

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería Aeroespacial

### Modelado mediante CATIA V5 del avión caza español Saeta

Autor: Ana Retamal Rodríguez-Bobada

Tutor: José Sauco Zaldívar

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

Sevilla, 2019





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería Aeroespacial

# **Modelado mediante CATIA V5 del avión caza español Saeta**

Autor:

Ana Retamal Rodríguez-Bobada

Tutor:

José Sauco Zaldívar

Profesor colaborador

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

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado: Modelado mediante CATIA V5 del avión caza español Saeta

Autor: Ana Retamal Rodríguez-Bobada

Tutor: José Sauco Zaldívar

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,  
por su apoyo incondicional.*





# Agradecimientos

---

En primer lugar, dar las gracias a quienes han sido mi principal apoyo todos estos años, a quienes son mi referente en la vida, mis padres. Ellos, junto con mi hermano, han creído en mí desde el principio, han sido mi principal motivación y han hecho, con su ayuda, que haya llegado hasta aquí.

Agradecer a la Fundación Infante de Orleans, en especial a Daniel Gallego, por su involucración y amabilidad desde el primer momento, porque sin su aportación no habría sido posible este proyecto.

Como no, agradecer a mis compañeros, los que llegaron y se quedaron, porque han sido muchos los momentos vividos, por el apoyo mutuo y por hacer este viaje más ameno.

A José Saúco, quien confió en mí desde el momento en que le planteé el proyecto. Gracias por la ayuda brindada y por su dedicación absoluta.



# Resumen

---

Los Saeta nacieron en la fábrica de la Hispano Aviación en pleno centro de Triana, por aquel entonces aún dividido en dos cavas, la de los civiles y la de los gitanos. El avión fue el producto mejor terminado de aquella fábrica.

El ingeniero alemán Willy Messerschmitt fue el gran fichaje de la factoría, cuyo trabajo se materializó en primer lugar en el Triana, que fue la base del Saeta, primer avión reactor español y primer avión que exportó la industria aeronáutica española.

El principal objetivo del proyecto es la modelización en 3D mediante CATIA V5 del Saeta, en concreto, del fuselaje, las alas, la cabina y el empenaje. Previo a ello se ha realizado un ejercicio de documentación tanto técnica como histórica del avión.

Se ha estructurado con una introducción inicial para situar históricamente el Saeta, un posterior desarrollo a lo largo de los años del avión y de sus actuaciones. Y, por último, el grosso del proyecto, la modelización en sí explicada paso a paso.



# Abstract

---

The Saeta were born in the “Hispano Aviación” in the heart of Triana, at that time still divided into two parts, that of civilians and that of gypsies. Saeta was the best finished product of the factory.

The German engineer Willy Messerschmitt was the great signing of the factory, whose work materialized first in the Triana, which was the base of Saeta, the first Spanish jet aircraft and the first aircraft to export the Spanish aeronautical industry.

The main objective of the project is 3D modelling of the Saeta using CATIA v5, specifically the fuselage, the wings, the cabin and the empennage. Prior to this, an exercise of technical and historical documentation of the aircraft was carried out.

It has been structured with an introduction to situate the Saeta historically, a subsequent development over the years of the aircraft and its performances. Finally, the essence of the project, the modelling explained step by step.



<b>Agradecimientos</b>	<b>i</b>
<b>Resumen</b>	<b>iii</b>
<b>Abstract</b>	<b>v</b>
<b>Índice</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>ix</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. <i>Antecedentes.</i>	2
1.2. <i>Desarrollo del Proyecto.</i>	3
1.3. <i>Proyecto del HA-100 (TRIANA).</i>	5
<b>2 HA-200, El Saeta</b>	<b>9</b>
2.1 <i>Un nombre tan gitano.</i>	9
2.2 <i>Definiendo el Saeta.</i>	10
2.3 <i>Sobre la Vieja Europa.</i>	14
2.4 <i>Preserie y serie.</i>	15
2.5 <i>El interés egipcio.</i>	16
2.6 <i>Desarrollo del Saeta.</i>	17
2.7 <i>Saeta en acción.</i>	19
<b>3 CATIA</b>	<b>21</b>
3.1 <i>Módulos principales de CATIA</i>	22
3.1.1 <i>Diseño.</i>	22
3.1.2 <i>Análisis.</i>	22
3.1.3 <i>Mecanizado.</i>	22
3.2 <i>Barras de herramientas principales</i>	23
3.2.1 <i>Sketcher</i>	23
3.2.2 <i>Part Design</i>	23
3.2.3 <i>Surface Design</i>	23
<b>4 Modelado en Catia</b>	<b>25</b>
4.1 <i>Interior del fuselaje.</i>	26
4.1.1 <i>Superficie fuselaje.</i>	26
4.1.2 <i>Cuadernas del fuselaje.</i>	34
4.1.3 <i>Largueros del fuselaje.</i>	35
4.2 <i>Exterior Fuselaje.</i>	37
4.3 <i>Alas.</i>	41
4.3.1 <i>Superficie exterior.</i>	41
4.3.2 <i>Costillas y largueros.</i>	44
4.3.3 <i>Depósito combustible marginal.</i>	46
4.4 <i>Estabilizador vertical.</i>	53

4.5	<i>Estabilizador horizontal.</i>	59
4.6	<i>Cabina</i>	65
4.6.1	Superficie de la cabina	65
4.6.2	Cúpula de la cabina	70
4.6.3	Armazón metálico	72
4.7	<i>Diseño final</i>	79
	<b>Conclusiones</b>	<b>83</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>85</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. 50º aniversario del primer vuelo del Saeta	1
Figura 2. HA-200 Saeta de la Fundación Infante de Orleans	2
Figura 3. El HS-42 hizo su primer vuelo de pruebas el 5 de abril de 1942, Domingo de Resurrección.	2
Figura 4. Messerschmitt Me-109G-2.	3
Figura 5. El genial diseñador alemán Willy Messerschmitt.	4
Figura 6. Hispano Aviación reflejaba en su publicidad el vínculo con la ciudad de Sevilla y con su origen Hispano-Suizo.	4
Figura 7. El HA-100 E1	5
Figura 8. Prototipo del Hispano HA-100E1 en Tablada, 1953	6
Figura 9. HA-100 en vuelo.	7
Figura 10. Retablo cerámico.	9
Figura 11. El HA-200	10
Figura 12. TurbomecaMarboré II	10
Figura 13. Fachada de la factoría de Hispano Aviación, en la calle San Jacinto del barrio de Triana en Sevilla.	11
Figura 14. El prototipo 200 R1ya con su matrícula civil en San Pablo	11
Figura 15. Fernando de Juan Valiente posa orgullosa delante del Saeta.	12
Figura 16. Un HA-200 Saeta volando sobre la Plaza de España.	13
Figura 17. Un HA-200 en pleno vuelo.	13
Figura 18. HA-Saeta un reactor de extraordinaria agilidad.	14
Figura 19. HA-200 Saeta empleado en 1956 para promoción de ventas en una gira por Alemania, Austria y Suiza.	14
Figura 20. Prototipo Hispano Aviación HA-200R Saeta en el Paris Air Show en Le Bourget en mayo de 1957.	15
Figura 21. Línea de vuelo de HA-200A a principios de los años sesenta, recién salidos de la cadena de montaje de San Pablo.	16
Figura 22. “El reactor árabe Al-Kahira, construido con nuestra colaboración, despegó sobre los desfiles militares y sobre el mundo moderno”. Así recogía la prensa egipcia de la época el primer vuelo del HA-200B	17
Figura 23. Hispano HA-220 Supersaeta perteneciente al 214 escuadrón de Morón de la Frontera.	18
Figura 24. Hermosa y nostálgica foto donde dos Supersaetas del escuadrón 214 escoltan a un Northrop F-5.	18
Figura 25. Hispano Aviación HA-200 Saeta, en el aeródromo de Villa Cisneros (Sáhara).	19
Figura 26. Logo CATIA.	21
Figura 27. Ejemplo de pieza en CATIA.	21
Figura 28. Análisis en CATIA.	22
Figura 29. Codificación del avión.	25

---

Figura 30. Principales medidas de referencia I	25
Figura 31. Principales medidas de referencia II.	26
Figura 32. Modulo Sketch Tracer.	26
Figura 33. Perfil del fuselaje.	27
Figura 34. Sketcher del perfil.	27
Figura 35. Planta del fuselaje.	28
Figura 36. Sketcher de la planta.	28
Figura 37. Distancia de las cuadernas respecto al morro.	29
Figura 38. Planos de las cuadernas.	29
Figura 39. Ayuda sección cuaderna A en plano XY.	30
Figura 40. Ayuda sección cuaderna A plano XZ.	30
Figura 41. Sección cuaderna A.	31
Figura 42. Secciones cuadernas del fuselaje.	31
Figura 43. Módulo Wireframe and Surface Design.	31
Figura 44. Superficie fuselaje central.	32
Figura 45. Superficie del cono final del fuselaje.	32
Figura 46. Sección del morro del avión.	33
Figura 47. Superficie del morro del avión.	33
Figura 48. Superficie fuselaje completo.	33
Figura 49. Perfil cuaderna.	34
Figura 50. Cuaderna A.	34
Figura 51. Cuadernas del fuselaje.	35
Figura 52. Parte anterior del fuselaje. Largueros.	35
Figura 53. Puntos sección A.	36
Figura 54. Superficie largueros del fuselaje.	36
Figura 55. Largueros del fuselaje.	37
Figura 56. Interior del fuselaje completo.	37
Figura 57. Exterior del fuselaje (parte central y cono final).	38
Figura 58. Exterior del fuselaje completo.	38
Figura 59. Morro del avión.	39
Figura 60. Aletas de la parte anterior del fuselaje.	39
Figura 61. Aleta parte superior del fuselaje.	40
Figura 62. Aletas del fuselaje.	40
Figura 63. Definición del ángulo diedro.	41
Figura 64. Forma en planta del ala.	41
Figura 65. Distancia de cada costilla respecto al eje del fuselaje.	42
Figura 66. Giro del flap referido a la costilla 3.	42
Figura 67. Perfil del ala en la costilla 3.	43
Figura 68. Parte principal de la superficie del ala.	43

Figura 69. Vista frontal de la superficie del encastre.	44
Figura 70. Superficie del encastre con sus cuatro guías.	44
Figura 71. Superficie del encastre definida.	44
Figura 72. Superficie de las 5 costillas.	45
Figura 73. Superficie de los largueros.	45
Figura 74. Costillas y largueros.	45
Figura 75. Forma en planta del depósito de combustible.	46
Figura 76. Posición de las costillas del depósito marginal.	46
Figura 77. Secciones de las costillas del depósito marginal.	47
Figura 78. Envolvente del depósito marginal.	47
Figura 79. Costillas del depósito marginal.	48
Figura 80. Discontinuidad entre superficie alar y depósito marginal.	48
Figura 81. Unión del ala con el depósito.	48
Figura 82. Superficie del depósito marginal.	49
Figura 83. Vista de la aleta del depósito marginal.	49
Figura 84. Perfil de la aleta en plano horizontal.	50
Figura 85. Aleta del depósito marginal.	50
Figura 86. Superficie interior a la alar.	51
Figura 87. Ala derecha.	51
Figura 88. Fuselaje y alas I.	52
Figura 89. Fuselaje y alas II.	52
Figura 90. Deriva, timón de profundidad y aleta dorsal.	53
Figura 91. Forma en el perfil del estabilizador vertical.	53
Figura 92. Sketcher de la forma en el perfil del estabilizador vertical.	53
Figura 93. Posición de las costillas en estabilizador vertical.	54
Figura 94. Perfil NACA del estabilizador vertical.	54
Figura 95. Sección de la costilla 3 del estabilizador vertical.	54
Figura 96. Superficie del estabilizador vertical I.	55
Figura 97. Superficie del estabilizador vertical II.	55
Figura 98. Superficie del estabilizador vertical III.	56
Figura 99. Superficie del estabilizador completa.	56
Figura 100. Costillas del estabilizador vertical.	56
Figura 101. Superficie interior del estabilizador vertical I.	57
Figura 102. Espesor de la superficie del estabilizador vertical I.	57
Figura 103. Estabilizador vertical completo.	58
Figura 104. Fuselaje, alas y estabilizador vertical.	58
Figura 105. Empenaje del avión.	59
Figura 106. Forma en planta del estabilizador horizontal.	60
Figura 107. Posición de las costillas del estabilizador vertical.	60

---

Figura 108. Superficie del estabilizador horizontal I.	61
Figura 109. Superficie del estabilizador horizontal II.	61
Figura 110. Superficie del estabilizador horizontal completa.	62
Figura 111. Costillas del estabilizador horizontal.	62
Figura 112. Superficie interior del estabilizador horizontal.	63
Figura 113. Estabilizador horizontal.	63
Figura 114. Estabilizador horizontal completo.	63
Figura 115. Estabilizador vertical y horizontal.	64
Figura 116. Fuselaje, alas, estabilizador vertical y horizontal.	64
Figura 117. Forma en planta de la cabina.	65
Figura 118. Forma de la cabina sobre el fuselaje.	66
Figura 119. Forma en el perfil de la cabina.	66
Figura 120. Sección elíptica de la cabina.	66
Figura 121. Planos de referencia para definir las secciones de la cabina.	67
Figura 122. Secciones de la cabina.	67
Figura 123. Superficie de la cabina I.	68
Figura 124. Superficie de la cabina II.	68
Figura 125. Superficie de la cabina III.	68
Figura 126. Superficie de la cabina IV.	69
Figura 127. Superficie de la cabina completa.	69
Figura 128. Cinco partes de la cabina.	70
Figura 129. Curvas de división de la cabina.	70
Figura 130. Parte de la cúpula comprendida entre las dos puertas.	70
Figura 131. Cúpula fija.	71
Figura 132. Cúpula de la cabina II.	71
Figura 133. Perfil armazón parte fija.	72
Figura 134. Armazón central I.	72
Figura 135. Armazón central II.	73
Figura 136. Armazón ventana delantera I.	73
Figura 137. Armazón ventana delantera II.	74
Figura 138. Armazón delantero I.	74
Figura 139. Armazón delantero II.	75
Figura 140. Armazón de la parte trasera.	75
Figura 141. Perfil armazón de la puerta de la cabina.	76
Figura 142. Armazón de la puerta delantera de la cabina.	76
Figura 143. Armazón de las puertas de la cabina.	77
Figura 144. Armazón metálico de la cabina.	77
Figura 145. Cabina del avión.	78
Figura 146. HA-200, Saeta.	79

Figura 147. HA-200, Saeta	79
Figura 148. HA-200, Saeta.	80
Figura 149. HA-200, Saeta.	80
Figura 150. HA-200, Saeta.	80
Figura 151. HA-200, Saeta.	81
Figura 152. HA-200, Saeta.	81



# 1 INTRODUCCIÓN

---

*Hasta entonces había saetas por martinetes de La Cava y saetas por seguiriyas del Zurraque, pero en Triana inventaron también la Saeta a chorro, a reacción, el HA-200 Saeta.*

*- Antonio Burgos-*

**E**l HA-200, más conocido como el Saeta, fue el primer avión a reacción desarrollado en España, que en agosto de 2005 celebró el 50 aniversario de su construcción.



Figura 1. 50º aniversario del primer vuelo del Saeta

Se creó pensando en el Ejército del Aire y prometía ser un gran impulsor de la industria aeronáutica nacional, pero el destino quiso que este emblemático avión tomara otro rumbo mucho menos ambicioso. El Saeta era el avión más seguro que jamás se había hecho en España. Pero no tuvo ni suerte, ni dinero, ni apoyo oficial suficiente.

Sin embargo, detrás de su construcción, de las pruebas de vuelo, de su mecánica... el Saeta esconde personajes únicos, historias particulares, que llenan su bibliografía. Ingenieros alemanes, pilotos andaluces, espías egipcios, e incluso el flamenco fueron desfilando y conformando la historia del Saeta.



Figura 2. HA-200 Saeta de la Fundación Infante de Orleans

## 1.1. Antecedentes.

El HA-200 “Saeta” fue el primer reactor fabricado en España, donde se fabricó bajo licencia según el contrato firmado con la Hispano Aviación S.A. a finales de octubre de 1951, y que prestó largos y valiosos servicios en España y Egipto.

La Hispano Aviación S.A. surgió en 1943 como heredera de la empresa tan acreditada técnicamente como La Hispano-Suiza. Su plantilla de mecánicos, torneros, fresadores, ajustadores y chapistas tenía por tanto una dilatada experiencia y contaba con una intachable reputación de calidad y robustez en sus trabajos. Hay que indicar que de esta fábrica trianera salieron una cincuentena de cazas biplanos Fiat CR.32 y ya terminada la contienda se fabricaron cien aparatos del modelo con licencia (denominándose HispanoHS-132). También se fabricaron aquí bajo licencia, a partir de 1943, los cazas Messerschmitt Me-109G-2, y se diseñaron y construyeron los aviones de entrenamiento avanzado HS-42 y HA-43, reparación de motores y repuestos, etc. No debemos olvidar, por último, su situación estratégica, cerca de la Base Aérea de Tablada. Por tanto, la falta de medios y financiación podría compensarse con la calidad y experiencia de los técnicos y operarios que componían la empresa.



Figura 3. El HS-42 hizo su primer vuelo de pruebas el 5 de abril de 1942, Domingo de Resurrección.





Figura 4. Messerschmitt Me-109G-2.

Tras unos primeros años dedicados a la terminación de trabajos anteriores, emprendería el ambicioso proyecto de un trío de metálicos monoplanos de ala baja y características cada vez más avanzadas: los HA-100 (Triana), HA-200 (Saeta) y HA-300. Los dos primeros, el HA-100 y el HA-200 eran entrenadores con un diseño esencialmente común, pero con distinto grupo motor, de hélice en el HA-100 y a reacción en el HA-200. El tercer modelo debía ser un avanzado caza supersónico de peso ligero.

## 1.2. Desarrollo del Proyecto.

En los años 50, el gobierno español decide desarrollar un II Plan Industrial de construcción aeronáutica para sustituir el cada vez más obsoleto material existente en las plantillas de nuestro Ejército del Aire. Este II Plan careció de recursos económicos suficientes, ayuda exterior y una adecuada infraestructura. La dura posguerra, la doctrina autárquica y el rechazo aún latente entre las potencias aliadas vencedoras en la Segunda Guerra Mundial hacia la España de Franco era causa y consecuencia de todo esto. Por ello, no es difícil imaginarse que muchos de los ambiciosos proyectos que se concibieron fracasaran. Sin embargo, con tesón y paciencia la industria aeronáutica española supo construir aviones muy interesantes.

La Hispano había iniciado contactos en 1951 con el famoso proyectista y constructor alemán Willy Messerschitt, este prestigioso ingeniero bávaro había diseñado antes y durante la Segunda Guerra Mundial aviones muy avanzados para la Luftwaffe, tales como el ubicuo caza monoplaza Me-109 (el caza más fabricado en la historia, con 35.000 unidades), el primer cazabombardero reactor Me-262 Schwalbe y el futurista interceptor cohete Me-163 Komet.

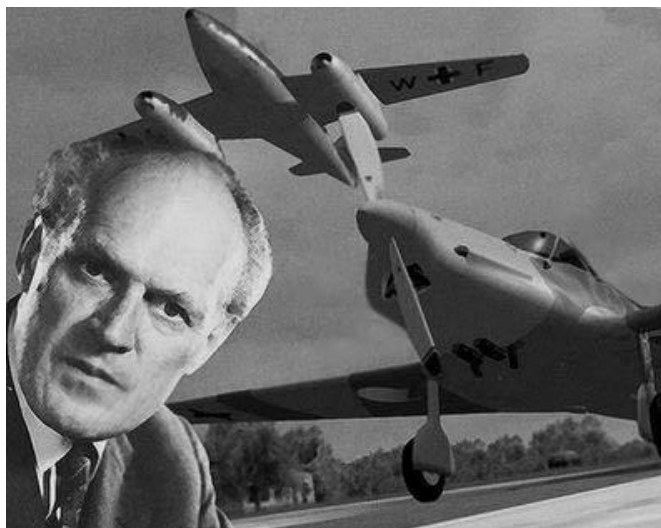
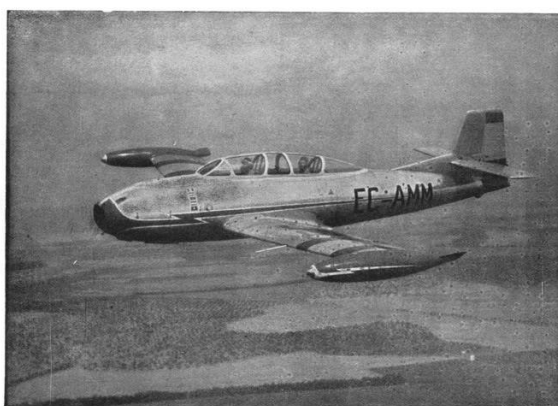


Figura 5. El genial diseñador alemán Willy Messerschmitt.

Impedido a desarrollar cualquier actividad aeronáutica en Alemania por orden de las potencias aliadas vencedoras, Messerschmitt se ve obligado a buscar trabajo en otros países. Y así, en enero de 1952, firma con La Hispano, un contrato de dos años de duración y prorrogable por el cual se comprometía a desarrollar un avión de entrenamiento, de motor a pistón, un birreactor de escuela y asalto y un caza a reacción con ala en delta. Colaborarán con él toda una prometedora generación de ingenieros aeronáuticos y técnicos de élite de la aviación española del momento (José Javier Ruiz, Rafael Rubio Elola, José María Cerdeño, Angel Figueroa Gómez, Jaime Esteva Salom, etc), así como técnicos alemanes de gran nivel procedentes de Messerschmitt AG. Así pues, se reúne en la fábrica de Hispano-Aviación del barrio de Triana en Sevilla un equipo de un altísimo nivel.



**HA-200 R.1  
SAETA**

BIRREACTOR BIPLAZA DE  
ENTRENAMIENTO PARA LA FORMACION  
TOTAL DE LOS PILOTOS

Envergadura	10,42 m.
Longitud	8,88 m.
Peso en vuelo	2.640 Kg
Velocidad máx. horizontal	700 Km./h.

*La Hispano-Aviación S.A.* MADRID - SEVILLA  
FABRICA DE AVIONES DE COMBATE

Figura 6. Hispano Aviación reflejaba en su publicidad el vínculo con la ciudad de Sevilla y con su origen Hispano-Suizo.

Messerschmitt se comprometió a desarrollar en ocho años los proyectos de los tres aviones mencionados anteriormente. El primero de ellos, el HA-100, sería el sustituto del HA-43 y serviría para capacitar a La Hispano para el posterior diseño del avión de escuela de reacción y de cabina presurizada HA-200; el tercer proyecto sería el caza supersónico de ala delta HA-300.

En realidad, tras establecerse la Oficina Técnica Profesor Messerschmitt –posteriormente, “Grupo Asesor Alemán”- en Sevilla, en los primeros días de 1952, la fase de definición y desarrollo del HA-100 y Ha-200 se llevó a cabo casi en paralelo. Tan es así, que las denominaciones de factoría de ambos proyectos serían HA-100 E-1 para el entrenador con motor radial Beta, HA-100 C-1 para la variante con motor sirio, también de hélice, y HA-120 R-1 para el avión de reacción, luego cambiaría a HA-200 R-1.

### 1.3. Proyecto del HA-100 (TRIANA).

Desde finales de los años 40, el Ejército del Aire estaba tratando de disponer de un entrenador avanzado de tren retráctil, deseo que no pudo satisfacer con el HA-43.

Para su sustitución pensó en un avión de tamaño similar, aunque más pesado y potente, pues debía de alcanzar una velocidad máxima no inferior a 400 Km/h. La velocidad mínima no tenía que ser superior a la del HA-42, que ya prestaba servicio en la Academia General del Aire, en la Escuela de caza de Morón y en el Grupo de Escuelas del Sur.

Para ahorrar costes, el primer proyecto a desarrollar serviría no solo para proporcionar al Ejército del Aire un avión de entrenamiento elemental/avanzado, sino que también se usaría para ensayar el ala y otros elementos del birreactor, pues ambos aparatos se iban a diseñar con un alto grado de elementos comunes. De hecho, la sección trasera del fuselaje y el empenaje de cola eran prácticamente idénticos. Adicionalmente, este concepto modular supondría también un ahorro en el mantenimiento de los aviones por parte de sus futuros operadores. Este primer proyecto recibirá la denominación de fábrica de HA-100 Triana.



Figura 7. El HA-100 E1

Messerschmitt diseñó un avión monoplano convencional, completamente metálico, de ala baja, con el tren de aterrizaje triciclo retráctil y accionable hidráulicamente. Disponía de dos asientos en tándem.

El proyecto avanzó con notable celeridad, de forma que los ensayos estáticos de la estructura se efectuaron con normalidad en el útil cerrado de La Hispano. El primer prototipo, el HA-100 E1, se finalizó en el otoño de 1953. El primer vuelo del HA-100E1 se encomendó a un destacado profesor de la Escuela de Caza de Morón, el comandante Rafael Lorenzo Vellido. Lo efectuó en el aeropuerto de San Pablo el 10 de diciembre de 1953, festividad de la Virgen de Loreto, Patrona de la Aviación Española, con pleno éxito.



Figura 8. Prototipo del Hispano HA-100E1 en Tablada, 1953

El vuelo inicial del segundo prototipo, que se designó HA-100F-1, se demoró hasta el 3 de febrero de 1955, pues el gran diámetro de su hélice bipala obligó a alargar el tren de aterrizaje. Fue equipado con el motor americano Wright R-1300 Cyclone7. Poco después, el 13 de junio del mismo año, el prototipo HA-100 E1 reiniciaría los ensayos con una nueva hélice, esta vez tripala, pues la anterior no había dado buenos resultados. En 1955 al piloto Fernando de Juan Valiente se le encomendó la preparación de los ensayos comparativos de los prototipos HA-100E-1 y HA-100F-1.

En 1955 y 1956 se comprobó que el avión cumplía las especificaciones del proyecto, incluso con exceso. Los 400 Km/h de velocidad máximo exigidos se elevaron a 444 Km/h, y los 125 de velocidad mínima se redujeron a 104 Km/h. El techo práctico de 7.000 metros pasó a ser de 7.950 metros, con un techo absoluto de 10.250 metros; y el alcance solicitado de 1.200 Km se extendió hasta los 1.320 Km.



Figura 9. HA-100 en vuelo.

Desde mediados de 1956 al verano de 1957 se terminaron las pruebas de puesta a punto del HA-100 y las de tiro, lo que permitió la entrega al INTA en septiembre del segundo año citado del primer prototipo HA-100E-1, para la evaluación de las últimas modificaciones e informe oficial. Antes de finalizar 1957 el Ministerio de Aire contrató a La Hispano una serie de 40 de estos aviones para reemplazar a los HS-42.

El conflicto del Ifni aconsejó la compra a firmas privadas norteamericanas y a Francia de 81 aviones North American T.6, adicionales a los 120 cedidos por el Gobierno de Estados Unidos, entre 1954 y 1959. Esta adquisición masiva de aviones de un tipo similar al HA-100, unida a la crisis económica de 1959, condujo a la cancelación de la serie contratada, hecho que se produjo en 1961, cuando sus cinco primeros aviones estaban terminados y el primero a punto de volar.



## 2 HA-200, EL SAETA

*“Se debía de llamar... Este avión tan gitano... Se debía de llamar... Ya que está hecho en Triana... Saeta o fandanguillo, seguidilla o soleá...”.*

*-Miguel Ángel González -*

**E**ste capítulo se ha dedicado a hacer un recorrido por la definición del HA-200 (Saeta), comentando en primer lugar el origen de su peculiar nombre, para finalizar por el desarrollo y la evolución del Saeta.

### 2.1 Un nombre tan gitano.

El HA-200, terminó llamándose “Saeta”, un nombre “tan gitano”, que surgió en plena Feria de Abril de Sevilla. Efectivamente, en abril de 1955 de Feria de Sevilla, en la “Caseta de la Aviación” era fácil encontrar a Francisco Esteva Salom, ingeniero aeronáutico, piloto y Jefe de Ensayos en Vuelo. Aunque le apodaron “Paco el Kaiser”, era mallorquín de pura cepa, y tocaba divinamente la guitarra y le gustaba acompañar al cante a Miguel Ángel González, mecánico de aviones, pero que para sacar un dinerillo extra cantaba con el nombre artístico de “Rafael de Sevilla” en los tablaos de la noche sevillana. Y en esa noche de feria Rafael de Sevilla, le cantó El HA-200: “Se debía de llamar... Este avión tan gitano... Se debía de llamar... Ya que está hecho en Triana... Saeta o fandanguillo, seguidilla o soleá...”. Y con ese nombre, Saeta, se quedó.



Figura 10. Retablo cerámico.

Este retablo cerámico colocado en la fachada de la antigua fábrica de la Hispano Aviación en Sevilla recuerda la histórica efeméride del primer vuelo del Saeta y el orgullo de la ciudad por albergar su génesis y desarrollo.

## 2.2 Definiendo el Saeta.

La Oficina de Proyectos de la Hispano Aviación trabajó en paralelo desde 1954 en los proyectos HA-100 y HA-200, cuyas especificaciones respectivas exigían un alto grado de comunalidad. Las alas eran básicamente iguales, aunque la envergadura era ligeramente mayor en el Saeta. El fuselaje posterior, desde la cuaderna inclinada que marca el final de la cabina de pilotos hasta el cono final era también similar en ambos aviones, así como las superficies de cola, tanto la vertical como las horizontales y el tipo de construcción general. El tren de aterrizaje, también de concepción semejante.

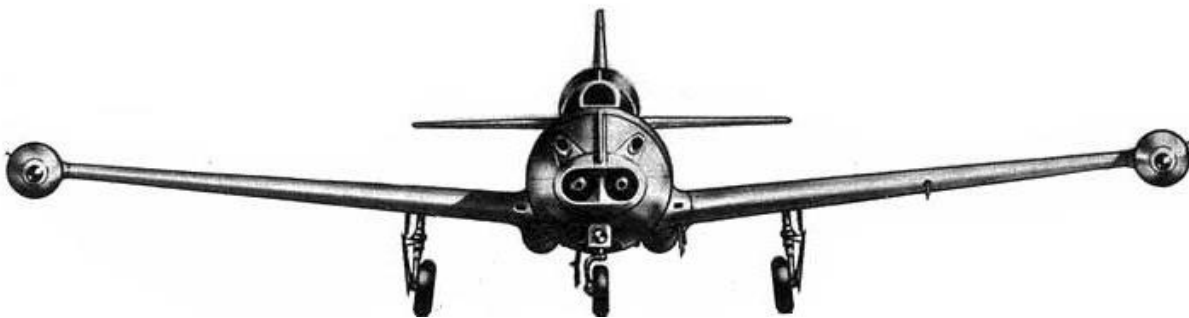


Figura 11. El HA-200

Las principales diferencias estructurales se concentran en el fuselaje delantero, en los laterales y fondo del fuselaje medio, en la cúpula de la cabina de pilotos y en los depósitos de combustible.

Pero el programa del HA-200 Saeta continuó por caminos mucho más fructíferos. La limitación de presupuesto y las trabas para la obtención de motores más potentes obligó al equipo de la Hispano a optar por los turborreacciones de patente francesa TurbomecaMarboré II para los cuales el Ministerio del Aire había comprado la licencia de fabricación, tarea que se llevaría a cabo en los antiguos talleres que la Hispano Suiza poseía en Barcelona y que en esos momentos poseía ENMASA. Esta planta motriz, aunque de moderada potencia, era de fiabilidad contrastada y había sido probada concienzudamente en los entrenadores franceses Morane-Saulnier MS.760 y Fouga CM.170 Magister.

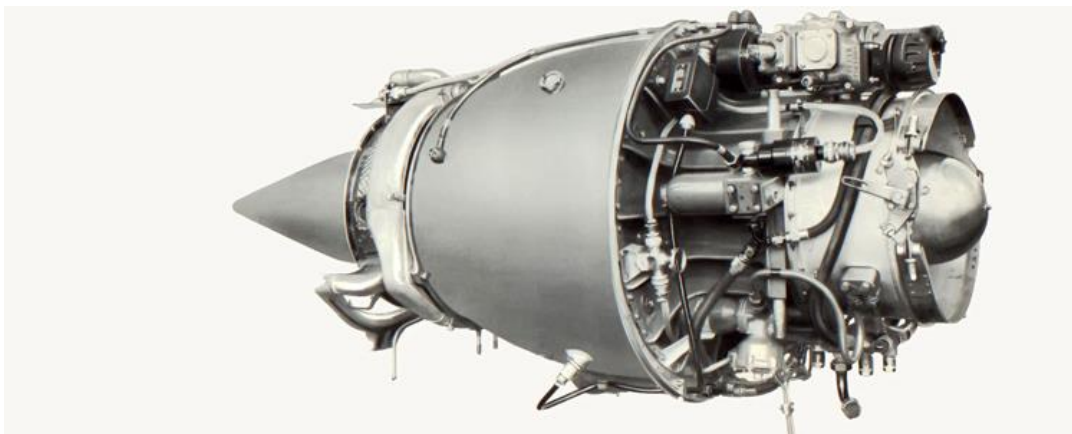


Figura 12. TurbomecaMarboré II



El primer prototipo del HA-200 R.1 se inició entre el verano de 1954 y el del año siguiente, en el Taller de Prototipos de La Hispano, en la Trianera calle San Jacinto.



Figura 13. Fachada de la factoría de Hispano Aviación, en la calle San Jacinto del barrio de Triana en Sevilla.

Durante los últimos meses de 1955 y la primera mitad de 1956, el primer Saeta y los dos HA-100 Triana existentes continuaron paso a paso sus pruebas de vuelo. Si del Triana ya se intuía que sus posibilidades en el extranjero iban a ser escasas, o nulas, del Saeta todos esperaban el milagro de un momento a otro. A comienzos de 1956 incorporó sus característicos tanques alares rojos, ya previstos en el proyecto, que realzaron en buena medida su apariencia. Con ello se volvió un poquito menos vigoroso en la velocidad de subida, pero a cambio mejoró el rendimiento aerodinámico del ala.

Los primeros ensayos del “Saeta” muestran ya sus buenas cualidades, pero también algunos defectos de estabilidad transversal que se intentaron corregir durante la evaluación de los dos prototipos, el 20/1 y el 20/2. Ambos aviones probaron en vuelo modificaciones en el conjunto de la cola, con derivadas más altas y otros añadidos.



Figura 14. El prototipo 200 R1 ya con su matrícula civil en San Pablo

De forma que el proyecto del HA-200 avanzó tan rápidamente que el 2 de agosto de 1955, por fin, se decidió desmontar el Saeta para su traslado al aeropuerto de San Pablo. Este primer prototipo el HA-200 R1 salió de fábrica a lomos del “Andrea Doria”, un camión con remolque al que los obreros, con sorna, habían puesto el nombre de este famoso buque transatlántico italiano. A marcha lenta, el Andrea Doria cruzó Sevilla y luego enfiló la carretera de Carmona hasta depositarlo, con todo cuidado, en el hangar que La Hispano tenía en San Pablo. Allí los montadores volvieron a encajar las alas con el fuselaje.

El vuelo inicial del HA-200 R1 lo efectuó Fernando de Juan Valiente, mostrando unas magníficas cualidades

de vuelo, lo que originó unas excelentes expectativas de futuro. Un día después, miércoles, con Valiente a los mandos, el Saeta comenzó a rodar por la pista. Pruebas de rodaje y frenado. Su primera impresión fue, que aún con la cabina abierta, el calor era sofocante y el olor a Keroseno muy intenso. “No sólo éramos pilotos de prueba, -repetiría Valiente años después-, nos sentíamos verdaderos “bancos de prueba”.



Figura 15. Fernando de Juan Valiente posa orgullosa delante del Saeta.

El sábado 6 de agosto de 1955, aceleró el Saeta por la pista de San Pablo. Cuando estaba a punto de alcanzar la velocidad de rotación, cortó gases y metió frenos simulando un despegue abortado. Todo bien, excepto lo de siempre, las temperaturas.

El día 12, a las nueve y quince de la mañana, despegó para su primer vuelo, un corto carrusel de tan sólo nueve minutos, con el tren bloqueado. Valiente repitió la misma secuencia de días pasados, sólo que esta vez, en vez de quitar gases, tiró con suavidad de la palanca y el Saeta se fue al aire. En la torre hubo gritos de alegría, mientras el piloto tanteaba los mandos sin sobrepasar los mil quinientos pies de altura ni retraer el tren. Primero hizo un circuito sobre San Pablo, luego otro-, comprobó la estabilidad del avión, y al cabo de diez minutos, cuando las temperaturas empezaban a pasarse de la raya, viró y tomó tierra.

