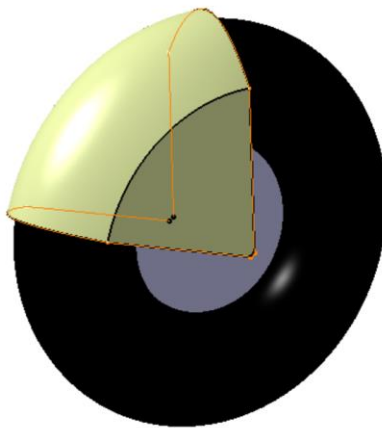


Figura 4-95. Superficie que cubre la rueda del tren de aterrizaje auxiliar.

Retornando al módulo *Part Design*, se da un pequeño espesor a la superficie creada utilizando la herramienta *Thick Surface*.

Por último, de igual forma que se hizo para el modelado del eje del tren de aterrizaje principal que une la rueda y la estructura del aeronave, se utilizará la función *Pad* para crear los dos cilindros y la función *Shaft* para el refuerzo de la unión de estos. De esta forma concluye el proceso de diseño del tren de aterrizaje auxiliar, mostrado en la siguiente imagen.

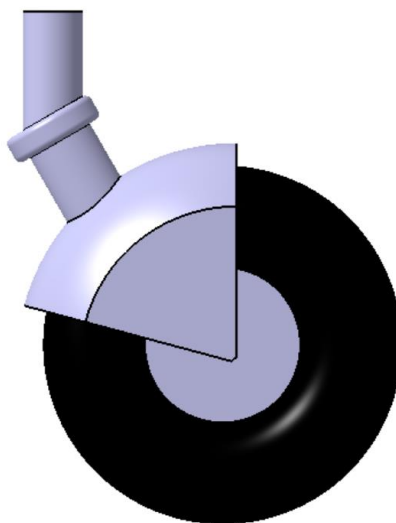


Figura 4-96. Tren de aterrizaje auxiliar.





# 5 MONTAJE FINAL

---

Una vez modeladas todas las partes de la estructura del Messerschmitt 109, se procederá a unir todas ellas con el fin de generar un único producto. Además, se modelarán pequeños detalles restantes y se aplicarán tanto pintura como materiales a las distintas zonas del avión para hacer aún más realista el modelo creado.

## 5.1 Proceso final de diseño

En primer lugar, observando los planos e imágenes de la aeronave, se observa que no se han modelado ciertos detalles del avión tales como la antena, las barras de sujeción del estabilizador horizontal uniéndolo con el fuselaje, etc. Con lo cual, antes de aplicar materiales y pintura, se han recreado estos elementos utilizando las herramientas básicas tanto del módulo *Part Design* como del módulo *Wireframe and Surface Design*.

Se trata de elementos bastante simples de modelar en comparación con muchas de las partes de las cuales se ha explicado su modelado en el capítulo anterior, con lo cual no se explicarán los pasos seguidos para su obtención, pero se muestran en las siguientes figuras el resultado obtenido como ejemplo de detalles modelados en esta fase final.

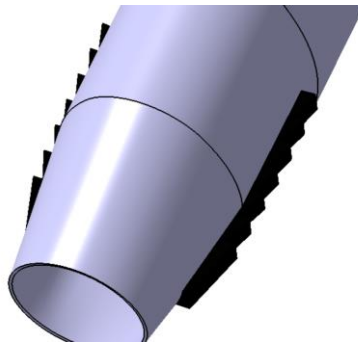


Figura 5-1. Detalle del morro.

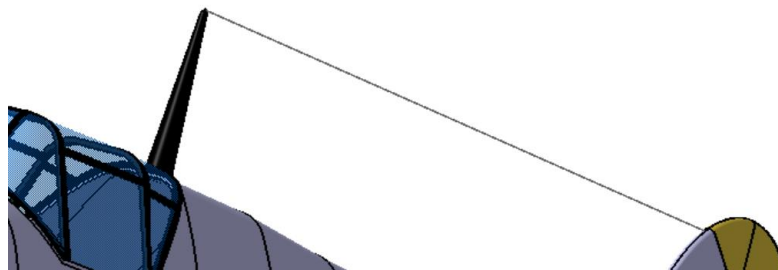


Figura 5-2. Antena.

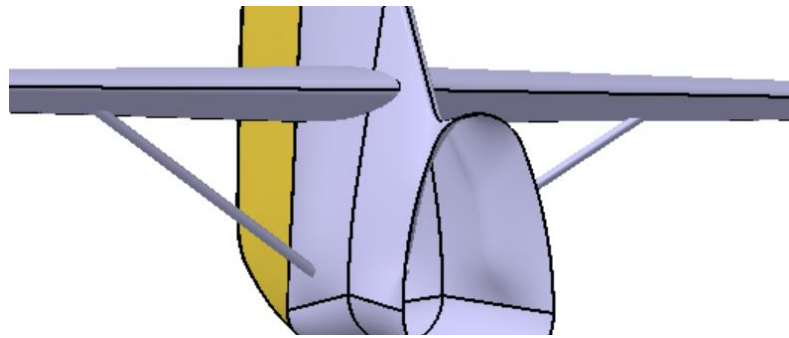


Figura 5-3. Soporte del estabilizador horizontal.

Una vez recreados los elementos mencionados, el siguiente paso será asignar a cada zona de la estructura el material que le corresponda. De esta forma, se obtendrá un mayor parecido entre modelo final y la aeronave real. Además, el software de CATIA ofrece información sobre pesos, inercias, centros de gravedad, etc. los cuales serán mucho más fieles a la realidad una vez se apliquen los correspondientes materiales a la estructura.

Tal y como se ha comentado, se ha tratado de aplicar a cada zona del avión su correspondiente material. Entre los materiales más utilizados destacan el aluminio y el acero (comúnmente utilizados en la fabricación de prácticamente todos los cazas de la Segunda Guerra Mundial), siendo este último necesario en ciertas zonas que puedan sufrir mayores cargas o que puedan estar sometidas a mayores temperaturas, mientras se busca maximizar el uso del aluminio en la estructura debido a su menor densidad, lo cual aligerará el peso de la estructura de la aeronave.

Para llevar a cabo este proceso se hace uso de la herramienta *Apply Material*, la cual está disponible en todos los módulos utilizados en CATIA. Se trata de una herramienta muy simple e intuitiva de utilizar, basta con seleccionar el elemento al cual se debe aplicar un material y se escoge el material deseado de entre muchas opciones disponibles por defecto en la base del programa.

Tras asignar el material correspondiente a la estructura del modelo del Messerschmitt 109, se procede con la aplicación de pintura. En este punto, se distinguen dos zonas, una pintura base que variará según el modelo concreto de todos los fabricados a lo largo de la historia y unos dibujos/ formas sobre la estructura exterior que aparecen en prácticamente todos los modelos.

Por un lado, la pintura base se aplica entrando en las propiedades del material asignado previamente donde se pueden seleccionar colores y propiedades de estos. De esta forma, se seleccionarán colores en función se desee comparar el avión recreado con un modelo concreto del real u otro.

Por otro lado, para la creación de las formas o figuras mencionadas se utilizarán las operaciones booleanas disponibles en el módulo *Part Design*. Creando un nuevo *Body* en el cual se origina la extrusión de la figura deseada en el lugar adecuado se puede aplicar la herramienta *Remove* para conseguir vaciar la zona de la estructura donde vayan a colocarse las formas. Tras ello, se puede crear una superficie en el módulo *Wireframe and Surface Design* utilizando el comando *Fill* para cerrar el espacio originado en la estructura. Así se podrá aplicar un color distinto a esta zona, generando de este modo la simulación de la pintura de los dibujos deseados.

## 5.2 Resultado Final

Concluido el proceso previo, solo faltaría llevar a cabo el ensamblaje de las partes del avión modeladas. Para ello se trabajará en el módulo *Assembly Design*, donde, mediante la imposición de las restricciones necesarias para situar de forma correcta todas estas partes en el espacio y la creación de simetrías a elementos como el ala o el tren de aterrizaje, se consigue obtener como resultado el modelo final del Messerschmitt 109.



Figura 5-4. Modelo en CATIA del Messerschmitt 109 (1).

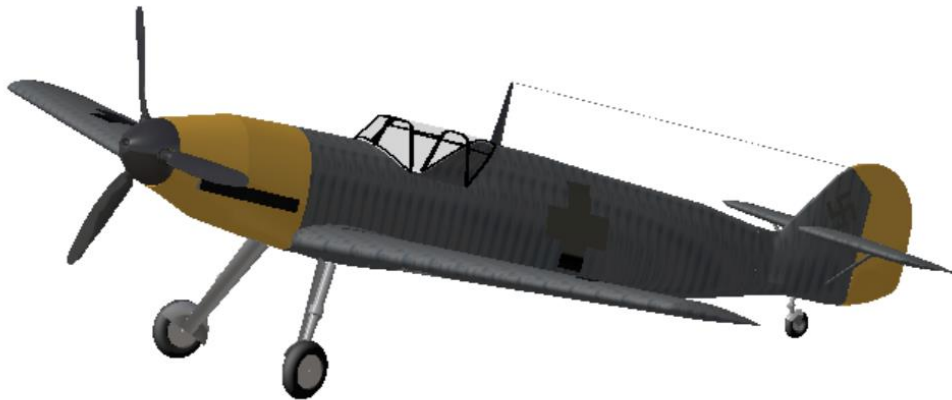


Figura 5-5. Modelo en CATIA del Messerschmitt 109 (2).