El avión tenía sus reactores cubiertos por mantas de amianto, ya que carecía de salidas de calor suficientes y la temperatura alcanzada llegó a los 200 grados centígrados. Tal calor fue padecido por el propio piloto, como confesaba: “Era como una cocina, hasta el punto de que algunos materiales se han transformado en otros”. La adopción de dos toberas concéntricas, una propia del motor y la otra para la salida de gases por efecto Venturi solucionó este problema del modelo.

Al día siguiente se hace un nuevo vuelo de diez minutos, a las 10: 59h., y pliega el tren en vuelo, pero el avión se mantiene sobre el aeropuerto sevillano. El 14, nuevo vuelo, de ocho minutos, para realizar nuevas comprobaciones de motor, flaps y tren.

El cuarto vuelo es el día 15, aún a pesar de ser fiesta en Sevilla, la Virgen de los Reyes, patrona de la ciudad. Dura unos 45 minutos y se hacen pruebas funcionales de los sistemas hidráulicos del tren y del aerofreno, comprobaciones de consumo y temperaturas y presión del motor a mayor velocidad, etc. Y es muy conocida la anécdota de Valiente según la cual, el piloto probador dedica fervorosamente el vuelo a la advocación mariana y pide permiso para sobrevolar, brevemente, la ciudad y la zona de la Catedral, por donde discurre la procesión religiosa que ha consagrado un público numerosísimo.



Figura 16. Un HA-200 Saeta volando sobre la Plaza de España.

Después de estos vuelos “extraoficiales” tiene lugar la presentación a las autoridades el día 16 ante el Ministro del Aire. Aquel 16 de agosto, la gran estrella tenía que ser, obviamente, el Saeta. Sin embargo, para no desairar a Santa Cruz, sus jefes le habían encargado abrir la mañana exhibiendo al Triana ante el Ministro.

Por entonces, La Hispano solo tenía dos pilotos de pruebas, Valiente, a quien, como comentamos anteriormente, se le había encargado el programa del Saeta, y Pedro Santa Cruz. Ambos eran buenos profesionales, pero con caracteres muy diferentes: Valiente volaba de forma más celebrer, era más fino: mientras que Santa Cruz tendía siempre a lanzarse a tumba abierta. El resultado, inevitable, fue una rivalidad casi taurina, que iría acrecentándose con los años hasta llegar, ya sin rodeos, al distanciamiento mutuo.



Figura 17. Un HA-200 en pleno vuelo.

Como era de esperar, Santa Cruz, sobrevoló la pista en vuelo bajo haciendo toneles de derecha a izquierda. Tomó altura, trazó un looping y luego dos más. Antes de que siguiera, el Ministro le ordenó que bajase por temor a que sufriera un accidente.

Luego despegó Valiente con el Saeta, magistral, como era de costumbre, sin arriesgar nada. Su pasada sobre la

pista, a quinientos Kilómetros por hora, no solo tuvo el atractivo de la rapidez, sino, sobre todo, el encanto de un avión nuevo que era, además, el primer reactor español.



Figura 18. HA-Saeta un reactor de extraordinaria agilidad.

### 2.3 Sobre la Vieja Europa.

Messerschmitt creía poder lograr que Alemania y algún otro país europeo adoptara el HA-200 como avión de entrenamiento de sus Fuerzas Aéreas. Para favorecer esta posibilidad se programó para la primavera de 1956 una gira con la matrícula civil EC-AMM de dos semanas de duración del primer prototipo por Luxemburgo, Alemania, Austria y Suiza, en donde fue exhibido por Valiente y el ingeniero de ensayos y piloto Francisco Esteva. Se logró el éxito técnico, pero no el comercial.



Figura 19. HA-200 Saeta empleado en 1956 para promoción de ventas en una gira por Alemania, Austria y Suiza.

Finalmente, durante casi tres semanas el Saeta cumpliría un denso programa de demostraciones en vuelo, más o menos el que había previsto La Hispano. Se inició en Dusseldorf, siguió en Colonia, luego en Viena, después amplió a Múnich y completó finalmente en Ginebra.

Todo eran felicitaciones para el Saeta. Cuantos pilotos lo volaron, tanto alemanes como austriacos, coincidían en su nobleza, en su facilidad de manejo, a veces excesiva, y su esperanza en que, una vez puesto a punto, cosa de un año, dos a lo sumo, el pequeño birreactor español encontrara hueco en el mercado. El 28 de junio, último día de su tour europeo, despertó en Ginebra la admiración de Mr. De Bona, altísimo directivo de la empresa americana Lear, quien felicitó a Valiente por sus vuelos, e hizo llegar al propio Messerschmitt una propuesta sugerente: derivar un pequeño avión de negocios a partir del diseño básico del Saeta.

Messerschmitt le creyó y se puso a madurar la idea, y en parte porque ya era consciente de la imposibilidad de vender el Saeta en Europa. La posibilidad de que pilotos de la OTAN con un avión de Messerschmitt, no podía ser políticamente bien vista; y aún menos, en cuanto significaba cerrar las puertas a un avión francés, El Fouga CM-170 Magister, directo competidor del Saeta, y propulsado por los mismos motores Marboré. En 1956 Messerschmitt ya sabía que el Gobierno galo prohibiría la venta del Marboré para cualquier Saeta destinado a

un país de la OTAN, y era lógico.

No obstante, el proyecto del Saeta siguió progresando con rapidez. En noviembre de 1956 el primer prototipo cumplió las 100 horas de vuelo y el 11 de enero de 1957 voló el segundo prototipo del HA-200 Saeta – matrícula EC-AMN, con denominación militar XE.14-2, y también conocido como Avión 20/2– al que se le dotó con dos ametralladoras Breda Safat de 7,7 mm (ubicadas en el capó y que proceden de los antiguos Fiat CR.32) que en junio de fue presentado en el Salón Aeronáutico de París. Aun cuando el segundo prototipo ya hubiera volado el 11 de enero, se volvió a mandar al primitivo, el EC-AMM, aunque esta vez el piloto ya no sería Valiente, sino Pedro Santa Cruz. La exhibición de Pedro Santa Cruz sobre Le Bourget fue lo que cabía esperar, todo un brindis al sol.



Figura 20. Prototipo Hispano Aviación HA-200R Saeta en el Paris Air Show en Le Bourget en mayo de 1957.

## 2.4 Preserie y serie.

Cuando Santa Cruz volvió a Sevilla, el Ministerio del Aire contrató una preserie de diez HA-200, según la definición del segundo prototipo, que ya iba armado con dos ametralladoras Breda 7,7 mm., cuatro bombas de 50 Kg. y dos lanzacohetes dobles para cuatro Oerlikon de 80 mm. (de 10 Kg. de peso cada uno), y la condición adicional de que dichos aviones tuvieran presurizada su cabina.

Se inicia un amplio programa de vuelos de ensayo en conjunción con el INTAET de Torrejón de Ardoz, con el objetivo de explotar la envolvente del vuelo y proceder a la homologación de tipo. De esta primera preserie, sin embargo, procederán los cinco enviados a Egipto, lo que redujo el número de Saeta para el Ejército del Aire a la mitad.

En los primeros ensayos del avión con armamento se comprobó que la estabilidad longitudinal era buena, pero la transversal debía mejorarse algo para que el HA-200 se comportara como una buena plataforma de tiro. Esto se logró alargando un poco la deriva con un suplemento de su extremo superior, ampliando la carena en el lomo del cono final del fuselaje y aumentando la altura de la espina del capó.

Pero ya para entonces la economía española empezaba a ir de mal en peor. La medicina, un durísimo ajuste económico, un Plan de Estabilización, que no era otra cosa que el final del modelo autárquico significaba también para la industria aeronáutica el final de sus prototipos; y desde luego la muerte anunciada del costoso y utópico proyecto del caza HA-300.



Figura 21. Línea de vuelo de HA-200A a principios de los años sesenta, recién salidos de la cadena de montaje de San Pablo.

En 1959, el Ejército del Aire encargaría treinta Saetas de la primera serie HA-200A a un precio de tres millones ciento sesenta mil quinientas pesetas para cada uno, pero no iba a librar a La Hispano de un expediente de crisis, que son entregadas entre 1962 y 1963. Son denominados HA-200A, mientras que el Ejército del Aire los designa como E-14A. A finales de ese año, un nuevo pedido de 55 aviones, esta vez con la denominación de HA-200D, con algunas mejoras, aunque con el mismo grupo motopropulsor, mantendrá activas las líneas de producción hasta noviembre de 1967.

Tras una larga evaluación apenas justificada por la introducción de cambios menores por sugerencia del INTA, los primeros Saetas entraban en servicio en 1965, designados como E-14<sup>a</sup>.

## 2.5 El interés egipcio.

Pero no todo iba a ser malo. En la Feria de Abril de 1960, en la caseta ya tradicional de Aviación, volvía Paco Esteva a pedir a Rafael de Sevilla que le cantase otra vez al Saeta, “Se marcha al Cairo, y olé, se marcha al Cairo...”

La Hispano acababa de vender al Gobierno egipcio la licencia de fabricación del Saeta y el proyecto completo del caza supersónico HA-300, consiguiendo una buena remesa de divisas en pleno expediente de crisis.

Los contactos con aquel país habían empezado de forma más o menos discreta en 1956, un poco después de la guerra del canal de Suez. El Presidente egipcio Nasser estaba obsesionado en no depender de ninguna potencia extranjera, tener su propio avión de combate. El máximo interés de los egipcios era el proyecto de caza HA-300, pero necesitaban también un reactor para entrenar a sus pilotos, y al estar ya disponible el Saeta terminaron metiéndolo en el mismo paquete con el nombre de Helwan HA-200 “Al Kahira” (Victoriosa).



Figura 22. “El reactor árabe Al-Kahira, construido con nuestra colaboración, despegó sobre los desfiles militares y sobre el mundo moderno”. Así recogía la prensa egipcia de la época el primer vuelo del HA-200B

La operación comercial se fraguó en Basilea en 1959 a través de la empresa MECO. En la parte del acuerdo que tocaba al Saeta, La Hispano se comprometió a ceder la licencia de fabricación, enviar toda la información técnica y utillajes necesarios, y cinco aviones HA-200 desmontados, que se extraerían del preserie de diez encargados por el Ejército del Aire español. A cambio los egipcios pagarían unos catorce millones de francos suizos.

Decenas de técnicos españoles, juntos a sus esposas, viajaron a la planta de Helwan, lugar próximo a el Cairo. Al frente de todos iba Paco Esteva. Ellos, y los alemanes, ayudarían a que Egipto fabricara sesenta, tal vez cien Saetas, todos armados con un cañón de veinte milímetros.

El primer Saeta, Al Kahira, les llegó desmontado desde Sevilla el 12 de mayo de 1960. Al día siguiente empezaron a montarlo, y el 1 de julio Esteva lo voló veinte minutos sobre el Cairo. Hizo algunas acrobacias y cuando tomó tierra, un grupo de egipcios lo sacó a hombros, como a un torero. El 23 tenía que exhibir el avión ante el Presidente Nasser. Ese día consiguió que el Saeta entusiasmara a Nasser, después de hacer todas las acrobacias imaginables entró en el Nilo en vuelo cada vez más rasante, tanto que al pasar por el puente de Abulaela, la gente se tiró al agua.

Finalmente, el contrato establecía la concesión de la licencia para la construcción del Saeta en la R.A.U. La cifra de los HA-200 fabricados en Heluán no se conoce con certeza, pero muy probable no alcanzara los 75. En cualquier caso, se trató del primer producto aeronáutico español exportado y fabricado con licencia.

## 2.6 Desarrollo del Saeta.

A instancia del Ejército del Aire, La Hispano llevó a cabo un estudio para una versión monoplaza de ataque ligero, denominado HA-200C, que luego evolucionaría hacia otras variantes, pero que fue desestimada poco después. A mediados de 1963, La Hispano hace una nueva propuesta de desarrollo, que denominará HA-210 y que incluiría una planta motriz de mayor empuje, el Marboré VI, asientos lanzables, cúpula sincronizada para eyección, nueva instalación de combustible, de mayor aforo y posibilidad de repostaje en vuelo, equipo instrumental y de comunicaciones mejorado y, sobre todo, mayor capacidad de carga externa con varios puntos subalares y una gran diversidad de armamento, en parte desarrollado por la propia firma sevillana. Al no interesar y suponer un riesgo financiero importante, el HA-210 es abandonado y su lugar ocupado por una versión mejorada del HA-200D, que será designada HA-200E.

En la serie final de 55 aviones del HA-200D se instalaron una serie de mejoras, entre ellas la instalación de los Marboré VI de 480 Kg. De empuje, un mástil polivalente MATRA 38 bajo cada semiplano y electrónica mejorada.

El 15 de marzo de 1965 despegó por primera a los mandos de Pedro Santa Cruz y fue exhibido ese mismo año

en el Salón Aeronáutico de París, donde su demostración en vuelo causó cierta admiración. Se interesaron las fuerzas aéreas de Portugal, Bolivia y la República Sudafricana. Y para sorpresa de todos, el Ejército del Aire simplemente lo ignoró, y su presupuesto para nuevo equipamiento fue a parar íntegramente a CASA.

La situación financiera de CASA, concentrada en la fabricación de la serie HA-200D llegó al mínimo en 1967, barajándose incluso la suspensión de pagos. La venta del 75% de las acciones al Instituto Nacional de Industria (INI) y el resto a Messerschmitt se realizó sobre la garantía estatal de pedidos por valor de 1.500 millones de pesetas, que se materializó en octubre de ese año con el contrato de 25 aviones HA-220 “Super Saeta” y la modificación y armado de los 55 HA-200D al nivel del desdeñado HA-200E.



Figura 23. Hispano HA-220 Supersaeta perteneciente al 214 escuadrón de Morón de la Frontera.

En septiembre de 1971 saldrían de fábrica los primeros de la serie, que se concluyó el mismo año de su entrega en servicio en el Ejército del Aire, 1973.

Asimismo, se previó la ampliación en otros diez ejemplares para exportación, mercado para el que se realizan notables esfuerzos como el viaje de “prospección de ventas” que Salas Larrazábal realiza a Bolivia en 1972. El fruto de ese trabajo pareció materializarse en marzo de ese año, cuando ese país envía a su vez una delegación que, tras valorar positivamente al “Saeta” y al “Super Saeta” firma un contrato de intención por nueve aviones, tres HA-200D y el resto HA-220, que proponen pagar en cupos anuales de petróleo a precio fijo. Los técnicos del INI rechazaron categóricamente tal método de pago.



Figura 24. Hermosa y nostálgica foto donde dos Supersaetas del escuadrón 214 escoltan a un Northrop F-5.

En octubre de 1973, justo cuando la línea de producción cerraba, se produce la “Guerra del Ramadán” en Oriente Próximo y con ella la llamada “crisis del petróleo”.



Portugal, por su parte, renuncia a comprar al recibir gratuitamente de Alemania, un lote de cazas tácticos Fiat G91 a cambio de la cesión de la base de Beja a la Luftwaffe para tareas de entrenamiento.

## 2.7 Saeta en acción.

En el Sáhara, el enfrentamiento entre el Ejército y la guerrilla del Frente Polisario proporciona el bautismo de fuego de los aviones sevillanos. En diciembre de 1974, los Saeta del 46 Ala Mixta, basados en El Aaiun atacan con cohetes FAR de 68 mm, en picado de 45°, alcanzando con precisión sus objetivos en apoyo de una operación de envolvimiento vertical de las FAMET, misión que repiten al día siguiente, destruyendo polvorines de la guerrilla, y en otras ocasiones también.

Especialmente tensos fueron los días de alarma ante la “Marcha Verde” marroquí en 1975, en las que a los C.10B se les confiaron las posibles misiones contra helicópteros y aviones ligeros tácticos (T-6, T-28 y Fouga Magister), con apoyo superior de los F-5 del Ala 21 de Morón, destacados en Gando.

Los HA-220 del 431 destacados en Gando no llegarían a intervenir, siendo todos los existentes finalmente reunidos en el Escuadrón 214 de Morón, terminando allí su vida operativa hasta su baja el 1 de diciembre de 1981.



Figura 25. Hispano Aviación HA-200 Saeta, en el aeródromo de Villa Cisneros (Sáhara).

No deja de ser curioso que los HA-200, previstos para enseñanza, terminaron llevando a cabo las tareas de su “hermano mayor”, desarrollo final de la versión táctica tantas veces aplazada o desdeñada y diseñado específicamente para ese cometido.



# 3 CATIA

*La mayoría de la gente cree que el diseño es algo decorativo. Para mí, nada es más importante en el futuro que el diseño. El diseño es el alma de todo lo creado por el hombre.*

*-Steve Jobs -*

**C**atia (Computer Aided Three Interactive Application) se trata de un programa de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora comercial lanzado por Dassault Suystemes. Se desarrolló para poder proporcionar apoyo en el diseño, producción y análisis de productos. Hoy en día se encuentra disponible para un amplio rango de softwares. Además, tiene la ventaja de la arquitectura abierta que posee, permitiendo el desarrollo de aplicaciones o personalizaciones del programa.

El origen de su desarrollo fue poder dar servicio a la industria aeronáutica, industria que requiere el manejo de superficies muy complejas. Hoy en día, es muy usado también en la industria del automóvil para los componentes de carrocería, como BMW, Renault y Porsche. Además, la industria de la construcción y la arquitectura también lo usan para edificios y estructuras muy complejas.

Actualmente se sigue innovando y desarrollando el software para poder obtener un mayor alcance y más funcionalidad. La versión en desarrollo incluye una nueva experiencia de colaboración inmersiva en la que se puede conectar mediante una realidad virtual, de modo que se pueda imaginar e interactuar con el producto de una manera más cercana a la realidad.



Figura 26. Logo CATIA.

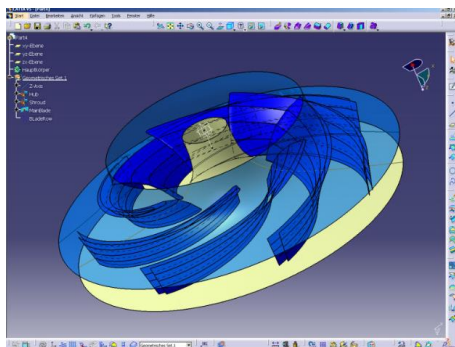


Figura 27. Ejemplo de pieza en CATIA.

Catia está pensado para poder satisfacer todas las necesidades de los usuarios por lo que se pensó en un entorno modular, en el que se pueda comprar el módulo que se necesite dejando siempre la posibilidad futura de adquirir otros nuevos. El programa dispone de más de 100 módulos que permiten que se personalice el producto final según el sector industrial en el que sitúe el cliente.

El enfoque del presente trabajo es desde la perspectiva de diseño, no tratando aspectos como el análisis estructural o el mecanizado.

## 3.1 Módulos principales de CATIA

### 3.1.1 Diseño.

Este módulo proporciona las herramientas necesarias para la creación y edición de piezas, análisis de cuestiones del diseño, de curvaturas, de propiedades físicas, etc. Incluye también el desarrollo de ensamblajes ya que si la pieza está creada en diferentes partes deberá ser incluida en un producto final. Además, permite extraer planos del diseño final.

Dentro de este módulo, los módulos más usados a su vez son:

**Sketcher:** con una gran cantidad de comandos disponibles permite la generación de croquis en 2D, empleados como punto de inicio para el modelado en 3D.

**Part Design:** permite crear y editar sólidos en 3D de cierto grado de complejidad a partir de herramientas específicas para cada concepto de creación.

**Wireframe & Surface Design:** destinado a crear elementos auxiliares y desarrollar superficies que hagan posible la creación de piezas más complejas incapaces de ser realizadas en módulos de sólido.

**Assembly Design:** dispone de las herramientas necesarias para el correcto ensamblaje de las distintas partes que constituyen el conjunto, a su vez que permite la simulación cinemática y dinámica de mecanismos.

**Drafting:** permite generar planos del modelo, junto con las vistas, detalles y anotaciones necesarias para poder fabricar la pieza. La generación de planos es fácil y se pueden incluir holguras y tolerancias.

### 3.1.2 Análisis.

En este módulo se puede realizar análisis de esfuerzos en función de unas condiciones de contorno impuestas. Se puede generar reportes automáticos de dichos análisis con representaciones de los esfuerzos, tensiones y deformaciones. Además, es posible mallar el diseño lo que permite realizar cálculos a superficies.

Los módulos principales son:

**Generative Part Structural Analysis:** formado por comandos específicos para el análisis mecánico de piezas o componentes individuales.

**Generative Assembly Structural Analysis:** dispone de operaciones y herramientas para realizar el estudio de conjuntos de piezas ensambladas.

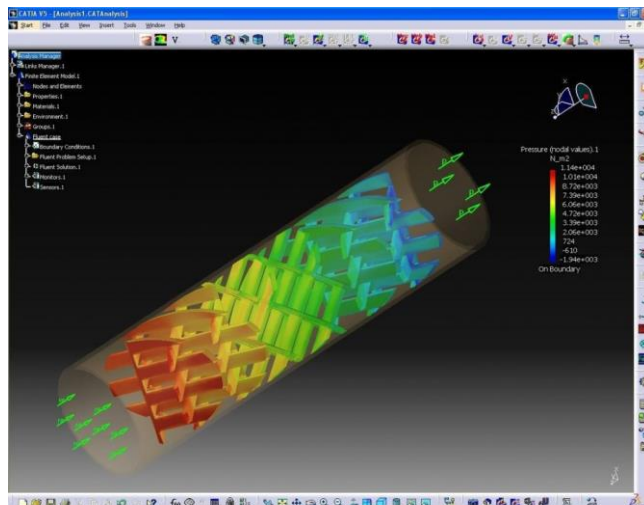


Figura 28. Análisis en CATIA.

### 3.1.3 Mecanizado.

Para analizar la viabilidad de mecanizado del producto final se realiza un postprocesado en máquinas de control numérico, para lo que el programa dispone de módulos de mecanizado. Los principales módulos son:

**Prismatic Machining:** se permite la realización de programas de mecanizado prismático de piezas en máquinas herramientas de 3 y 4 ejes.

**Surface Machining:** permite generar programas específicos para el uso de máquinas de hasta 5 ejes.

## 3.2 Barras de herramientas principales

Puesto que el enfoque del trabajo es el diseño en 3D, se va a profundizar en los módulos empleados con sus correspondientes barras de herramientas y utilidades.

### 3.2.1 Sketcher

Este módulo es la parte básica a la hora de comenzar cualquier diseño. Se trata de una conexión de curvas o rectas a las que se definen una serie de costas o restricciones. Las barras de herramientas que lo componen son las siguientes.

**Workbenches:** nos permite salir del entorno del sketch o abrir uno nuevo.

**Sketch Tools:** permite poner una rejilla, que las líneas se restrinjan a las intersecciones de la rejilla, hacer líneas de construcción y que nos haga restricciones automáticas.

**Profile:** permite incluir multitud de formas prediseñadas y hacer perfiles a mano alzada.

**Operation:** nos permite crear redondeos, chaflanes, limitaciones, simetrías y proyecciones.

**Tools:** permite analizar nuestro boceto.

**Visualization:** distintas formas de visualización de nuestro boceto.

### 3.2.2 Part Design

Este módulo permite la generación de sólidos. En la mayoría de ellos se parte de la geometría creada en el Sketch.

**Sketch-Based Features:** con ella se consigue geometría sólida partiendo de perfiles tanto abiertos como cerrados, generados en un sketch mediante la extrusión, la revolución y el barrido.

**Dress-up features:** contiene herramientas para poder realizar operaciones sobre los sólidos, como redondeo de aristas, chaflanes, inclinación de caras, vaciados, aumentar o disminuir el volumen, crear roscas...

**Transformation Features:** permite generar transformaciones a los sólidos, como traslaciones, rotaciones, simetrías, matrices y escalado.

**Surface-Based Features:** permite crear sólidos partiendo de superficies previamente creadas.

**Reference Elements:** permite crear puntos, líneas o planos en 3D.

**Annotations:** permite introducir un texto que apunte a una geometría en concreto para dejar algún comentario.

**Boolean Operations:** permite realizar operaciones booleanas entre los diferentes bodys o cuerpos de una pieza, como puede ser la suma, resta, intersección o trimado.

**Apply material:** permite aplicar distintos materiales a la geometría 3D.

### 3.2.3 Surface Design

Este módulo permite generar superficies a partir de sketches o elementos alámbricos generados en el espacio.

**Wireframe:** permite crear los elementos alámbricos para después generar superficies y realizar operaciones con ellas.

**Surfaces:** permite crear superficies para la generación del diseño a partir de los elementos alámbricos.

**Operation:** permite realizar operaciones tanto con las superficies como con los elementos alámbricos.

**Repetitions:** permite crear elementos repetitivos para su utilización en el diseño.

**Orientación geométrica:** permite generar un cambio en la orientación de las curvas o superficies cuando es necesario.

**Axys System Definition:** permite generar nuevos ejes para el correcto posicionamiento de la pieza.

**Surface Analysis:** permite analizar las superficies para ver el tipo de unión que existe entre ellas.

# 4 MODELADO EN CATIA

*¿Cuántos ejemplares quedan de esta historia reliquia no solo de la Aviación Española, sino de la industria Aeronáutica de Sevilla?*

*Antonio Burgos*

Para el modelado del HA-200 Saeta se ha hecho uso de la herramienta CATIA V5 y de descripciones, especificaciones y proyecciones de las diferentes vistas del avión E-14 en un plano. La obtención de todos los documentos ha sido gracias a la Fundación Infante de Orleans. Tras contactar con ellos, su respuesta fue inmediata y muy amable con un trato cercano en todo momento. Enviaron una gran cantidad de manuales del avión, así como libros que se redactaron tras el 50 aniversario del Saeta.

El proceso de diseño ha sido algo parecido a un calco en 3D de los principales componentes estructurales del avión, que vienen siendo: el fuselaje, las alas, los estabilizadores verticales y horizontales y la parte exterior de la cabina. Del mismo modo, debido a la falta de datos en algunas partes de la modelación, se han realizado aproximaciones y se han tomado decisiones conforme iba surgiendo. Se puede decir que la principal herramienta del programa usada y la que ha hecho posible la modelación es *Spline*, además de otro tipo de líneas.

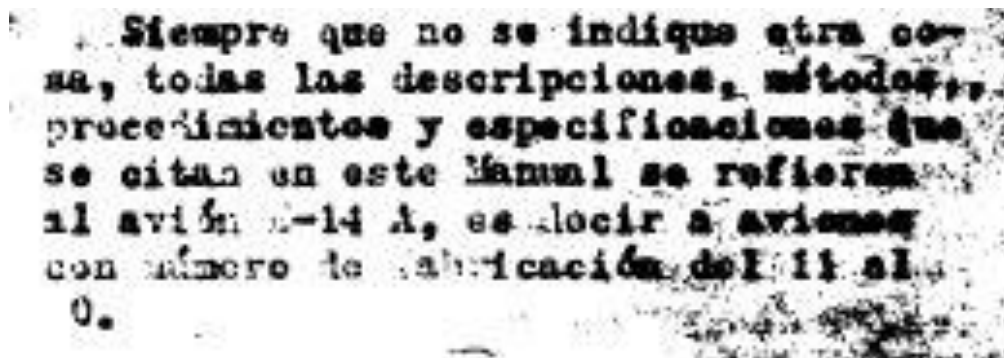


Figura 29. Codificación del avión.

Las principales medidas de referencia tomadas son la envergadura, la longitud y la altura, tal y como se muestra en la siguiente figura:

Envergadura (sin tips) ...	10420 mm.
Envergadura (con tips) ...	11025 mm.
Longitud .....	8933 mm.
Altura .....	2846 mm.

Figura 30. Principales medidas de referencia I

Para una mejor visualización se facilitan en la siguiente tabla:

Envergadura (sin tipa)	10120 mm
Envergadura (con tipa)	11023 mm
Longitud	8933 mm
Altura	2846 mm

Figura 31. Principales medidas de referencia II.

Cada parte del avión se ha ido diseñado en **Parts** diferentes, siempre con el mismo sistema de referencia. Lo que se ha conservado en todas las partes es la superficie del fuselaje, para así tener una referencia más clara y conseguir que ensamblen perfectamente en el producto final.

Cabe añadir que en alguna ocasión ha sido necesario la relación en medidas entre las acotaciones marcadas y la distancia real en los perfiles o planos del papel debido a la falta de longitudes, distancias o secciones.

## 4.1 Interior del fuselaje.

En primer lugar, se ha procedido al modelado de la estructura interior del fuselaje, para lo que se ha necesitado previamente la superficie exterior del fuselaje. Este se trata de una estructura monocasco dividió en dos partes principales: la parte anterior del fuselaje y un cono final que termina la forma aerodinámica del fuselaje.

En relación con el sistema de referencia usado, se ha tomado como punto cero el morro del avión, justo en la toma de aire. El eje X es el longitudinal, el Y el transversal y el Z se considera la altura del avión. El usar siempre el mismo sistema de referencia ha permitido realizar simetría en varias ocasiones para ahorrar ambos diseños de manera duplicada.

### 4.1.1 Superficie fuselaje.

Para hacer la superficie del fuselaje se necesita previamente la forma en perfil y en planta de éste. Para ello, se ha recurrido al módulo de **Sketch Tracer** que permite cargar imágenes en Catia y dibujar sobre ellas. Se realiza desde el comando *Create an Immersive Sketch*.

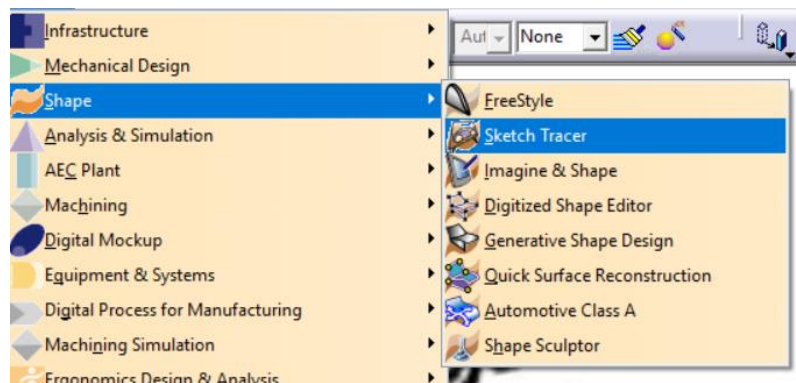


Figura 32. Modulo Sketch Tracer.



Por lo que en primer lugar se ha cargado la forma en perfil del fuselaje, colocando el origen de coordenadas justo en el morro del avión. Se le ha dado una medida longitudinal de 8933 mm, que es la longitud del fuselaje, y una altura de 1588, que es la envergadura del estabilizador vertical medida desde el eje del fuselaje.

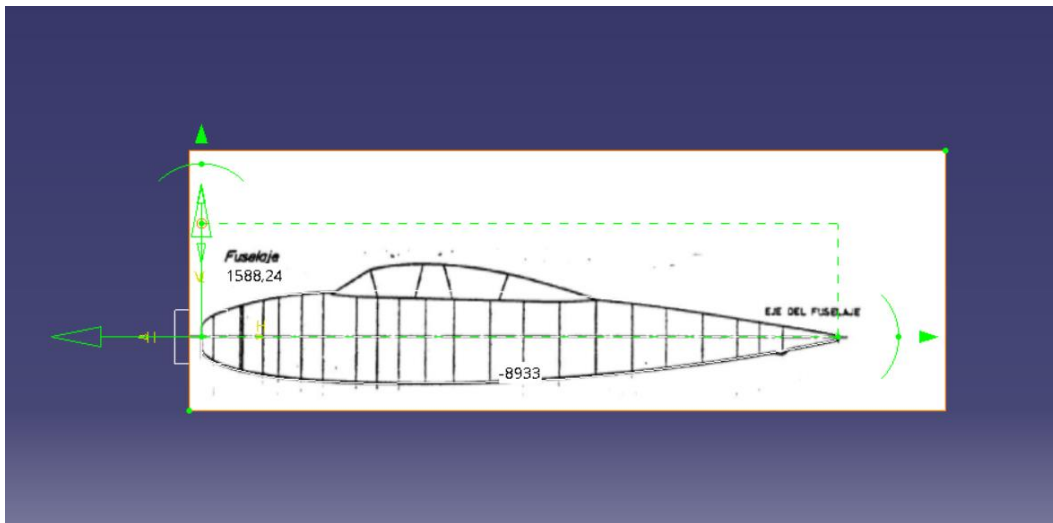


Figura 33. Perfil del fuselaje.

Lo siguiente ha sido copiar la forma del perfil desde el módulo **Part Design** con el comando *Spline en el plano XZ*, de manera que se pueda conseguir la forma más exacta posible a través de los puntos que sean necesarios. Se puede observar que la parte de la cabina hace que no sea simétrica respecto al eje X. Pero se ha tomado la decisión de realizar el fuselaje de manera completamente simétrica puesto que no se va a entrar en detalle en el diseño interior de la cabina.

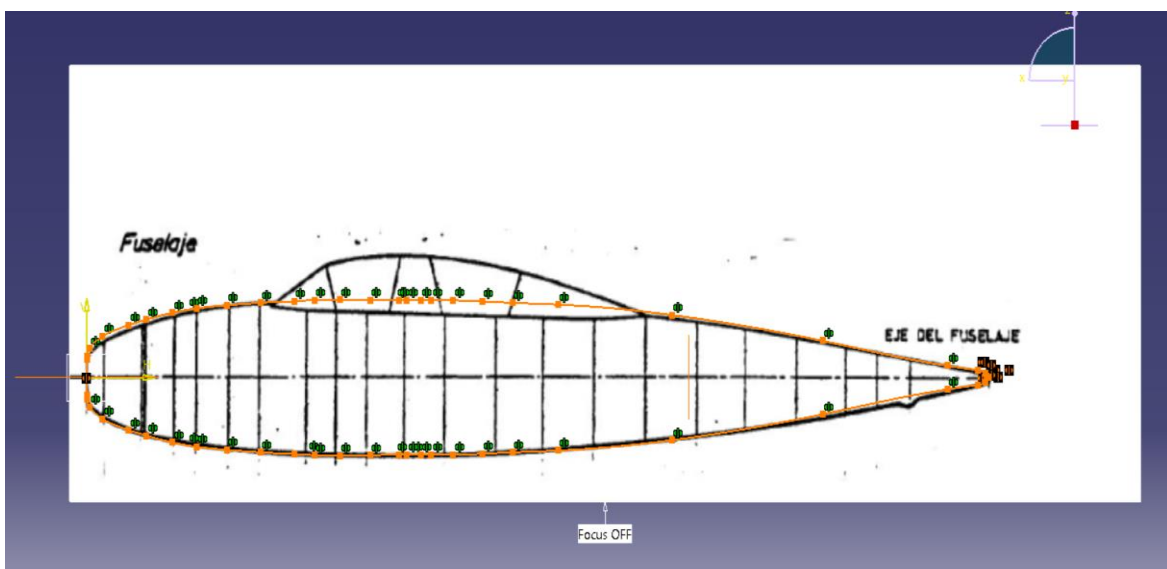


Figura 34. Sketcher del perfil.

A continuación, se han seguido los mismos pasos para la forma del perfil en planta. Cargando la imagen en plan del avión en el **plano XY**. Se sitúa de nuevo el origen de coordenadas en el morro del avión, la misma longitud y una distancia de 5516 mm hasta la superficie tangente del depósito de combustible marginal.

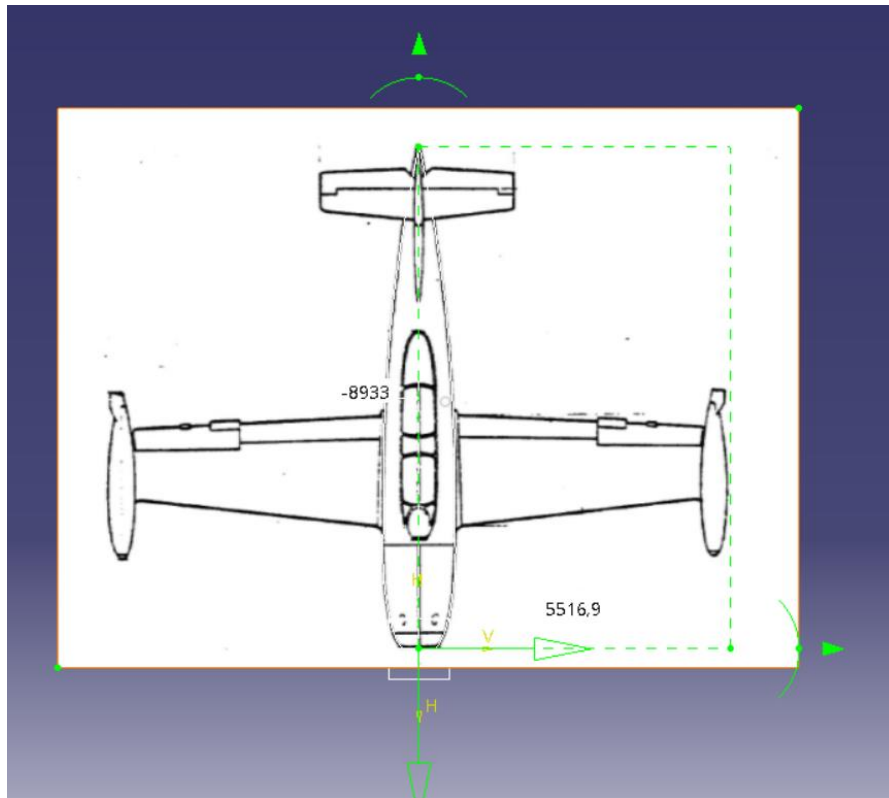


Figura 35. Planta del fuselaje.