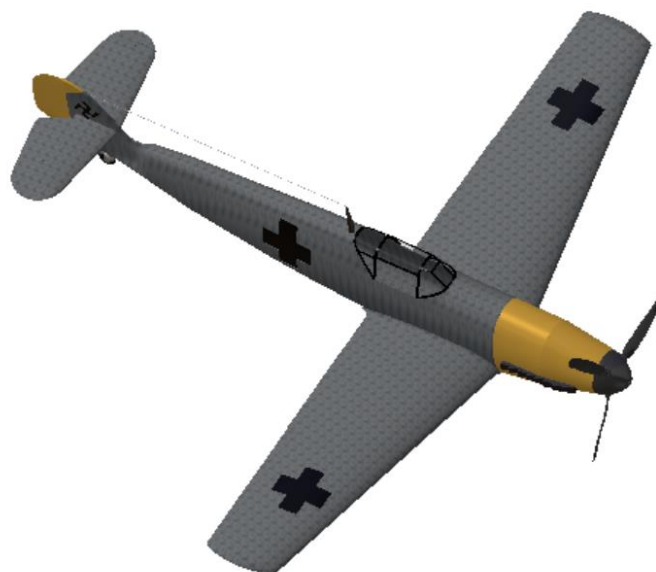


Figura 5-6. Modelo en CATIA del Messerschmitt 109 (3).

Con el fin de poder analizar resultado obtenido con modelo final se ejecutará la función *Photo Studio Easy Tools* de las operaciones de *Render* disponibles en CATIA y se mostrarán a continuación las imágenes obtenidas junto a fotografías reales del Messerschmitt 109.

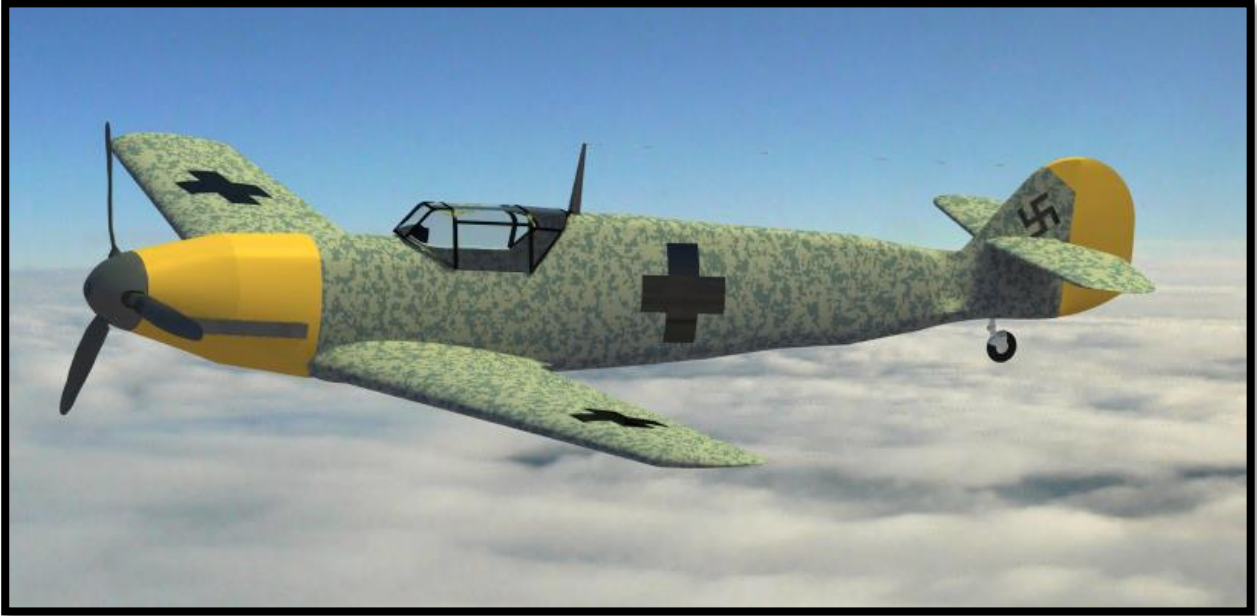


Figura 5-7. Modelo Me-109 (1).



Figura 5-8. Me-109 real (1).



Figura 5-9. Modelo Me-109 (2).



Figura 5-10. Me-109 real (2).



Figura 5-11. Modelo Me-109 (3).



Figura 5-12. Me-109 real (3).

Por otro lado, es interesante también obtener las vistas del modelo creado para así poder comparar el resultado con los planos seguidos desde el inicio. Esto se puede conseguir utilizando el módulo *Drafting* que se encuentra en *Mechanical Design*. Una vez generadas las distintas proyecciones del modelo, se puede ver como el resultado es bastante similar al plano real del Messerschmitt 109, como se muestra a continuación.

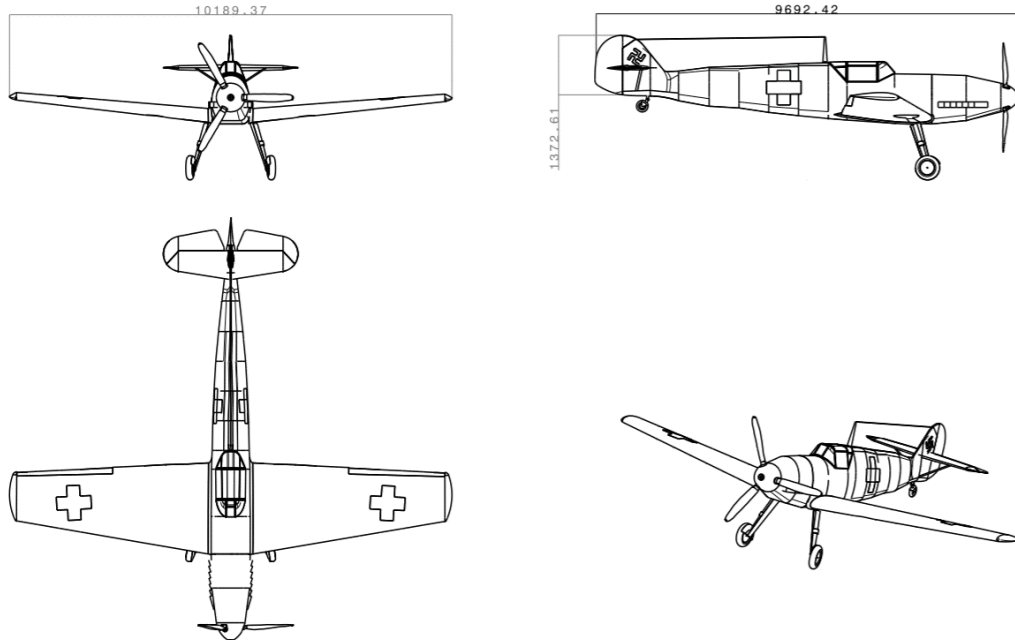


Figura 5-13. Plano modelo Me-109.