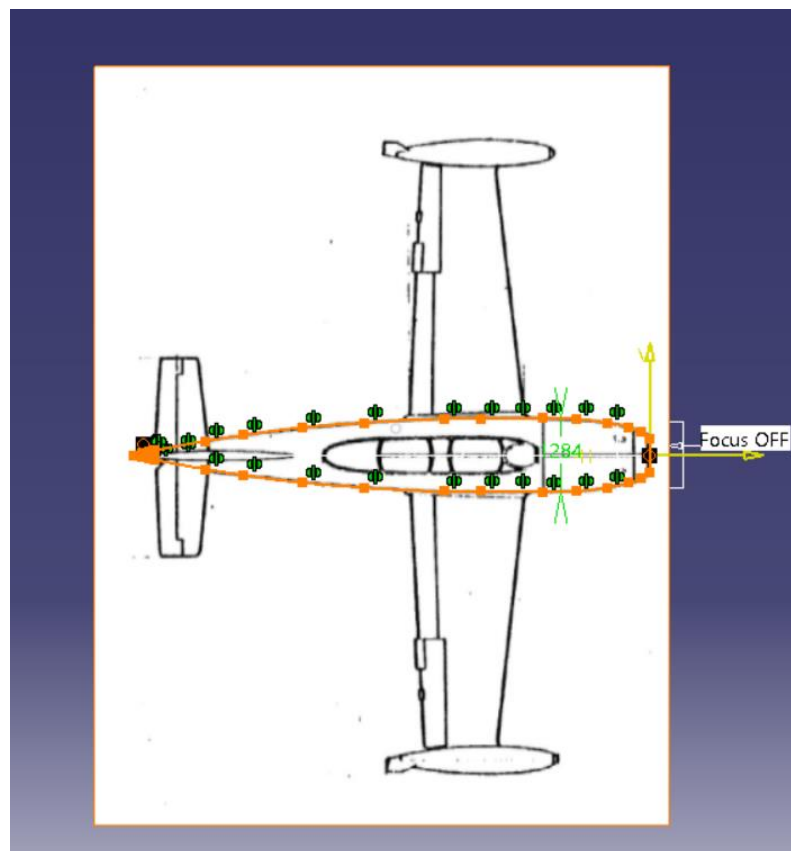


Figura 36. Sketcher de la planta.

El siguiente paso ha sido situar las cuerdas del fuselaje, que son un total de 22. Para ello se dispone de la distancia en la que estas se sitúan respecto al morro del avión.

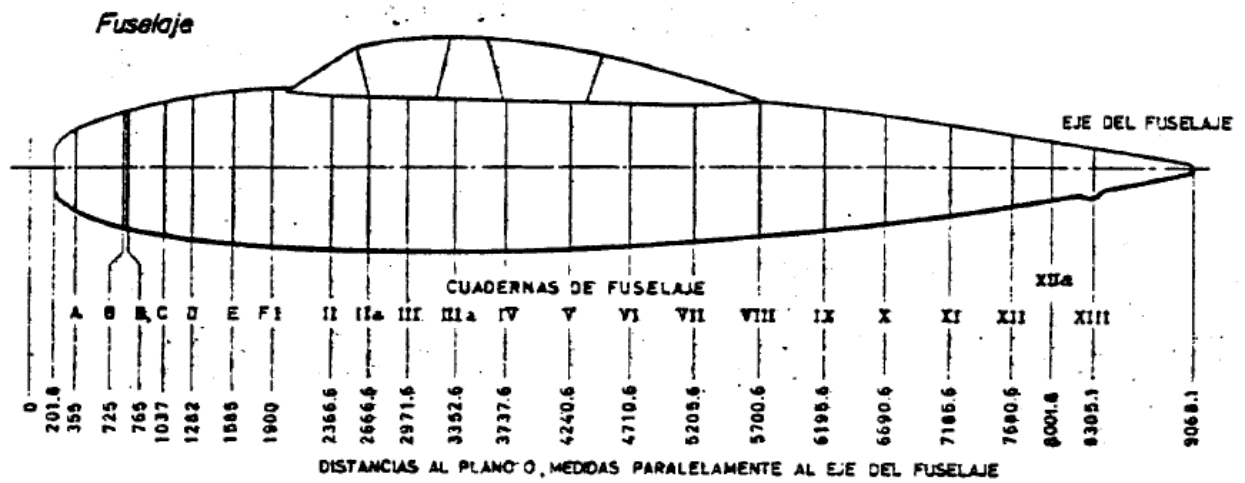


Figura 37. Distancia de las cuadernas respecto al morro.

Se observa en la imagen que el morro lo sitúa a 201.6 mm y puesto que ese es para nosotros el punto cero, se ha tenido en cuenta la diferencia en todo momento.

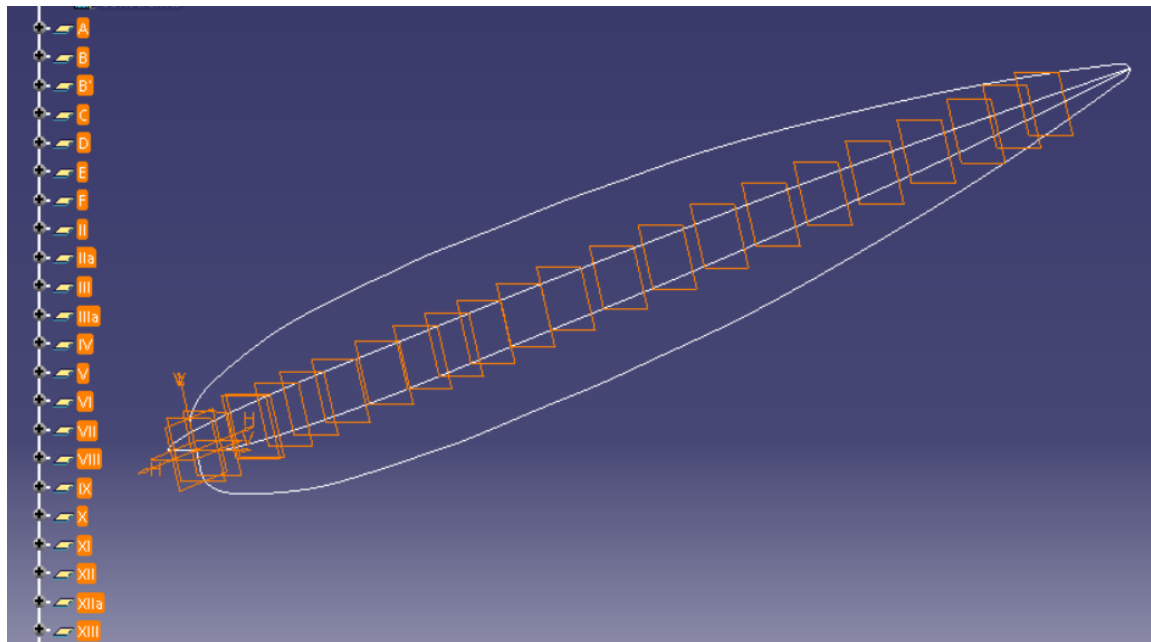


Figura 38. Planos de las cuadernas.

Se sabe que hasta la cuaderna F (que es la cuaderna cortafuegos) la sección es elíptica, y a partir de ahí circular. Por lo que, para dibujar la sección de las cuadernas de la A a la F, se ha trazado una línea que corte a la forma en planta en el **plano XY**, y otra que corte la forma en el perfil en el **plano XZ**.

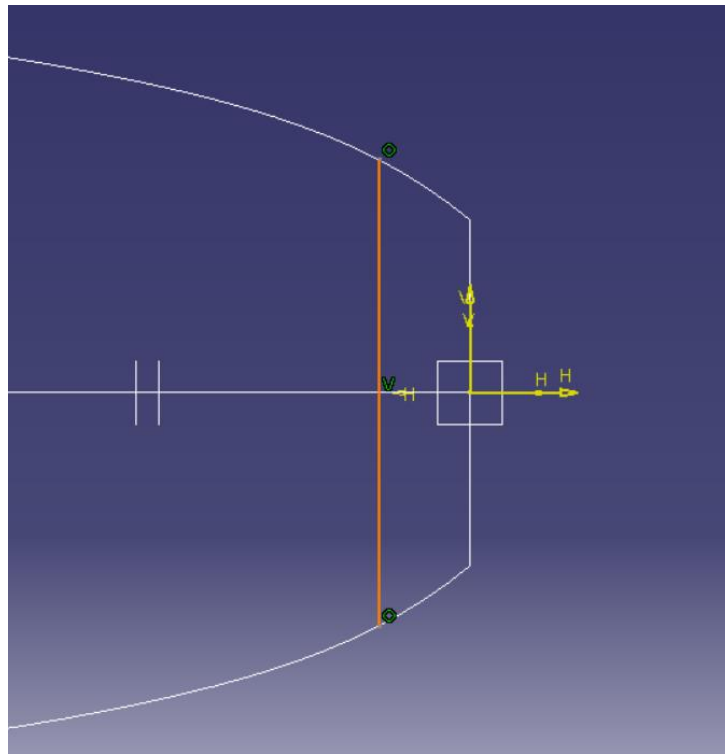


Figura 39. Ayuda sección cuaderna A en plano XY.

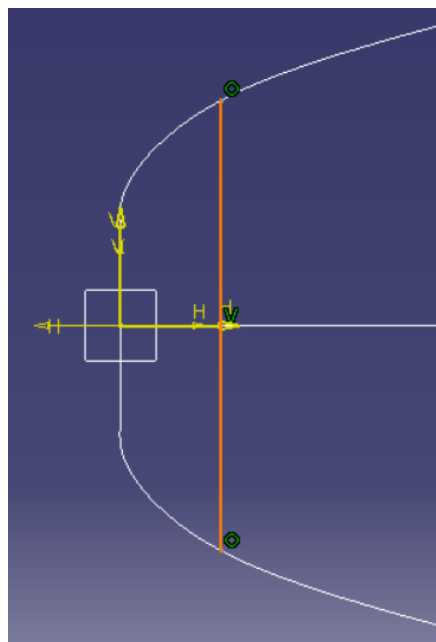


Figura 40. Ayuda sección cuaderna A plano XZ.

De este modo, proyectando cada línea en el **plano YZ** de cada cuaderna, se traza una elipse restringiéndola a que pase por los puntos de corte de las líneas con el perfil y la planta.

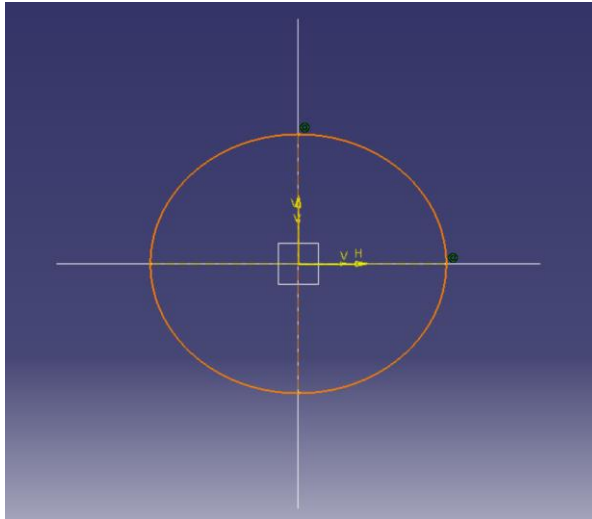


Figura 41. Sección cuaderna A.

Desde la cuaderna cortafuegos hasta el final, las secciones son circulares. Pero debido a que se ha tomado cómo guía de referencia la forma en perfil y en planta y para seguir ajustando el diseño a ello para tener un criterio, se ha realizado el mismo procedimiento para dibujar las secciones de las cuadernas restantes. Así se tiene las secciones de todas las cuadernas. Se puede apreciar cómo las últimas cuadernas tienen excentricidad muy baja, aproximándose en gran medida a una circunferencia.

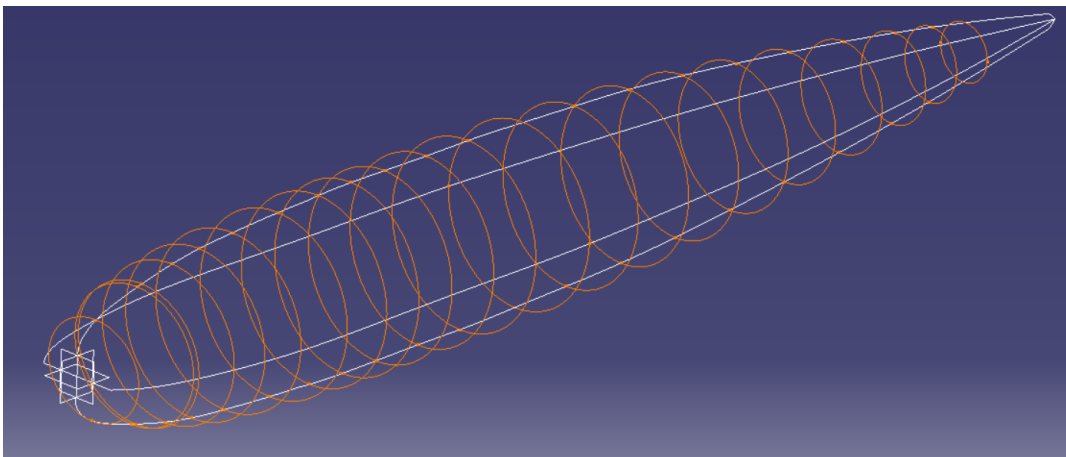


Figura 42. Secciones cuadernas del fuselaje.

Para la obtención de las superficies se ha hecho uso del módulo **Wireframe and Surface Design**.

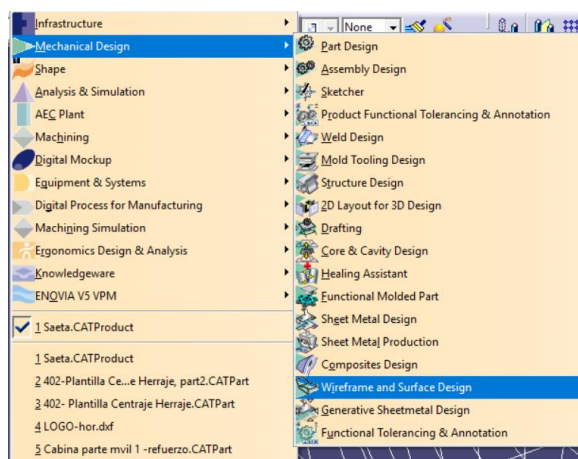


Figura 43. Módulo Wireframe and Surface Design.

Se ha dividido en tres superficies. La primera abarca desde la sección de la cuaderna A hasta la sección de la cuaderna XIII. Para ello se ha hecho uso del comando *Multi-sections Surface*, tomando como secciones todas las de las cuadernas y como guía las proyecciones de la forma en perfil desde que cortan a la sección A hasta la XIII. Este ha sido el resultado:

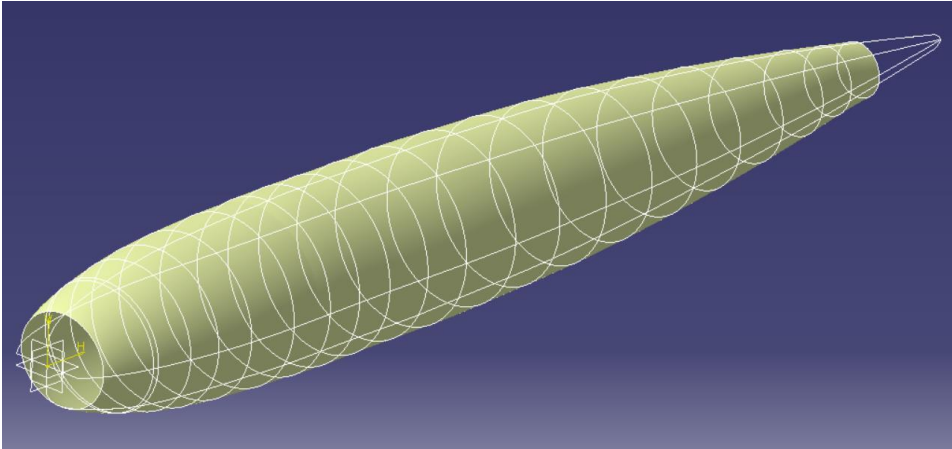


Figura 44. Superficie fuselaje central.

Para el cono final de la superficie del fuselaje se ha hecho uso del comando *Revolvute*. Se ha tomado como perfil la proyección de la forma en perfil del fuselaje desde la cuaderna XIII hasta el final. Al ser esta última cuaderna una circunferencia nos aseguramos la continuidad entre esta superficie y la anterior.

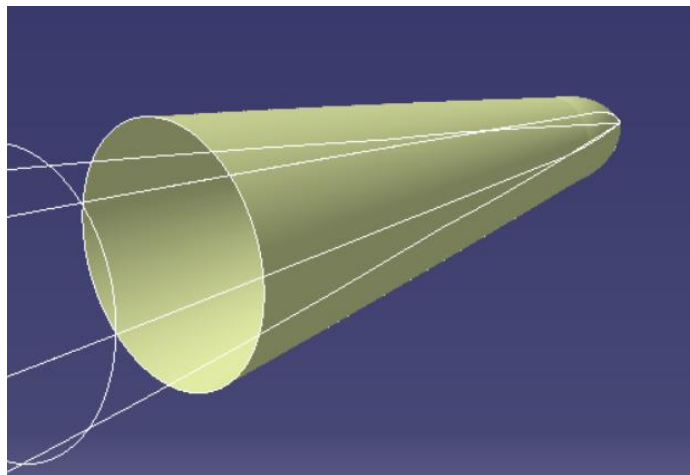


Figura 45. Superficie del cono final del fuselaje.

Para la obtención de la sección exacta del morro del avión, se ha cargado una imagen con la vista de frente del avión. Situando el origen de coordenadas en el centro, con una distancia de 5516 mm en dirección Y una altura de 1588 mm. Por medio de circunferencias y líneas se ha obtenido la sección.

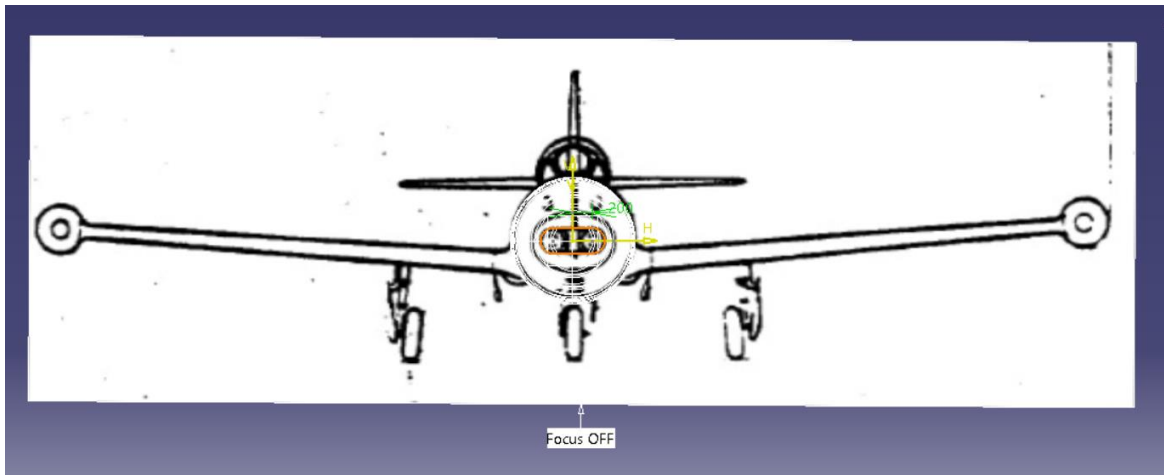


Figura 46. Sección del morro del avión.

Una vez obtenida, y tomando como guía la proyección del perfil desde que corta al morro hasta que corta a la cuaderna A, se ha hecho uso del comando *Multi-section Surface* para obtener la superficie. Las secciones han sido las del morro y la de la cuaderna A. Para obtener su simétrico se ha hecho uso del comando *Symmetry*.

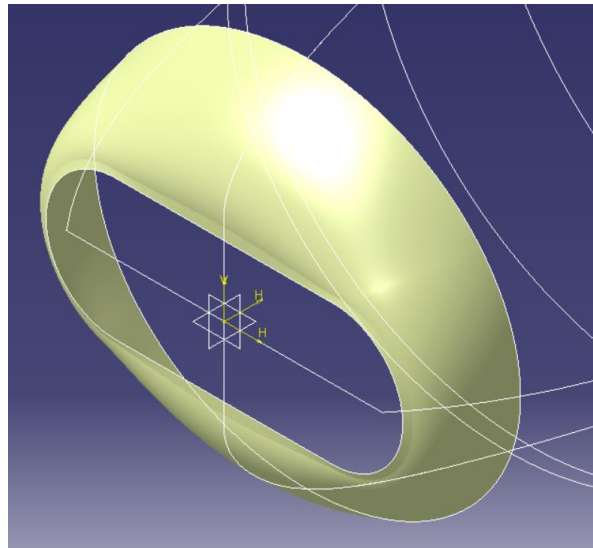


Figura 47. Superficie del morro del avión.

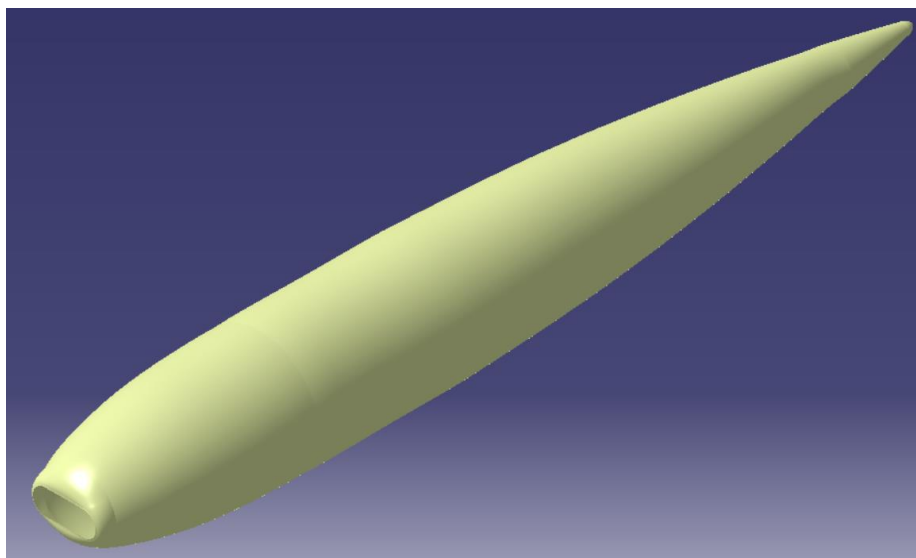


Figura 48. Superficie fuselaje completo.

### 4.1.2 Cuadernas del fuselaje.

Para construir las cuadernas, se ha realizado el mismo proceso en todas. En primer lugar, dibujar en un *Sketch* el perfil de la cuaderna. Para ello se ha proyectado el perfil en planta en el **plano XZ**, y se le ha dado una altura de 20 mm y una anchura de 10 mm. Con la proyección conseguimos que sean tangentes a la superficie en todo momento.

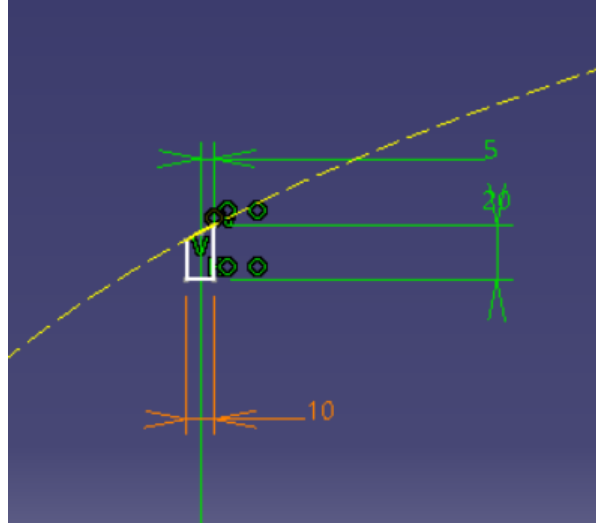


Figura 49. Perfil cuaderna.

De esta manera, con el comando *Rib* en el módulo **Part Design**, obtenemos la cuaderna A, tomando como guía la sección dibujada previamente y como perfil el mencionado anteriormente.

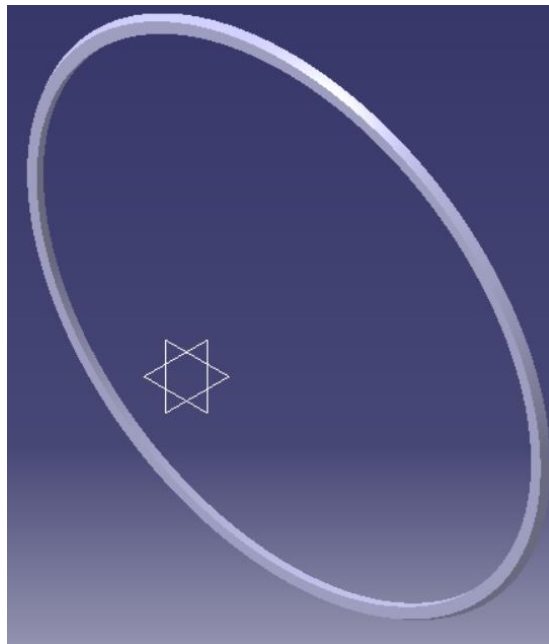


Figura 50. Cuaderna A.

Un proceso homólogo se ha realizado para la obtención del resto de cuadernas, a excepción de la cuaderna F. Se trata de la cuaderna cortafuegos que separa la parte anterior de la posterior del fuselaje, y está unida por medio de herrajes y de montantes. Para su diseño, se ha proyectado en un plano XZ la forma del perfil de nuevo y dándole una anchura de 10 mm, 5 mm a cada lado del plano que contiene la sección. Mediante el comando *Sweep* se ha creado una superficie con dicha proyección como perfil y la curva de la cuaderna como guía, el resultado ha sido el siguiente:



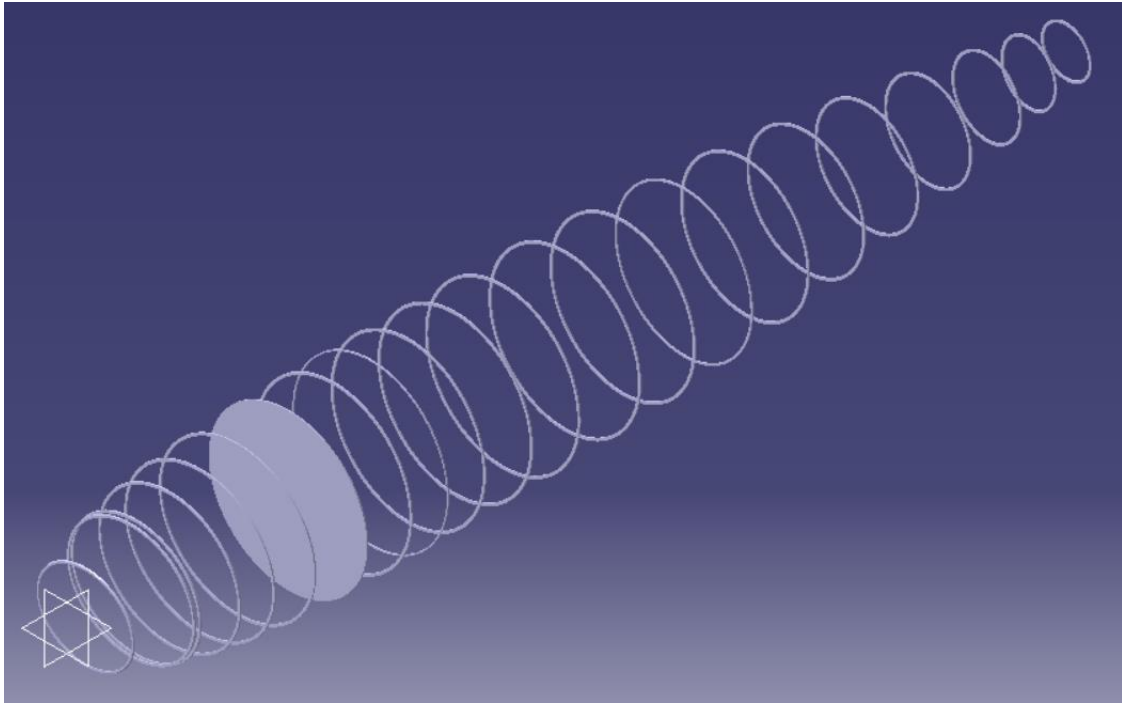


Figura 51. Cuadernas del fuselaje.

#### 4.1.3 Largueros del fuselaje.

Para el diseño de los largueros apenas había datos inicialmente, por lo que se ha tomado como referencia la siguiente imagen que pertenece a la parte anterior del fuselaje y cubre el motor.



Figura 52. Parte anterior del fuselaje. Largueros.

Se puede observar la presencia de siete largueros repartidos de manera equidistante y con sección semicircular. Luego se ha tomado la decisión de alargarlos al resto del fuselaje y repartirlos de manera simétrica a lo largo de éste.

Para el diseño se han necesitado cuatro guías. La primera ya se tenía, pues es una de las proyecciones que de la forma del perfil que se usó para la superficie de la parte central del fuselaje. Para la obtención de las otras tres, se han definido tres puntos en la sección de las cuadernas A y XII, separados entre sí por un ángulo de  $30^\circ$ . Aquí un ejemplo de la cuaderna A:

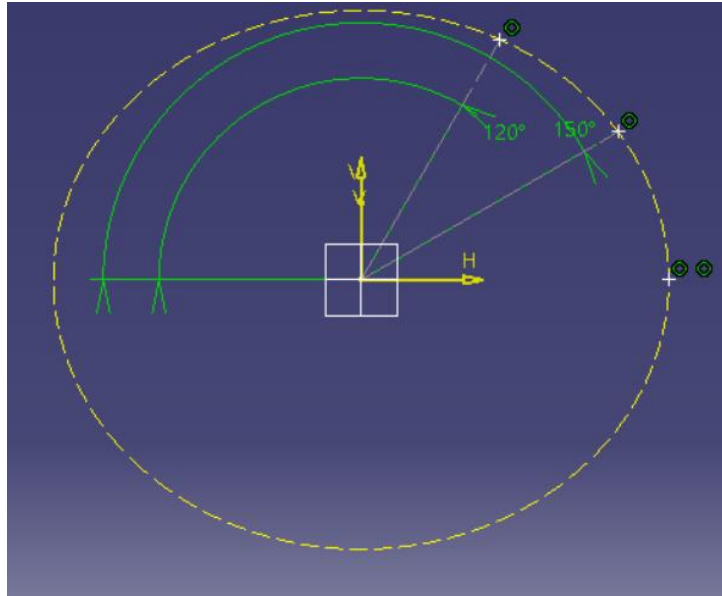


Figura 53. Puntos sección A.

Y dibujando una línea que pase por dos puntos y con la superficie como soporte para asegurar que pase por este se obtienen las tres guías restantes. Para la sección, se ha trazado una semicircunferencia que corte a la sección de la cuaderna A, cerrándola con la proyección de esta. Mediante el comando *Sweep* tomando como perfiles estas secciones y como guías las ya descritas, se obtienen los primeros cuatro largueros.

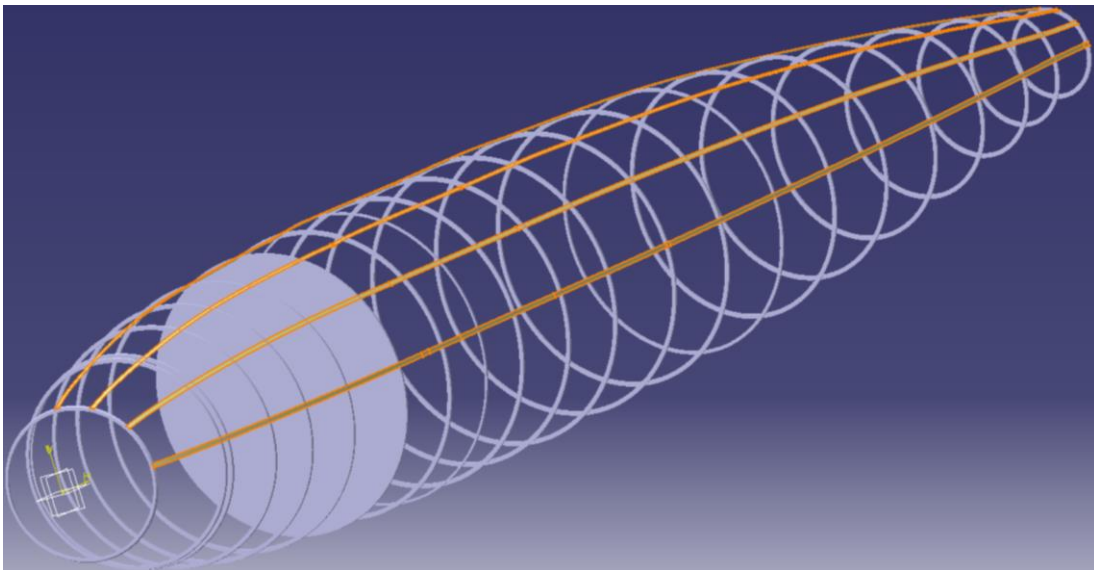


Figura 54. Superficie largueros del fuselaje.

Por último, con el comando *Symmetry* se ha obtenido la envolvente del resto de largueros. Para cerrar dichas superficies y que formen un sólido se ha usado el comando *Close Surface*. El resultado ha sido el siguiente:

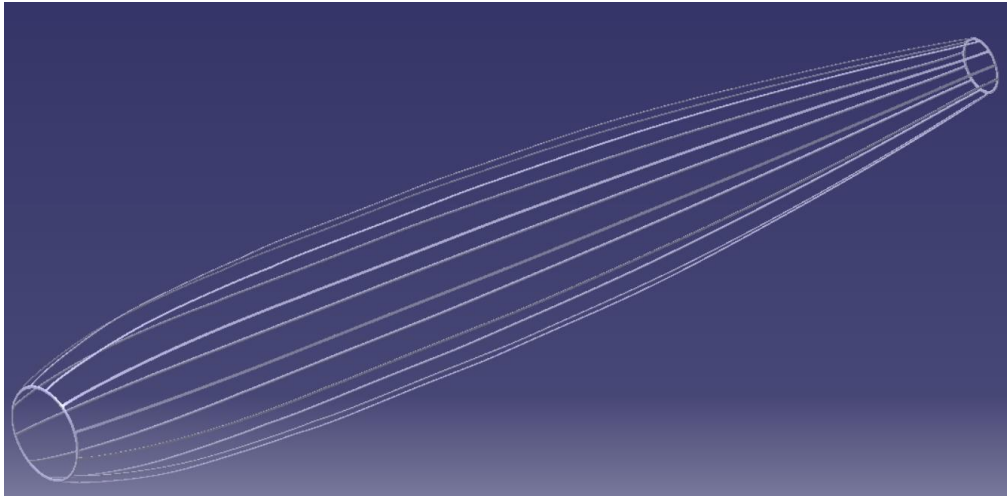


Figura 55. Largueros del fuselaje.

Por último, en la siguiente imagen se muestra una vista completa del interior del fuselaje con todas las cuadernas y largueros en su conjunto.

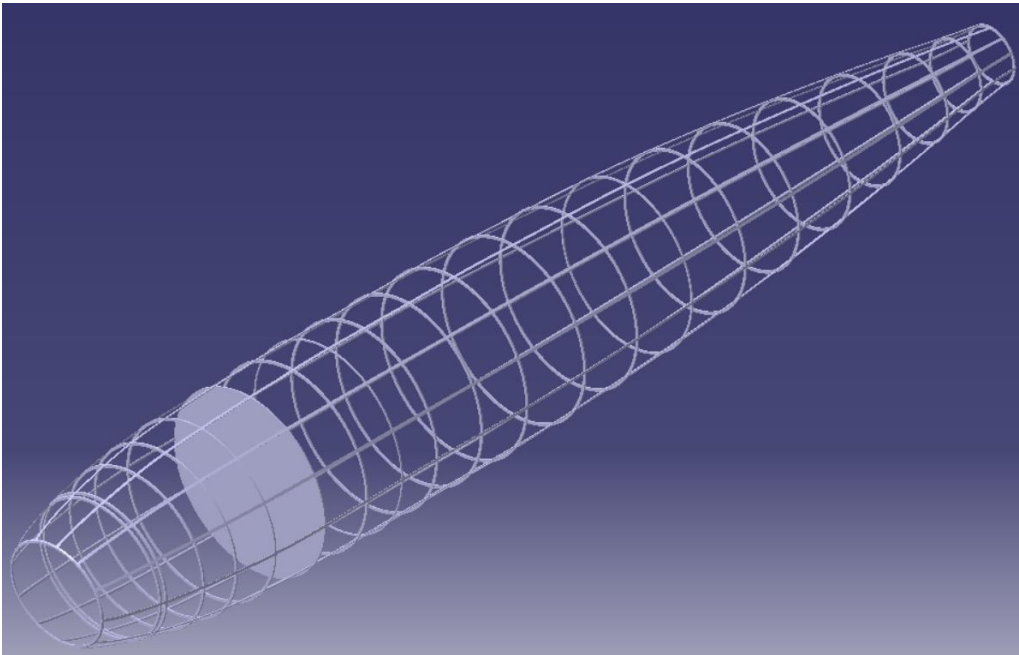


Figura 56. Interior del fuselaje completo.

## 4.2 Exterior Fuselaje.

El exterior del fuselaje se ha realizado en un **Part** distinto. Partiendo de la superficie del fuselaje, con el comando *Thick Surface* del módulo **Wireframe and Surface Design** se le ha dado un espesor de 10 mm a la superficie tanto de la parte central como del cono final, siendo este el resultado:

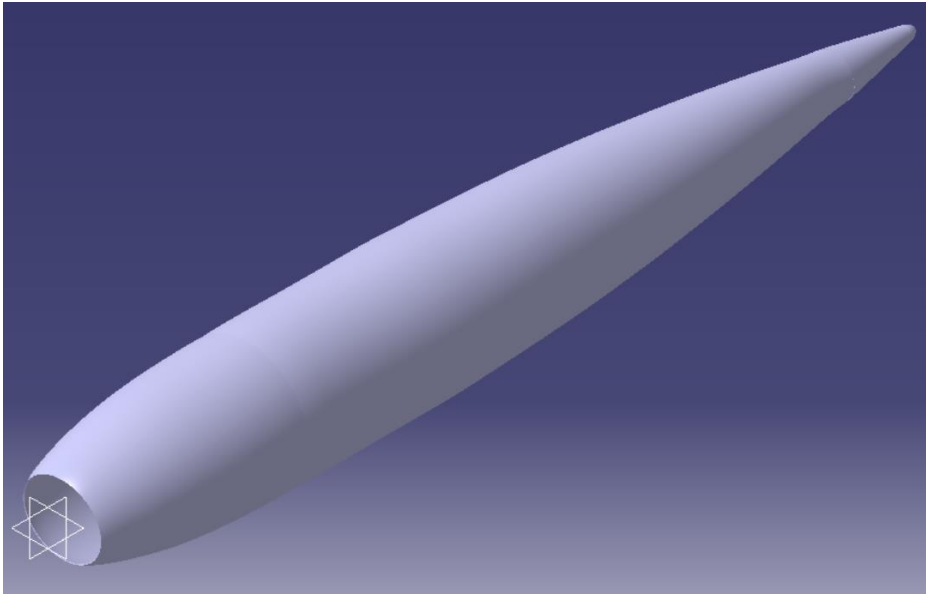


Figura 57. Exterior del fuselaje (parte central y cono final).

Con el comando de *Join*, se han unido las dos superficies simétricas del morro del avión. Y de nuevo, con el comando *Thick Surface* se le ha dado un espesor a la superficie, obteniéndose lo siguiente:

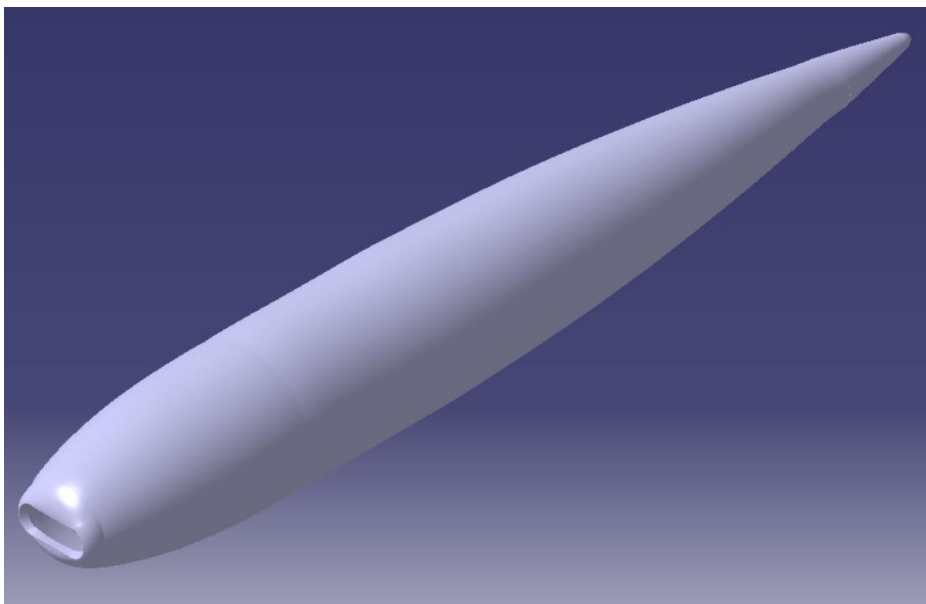


Figura 58. Exterior del fuselaje completo.

En la siguiente imagen, se puede observar como en el morro hay un volumen situado justo en el plano medio que separa ambas tomas de aire, Debido a la falta de datos para diseñarlo, con la observación visual y estableciendo una relación en las medidas teniendo en cuenta que no es una vista plana, se ha diseñado dicha separación. Para ello se ha realizado un *Sketch* justo en el **plano XY** de simetría. Y mediante un *Pad* se le ha dado altura seleccionando el tipo “Up to next”. El resultado ha sido el siguiente:

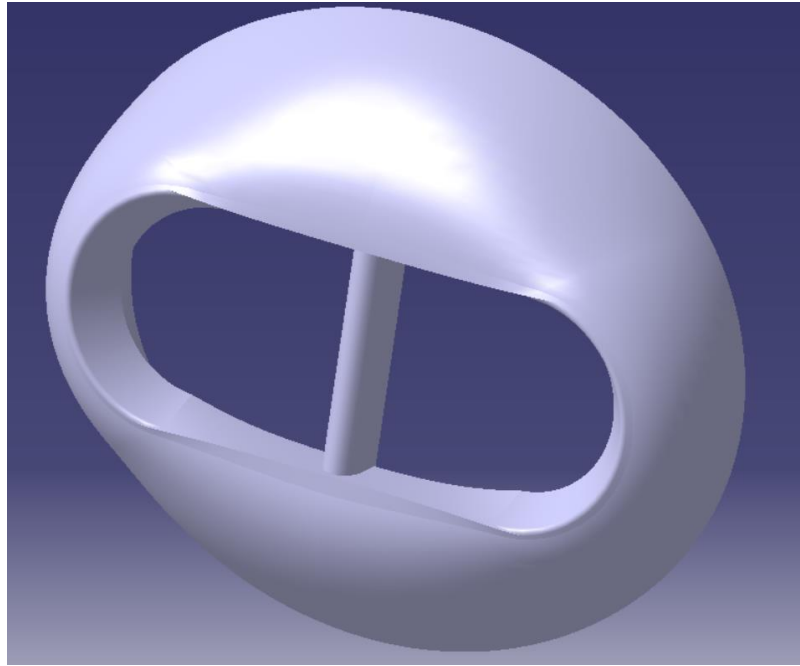


Figura 59. Morro del avión.

Además, se puede observar cómo justo en el **plano XZ** de simetría en la parte inferior y superior van situadas sendas aletas. Además, la aleta de la parte superior se extiende hasta llegar a la cabina.



Figura 60. Aletas de la parte anterior del fuselaje.

Para su diseño, se ha dibujado un *spline* tangente a la superficie del fuselaje en la parte superior, justo en el plano de simetría. Mediante el comando *Extrude* se ha creado una superficie con dicho *Spline*, con 15 mm a cada lado del plano de simetría. Y con el comando *Thick Surface* se le ha dado 3 mm de altura. A continuación, con una altura máxima de 20 mm se ha creado el perfil de la aleta, de nuevo con el comando *Spline* y junto con el anterior, se ha cerrado la superficie con el comando *Fill*. Por último, se le ha dado un grosor de 3 mm a cada lado del plano de simetría. El resultado de la aleta superior ha sido el siguiente:

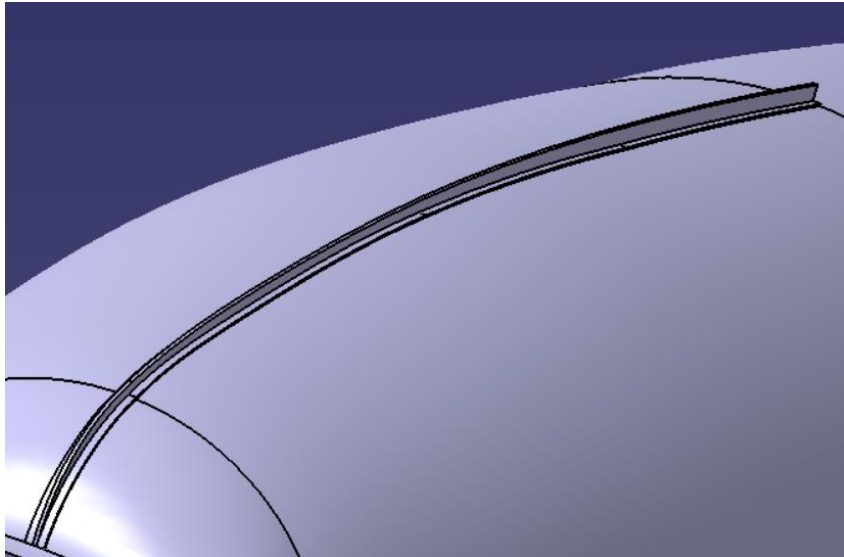


Figura 61. Aleta parte superior del fuselaje.

Para la de la parte inferior se ha realizado un procedimiento análogo, teniendo en cuenta que termina justo donde se sitúa la cuaderna A. A continuación, se muestra una imagen con el resultado completo

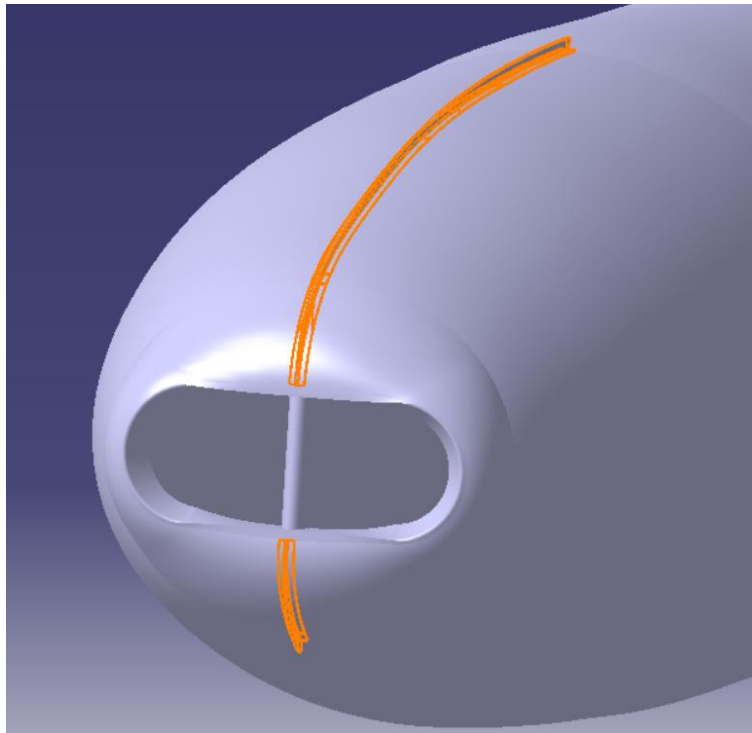


Figura 62. Aletas del fuselaje.

Cabe mencionar cual es el cometido de cada una de las partes del fuselaje. El de la parte anterior es desalojar y servir de bancada a los motores, a la vez que de alojamiento de la proa del tren de aterrizaje, las ametralladoras con sus cajas de municiones y las baterías eléctricas. La parte posterior, justo después de la cuaderna cortafuegos, aloja dos depósitos de combustibles, y justo después de la cabina un freno aerodinámico.

### 4.3 Alas.

La estructura del ala es totalmente metálica en voladizo. Su constitución permite el alojamiento de un depósito de combustible en el borde de ataque, así como el alojamiento del tren de aterrizaje principal completo, al mismo tiempo que da lugar a una solución sencilla de unión ala-fuselaje que hace que las alas sean fácilmente desmontables y descambiables.

El ala va equipada con un alerón situado en la parte exterior del borde de salida y con un flap situado en la parte interior del mismo. En el interior lleva un depósito de combustible de borde de ataque y a su altura, pero en el borde de salida, es donde va alojado el tren de aterrizaje. En el intradós están situados los soportes correspondientes para fijación de armamento lanzable. A su vez, en el intradós lleva situado una serie de tapas de registro de acceso a las instalaciones para el entretenimiento, revisión y reparaciones.

El modelado del ala ha consistido en el diseño de las costillas, largueros, superficie exterior y depósitos de combustible.

#### 4.3.1 Superficie exterior.

En primer lugar, se ha trabajado sobre la vista frontal del avión (figura 42) cual es el ángulo diedro que forma el ala. Este es el ángulo formado por el plano que contiene todas las cuerdas del ala y por el plano que contiene a la cuerda de la raíz del ala es perpendicular al plano de simetría del avión.

Sobre esta imagen, se ha trazado una línea que delimite el intradós y el extradós del ala y así poder trazar la línea media entre ambas. Des pues se ha creado una línea perpendicular a la media en dirección al eje X. Y así, con estas dos líneas podemos definir un plano con el ángulo diedro del ala.

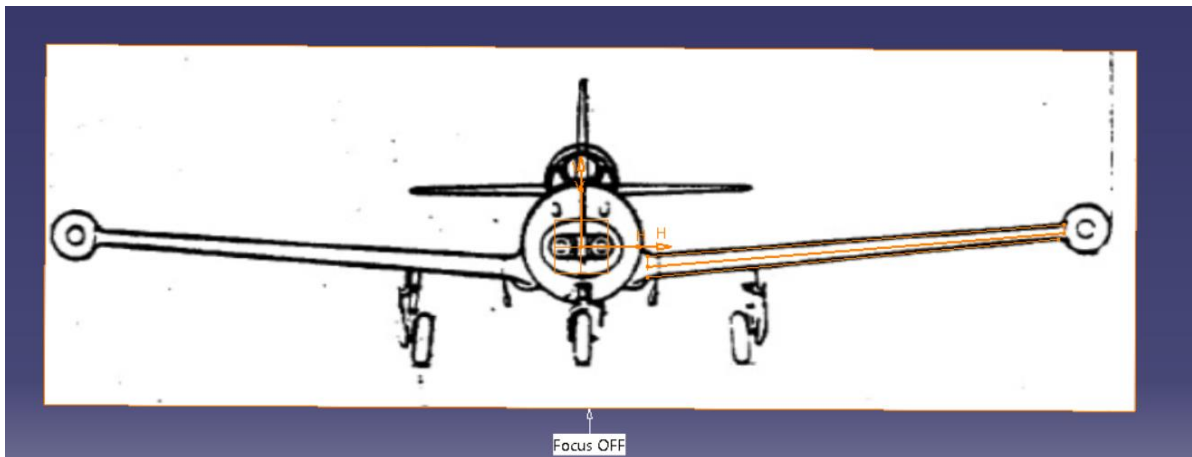


Figura 63. Definición del ángulo diedro.

A continuación, se ha vuelto a hacer uso de la imagen ya insertada sobre la forma en planta del avión (figura 31). En el **plano XY** de referencia se ha abierto un *Sketch* para dibujar la forma del ala en planta.

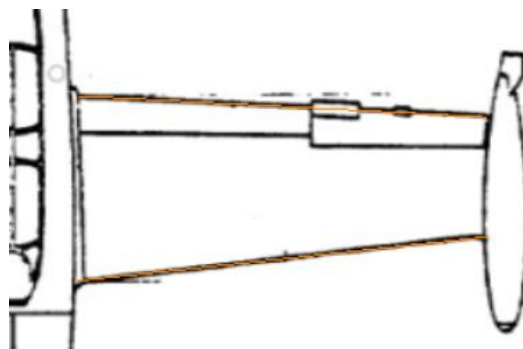


Figura 64. Forma en planta del ala.

Esta forma en planta se ha proyectado sobre el plano del ángulo diedro previamente definido. Esa proyección se usará como guía para la determinación de la superficie del ala que se verá más adelante. No se ha tenido en cuenta la unión con el fuselaje pues se tratará más adelante.

El ala está formada por cinco costillas distribuidas a lo largo de la envergadura. Para posicionar sus perfiles se han creado previamente los planos donde se sitúa, conociendo la distancia al eje del fuselaje de cada uno como se puede observar en la siguiente figura.

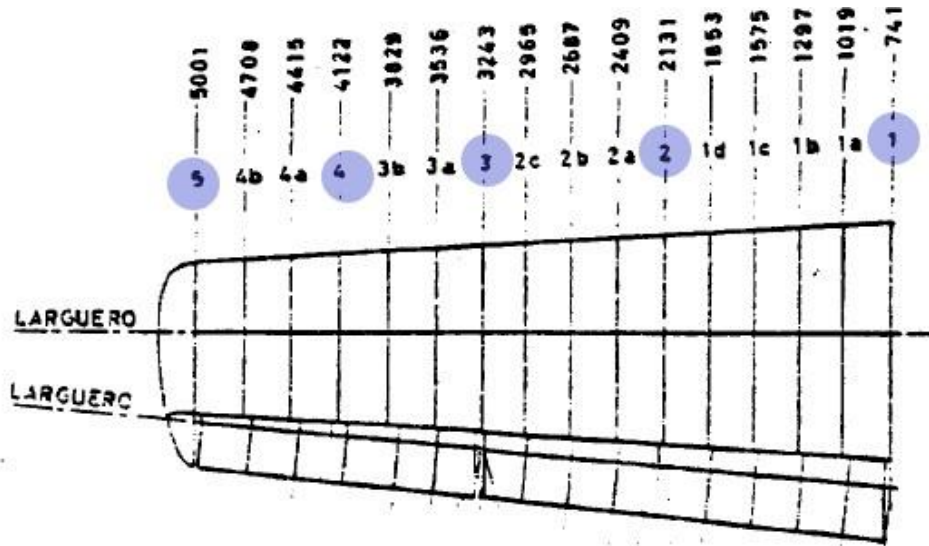


Figura 65. Distancia de cada costilla respecto al eje del fuselaje.

Con el perfil del ala se presentó la primera dificultad En los datos de los que partía faltaba el perfil NACA del que se trataba y tras una larga búsqueda por diferentes medios y con los recursos disponibles no fue posible encontrarlo. La única posible referencia era la siguiente:

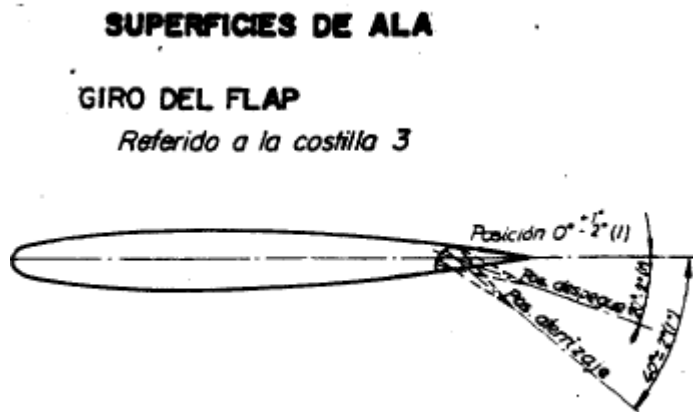


Figura 66. Giro del flap referido a la costilla 3.

Por lo que se tomó la decisión de considerar éste el perfil del ala, pues de entre todas las opciones posibles era la más adecuada. Se insertó la imagen en el módulo **Drafting** y con un *Spline* se dibujó la parte del extradós del ala. Guardando el dibujo en formato *.dxf* es posible insertar el *Spline* dentro de un *Sketch*.

De este modo, para la costilla 3 nos situamos en su plano y se realizó la intersección de la forma en planta del ala con este para hacer pasar la forma del intradós por esos dos puntos. Para ello se realizó un proceso de escalación. Una vez situado el extradós, se realizó una simetría con respecto a una línea que pase por ambos puntos para así obtener el perfil completo tal y como se observa en la siguiente figura



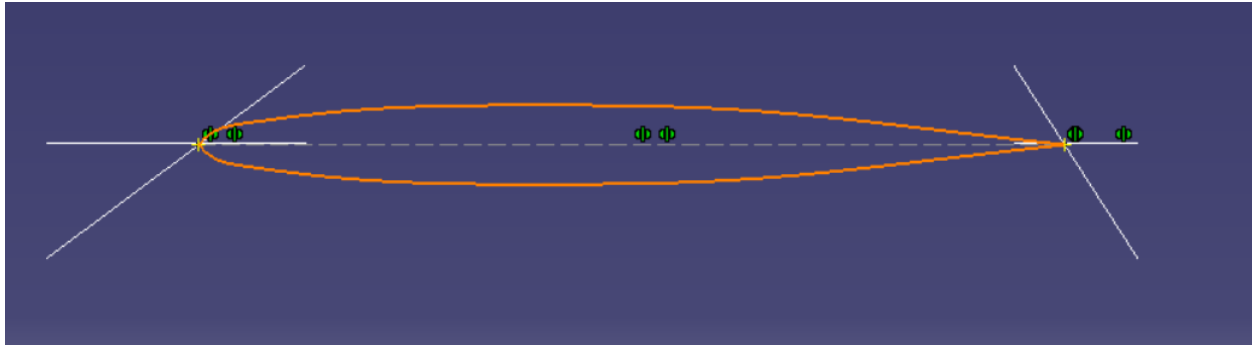


Figura 67. Perfil del ala en la costilla 3.

Se ha realizado la misma operación en el resto de los planos donde se sitúan las costillas. De manera que se escala gradualmente el tamaño del perfil aumentándolo o disminuyéndolo para asegurarse de que en todo momento pase por la guía de la forma en planta. Y con el comando *Multi-section Surface* se ha realizado la superficie de la parte central tomando estos perfiles y la forma en planta del ala proyectada en el plano del ángulo diedro como guía.

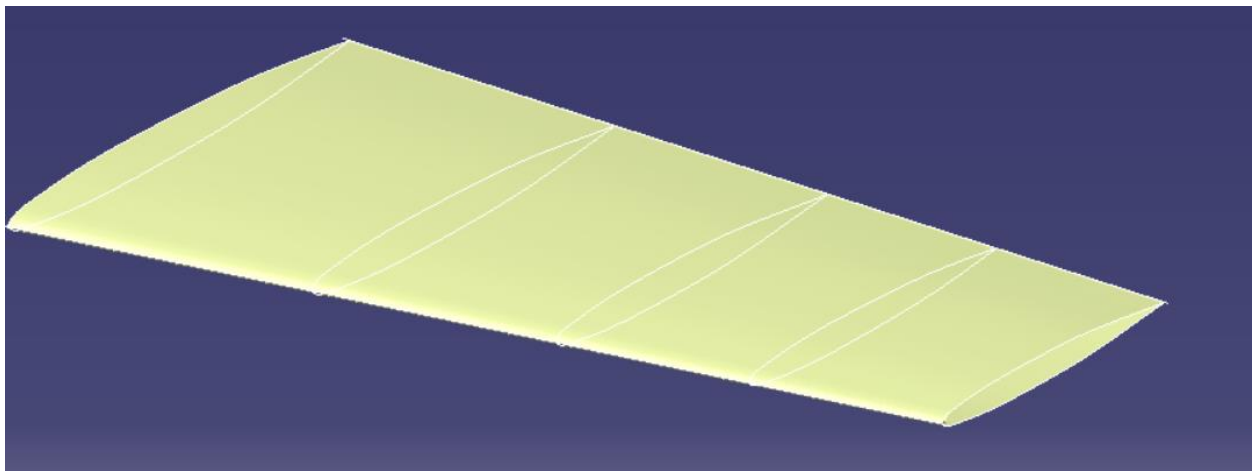


Figura 68. Parte principal de la superficie del ala.

Para la zona del encastre del ala se ha tenido que tomar una decisión para ajustar el diseño lo más real posible debido a la falta de información. Se puede observar, en la figura 50 como se ensancha en la parte del extradós más cercana al fuselaje. También se puede observar en la figura 60 como se ensancha en mayor medida en la zona más próxima al fuselaje.

Se ha recurrido al comando *Multi-section Surface* Para diseñar la superficie del encastre. Se han tenido en cuenta dos perfiles y cuatro guías. Dos de las guías han sido la proyección del perfil frontal del ala desde la costilla 1 hasta el interior del fuselaje para asegurarnos que corte a toda la superficie del fuselaje. Las otras dos guías han sido la proyección del perfil del ala en planta desde la costilla 1 hasta la misma distancia al eje del fuselaje que las guías anteriores. De esta manera sea creado un plano paralelo al **plano XZ** de referencia definido por los puntos que corresponden con el final de las cuatro guías. En ese mismo plano se ha definido el segundo perfil. De esta manera se obtiene la superficie del encastre.

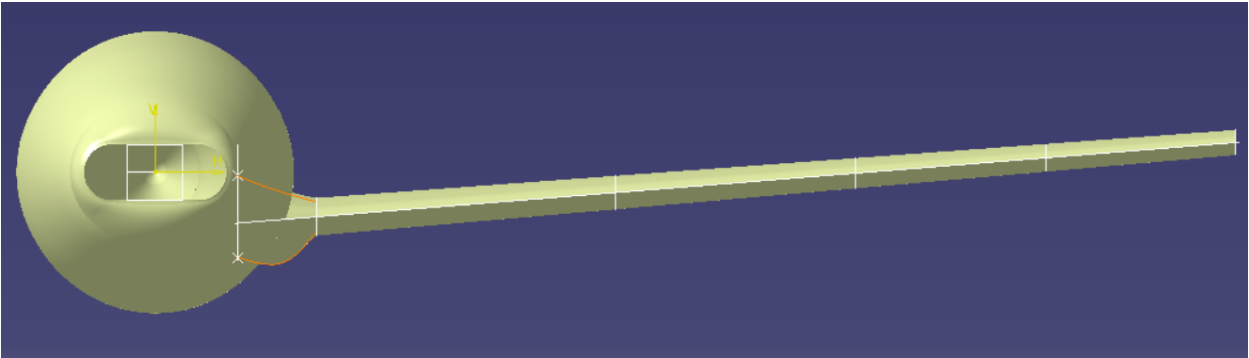


Figura 69. Vista frontal de la superficie del encastre.

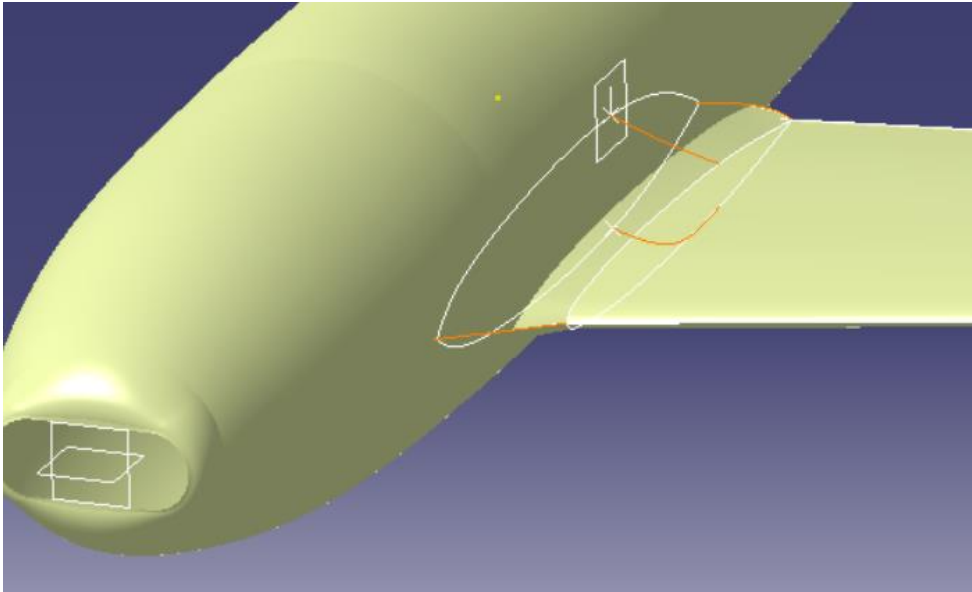


Figura 70. Superficie del encastre con sus cuatro guías.

Para quedarnos solo con la parte que interesa se ha hecho uso del comando *Trim* con la superficie del fuselaje, de manera que nos quedamos con la parte que sobresale de éste y la parte del fuselaje interior a la superficie del encastre

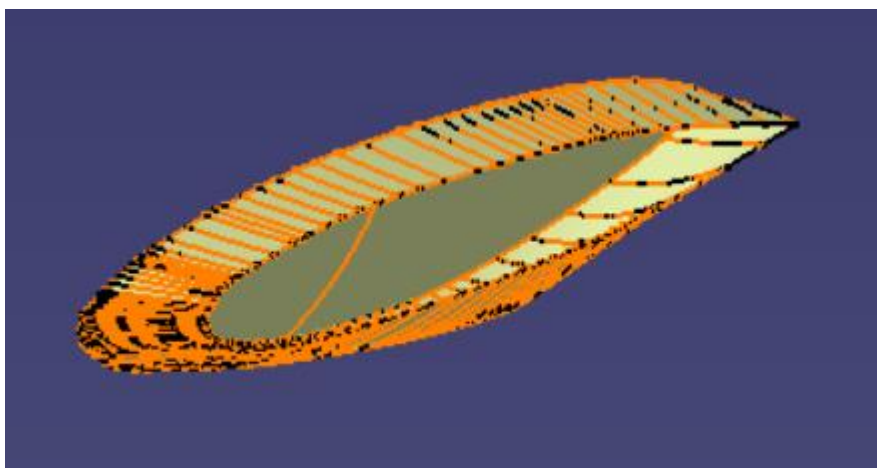


Figura 71. Superficie del encastre definida.

#### 4.3.2 Costillas y largueros.

Para el modelado de las costillas y lo largueros se ha definido en primer lugar la superficie de estas. La

posición respecto al eje de las 5 costillas ya se ha mencionado anteriormente. Por lo que con los perfiles situados en sus posiciones se ha cerrado una superficie con el comando *Fill*.

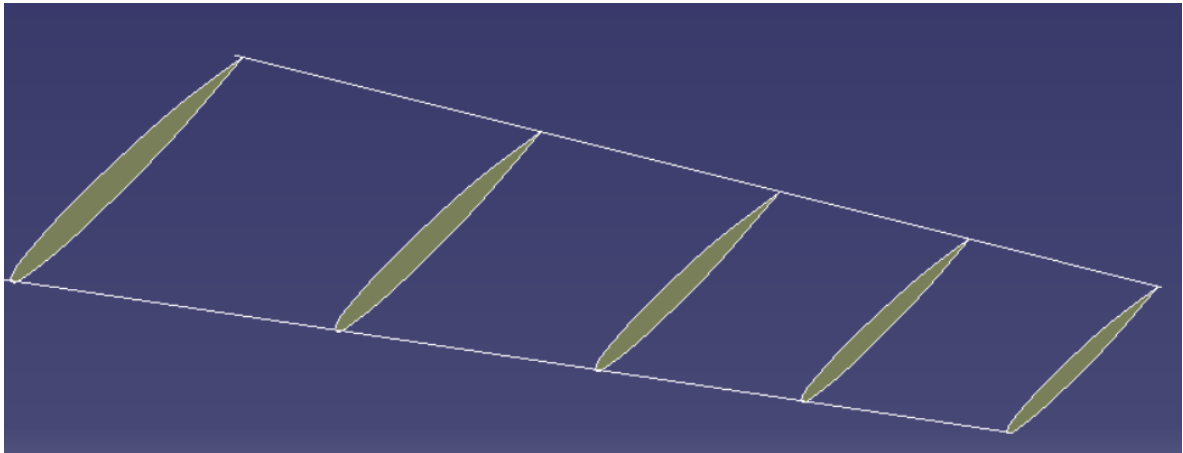


Figura 72. Superficie de las 5 costillas.

El ala dispone de dos largueros a lo largo de su envergadura. El primero de ellos se sabe que se encuentra a una distancia al borde de ataque de un 30% de la cuerda. Para la posición del segundo larguero se ha hecho uso de la imagen 61, en el cual estableciendo una relación entre las medidas reales y las medidas sobre el dibujo se ha podido calcular su posición respecto al borde de ataque.

Para su diseño se han definido dos líneas con la posición exacta de los largueros. Y sobre ellas se han creado dos superficies con el comando *Extrude* en dirección del eje Z. Y con el comando *Split* se han cortado ambas superficies con la superficie del ala como elemento cortante.

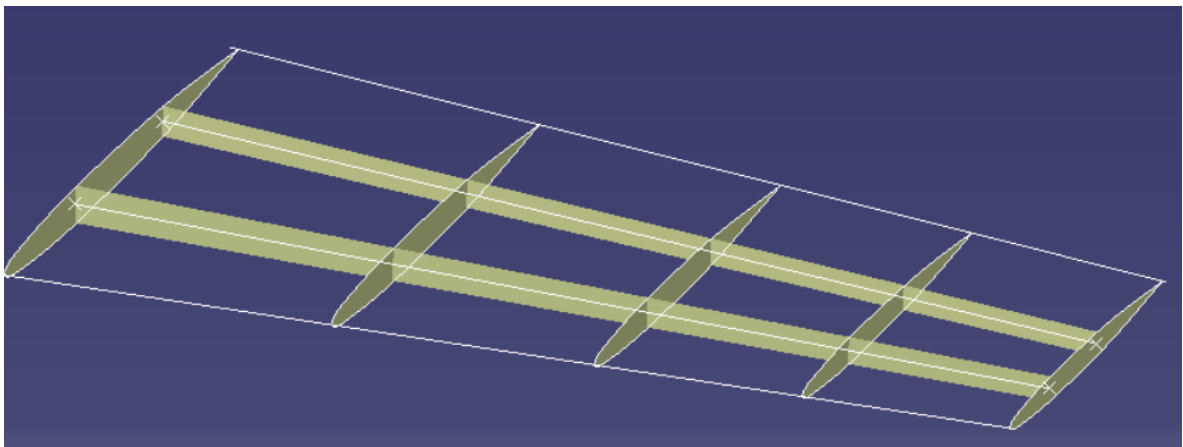


Figura 73. Superficie de los largueros.

Por último, con el comando *Thick Surface* se les ha dado un espesor de 5 mm en cada dirección.

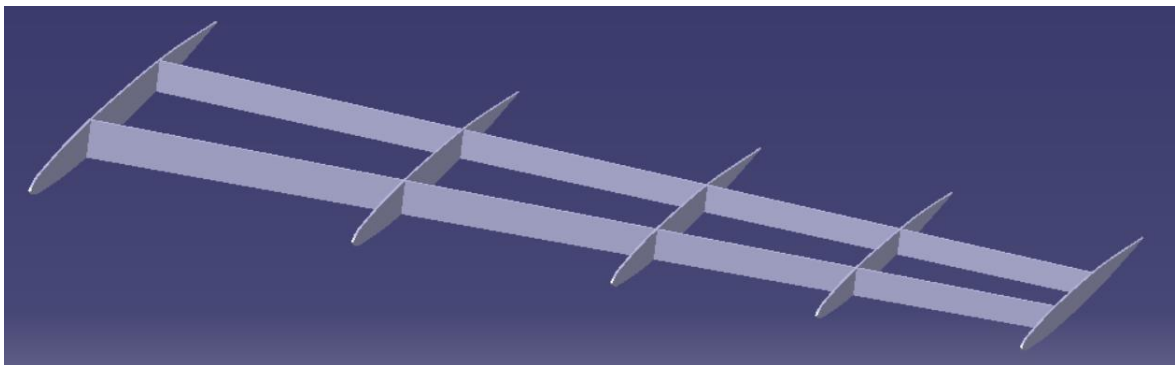


Figura 74. Costillas y largueros.