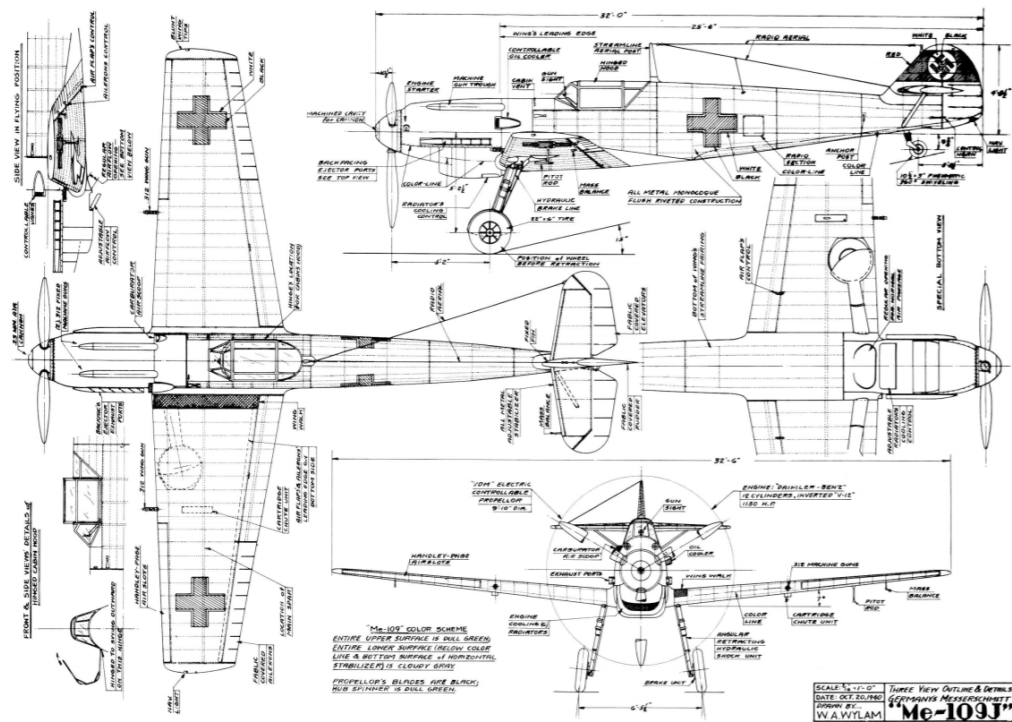


Figura 5-14. Plano real.





# 6 SIMULACIONES REALIZADAS CON EL MODELO

---

Con el fin de mostrar de alguna forma la utilidad futura que puede tener la reproducción de la aeronave obtenida, en esta sección se expondrá el proceso seguido para simular el movimiento, tanto del motor como de las superficies de control (alergones, timón de profundidad y timón de dirección) del Messerschmitt 109 haciendo uso en todo momento del software de CATIA.

## 6.1 DMU Kinematics

Para llevar a cabo este proceso será necesario introducir el modelo del avión en el módulo *DMU Kinematics* (dentro de *Digital Mockup*). La enseñanza del uso de dicho módulo no está incluida en los contenidos de la asignatura *Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador*, con lo cual ha sido necesario completar un proceso de autoaprendizaje de las utilidades básicas ofrecidas por este módulo previo a la realización de las simulaciones.

Al igual que se hizo al inicio del documento con los módulos utilizados para el modelado de la aeronave, se muestran a continuación las funciones más utilizadas en el módulo *DMU Kinematics*:

- *Assembly Constraints Conversion*: Genera un mecanismo de la zona deseada de un ensamblaje.
- *Revolute Joint*: Permite crear una junta de un mecanismo.
- *Fix*: Fija la parte inmóvil del mecanismo.
- *Simulation*: Crea la simulación de un mecanismo.
- *Compile Simulation*: Genera un archivo de vídeo de una simulación.

A partir del correcto uso de estas herramientas se pueden crear mecanismos a partir de un ensamblaje y obtener archivos de video que muestren la simulación del movimiento de dicho mecanismo. De esta forma, se obtendrán las simulaciones del movimiento de la hélice y las superficies de control del modelo del Messerschmitt 109 realizado en el capítulo anterior.

## 6.2 Simulaciones

Todos los mecanismos que se pretenden crear son simples, únicamente se generarán rotaciones alrededor de un eje. Por este motivo, se va a exponer el proceso llevado a cabo para la generación del vídeo de uno de ellos, ya que el camino seguido para crear el resto será idéntico. En concreto, se mostrará cómo se ha obtenido el vídeo de la simulación del movimiento de la hélice del avión.

En primer lugar, se introduce el ensamblaje de todas las partes del avión en el módulo *DMU Kinematics*. Aquí se selecciona la herramienta *Assembly Constraints Conversion*, creando así un nuevo mecanismo (rotación de la hélice). Con el mecanismo generado, se debe indicar la parte que permanecerá inmóvil (utilizando la función *Fix*) en el mismo, que será en este caso el revestimiento del fuselaje.



Figura 6-1. Creación del mecanismo hélice-fuselaje.

A continuación, se crean las juntas existentes en el mecanismo originado. En esta ocasión, será necesaria una junta de revolución alrededor de la cual vaya a rotar la hélice. Para introducirla en el mecanismo generado se ejecuta *Revolute Joint*, donde se deben introducir los dos ejes de concetricidad y las caras que permanecerán en contacto durante la rotación. Uno de los ejes ya existe (el eje de revolución del cilindro central de la hélice por el cual pasaría el eje del motor desde el interior del morro del fuselaje), sin embargo, el eje en el revestimiento del fuselaje será necesario crearlo. Para ello, se abre el archivo en el cual se encuentra modelado el revestimiento del fuselaje y se dibuja una línea que pase por el centro de la sección del morro de la aeronave (sección C en los planos) y que esté contenida en el plano de la horizontal de la aeronave. Seleccionando estos dos ejes y las dos caras que estarán en contacto durante la rotación (base del cono del motor y sección C), queda definida la única junta que habrá en este mecanismo.