### 4.3.3 Depósito combustible marginal.

Los depósitos de combustible marginales son fácilmente desmontables y su capacidad es de 322 litros cada uno. El contenido de estos depósitos es lanzable en vuelo.

Éstos están anclados al ala a continuación de la costilla 5. Por lo que para su modelado se ha creado, en primer lugar, un plano paralelo al **plano XY** que pase por la cuerda del perfil de la costilla cinco. Sobre este plano se ha dibujado un *Spline* sobre la imagen insertada de la forma en planta tal y como se observa en la figura.

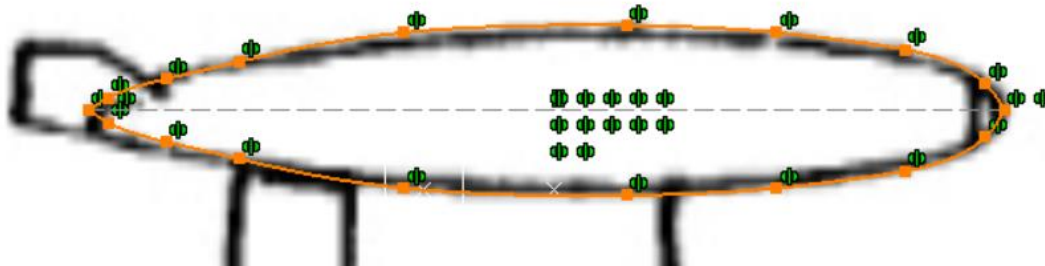


Figura 75. Forma en planta del depósito de combustible.

La sección del depósito es circular y está formado por numerosas costillas. La posición de éstas tomando como origen el extremo delantero del combustible se puede apreciar en la siguiente imagen.

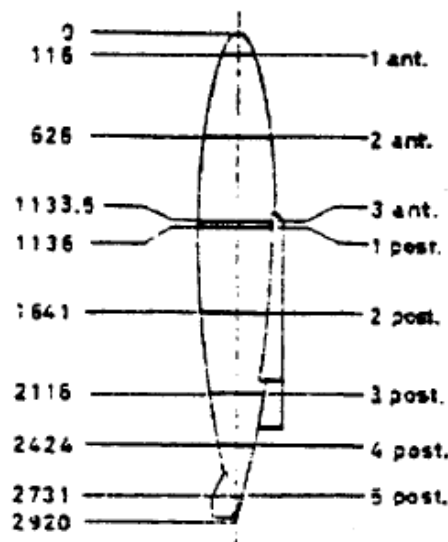


Figura 76. Posición de las costillas del depósito marginal.

Por lo que se han creado los planos en los cuales se encuentran las costillas tomando esas medidas. Debido a la proximidad de la costilla anterior 3 y la posterior 1, se han tomado estas como una sola. En cada uno de esos planos se han determinado los puntos de corte con la forma en planta del depósito y se ha hecho pasar una circunferencia por ambos puntos, de manera que todas tienen el origen alineado.

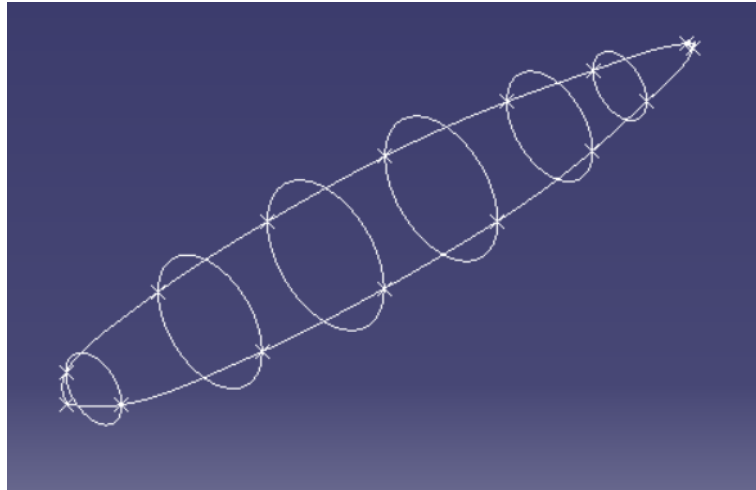


Figura 77. Secciones de las costillas del depósito marginal.

Con todo esto definido se puede proceder a la creación de la superficie envolvente del depósito. Se ha dividido en tres partes. Una central que va desde la sección de la costilla anterior 1 a la posterior 5, para lo que se ha hecho uso del comando *Multi-section Surface* tomando como guía la proyección en planta delimitada por ambas secciones y todas las circunferencias como perfiles. Para la parte delantera se ha hecho uso del comando *Sweep* tomando como perfil la sección de la costilla anterior 1 y como guía la proyección en planta del depósito desde esta sección hasta el extremo delantero. Y para la parte posterior se ha procedido de manera análoga a la delantera. El resultado ha sido el siguiente:

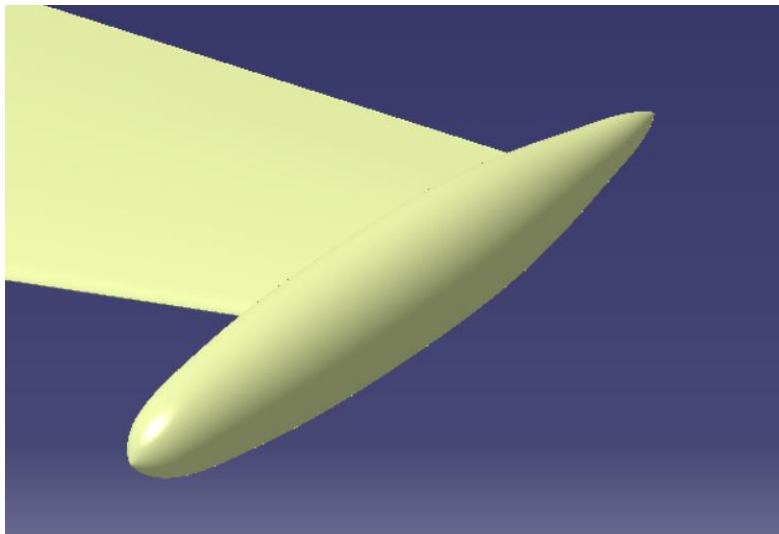


Figura 78. Envoltorio del depósito marginal.

Para la definición de cada costilla se ha procedido de manera análoga en cada una de ellas. Se ha definido en un *Sketch* la sección del perfil, con un espesor de 15 mm y una anchura de 30 mm. Y con el comando *Sweep* tomando como guía las circunferencias de cada sección se ha creado la superficie de las costillas. A continuación, con el comando *Close Surface* se ha cerrado dichas superficies formando un sólido.

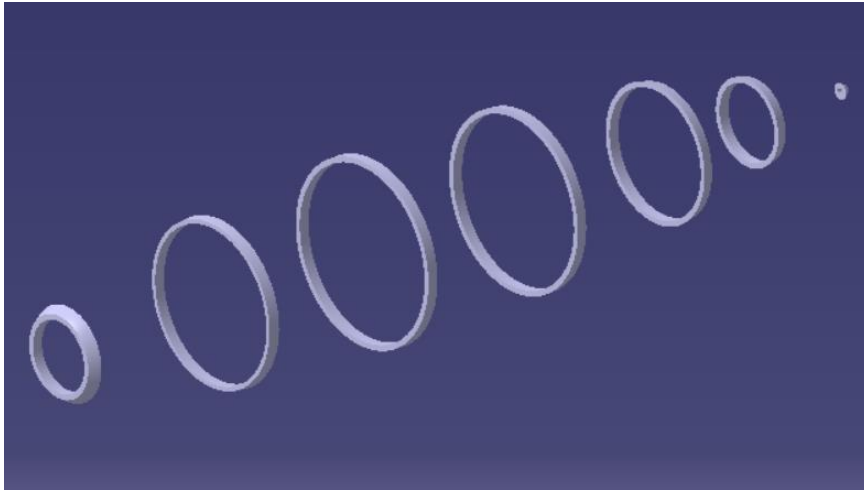


Figura 79. Costillas del depósito marginal.

El siguiente paso ha sido definir la zona de unión entre el perfil alar y el depósito de combustible. En la siguiente imagen se observa como de primeras ambas superficies se solapan y hay una discontinuidad.

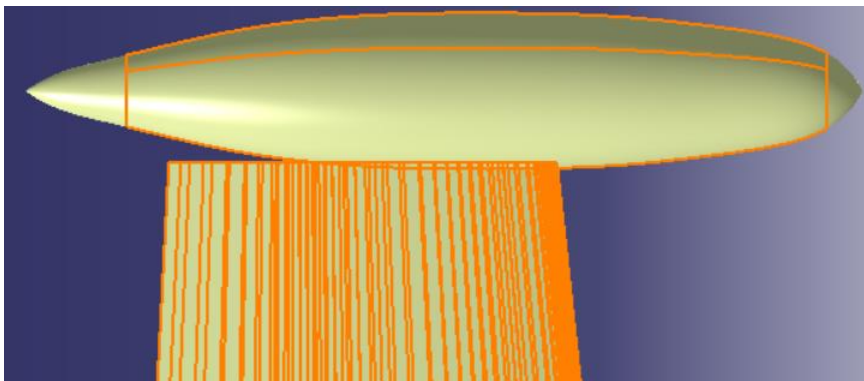


Figura 80. Discontinuidad entre superficie alar y depósito marginal.

Para evitarlo y dar una solución se ha tomado el perfil de la costilla 5 del ala, que se sitúa justo en el final de la superficie alar que se observa en la figura 76, y mediante un *Sweep* se ha alargado dicha superficie hasta que el final se encuentre dentro de la superficie del depósito. Y mediante el comando *Slip* se ha cortado dicha superficie con el depósito como elemento cortando. De esta manera el problema de la unión queda solucionado.

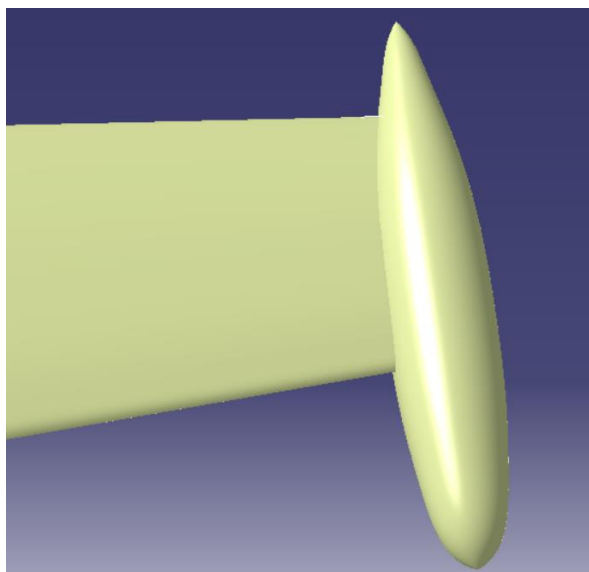


Figura 81. Unión del ala con el depósito.

Una vez definida la superficie del depósito, para darle solidez se ha recurrido al comando *Thick Surface* y se le ha dado un espesor hacia dentro de 10 mm.

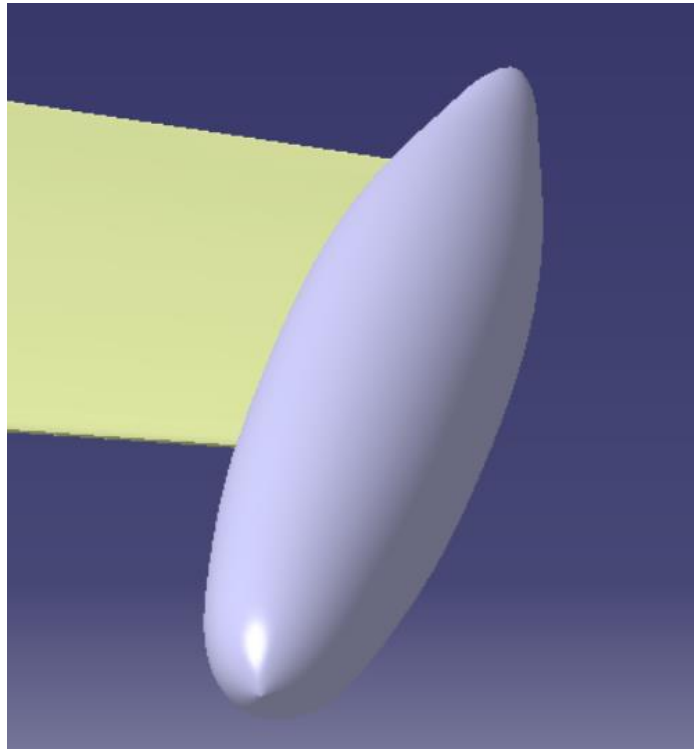


Figura 82. Superficie del depósito marginal.

Además de en la proyección en planta del depósito marginal, en la siguiente imagen se observa la presencia de una aleta en la parte superior inclinada un cierto ángulo.



Figura 83. Vista de la aleta del depósito marginal.

Su diseño ha sido otra dificultad con la que nos hemos encontrado debido a la falta de datos, principalmente del ángulo que forma con la horizontal. Por lo que ayudándonos de las distintas vistas en imágenes de las que se dispone y las proyecciones se ha tomado la medida de ese ángulo de manera que se aproxime al real en la mayor medida posible. El ángulo que se le ha dado ha sido de  $20^\circ$ .

En primer lugar, en el mismo plano en el que se había proyectado el perfil en planta del depósito, se ha dibujado el perfil en planta de la aleta con diferentes líneas en un *Sketch*. A continuación, en un plano

inclinado 20° sobre éste se ha proyectado dicho perfil.

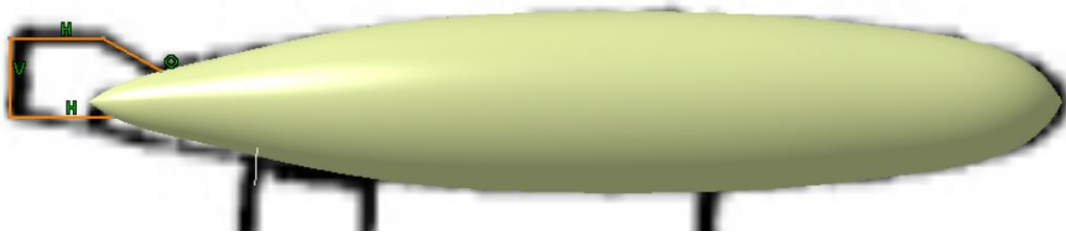


Figura 84. Perfil de la aleta en plano horizontal.

Con el comando *Stiffener* se le ha dado un espesor a la aleta de 30 mm, de esta manera crecerá hasta que se encuentre al sólido del depósito. Y con el comando *Edge Fillet* se le ha dado curvatura a las esquinas para que sean suaves.

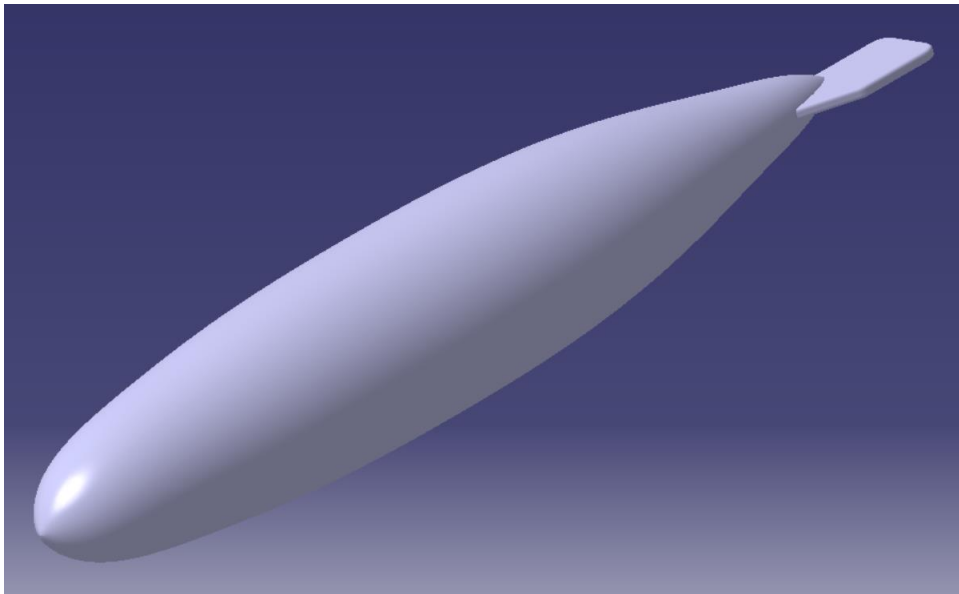


Figura 85. Aleta del depósito marginal.

El último paso ha sido darle un espesor a la superficie alar para lo que se plantearon varias alternativas hasta dar con la solución buena. En primer lugar, se intentó darle un espesor con el comando *Thick Surface* sin caer en la cuenta de que al ser el borde de salida una arista no sería posible ejecutarlo. En vista a que no era posible, se decidió cerrar la superficie con el comando *Closest Surface* y en dicha arista darle una curvatura para después hacerle un vaciado con un *Shell* dejando un espesor de 10 mm. Todo ello se intentó previamente a la creación de las costillas y largueros para que no se perdiesen con el *Shell*. Esta segunda opción tampoco resultó válida.

Finalmente, la opción definitiva ha sido crear, en los planos donde se encuentran las costillas 1 y 5, unos *Sketch* con los mismos perfiles del ala usados para las costillas, pero reducidos de manera que disten aproximadamente 10 mm de los iniciales, para lo cual se han escalado. Posteriormente, se han creado dos líneas, una que pase por los puntos más próximos al borde de ataque de estos perfiles y otra por los puntos más cercanos al borde de salida de estos perfiles. Con el comando *Multi-section Surface* se han tomado estos dos perfiles y las dos líneas anteriormente descritas como guías para crear una superficie. En la siguiente imagen se puede observar cómo es interior a la superficie inicial pues se pueden apreciar las costillas y largueros.



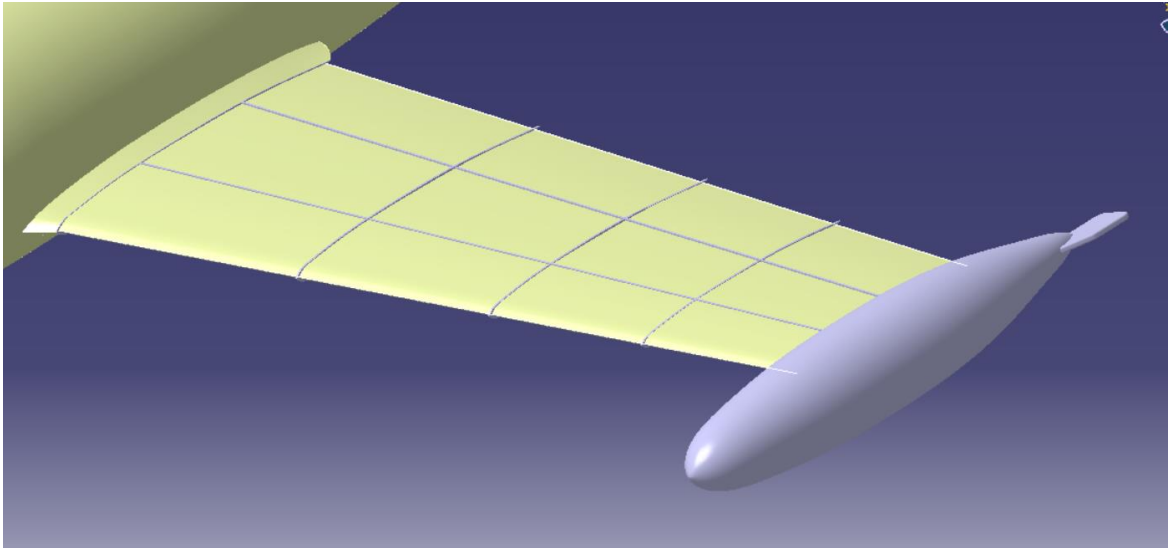


Figura 86. Superficie interior a la alar.

Estas dos superficies se han unido con un *Join* y se han cerrado con el comando *Closet Surface*. De esta manera, y cerrando la superficie del encastre se obtiene el ala completa.

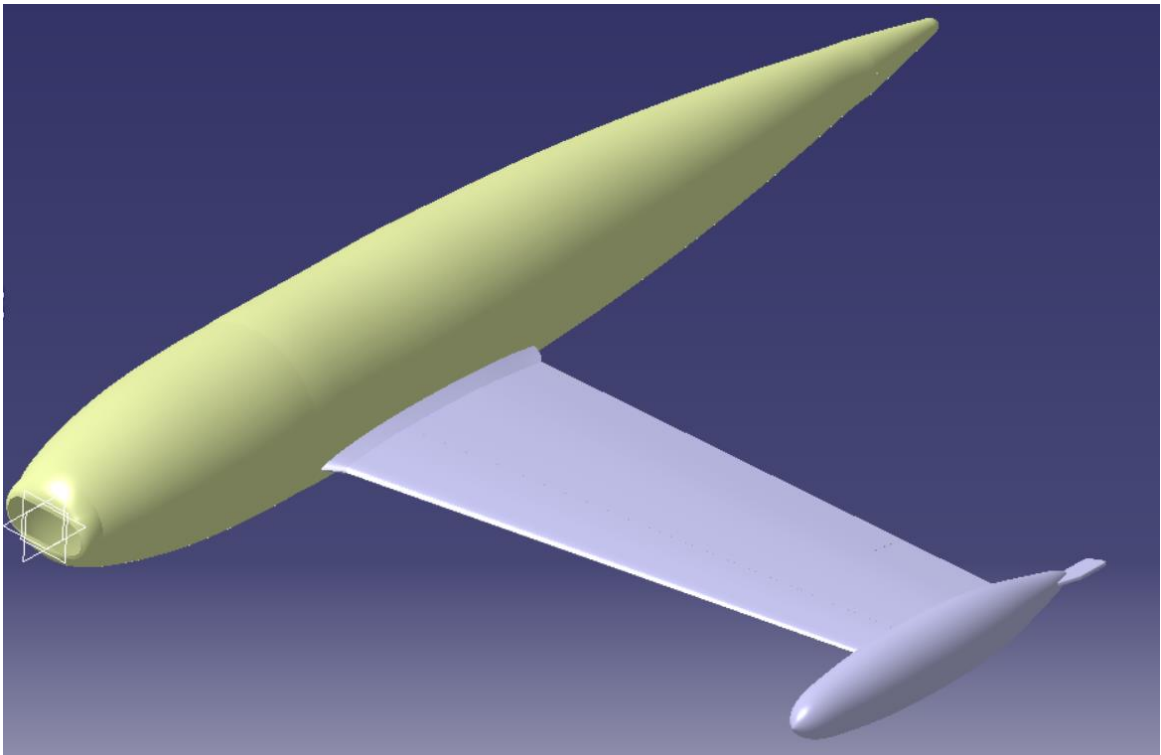


Figura 87. Ala derecha.

Con un *mirror* respecto al **plano XZ** se obtienen ambas alas.

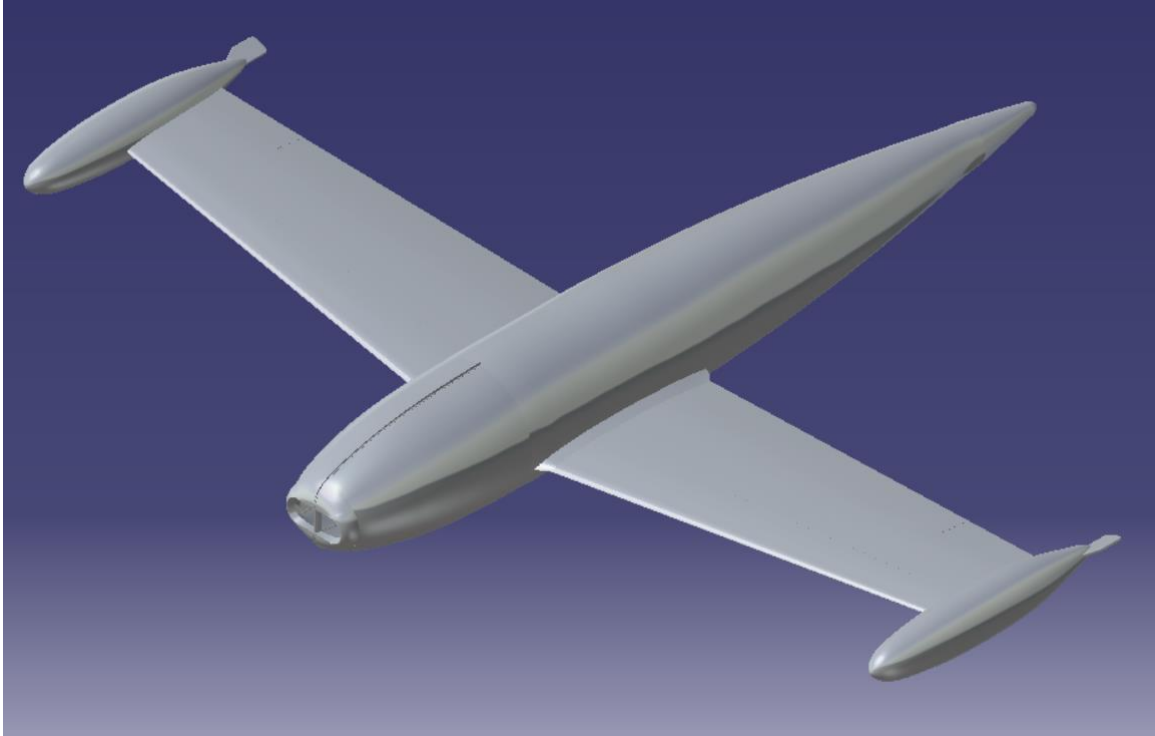


Figura 88. Fuselaje y alas I.

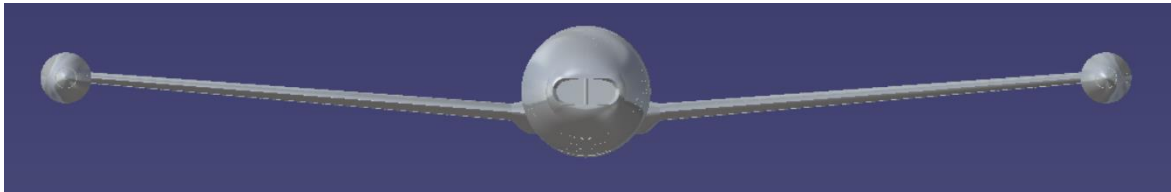


Figura 89. Fuselaje y alas II.

## 4.4 Estabilizador vertical.

El estabilizador vertical lo constituyen la deriva y el timón de profundidad, cuya forma en alzado es trapezoidal, con una superficie de  $2 \text{ m}^2$  y una envergadura de 1.585 m. La deriva en su unión al fuselaje por el lado del borde de ataque lleva una aleta dorsal que tiene por objeto aumentar la estabilidad direccional y que sirve a la vez de carena de unión.

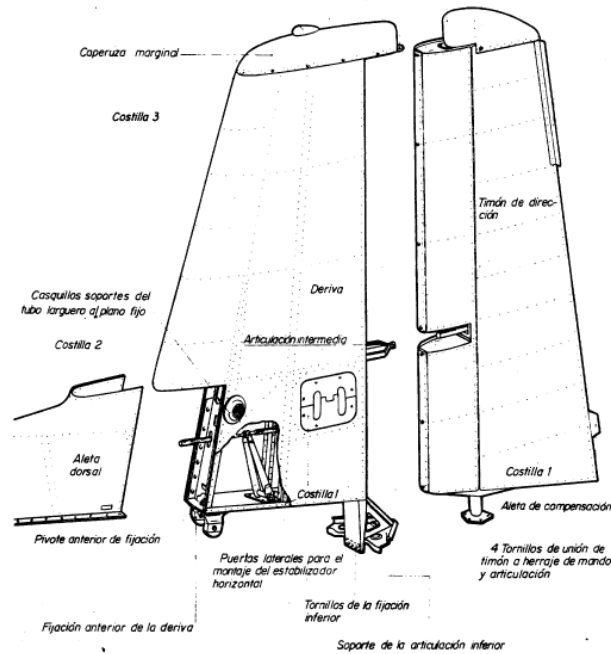


Figura 90. Deriva, timón de profundidad y aleta dorsal.

El modelado se ha hecho en una sola pieza incluyendo las costillas. En primer para obtener la forma en el perfil del estabilizador vertical se ha insertado una imagen en el módulo **Sketch Tracer** en el **plano XZ**.

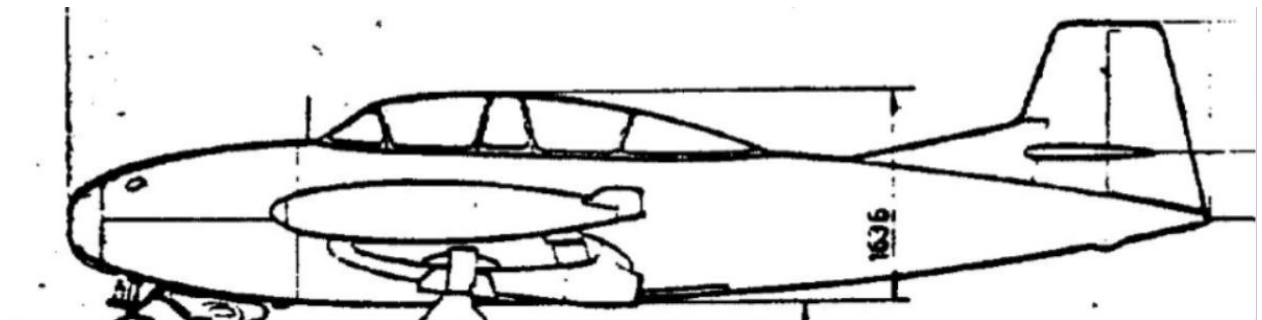


Figura 91. Forma en el perfil del estabilizador vertical.

Sobre dicha imagen se ha trazado la forma en el perfil del estabilizador por medio de líneas rectas y curvas.

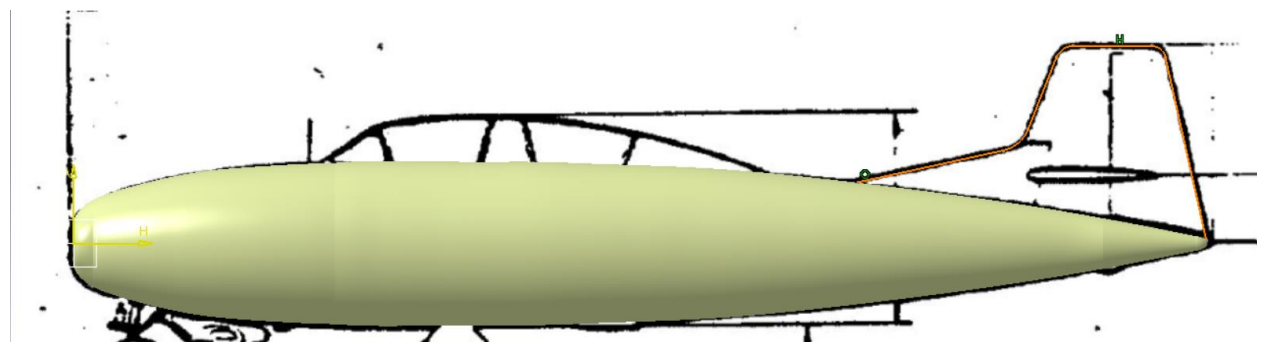


Figura 92. Sketcher de la forma en el perfil del estabilizador vertical.

Debido a que el estabilizador está formado por varias partes, las costillas se encuentran distribuidas en

posiciones diferentes qué parte. Se ha considerado que las costillas van desde el borde de ataque al de salida ya que se ha modelado en una sola pieza. Las posiciones que se han tomado han sido las de la parte central según la siguiente figura, es decir, las costillas 2, 2a, 2b y 3.

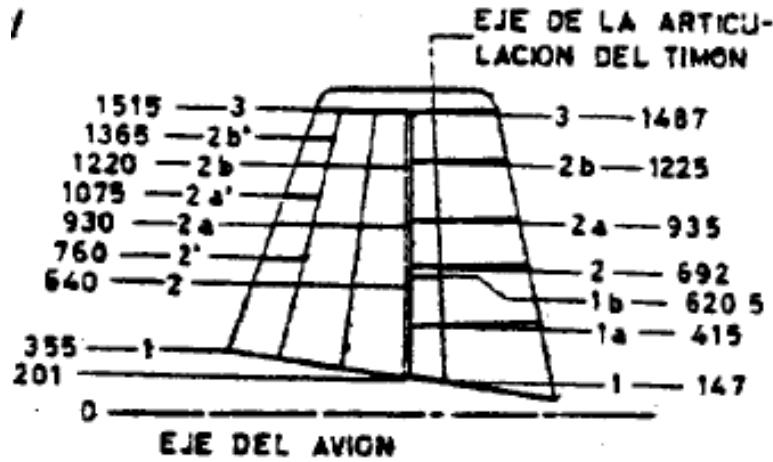


Figura 93. Posición de las costillas en estabilizador vertical.

Esta vez, se ha podido saber con exactitud el perfil NACA del estabilizador, lo que se ha usado para definir la superficie de este y la sección de las costillas. Este es el perfil NACA 0010-64.

**ESTABILIZADOR VERTICAL**

**Perfil (NACA). 0010-64**

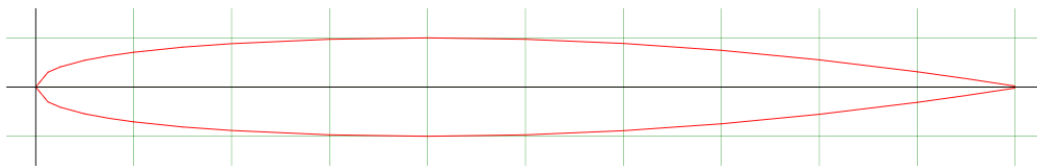


Figura 94. Perfil NACA del estabilizador vertical.

Por lo que, en primer lugar, se ha creado un plano paralelo al plano XY a una distancia de 1515 m y otro a una altura de 355 m. En estos planos se han trazado los perfiles NACA escalados uniformemente de manera que pasen en cada plano por los puntos de corte de estos planos con la guía de la forma en el perfil previamente definida. En la siguiente imagen se muestra una de ellas, en concreto la del plano de la costilla 3.

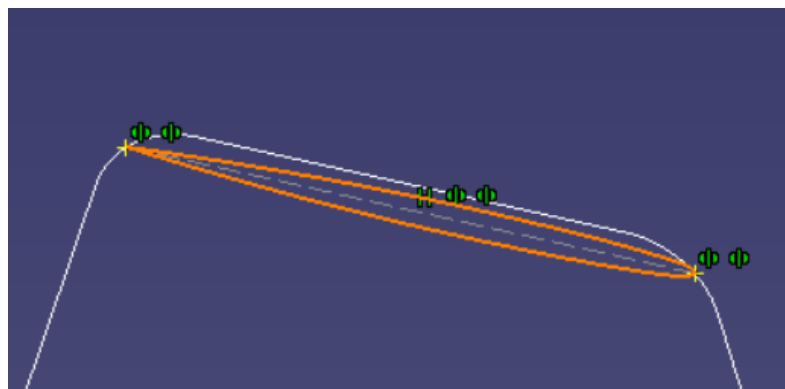


Figura 95. Sección de la costilla 3 del estabilizador vertical.

De esta manera, con el comando *Multi-section Surface* se ha creado la primera superficie que conforma el estabilizador, usando estos dos perfiles y como guía la forma en el perfil definida anteriormente, pero la parte comprendida entre ambas secciones.

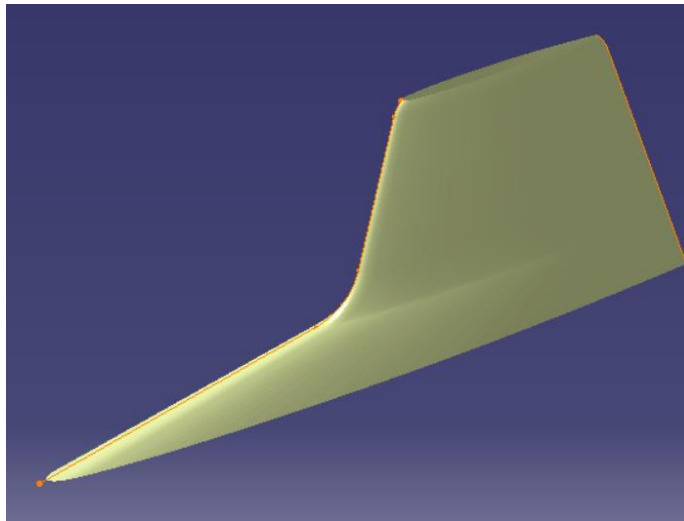


Figura 96. Superficie del estabilizador vertical I.

Para la parte superior de la superficie se ha hecho uso del comando *Fill* cerrando la sección con la parte de la forma del perfil superior a la costilla 3 y con medio perfil de la sección de la costilla 3. De esta manera quedaría:

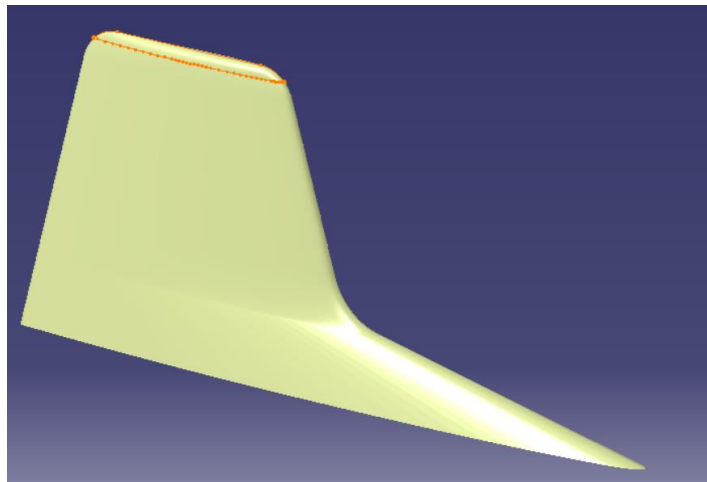


Figura 97. Superficie del estabilizador vertical II.

Para la superficie que hace de unión con el fuselaje se ha creado un plano paralelo al **plano XY** que pase por el punto final de la guía de la forma del perfil en el borde de salida. En este plano se ha trazado el mismo perfil NACA, de manera que queda completamente interior al fuselaje. Usando la forma del perfil en el borde de salida como guía y una línea que una ambos perfiles se ha empleado el comando *Multi-section Surface* para crear la superficie, siendo este el resultado:

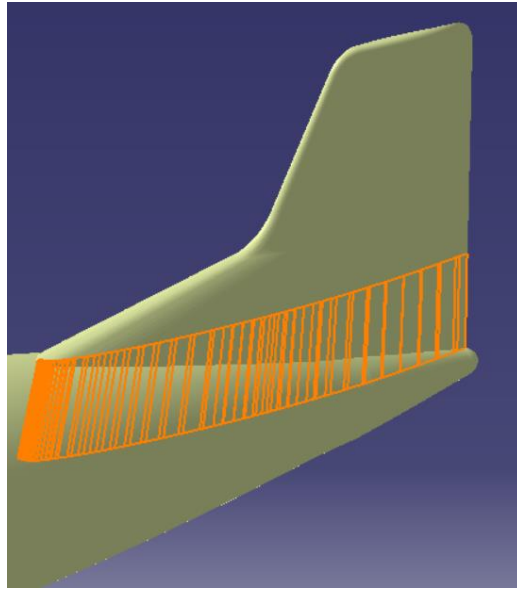


Figura 98. Superficie del estabilizador vertical III.

Para quedarnos con la parte que nos interesa se ha hecho uso del comando *Trim* de manera que nos quedamos con la parte exterior al fuselaje y la zona del fuselaje interior al estabilizador. De esta manera tendríamos la superficie completa.

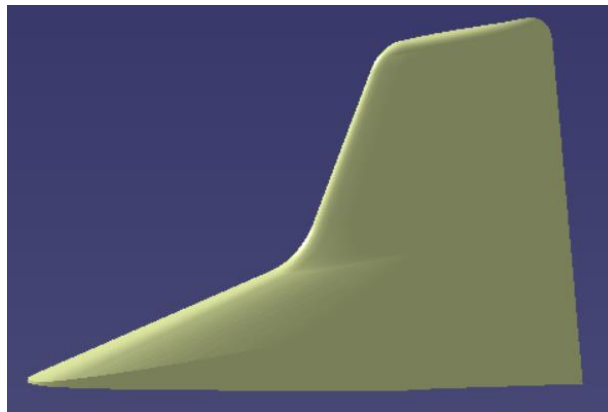


Figura 99. Superficie del estabilizador completa.

Para obtener las secciones de las costillas 2, 2a y 2b se han creado unos planos a la altura en la que se sitúan y sobre un *Sketch* en dichos planos se ha realizado la intersección con la superficie con el comando *Intersect 3D Elements*. Sobre esas 3 intersecciones y la costilla 3 previamente creada se ha empleado el comando *Fill*, de manera que se obtiene las secciones de las tres costillas. Y con el comando *Thick Surface* se les ha dado un espesor de 10 mm a cada una.

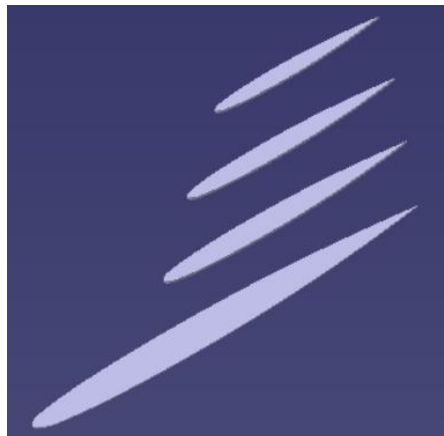


Figura 100. Costillas del estabilizador vertical.

Para darle un espesor a la superficie del estabilizador se ha procedido de una manera análoga a lo que se hizo con el ala. Para la superficie central (figura 92), se han creado en los planos donde se encuentran las secciones que lo delimitan dos *sketches* con los perfiles NACA en cada uno, pero reducidos, de manera que disten aproximadamente 10 mm del perfil que lo rodea. Con esto y un par de guías, una definida por los puntos más cercanos al borde de ataque de ambos perfiles y otra por los puntos más cercanos al borde de salida de ambos perfiles, se ha hecho uso de comando *Multi-section Surface*. Se puede observar cómo esta superficie es interior a la inicial que la engloba al poder verse las costillas.

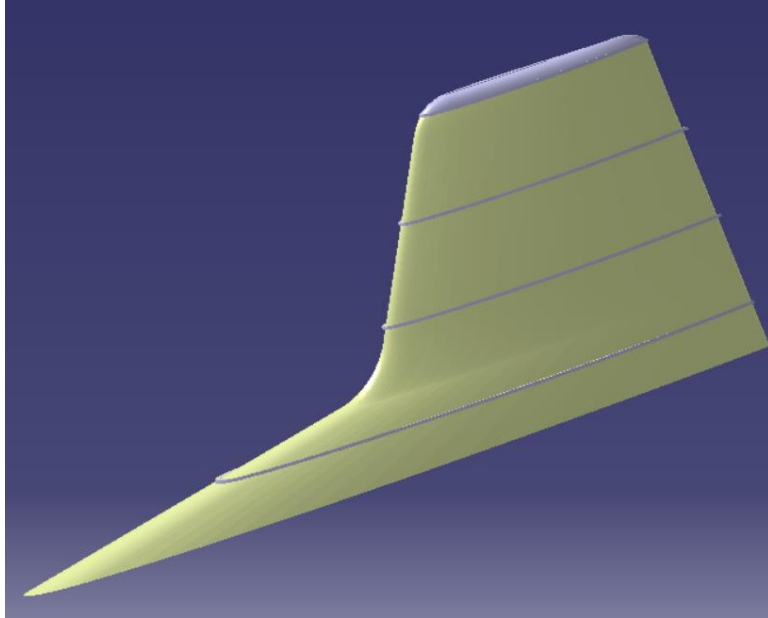


Figura 101. Superficie interior del estabilizador vertical I.

De esta manera se aplica el comando *Closet Surface* en un *Join* de las dos superficies centrales y se obtiene el espesor.

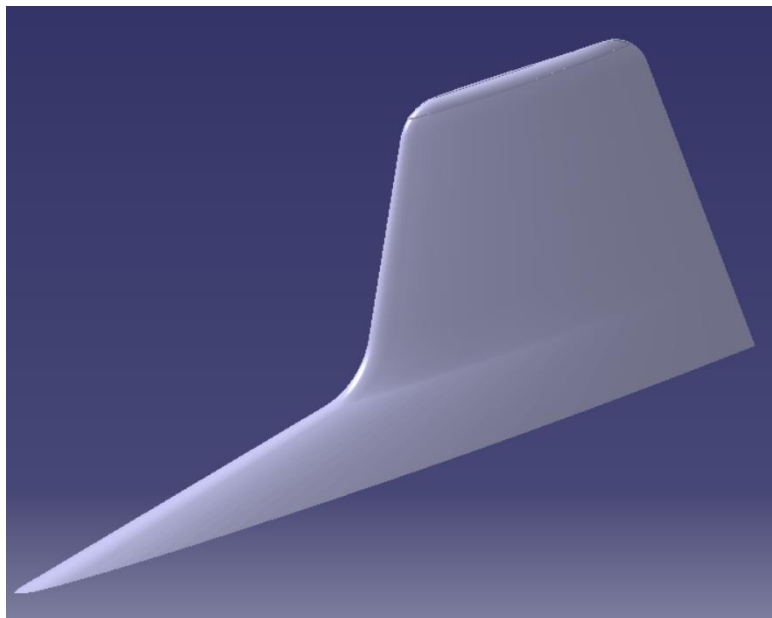


Figura 102. Espesor de la superficie del estabilizador vertical I.

Se ha procedido de la misma manera para la superficie que hace de unión con el fuselaje, de manera que con el comando *Trim* nos quedamos con la superficie que nos interesa entre el trimado anterior y la nueva superficie interior creada. A este *Trim* se le aplica un *Closet Surface*, y así obtenemos el estabilizador vertical completo.

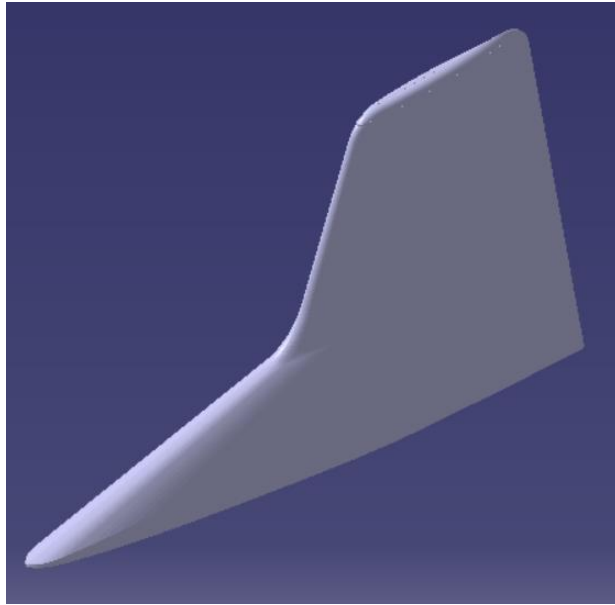


Figura 103. Estabilizador vertical completo.

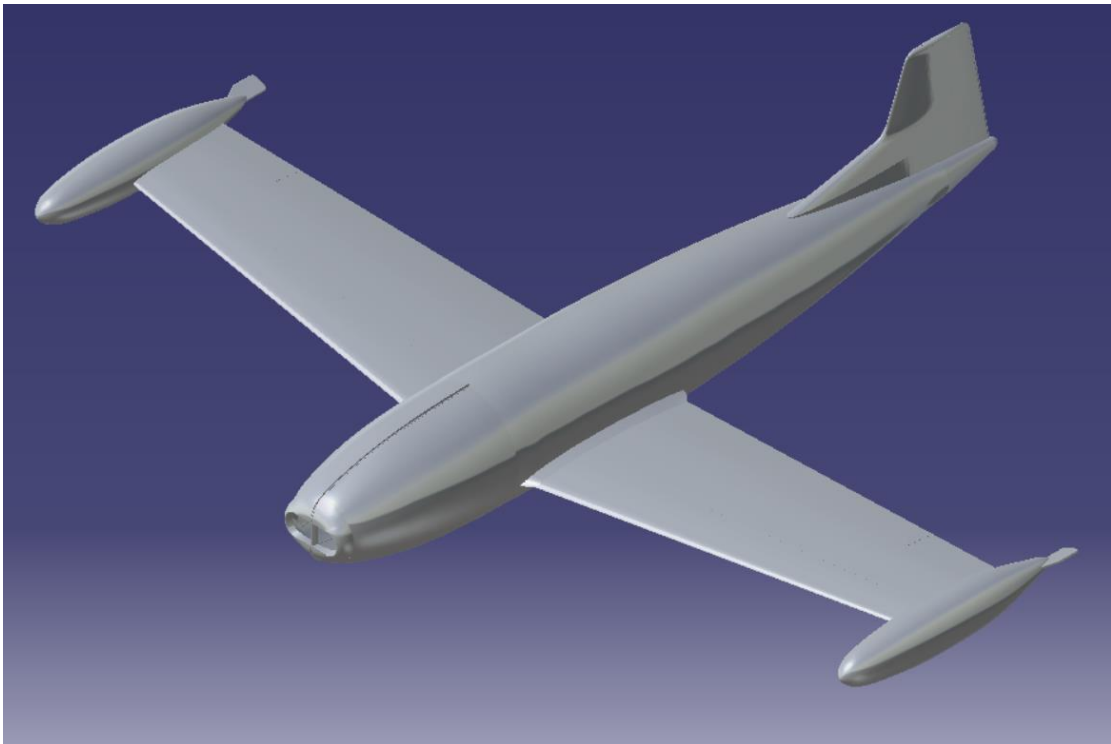


Figura 104. Fuselaje, alas y estabilizador vertical.



## 4.5 Estabilizador horizontal.

El estabilizador horizontal del HA-200 lo componen el plano fijo horizontal y el timón de profundidad que con el estabilizador vertical forman el empenaje del avión. La forma en planta dicho estabilizador es trapezoidal con una superficie total de 3.14 m<sup>2</sup> y una envergadura de 3.6 m.

El semiplano fijo horizontal puede colocarse indistintamente en el lado derecho o en el izquierdo. Va montado en el plano fijo vertical y situado a una distancia de 525 mm del eje del fuselaje.

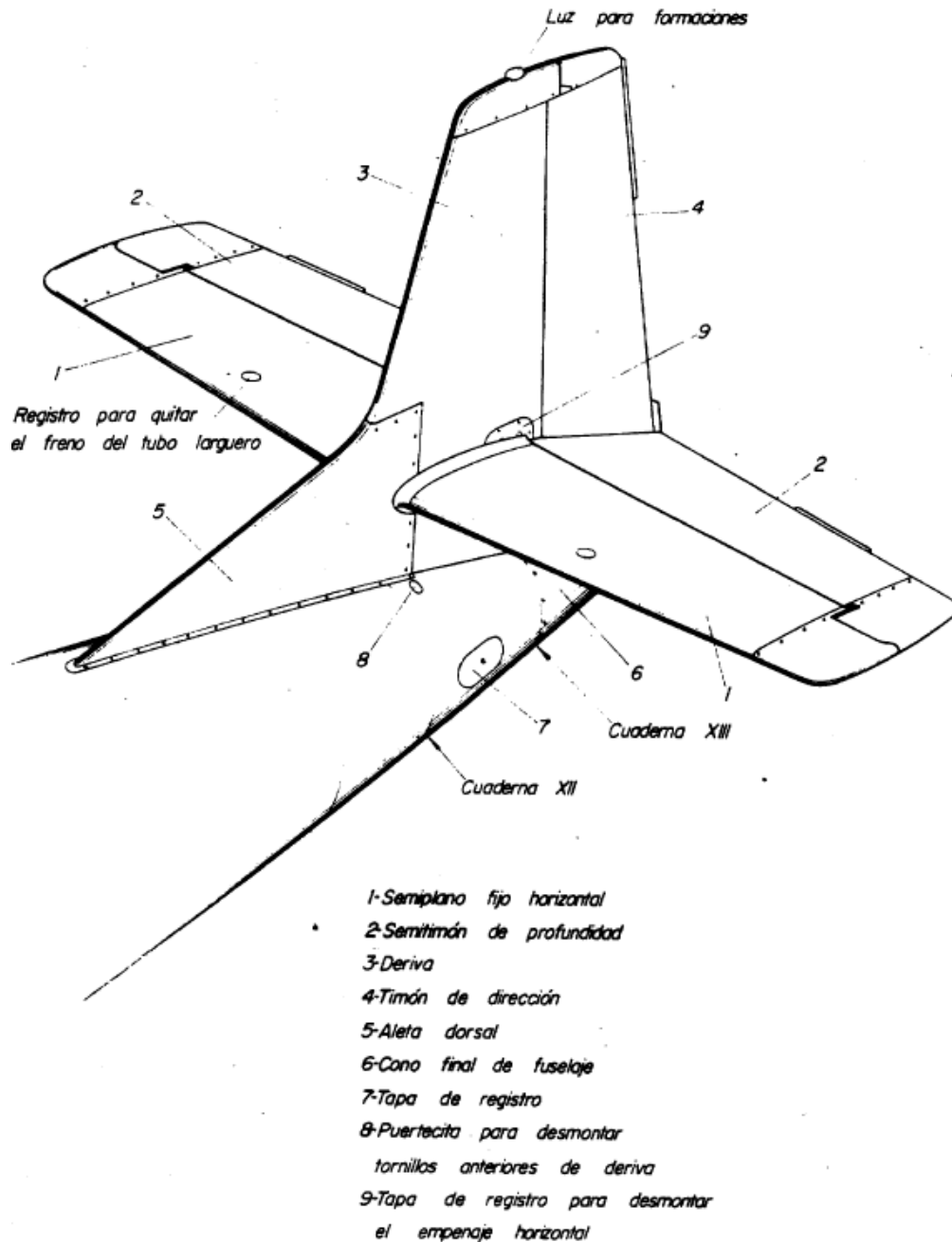


Figura 105. Empenaje del avión.

El modelado del estabilizador horizontal se ha hecho de una sola pieza al igual que con el estabilizador vertical. Para ello, en primer lugar, a un plano situado a 525 mm de altura respecto al eje del fuselaje se ha dibujado la forma en planta del estabilizador. Se ha trazado sobre la imagen ya insertada para el diseño del fuselaje en el **plano XY**.

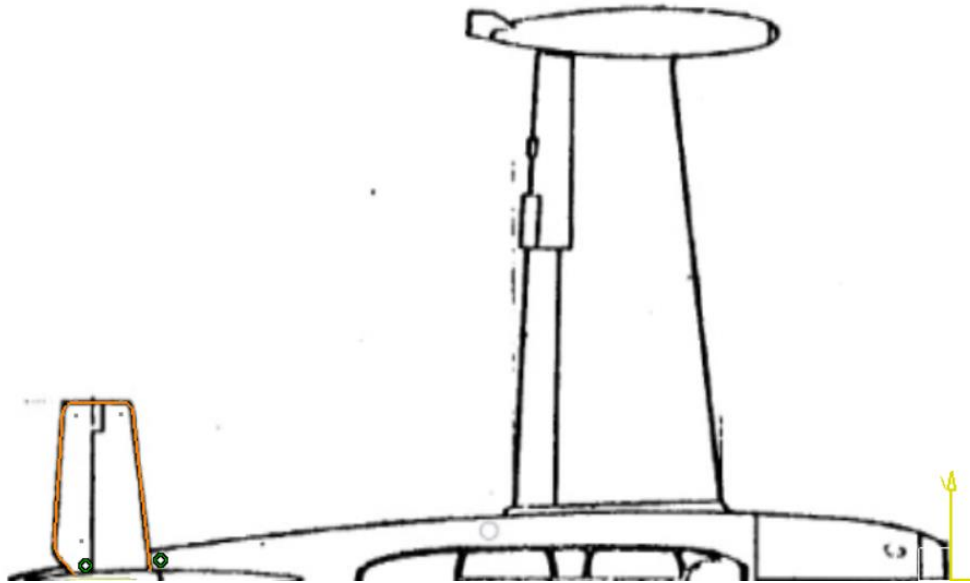


Figura 106. Forma en planta del estabilizador horizontal.

El perfil NACA del estabilizador horizontal es el mismo que el del vertical, NACA 0010-64. Se ha usado para definir la superficie a la vez que la sección de las costillas.

La sección de la costilla se ha definido desde el borde de ataque al de salida, a pesar de llevar incorporado el timón de profundidad con su correspondiente eje de articulación por lo que mecánicamente no sería posible. Eso se llevará a cabo en una futura línea de desarrollo.

La posición donde se sitúa las costillas 1a, 2, 2a, 2b, 3 y 4 se especifica en la siguiente imagen, todo referido al eje del avión.

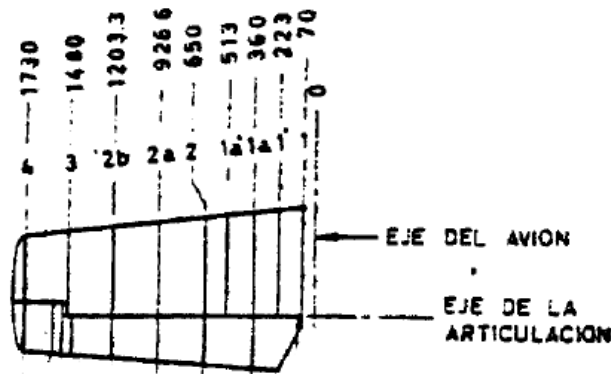


Figura 107. Posición de las costillas del estabilizador vertical.

El proceso ha sido completamente análogo al del estabilizador vertical. En primer lugar, se han definido los perfiles de las costillas 1a y 4. Posteriormente se han definido las guías usando la misma forma en planta pero que comienza y acabe en ambas secciones. De esta forma, con el comando *Multi-section Surface* se obtiene a la superficie central del estabilizador.

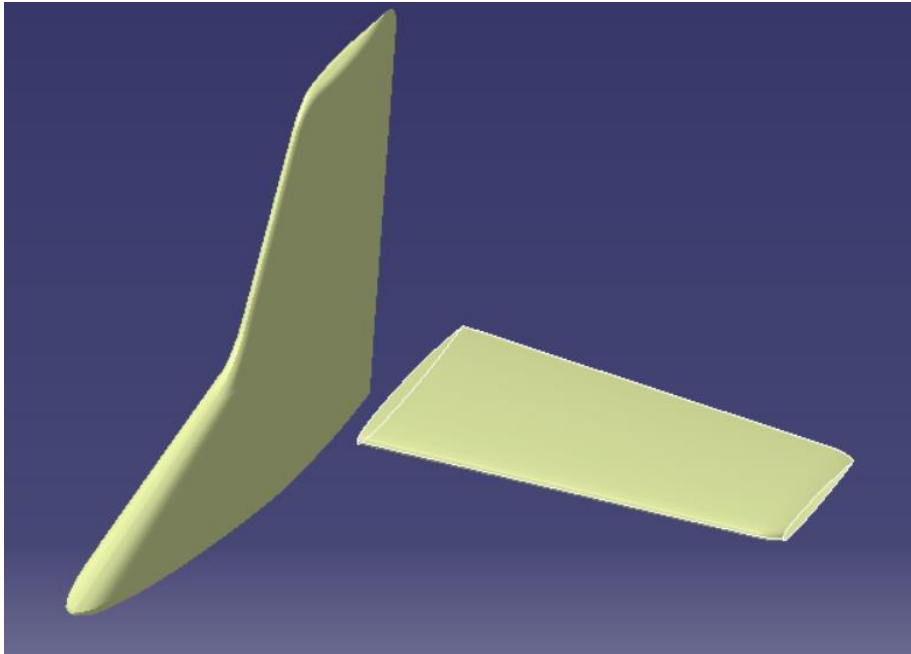


Figura 108. Superficie del estabilizador horizontal I.

Para la superficie que hace de unión con el estabilizador vertical se ha seguido el mismo procedimiento. Se ha dibujado en un plano paralelo al **plano XZ** que pase por el punto que une la forma en planta del estabilizador horizontal con el estabilizador vertical. De esta manera, con este perfil y el 1a y usando como guía la parte de la forma en planta comprendida entre estas dos secciones se ha usado el comando *Multi-Section Surface* para crear la superficie. Para quedarnos con la parte que nos interesa se ha usado el comando *Trim*, quedando:

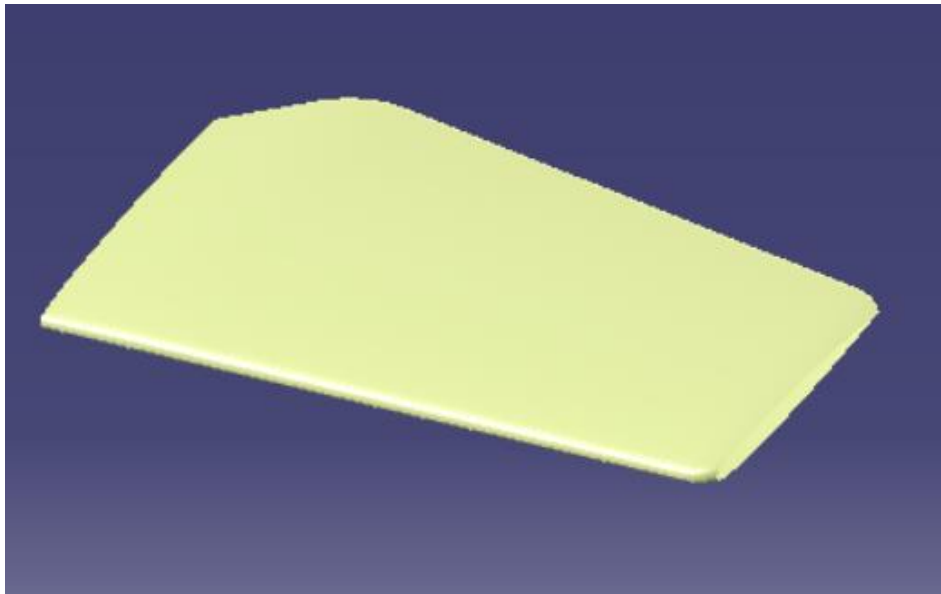


Figura 109. Superficie del estabilizador horizontal II.

Para cerrar dicha superficie por la parte más alejada al eje del fuselaje se ha usado el comando *Sweep* teniendo en cuenta como perfil y guía media sección de la costilla 4 y la forma en planta comprendida desde dicha costilla al exterior. De esta manera, la superficie del estabilizador quedaría:

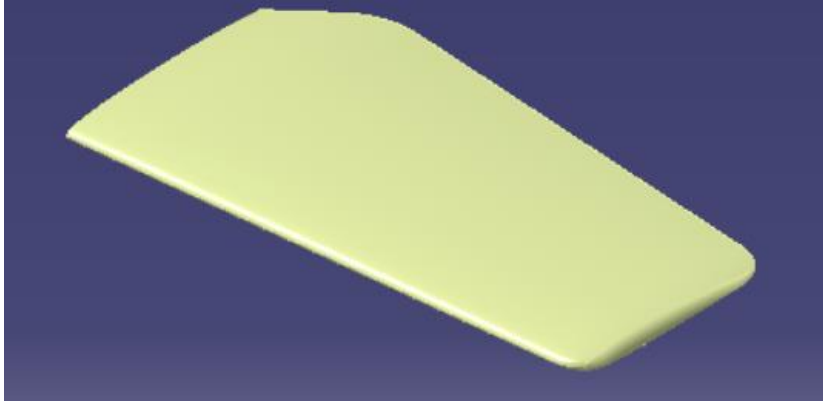


Figura 110. Superficie del estabilizador horizontal completa.

Para obtener las secciones de las costillas 2, 2a, 2b y 3 se han creado unos planos a la distancia al eje del fuselaje en la que se sitúan y sobre un *Sketch* en dichos planos se ha realizado la intersección con la superficie con el comando *Intersect 3D Elements*. Sobre esas 4 intersecciones y las costillas 1a y 4 previamente creadas se ha empleado el comando *Fill*, de manera que se obtiene las secciones de las 6 costillas. Y con el comando *Thick Surface* se les ha dado un espesor de 10 mm a cada una.

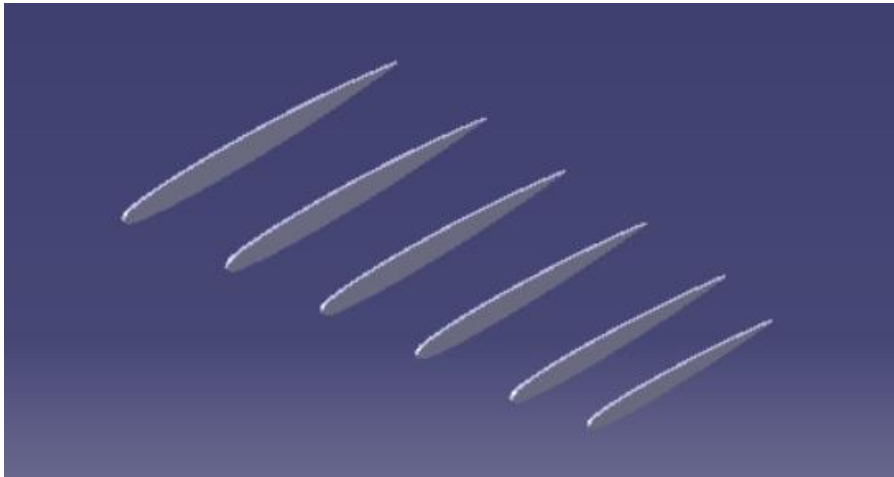


Figura 111. Costillas del estabilizador horizontal.

Para el espesor de la superficie del estabilizador horizontal se ha realizado lo mismo que para el vertical. De manera que se realizan dos *Multi-Section Surface* y resultan dos superficies interiores a las costillas como se puede apreciar en la siguiente imagen:

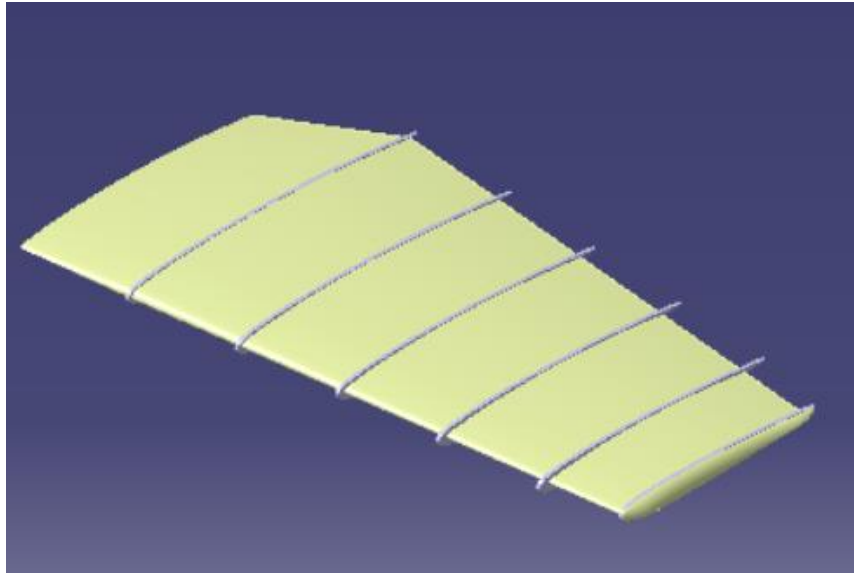


Figura 112. Superficie interior del estabilizador horizontal.

Por último, con el comando *Join* se han unido la superficie del estabilizador horizontal I y la interior a ésta y se le ha dado solidez con el comando *Closet Surface*. Para la zona más pegada al encastre, se ha hecho un *Trim* entre la superficie interior y el trimado que se ha comentado previamente. Volviendo a aplicar el comando *Closet Surface*, se ha obtenido el estabilizador horizontal completo.

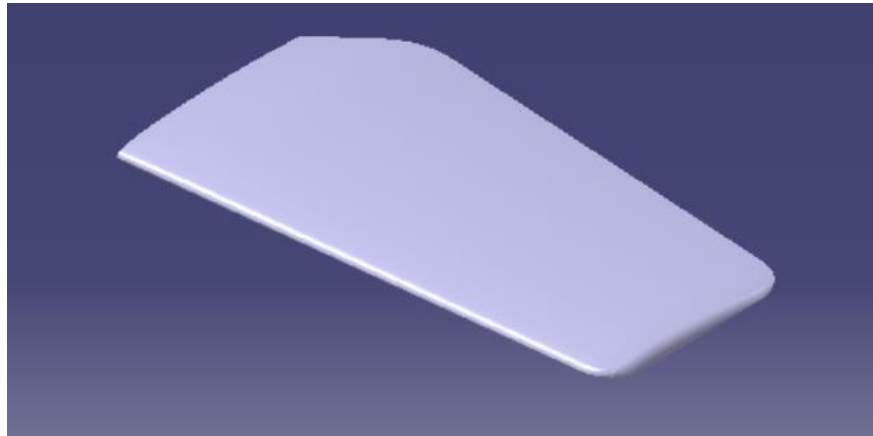


Figura 113. Estabilizador horizontal.

Para obtener su simétrico se ha aplicado el comando *Mirror* con respecto al **plano XZ**. De esta manera, el resultado final ha sido:

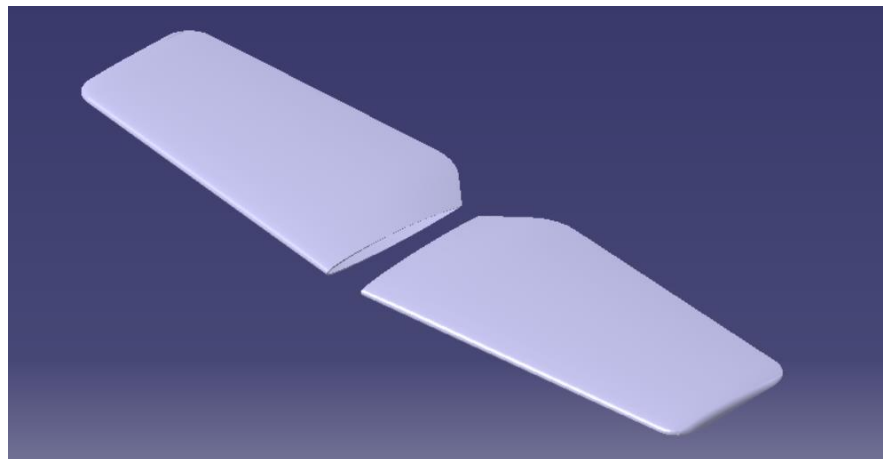


Figura 114. Estabilizador horizontal completo.

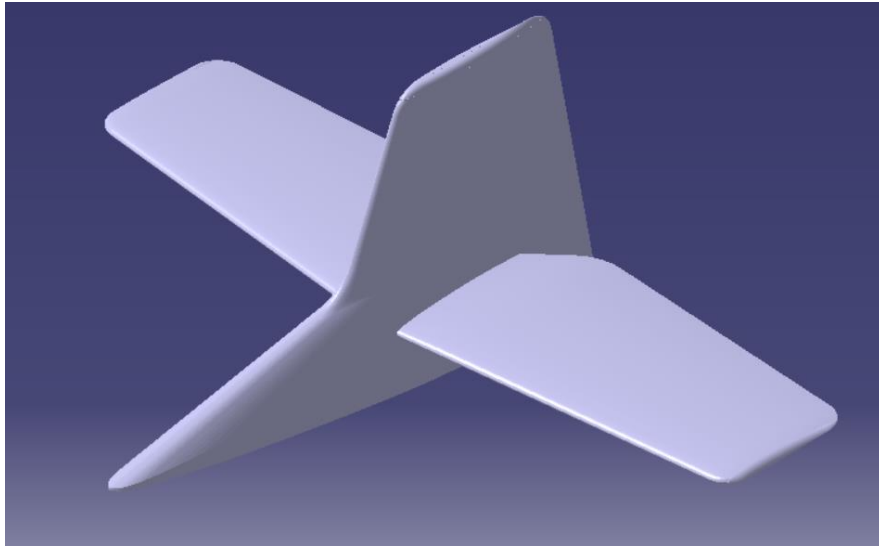


Figura 115. Estabilizador vertical y horizontal.