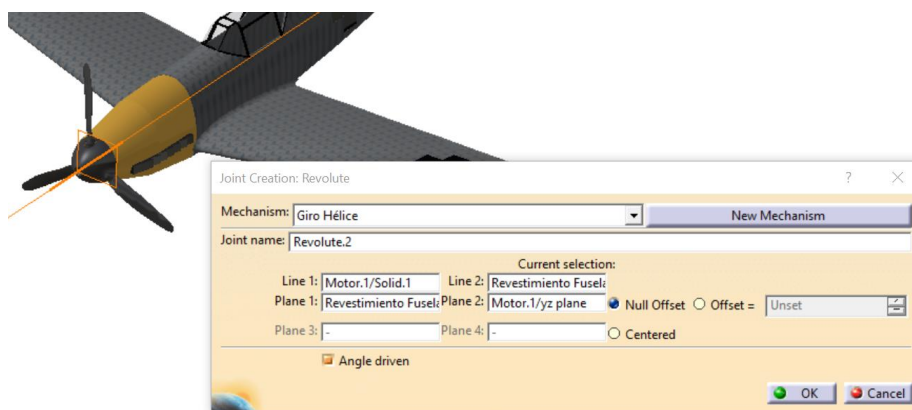


Figura 6-2. Creación de la junta de revolución del mecanismo.

Alcanzado este punto, el mecanismo ya está completamente definido y solo faltaría simularlo. Para ello, se utiliza la herramienta *Simulation*, en la cual se indica el movimiento que se desea que realice el mecanismo y la forma de ejecutarlo. Tras realizar la simulación ya se puede crear el archivo de vídeo de esta, ejecutando *Compile Simulation* y seleccionando la última simulación generada como simulación a compilar. De esta forma se obtiene el resultado esperado, un vídeo en el cual se puede ver el movimiento de rotación que realizaría la hélice una vez arrancado el motor.

Repitiendo este proceso con el resto de los elementos cuyo movimiento se desea simular y juntando todos los vídeos generados para cada uno de ellos, se obtiene como el vídeo en el cual se puede ver en movimiento todas las superficies de control de la aeronave y su motor. Secuencia que puede interpretarse como el proceso de chequeo que debe realizar el piloto en tierra previo al despegue con el fin de comprobar el correcto funcionamiento de las superficies de control una vez arrancado el motor.

### 6.3 Análisis de interferencias

Generados los movimientos de estos mecanismos, sería muy interesante realizar un análisis de interferencias, con el fin de detectar si aparecen colisiones, tanto entre distintas partes móviles como entre partes móviles y fijas. Para ello, se introducirá el modelo en el módulo *DMU Space Analysis*, donde únicamente se hará uso de la herramienta *Clash*.

Para analizar la posible existencia de colisiones, dentro de la función *Clash*, se selecciona como tipo de colisión a comprobar “*Contact + Clash*” y “*Between two selections*” y se introducen los dos elementos entre los cuales se desee llevar a cabo el estudio.

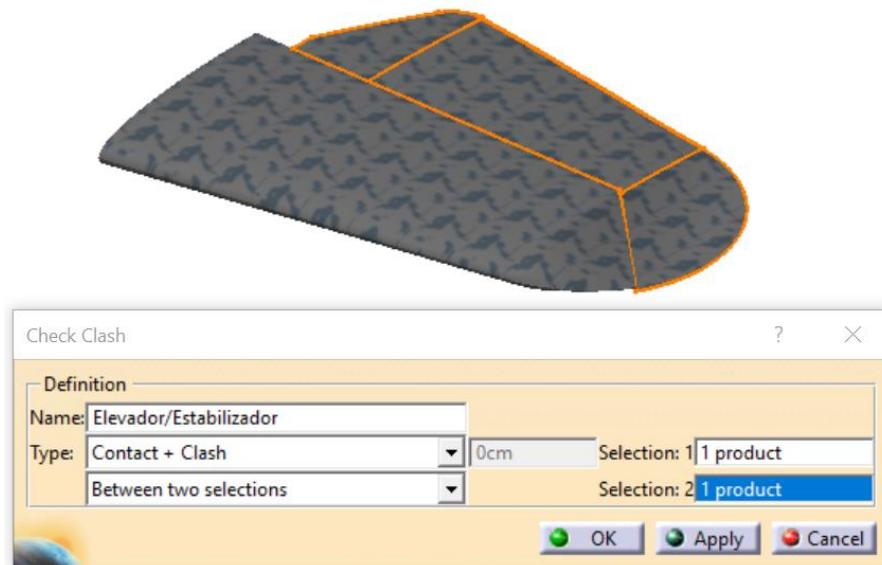


Figura 6-3. Selección de elementos a analizar.

Una vez realizada esta operación, se ejecuta automáticamente el análisis de interferencias, el cual indicará si aparecen o no choques entre los elementos.

Este proceso se llevará a cabo para analizar las interferencias entre los elementos que se ha considerado propensa la aparición colisiones:

- Hélice y fuselaje.
- Alerones y alas.
- Timón de dirección y estabilizador vertical.
- Timón de profundidad y estabilizador horizontal.
- Timón de dirección y timón de profundidad.

Tras ejecutar el análisis mencionado para estos cinco pares de elementos, solo se obtienen dos pequeñas colisiones: entre los alerones y las alas y entre los elevadores y el estabilizador horizontal.

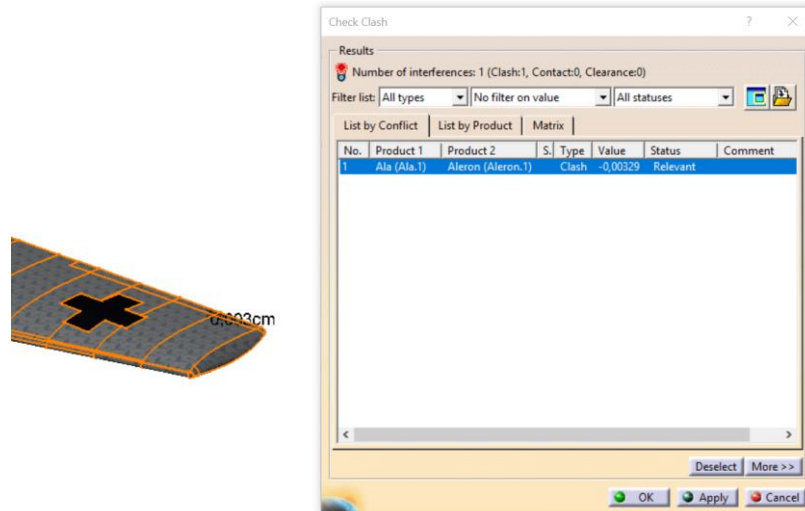


Figura 6-4. Colisión alerón-ala.

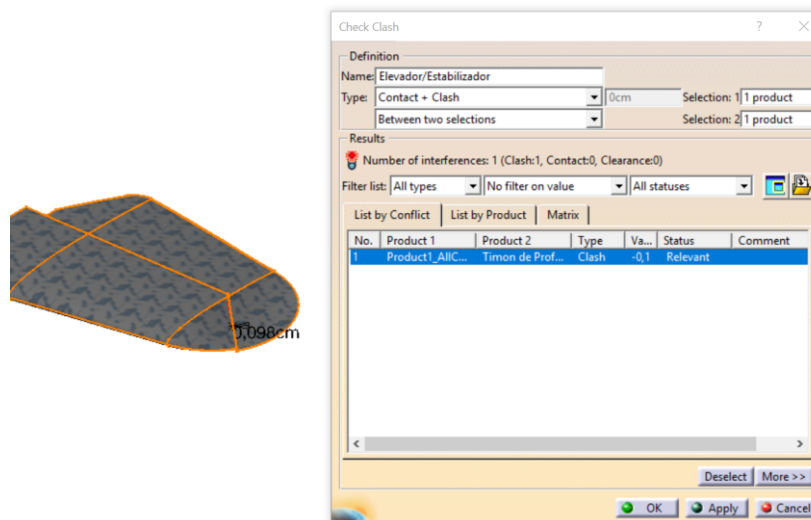


Figura 6-5. Colisión elevador-estabilizador horizontal.

Las dos imágenes anteriores muestran las colisiones que ha detectado el módulo de Catia. Se trata de dos pequeños choques, cuyos valores se pueden ver en las imágenes, ocasionados seguramente por una incorrecta colocación del eje entorno al cual rotan las superficies móviles.

Para resolver estas dos colisiones que han aparecido, se debe modificar el eje de giro de ambos mecanismos, colocándolos en el lugar que corresponde, y realizar de nuevo este análisis hasta que se consiga hacer desaparecer cualquier tipo de colisión.

# 7 CONCLUSIONES

---

Finalizado este trabajo, merece la pena realizar un pequeño ejercicio mental de recopilación de todo el proceso llevado a cabo para la consecución del modelo digital del Messerschmitt 109 buscado. A partir de este, surgen varias conclusiones que se muestran en adelante en esta sección.