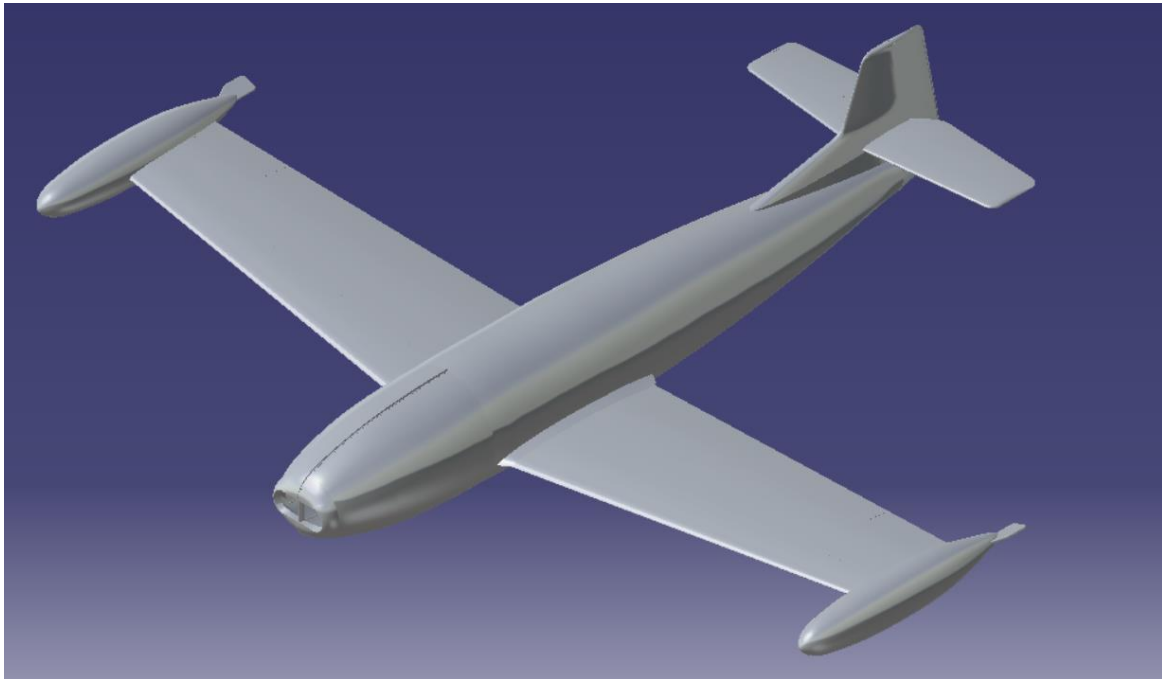


Figura 116. Fuselaje, alas, estabilizador vertical y horizontal.

## 4.6 Cabina

La cabina es biplaza en tandem. Esta hermetizada para presurización y se cierra por una cúpula de material transparente. Está asegurada la estanqueidad del cierre de las puertas por medio de una junta inflable. Está formada por cinco partes, de las cuales dos de estas corresponden con las puertas de acceso a las cabinas. El objetivo principal de la cúpula es constituir una protección, para los pilotos, de gran visibilidad y está fabricada con plancha de material plástico transparente montadas en un robusto armazón metálico.

Longitudinalmente y a ambos lados de la cabina hay una tubería con orificios que sirve para desempañar los cristales mediante la introducción de aire caliente si así se desea.

El diseño de la cabina se ha realizado con diferentes **Part**. El motivo principal ha sido para poder distinguir entre la parte transparente y la metálica y así poder aplicarle materiales diferentes a la cúpula y el armazón metálico respectivamente.

### 4.6.1 Superficie de la cabina

Para el diseño de la superficie, se ha trazado en primer lugar un *spline* en el **plano XY** referencia de la forma en planta ayudándonos de la vista en planta del avión.

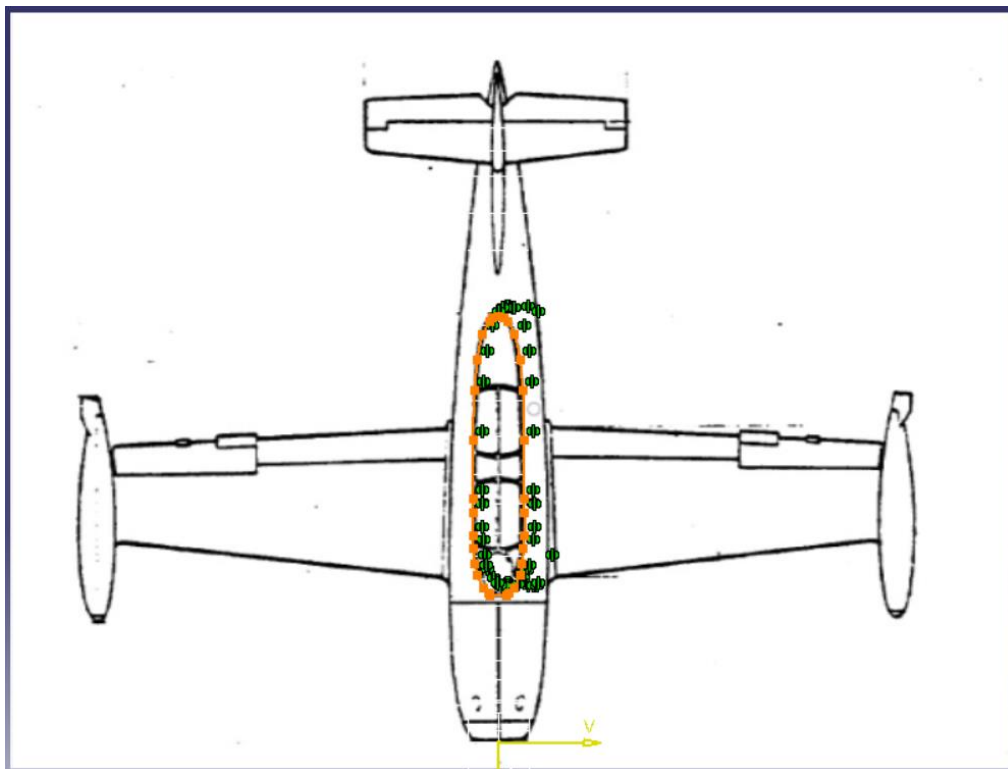


Figura 117. Forma en planta de la cabina.

A continuación, con el comando *Extrude* se ha extruido un plano en dirección vertical y se ha realizado la intersección con el fuselaje con el comando *Intersect*.

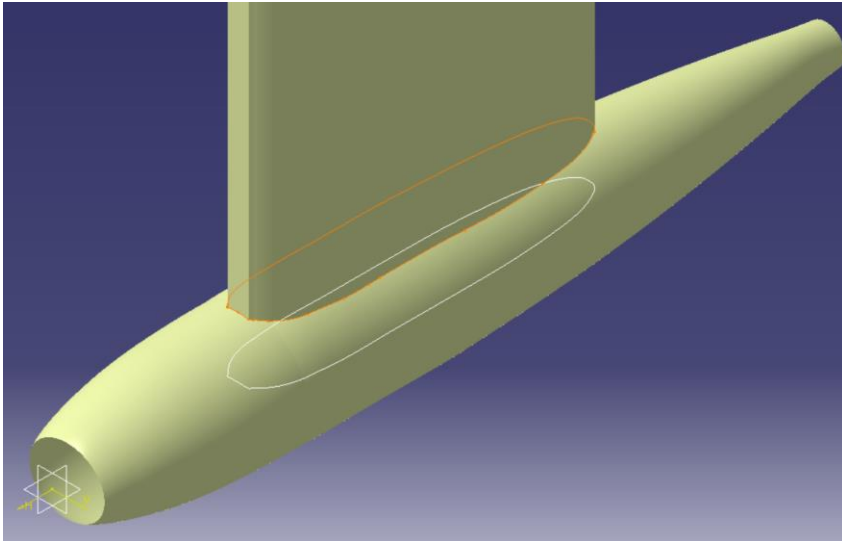


Figura 118. Forma de la cabina sobre el fuselaje.

Para trazar la forma en perfil de la superficie de la cabina se ha hecho uso de la imagen que ya se insertó para el diseño del fuselaje. Sobre ella se ha trazado un *Spline*.

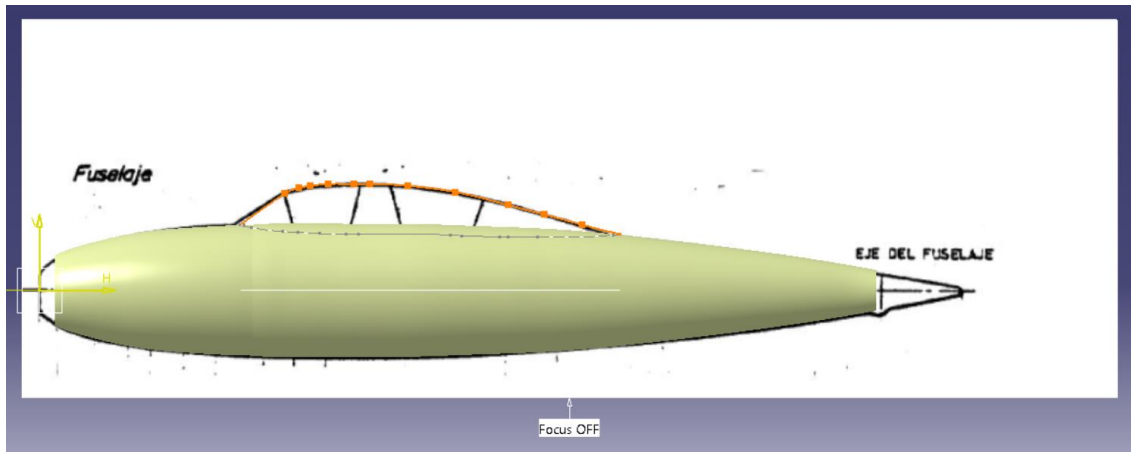


Figura 119. Forma en el perfil de la cabina.

Se puede observar una parte recta del *Spline*. Esto es debido a que la parte delantera está formada por una sección elíptica en un plano recto inclinado, es decir, sin curvatura.



Figura 120. Sección elíptica de la cabina.



Se sabe que la sección de la cabina es un arco de circunferencia. Nos hemos ayudado de los planos creados para posicionar las cuadernas en el fuselaje. De todos ellos, se han utilizado los que cortan a la cabina, en concreto los planos de la cuaderna IIa a la VIII.

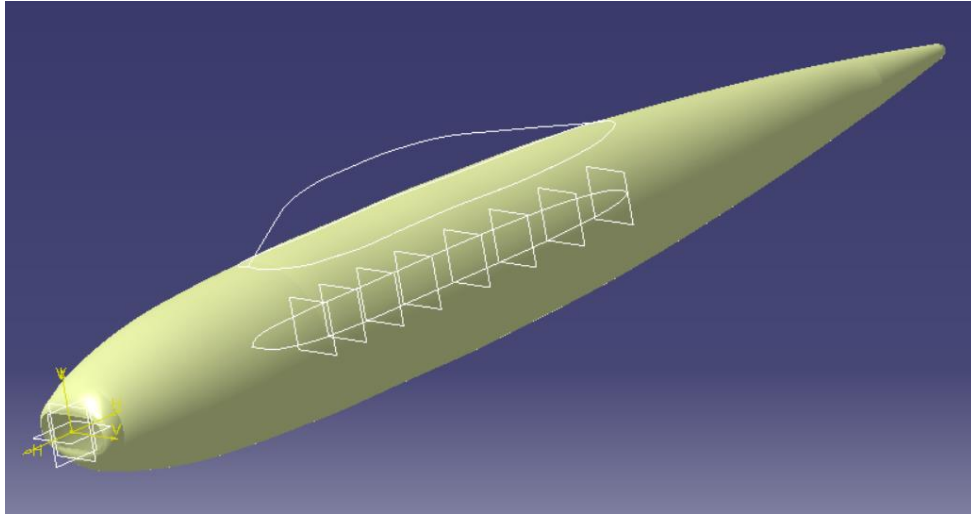


Figura 121. Planos de referencia para definir las secciones de la cabina.

En cada uno de esos planos se ha definido una circunferencia a través de tres puntos, que corresponden con los puntos de corte del plano con la forma en planta y en perfil de la superficie de la cabina.

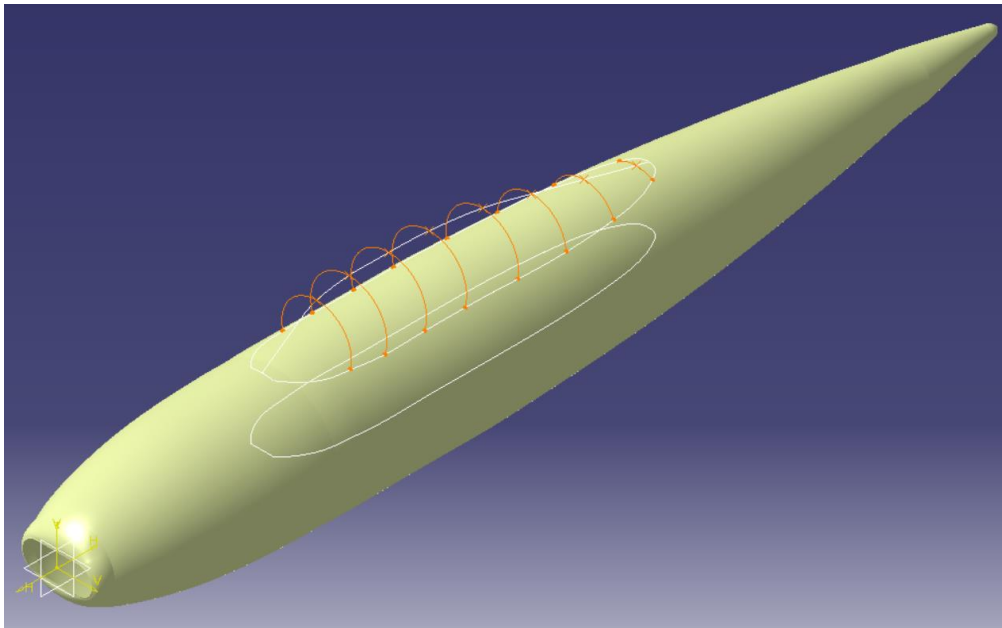


Figura 122. Secciones de la cabina.

Para obtener la superficie completa se han definido previamente varias superficies con diferentes herramientas. La primera, la parte central y la principal, se ha creado con un *Multi-section Surface*, tomando como perfiles todos los arcos de circunferencia previamente definidos y como guías, la forma en planta de la cabina comprendida entre la primera y la última sección.

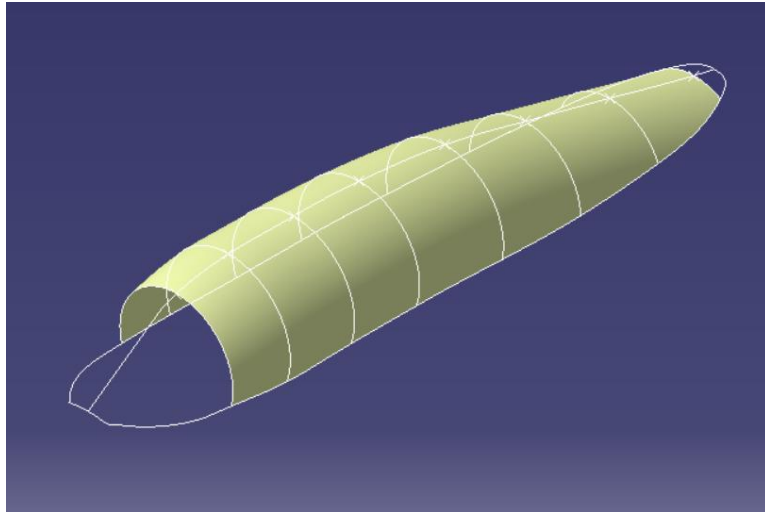


Figura 123. Superficie de la cabina I.

Para la parte trasera se ha usado el comando *Sweep* tomando como perfil el arco de circunferencia más alejado del origen y como guía la forma en planta del perfil que queda detrás de dicha sección.

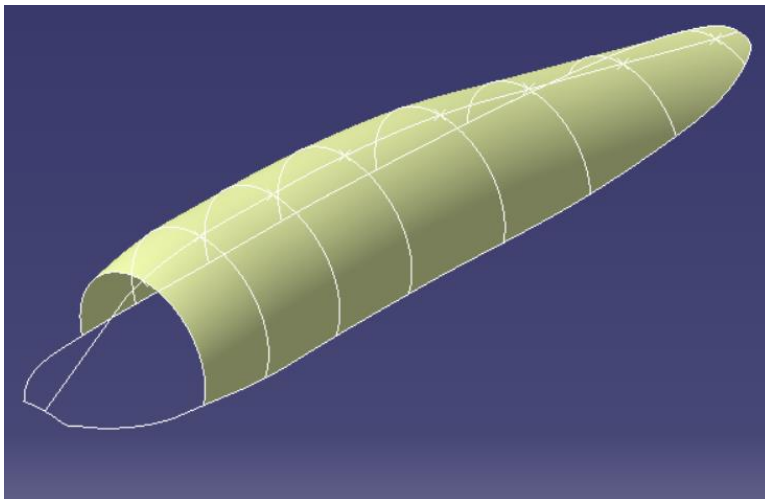


Figura 124. Superficie de la cabina II.

Antes de comenzar con la parte delantera de la superficie, hay una parte curva comprendida entre el plano inclinado y el primer arco de circunferencia creado. Para ello se ha vuelto a hacer uso del comando *Multi-Section Surface*, obteniéndose el siguiente resultado.

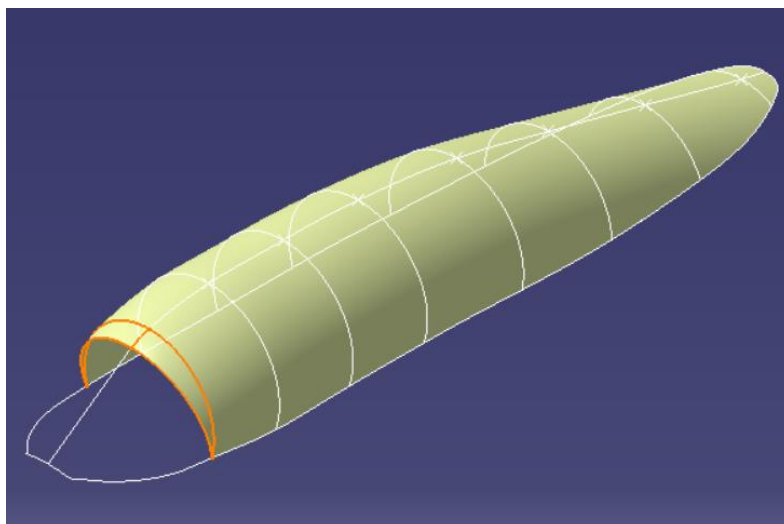


Figura 125. Superficie de la cabina III.

Para esa sección elíptica inclinada de la cabina se ha creado un plano inclinado el ángulo de dicha superficie. Posteriormente se ha trazado un *Spline* de la forma en planta de la elipse y mediante un *Extrude* se ha realizado la intersección con el plano inclinado. Mediante un *Fill* en dicha intersección se ha creado la superficie.

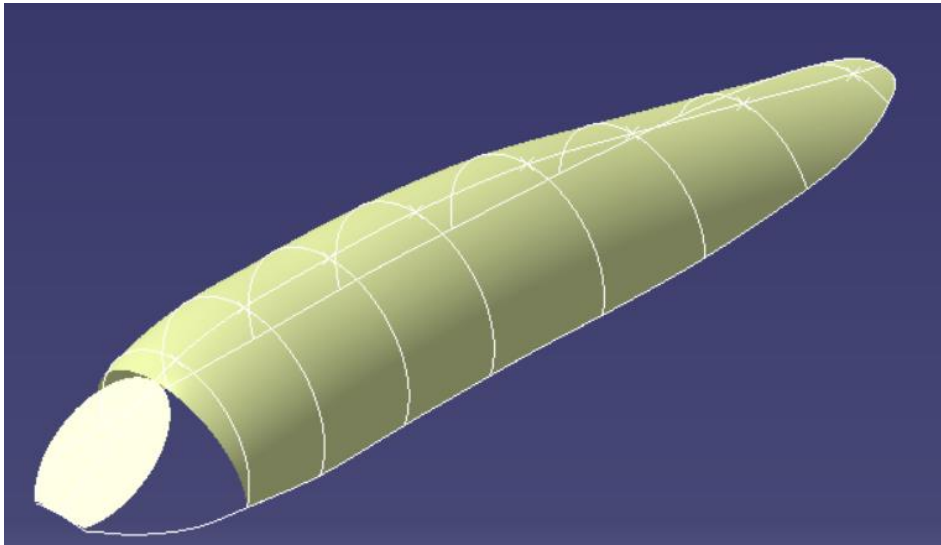


Figura 126. Superficie de la cabina IV.

Para que dicha superficie inclinada corte al fuselaje en la parte más delantera se ha rellenado ese hueco con un plano vertical, por el que después se verá que pasa el refuerzo metálico.

Para los dos huecos que son simétricos respecto al **plano XZ** se ha aplicado el comando *Fill*. Se han tomado como curvas delimitantes las que cierran dicha superficie. De esta manera, la superficie completa queda de la forma:

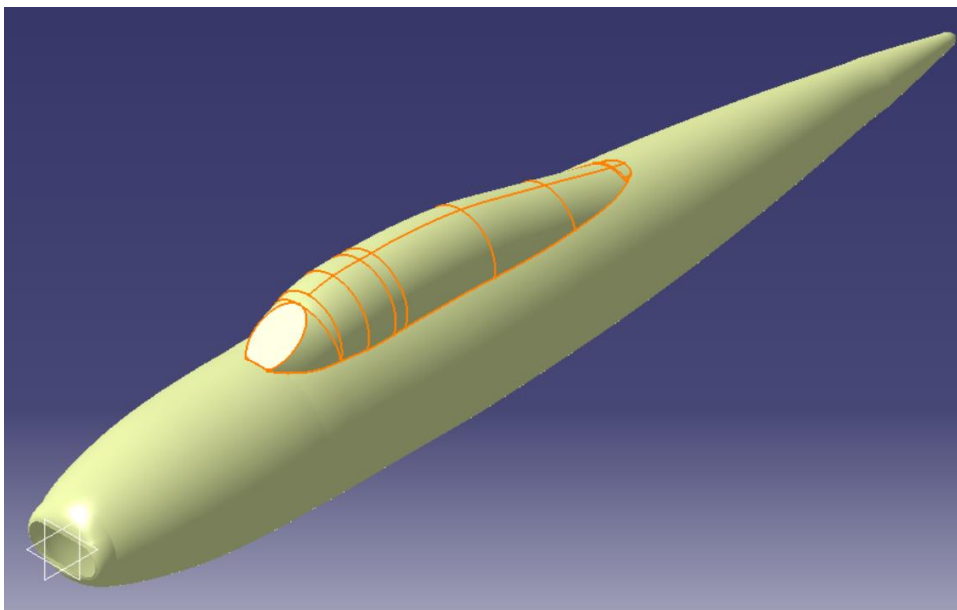


Figura 127. Superficie de la cabina completa.

Las cinco partes en las que se divide la cabina que se han mencionado, están claramente distinguidas por el armazón metálico que cubre la cúpula. Para poder modelar las diferentes partes, se han trazado unas líneas el **plano XZ** por donde pasa dicho armazón como se muestra en la siguiente figura.



Figura 128. Cinco partes de la cabina.

Sobre dichas líneas se ha aplicado el comando *Extrude* creando planos en dirección Y. Y se ha realizado la intersección de dichos planos con la cabina para obtener las curvas de división.

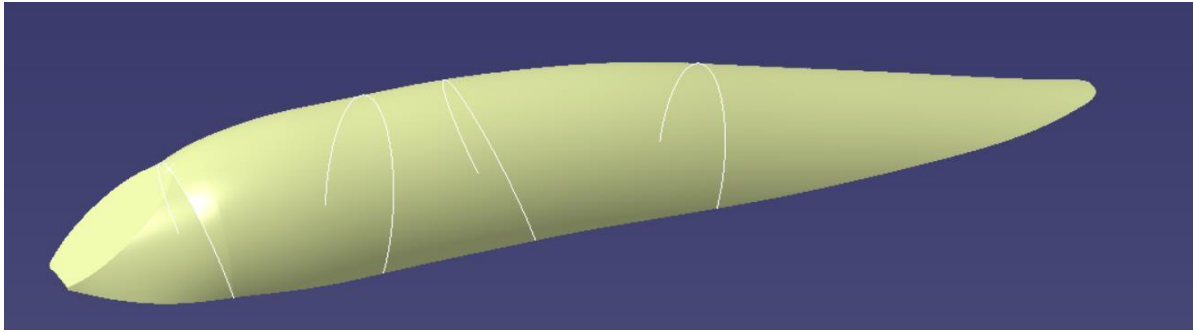


Figura 129. Curvas de división de la cabina.

#### 4.6.2 Cúpula de la cabina

Para darle un espesor a la cúpula transparente se ha dividido en cinco partes. Dos de ellas corresponden con las puertas de la cabina. Otra parte central, en medio de las dos puertas. Una tercera posterior a la segunda puerta y una anterior a la primera puerta donde se encuentra la sección elíptica.

Para la parte comprendida entre ambas puertas se usó el comando *Split* con el elemento a cortar la superficie ya creada y con elementos cortantes las curvas que la delimitan. A continuación, se le ha dado un espesor de con el comando *Thick Surface*.

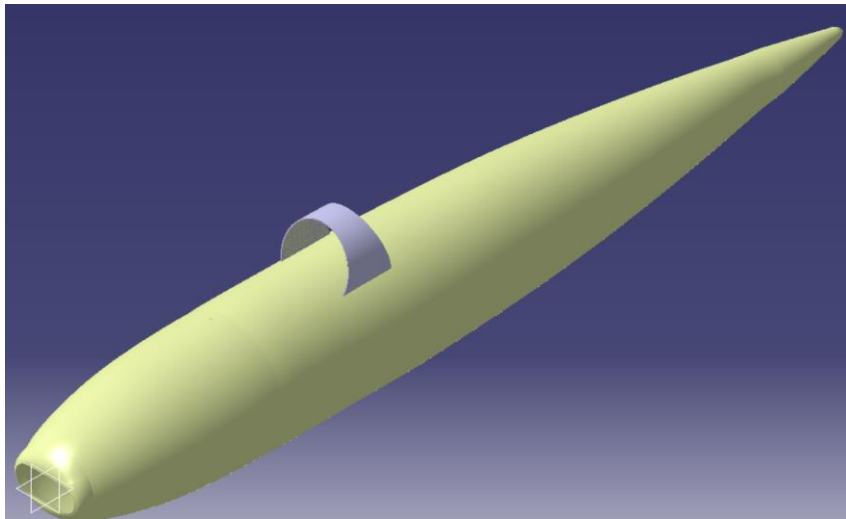


Figura 130. Parte de la cúpula comprendida entre las dos puertas.

El mismo procedimiento se ha seguido para la parte posterior a la segunda puerta. Al ser la parte delantera un conjunto de superficies independientes no ha sido necesario aplicar el comando *Split*.

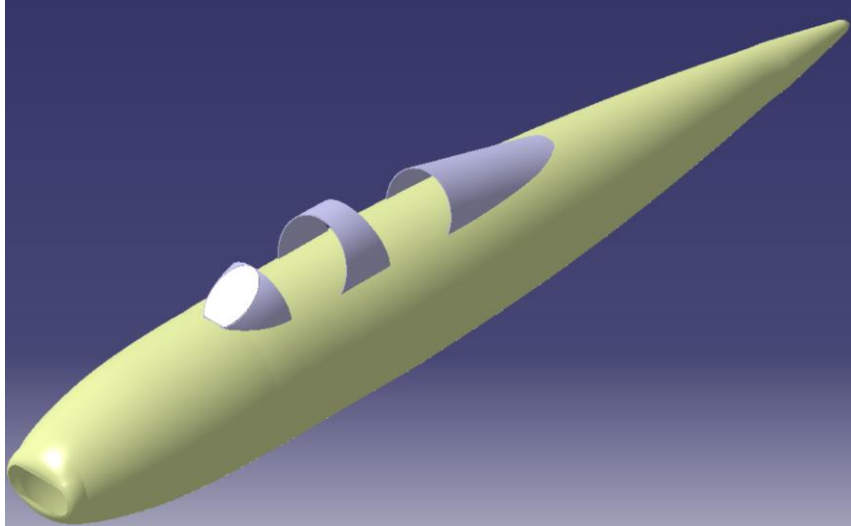


Figura 131. Cúpula fija.

Para las puertas de la cabina el proceso de definición ha sido el mismo. De esta manera el resultado de la cúpula completa es el siguiente.

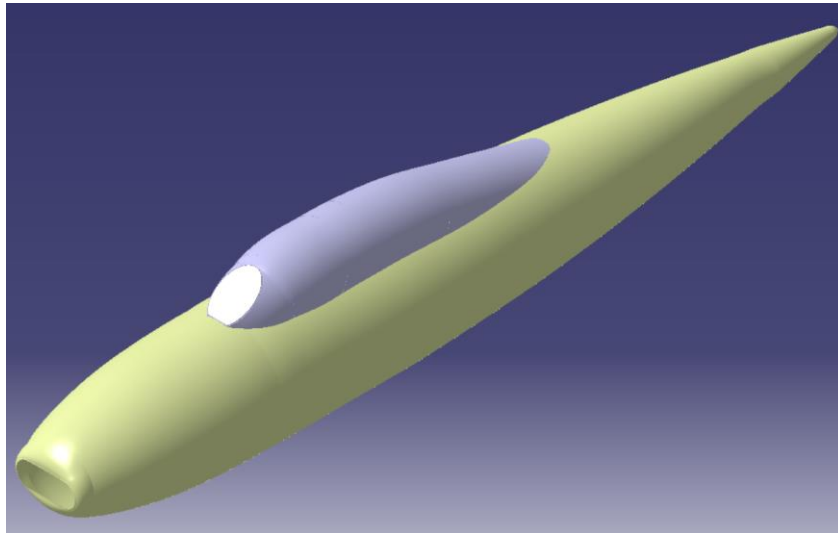


Figura 132. Cúpula de la cabina II.

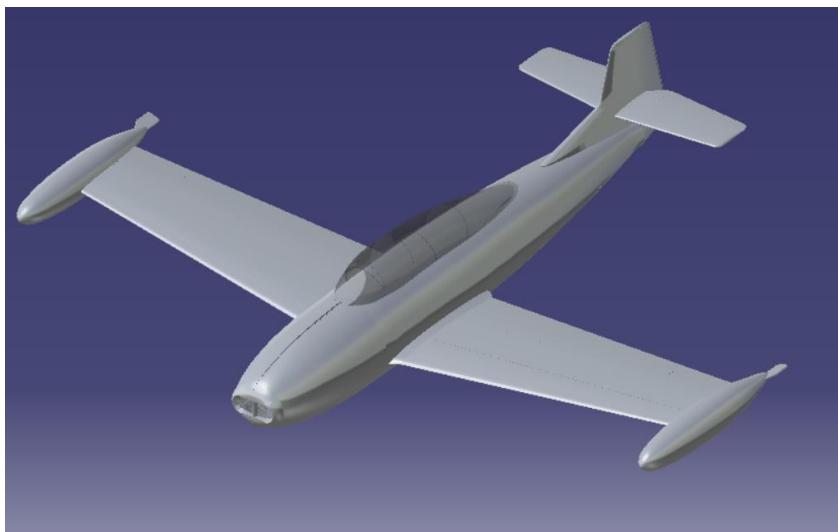


Ilustración 1. Cúpula de la cabina II.

### 4.6.3 Armazón metálico

Para el modelado del armazón se han tenido en cuenta las curvas que delimitan las diferentes superficies de la cabina, es decir, las definidas en la figura 129 junto con las de la ventana delantera. Además, a la hora de diseñarlo se ha asegurado que esté herméticamente cerrado, por lo que los perfiles varían según corresponda.

#### 4.6.3.1 Parte fija del armazón

Para la parte fija central y con las curvas que la delimitan como guías se ha usado el mismo perfil para el armazón de manera simétrica.

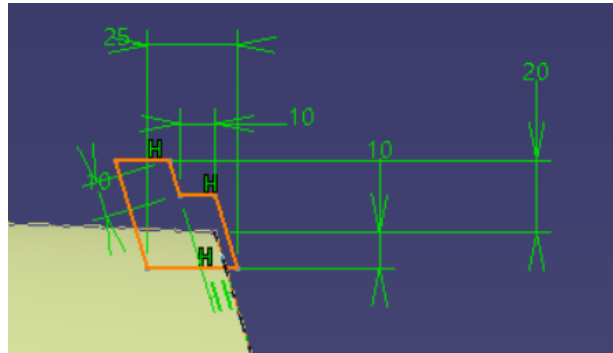


Figura 133. Perfil armazón parte fija.

Con el comando *Rib* en el lado derecho y de manera análoga en el izquierdo se ha obtenido parte del armazón central.

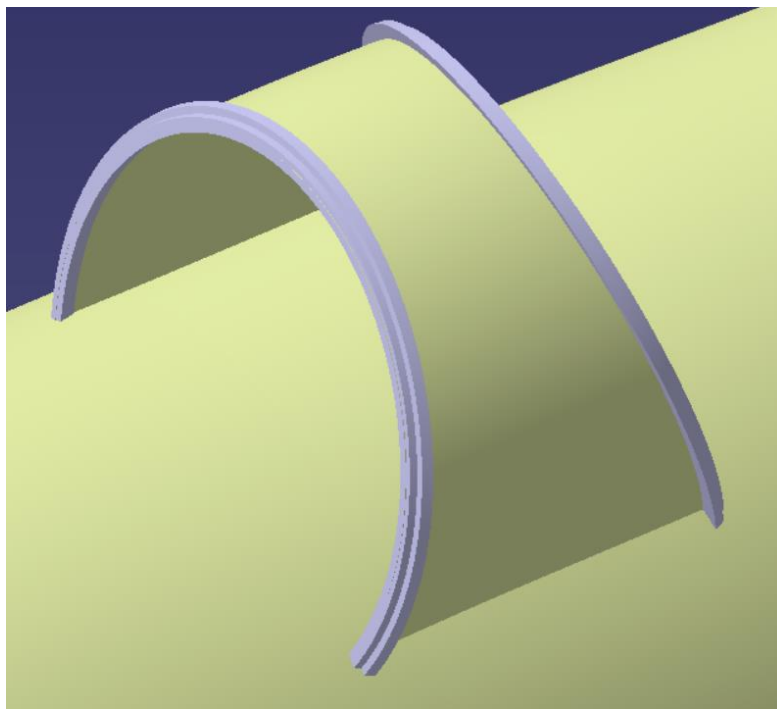


Figura 134. Armazón central I.

A lo largo del eje X en el plano simetría se observa como longitudinalmente hay un refuerzo que envuelve a la cúpula superiormente. La parte correspondiente a la cúpula central quedaría:

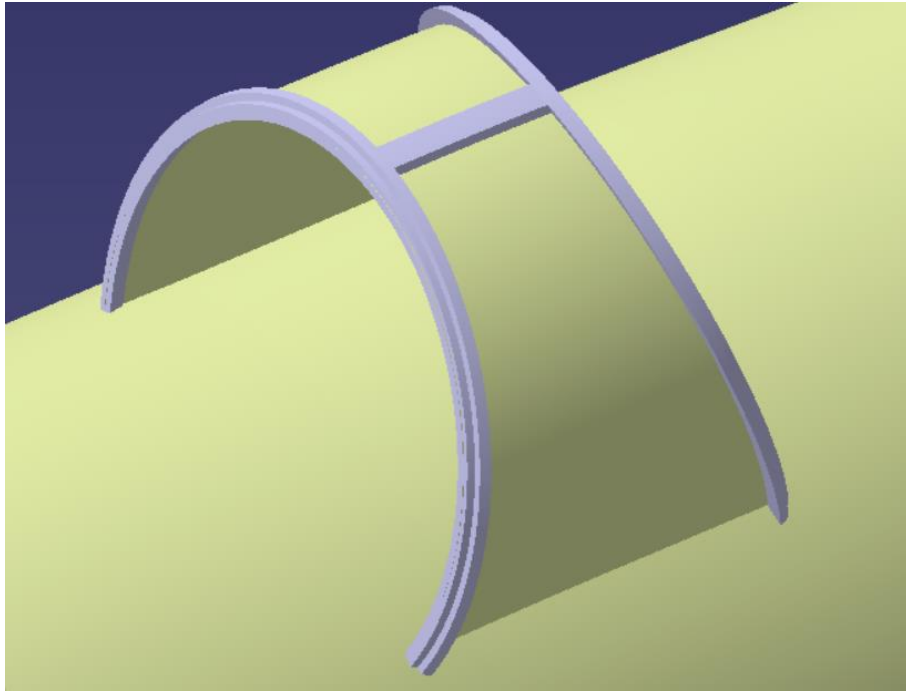


Figura 135. Armazón central II.

Para el armazón de la ventana delantera se ha usado tres veces el comando *Rib*, dos para la parte elíptica y otro para la parte recta que une con el fuselaje. El perfil de la parte elíptica es tal que envuelva la arista que une el plano inclinado con la superficie lateral, por lo que tiene un ángulo entrante para haya contacto en ambas partes.