Por una parte, visto el resultado del modelo final y tras ponerlo junto a imágenes reales de la aeronave y junto a los planos seguidos para su reproducción, se puede considerar como bastante satisfactorio el resultado obtenido en este proyecto. Por otro lado, las simulaciones realizadas del movimiento de las superficies de control y del motor se pueden considerar bastante realistas.

Así mismo, se han conseguido alcanzar exitosamente los objetivos marcados al inicio de este trabajo. En primer lugar, se ha continuado con la familiarización y el desarrollado la soltura en el manejo de todas las herramientas introducidas en la asignatura de *Diseño Y Fabricación Asistidos Por Ordenador*. Al mismo tiempo que se han ido adquiriendo nuevos conocimientos sobre el uso de funciones no enseñadas en esta asignatura, ya que en ocasiones han surgido problemas que no se han podido resolver utilizando únicamente las nociones aprendidas en la asignatura. Especialmente, esto ha llevado a conocer ampliamente el módulo *Wireframe and Surface Design* del software de Catia, un espacio repleto de herramientas muy potentes a la hora de crear superficies, el cual ha demostrado poder ser de gran utilidad para el ámbito del diseño dentro de la industria aeronáutica.

Adicionalmente, se han ampliado los objetivos marcados para este proyecto tras producir la simulación del movimiento de diversas zonas de la aeronave. Esto ha dado a conocer la utilidad del módulo *Digital Mockup (DMU Kinematics y DMU Space Analysis)*, a la vez que ha permitido mostrar una de las posibles continuaciones que podría tener el proyecto que se presentaba al inicio.

Por otra parte, la realización de este proyecto ha desarrollado capacidades personales a la hora de gestionar y afrontar problemas que pueden surgir durante la ejecución de cualquier trabajo, como se ha tratado de mostrar a lo largo de la redacción del documento.

Por último, este proyecto deja las puertas abiertas a posibles continuaciones. Como posibles avances a realizar sobre el modelo obtenido, se pueden destacar las siguientes:

- Aumento del grado de detalle del modelo realizado.
- Realización de simulaciones de distintas fases de vuelo con el modelo obtenido.
- Realización de estudios estructurales y aerodinámicos de la aeronave.
- Investigación sobre la estructura interna y mejora de su modelado.
- Modelado de la planta de potencia de la aeronave. Reproducción del motor completo de esta, el cual se encuentra alojado en el interior del morro.
- Modelado de los diferentes sistemas existentes en el interior de la aeronave.



# REFERENCIAS

---

## Enlaces Web

- Historia del Messerschmitt 109:

<https://www.lasegundaguerra.com/viewtopic.php?t=4091>

<https://www.eurasia1945.com/armas/aire/messerschmitt-bf-109/>

<http://sandglasspatrol.com/IIGM-12oclockhigh/Messerschmitt%20Bf109.htm>

- Perfil alar:

[http://www.aero.us.es/adesign/Slides/Extra/Design/CATIA/Parametrizacion\\_Ala/Manual%20Parametrizaci%C3%B3n%20Catia.pdf](http://www.aero.us.es/adesign/Slides/Extra/Design/CATIA/Parametrizacion_Ala/Manual%20Parametrizaci%C3%B3n%20Catia.pdf)

<https://www.aerodrawings.net/products/messerschmitt-bf-109-plans-drawings>

<http://kurisawa.pro.tok2.com/aeronautics/Airfoils/15-0021.html>

<http://airfoiltools.com/airfoil/details?airfoil=m3-il>

- Imágenes y fotografías:

<http://www.airwar.ru/other/drawe.html>

<http://aviationarchaeology.gr/wp-content/uploads/2015/01/P09-VDM-Electric.pdf>

[http://www.aviationcorner.net/gallery\\_en.asp?pg=2&fp=1&aircraft\\_type=Hispano%20Aviaci%F3n%20H A-1112&aircraft\\_version=&aircraft\\_type\\_id=682](http://www.aviationcorner.net/gallery_en.asp?pg=2&fp=1&aircraft_type=Hispano%20Aviaci%F3n%20H A-1112&aircraft_version=&aircraft_type_id=682)

- Foros:

<http://www.rcuniverse.com/forum/rc-warbirds-warplanes/412916-bf-109-airfoil-print.html>

<http://www.forosegundaguerra.com/viewtopic.php?t=17387&start=15>





# BIBLIOGRAFÍA

---

William Wylam, « **Best of Wylam Books** ».

Peter M. Bowers, « **Scale Aircraft Drawings WWII** ».

La Hispano Aviación S. A., «**Catálogo del Avión Me 109 J HA 1.109 K1L**».