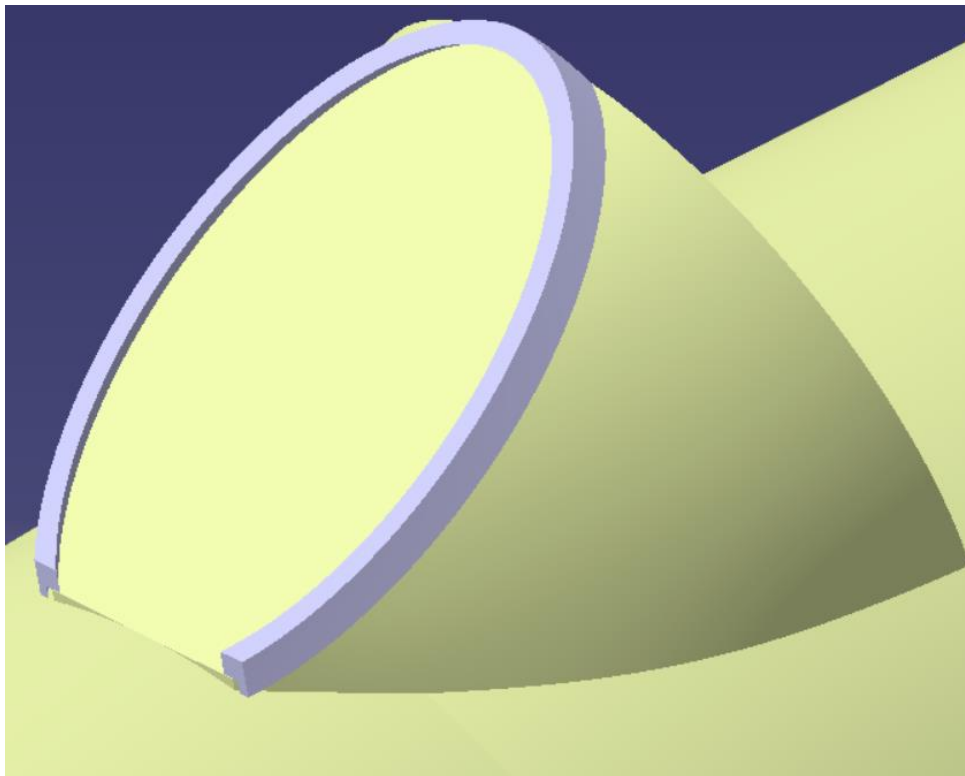


Figura 136. Armazón ventana delantera I.

Para la parte recta que hace de contacto con el fuselaje se ha creado mediante un *Extrude* una superficie de sección rectangular. Posteriormente se ha aplicado el comando *Trim* con dicha superficie y la del fuselaje quedándonos con la parte que nos interesa.

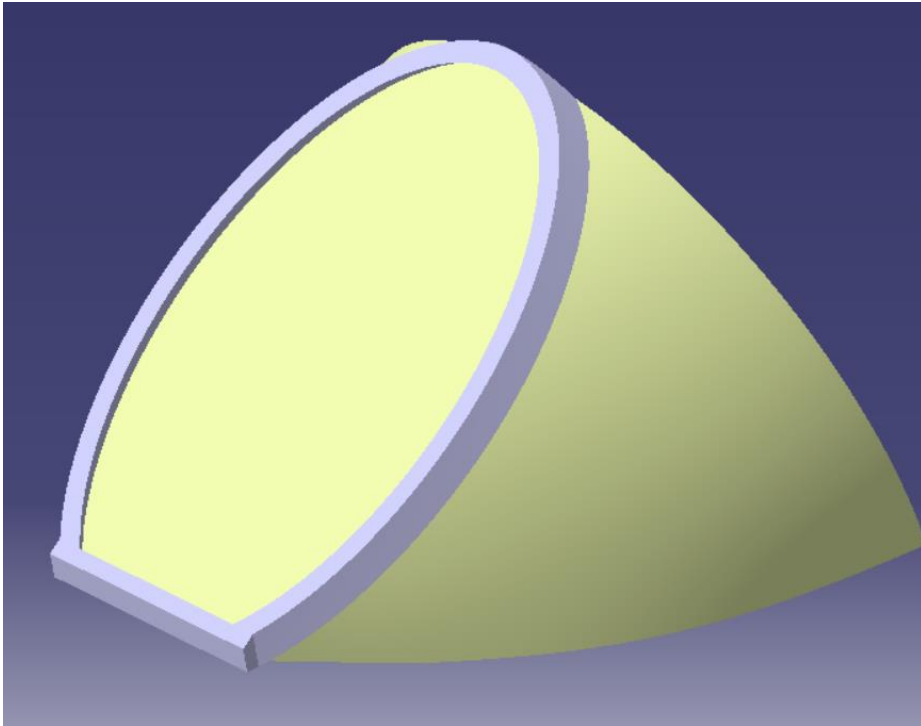


Figura 137. Armazón ventana delantera II.

Para la zona de unión con la primera puerta de la cabina se ha seguido un proceso análogo al de la parte central. De manera que se obtiene:

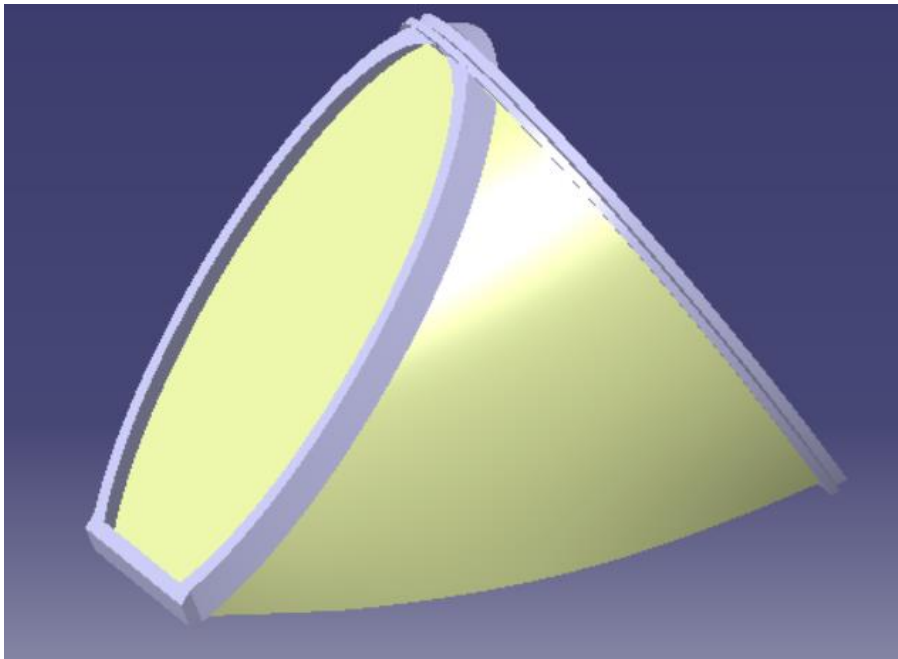


Figura 138. Armazón delantero I.

Se observa como solapan en una parte la ventana delantera con la zona de unión con la puerta de la cabina. Para solucionarlo se ha usado el comando *Pocket* en dos ocasiones para así quede plana la ventana delantera y libre la zona en la que encaja la puerta.



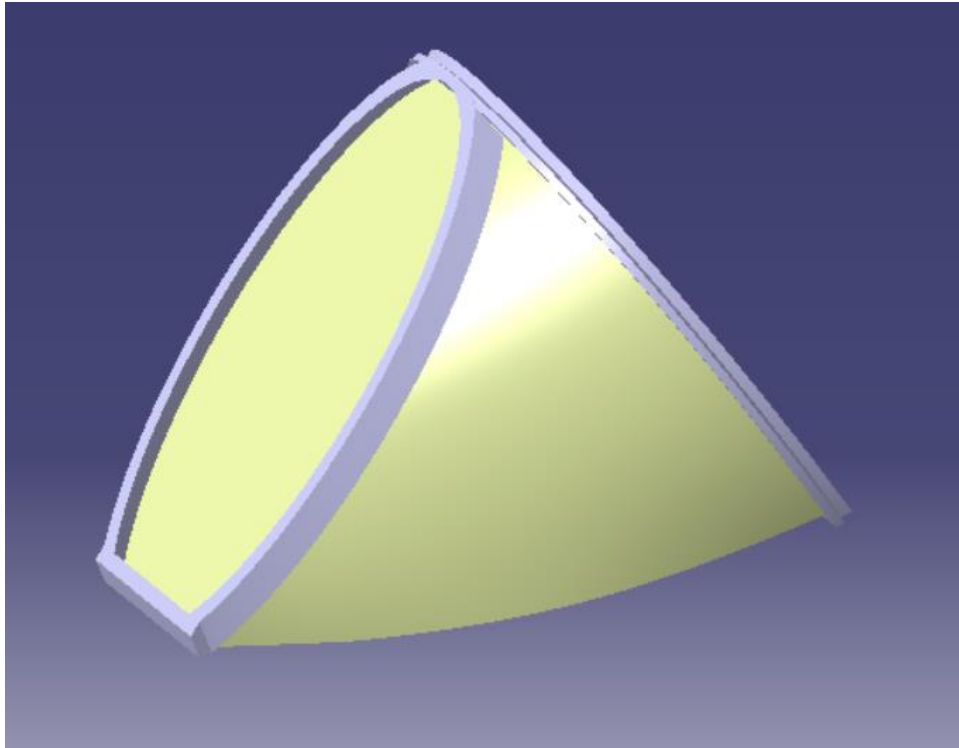


Figura 139. Armazón delantero II.

Para la parte del armazón metálico, se ha realizado un procedimiento completamente análogo al central. Teniendo en cuenta que la geometría de la zona de unión con la segunda puerta de la cabina debe ser la correcta para que encajen bien.

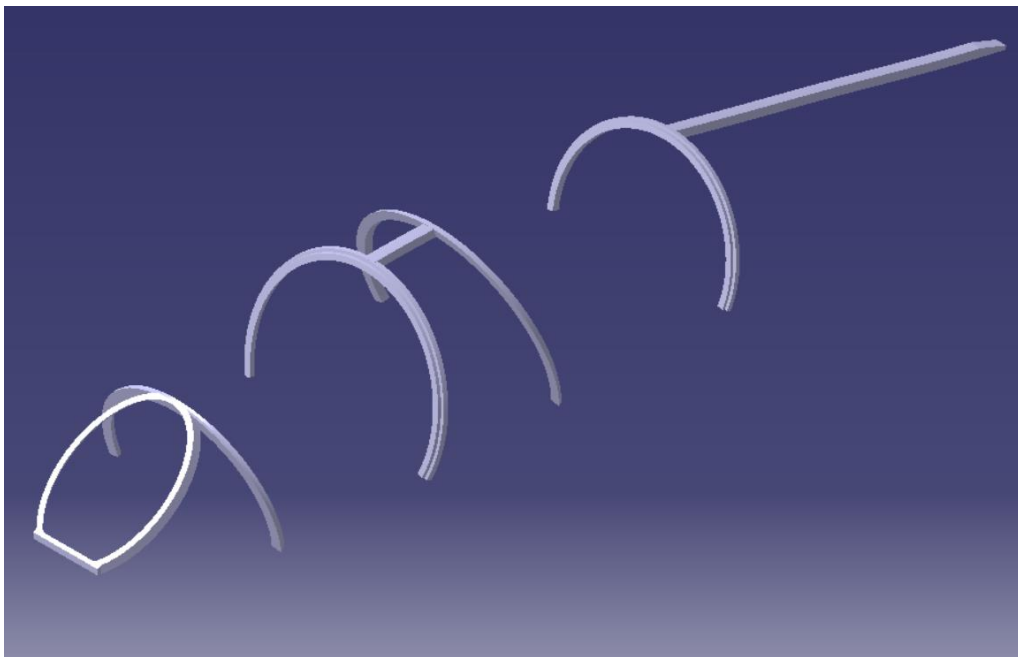


Figura 140. Armazón de la parte trasera.

#### 4.6.3.2 Armazón de las puertas de la cabina

Para el modelado del armazón que pertenece a las puertas de la cabina se han seguido los mismos pasos, tanto en la parte que delimita la puerta con respecto a la parte fija y al refuerzo que envuelve a la puerta superiormente.

La única diferencia ha sido el perfil para el *Rib* en las curvas delimitantes de las puertas. Esta vez, el perfil corresponde al que encaja en la parte fija para que quedé hermética la cabina.

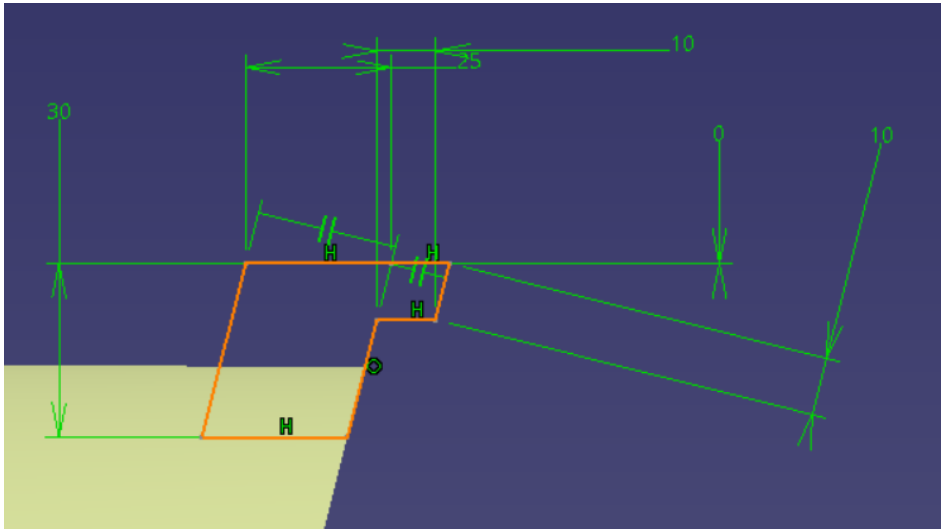


Figura 141. Perfil armazón de la puerta de la cabina.

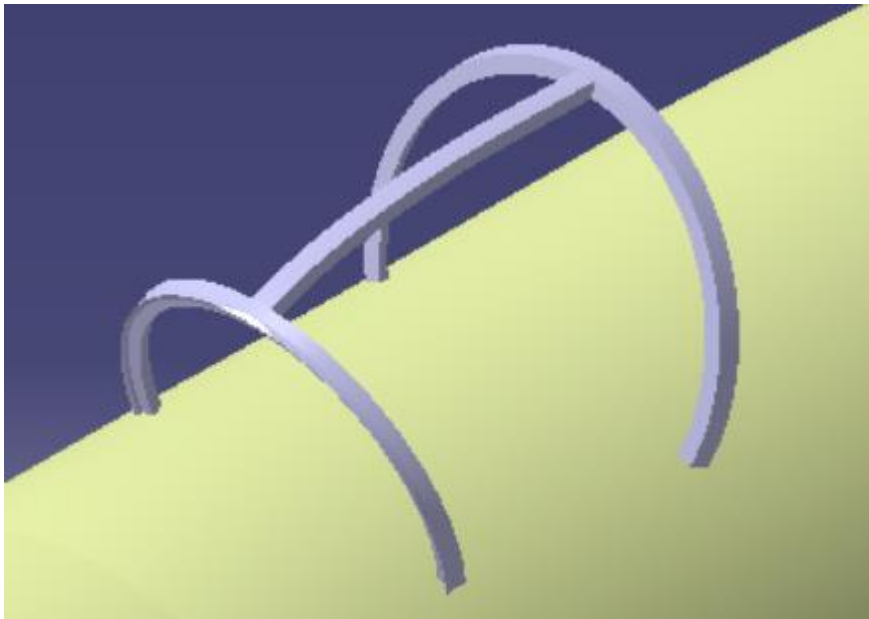


Figura 142. Armazón de la puerta delantera de la cabina.

Para la puerta de la cabina trasera se han realizado las mismas operaciones, de manera que el conjunto de las dos puertas quedaría:

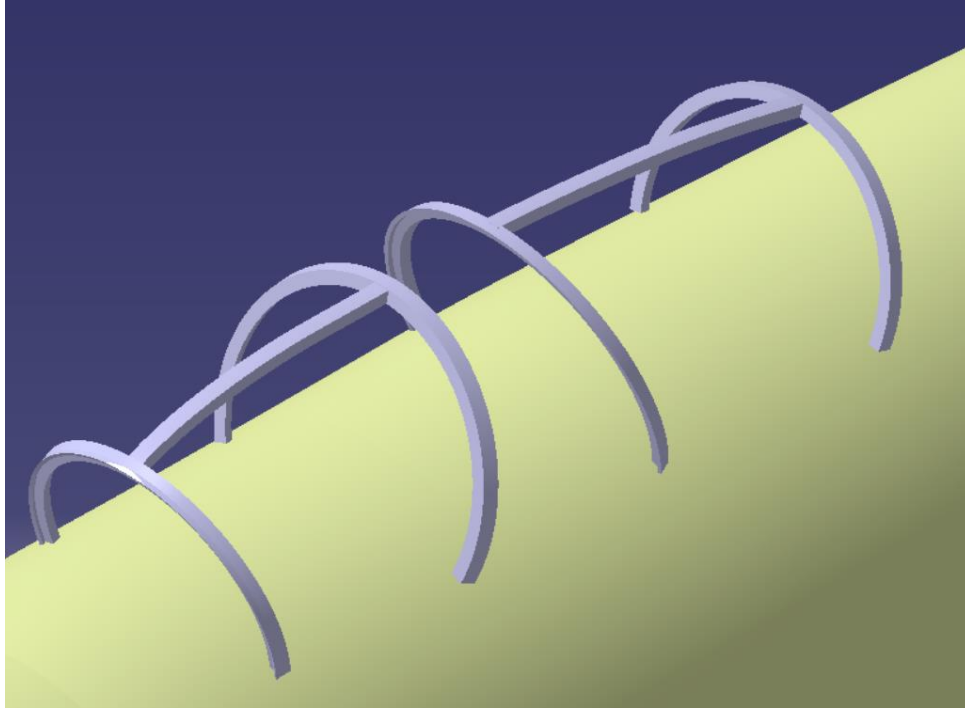


Figura 143. Armazón de las puertas de la cabina.

#### 4.6.3.3 Unión del armazón con el fuselaje

Por último, la parte del armazón que está en contacto con el fuselaje se ha modelado por partes, dividiéndolo según pertenezca a las puertas o a la parte fija. El perfil inicial que se ha usado ha sido el mismo en todas las partes y como guía la forma en planta de la cabina intersectada con la cabina. A dichos perfiles se le ha aplicado el comando *Sweep*, y a la superficie generada se le ha aplicado el comando *Trim* con la superficie, así nos quedamos con la parte interesada y nos aseguramos que la unión sea completamente tangente.

Una vez realizado estos pasos, el resultado final del armazón ha sido:

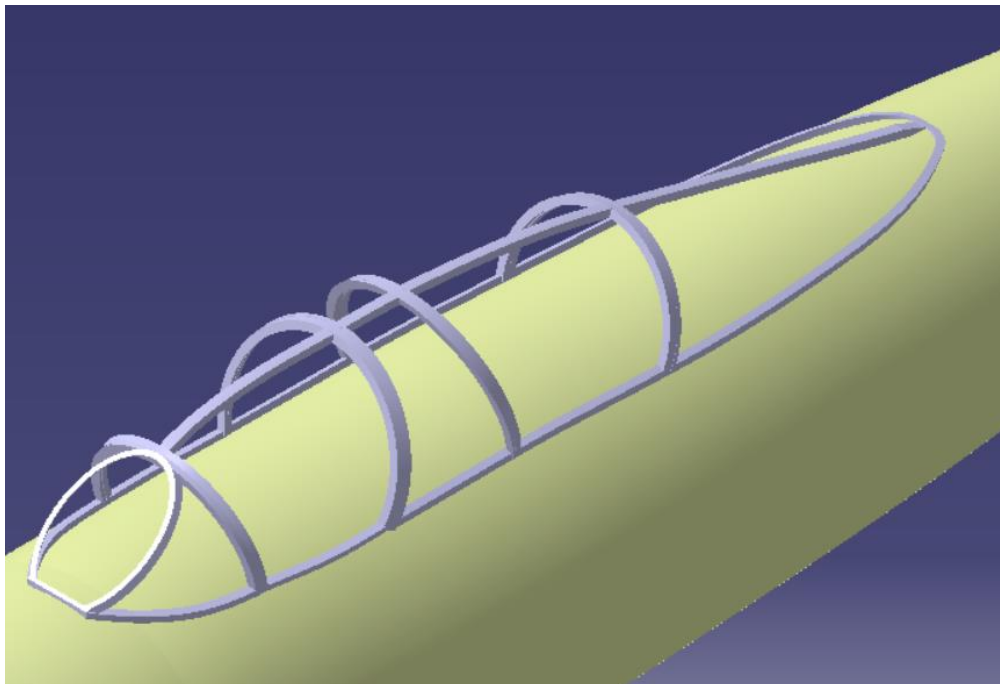


Figura 144. Armazón metálico de la cabina.

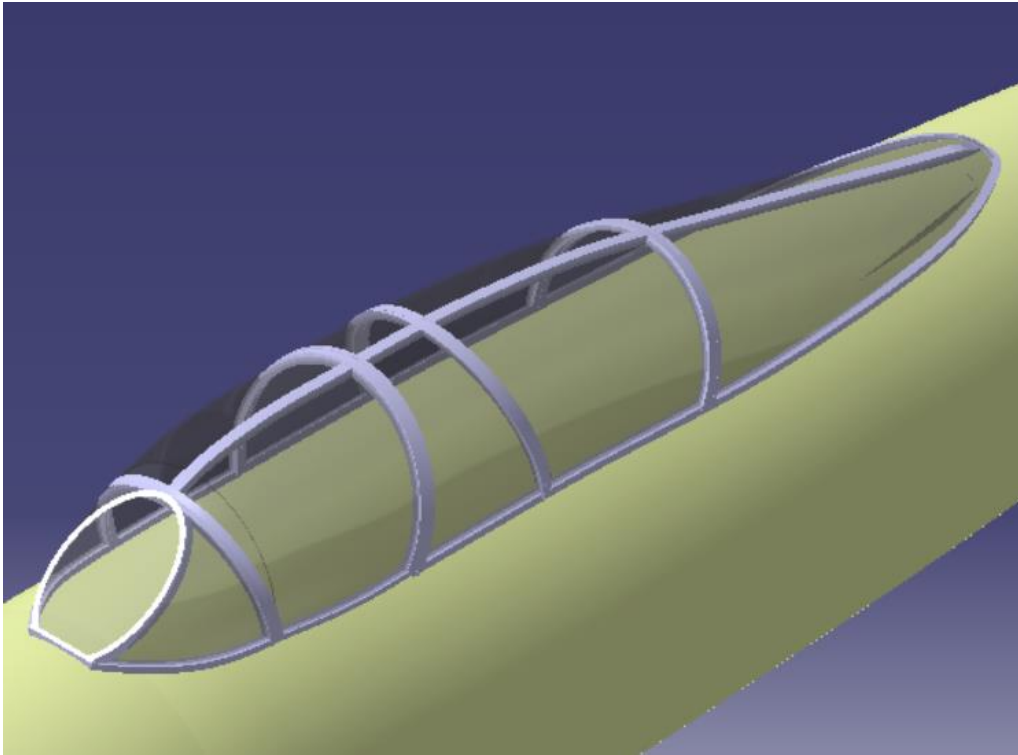


Figura 145. Cabina del avión.

## 4.7 Diseño final

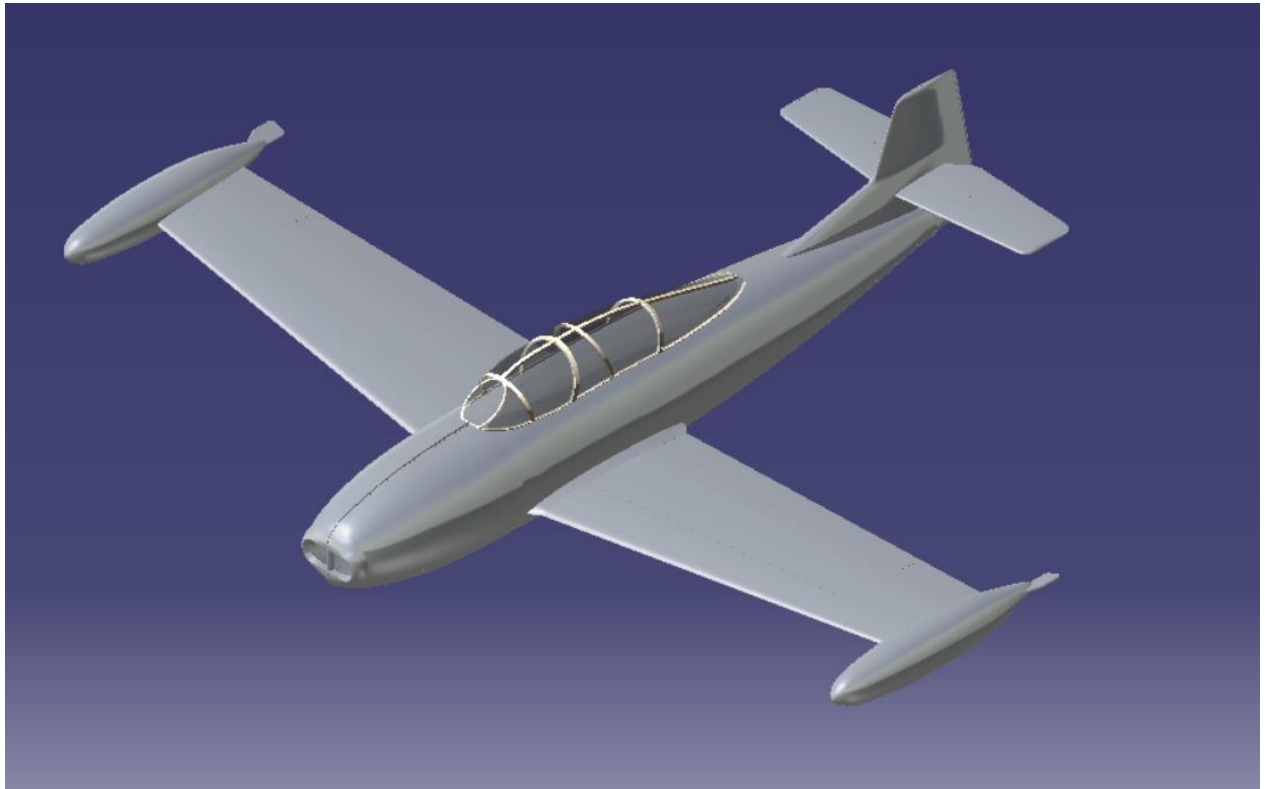


Figura 146. HA-200, Saeta.

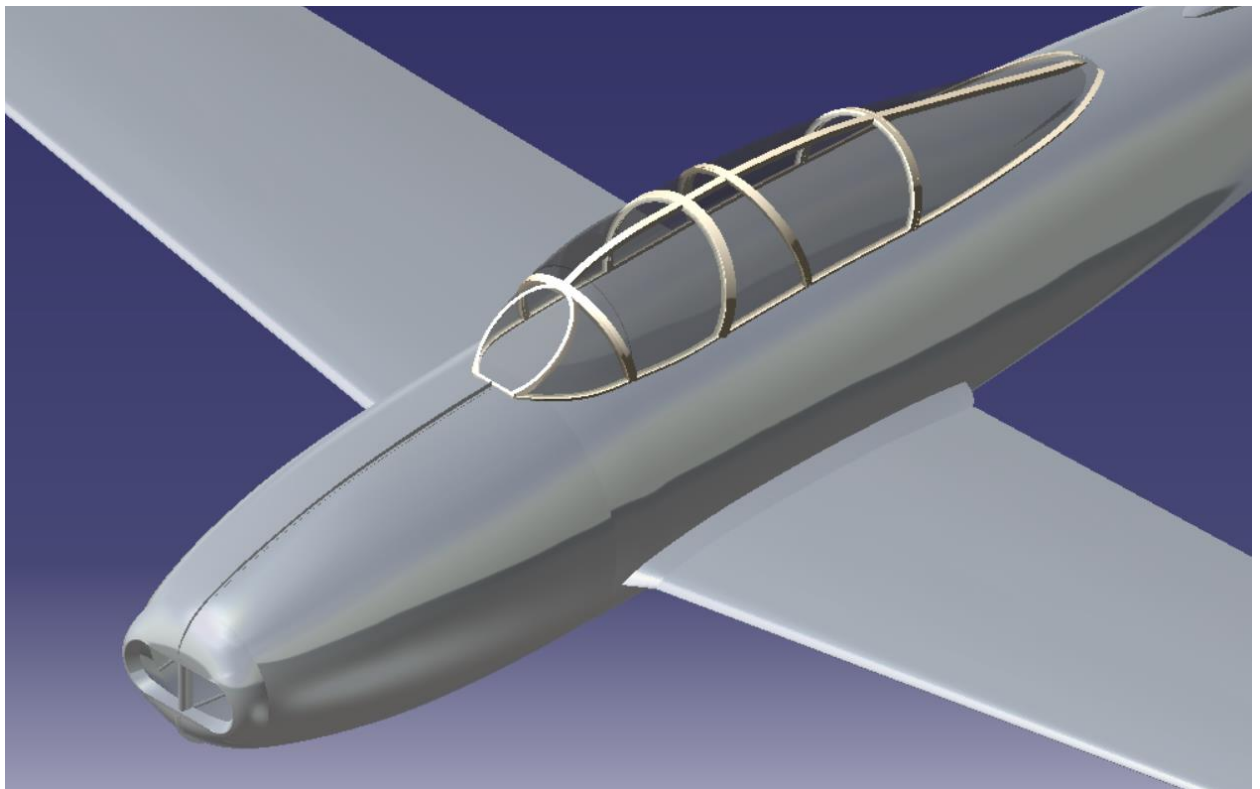


Figura 147. HA-200, Saeta

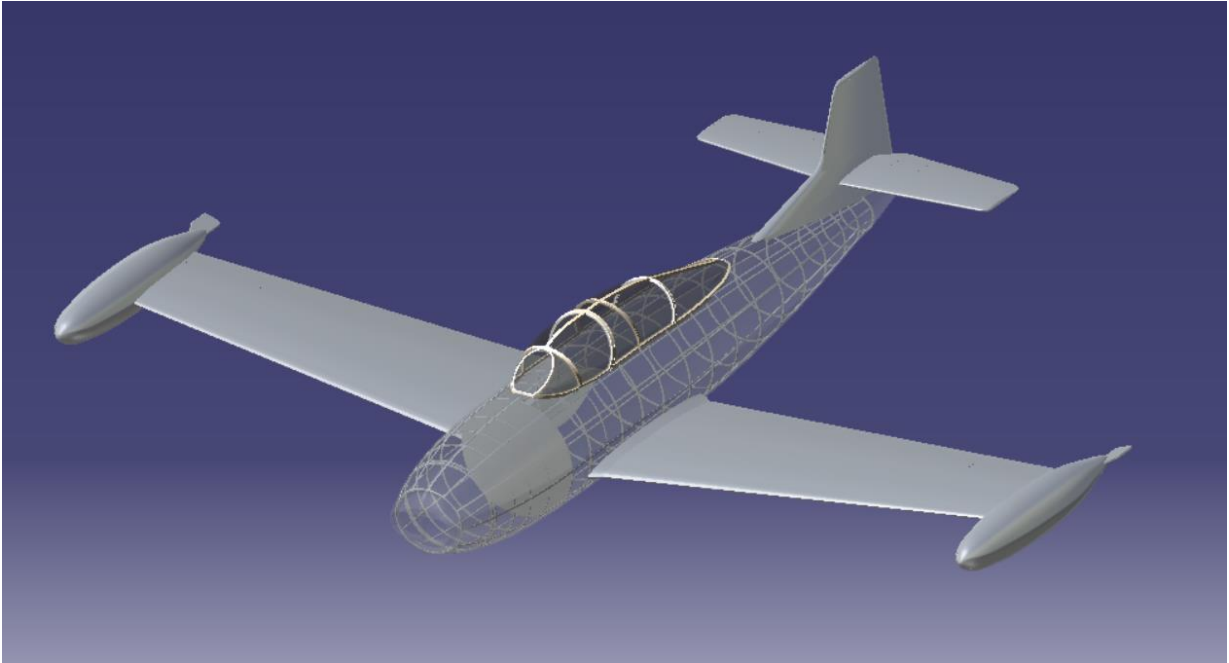


Figura 148. HA-200, Saeta.



Figura 149. HA-200, Saeta.

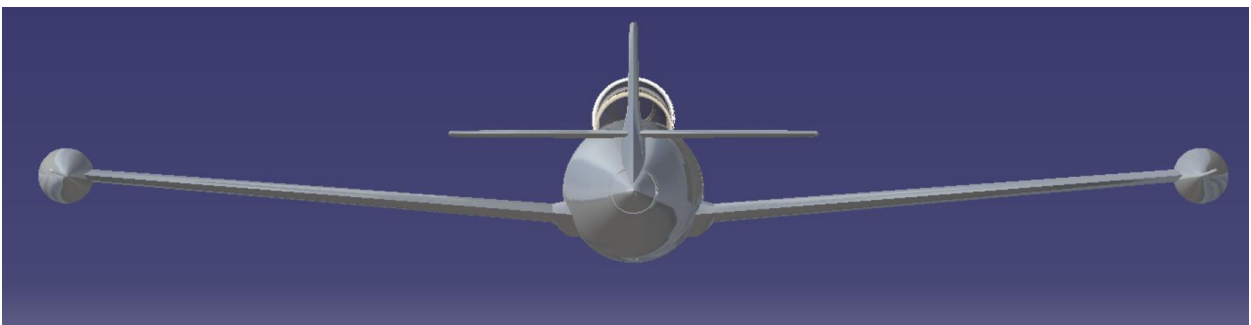


Figura 150. HA-200, Saeta.



Figura 151. HA-200, Saeta.



Figura 152. HA-200, Saeta.





# CONCLUSIONES

---

Tras el trabajo realizado durante estos meses para modelado del Saeta, puede decirse que los objetivos que se plantearon en un principio sobre el alcance del proyecto se han alcanzado en su totalidad. Sin duda, se ha realizado desde el principio una gran labor debido a la complejidad estructural del avión, pero el resultado final ha sido muy satisfactorio.

Desde el principio, se tenía claro que el enfoque principal del proyecto iba a ser el diseño en 3D, mediante CATIA V5. Además, viniendo del sector aeronáutico el objeto a modelar no podía ser otra cosa que un avión. No son pocos los aviones de gran envergadura que nos ha dejado la historia española a lo largo de los años, pero tras una búsqueda profunda de aquel que resultara realmente motivante dimos con el Saeta. Primer avión a reacción desarrollado en España, y por si eso no es suficiente, en el barrio sevillano de Triana.

Tras decidir la elección del avión, se partía desde un punto cero en cuanto a la recolección de datos, planos y documentos se refiere. Pero gracias a las primeras semanas de búsqueda principalmente por Internet, dimos con la Fundación Infante de Orleans que nos facilitaron desde el primer momento toda la información disponible que tenían. Gracias a ello, se ha obtenido como resultado un modelo del Saeta lo más fidedigno posible al modelo real.

Debido a la cantidad de documentación que nos enviaron, no fue fácil en un principio marcar el límite en la envergadura del proyecto. Por lo que se ha decidido retomar el presente trabajo para la realización del Trabajo de Fin de Máster, con lo que mi tutor está de acuerdo. En esas futuras líneas del desarrollo entrarían el diseño del interior de la cabina, el tren de aterrizaje, un modelado simplificado del motor y, por qué no, una simulación aerodinámica del avión.

En la parte personal y profesional, y tras haber dedicado infinidad de horas en el diseño, se puede concluir que el conocimiento de CATIA del que se partía se ha superado con creces, aunque es un programa con mucho potencial. Se han tenido que tomar decisiones continuamente, algunas más arriesgadas y otras más conservadoras, lo que nos ha hecho errar en multitud de ocasiones. Solventar esos errores y seguir avanzando ha hecho que la realización del proyecto haya sido muy gratificante.



# BIBLIOGRAFÍA

---

- [1] Salas Larrazábal, Jesús María (1999): “La Hispano de Aviación: proyectos HA-100, 200 y 300”. Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica, ed. II. Título.
- [2] Pérez San Emeterio, Carlos (2005): “Saeta, la historia entrañable”. Revista Aviador, Suplemento Cultural Nº2.
- [3] Manual de entretenimiento, aviones de la serie E.A E-14B.
- [4] Burgos, Antonio: “Saetas de Triana”.
- [5] Guerrero, Juan Antonio (2015): “Alas de Andalucía 1915-2015, un siglo de aviones andaluces”.
- [6] Manual de pesos y centrados, avión E-14ª.
- [7] Airfoil Tools <http://airfoiltools.com>
- [8] Wikipedia: <https://es.wikipedia.org>
- [9] Fundación Infante de Orleans: <https://fio.es/Saeta.html>
- [10] Manual de vuelo, avión E-14ª.
- [11] Arráez Cerda, Juan (1997): “Saeta y Supersaeta Hispano Aviación HA-200/220”



