

Trabajo Fin de Grado Grado en Ingeniería Aeroespacial

Modelado y Recreación Virtual con Catia v.5 del avión Lockheed SR-71

Autor: Alberto Millán Montero

Tutor: Manuel Morato Moreno

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

Sevilla, 2021



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Modelado y Recreación Virtual con Catia v.5 del avión Lockheed SR-71

Autor:

Alberto Millán Montero

Tutor:

Manuel Morato Moreno

Profesor Titular

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

Sevilla, 2021

Trabajo Fin de Grado: Modelado y Recreación Virtual con Catia v.5 del avión Lockheed SR-71

Autor: Alberto Millán Montero

Tutor: Manuel Morato Moreno

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

Presidente:

Vocal/es:

Secretario:

acuerdan otorgarle la calificación de:

El Secretario del Tribunal

Fecha:

Agradecimientos

Tras seis largos años de duro estudio, son muchas las personas que han pasado por mi vida, muchas de ellas para quedarse, y otras solo de paso, pero todas ellas me han ayudado a llegar a donde ahora estoy, me han hecho vivir momentos inolvidables, y sobre todo me han ayudado a superar esta dura etapa universitaria.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, a mis padres y hermanos, el apoyo ofrecido durante estos seis años, saben que no ha sido fácil pero siempre me han dado el apoyo necesario para seguir.

También quería agradecer el apoyo que me han proporcionado las personas que me han acompañado día a día en la Escuela, y que al igual que yo saben lo que es estar ahí, y que no se pasa muy bien durante la batalla. Los compañeros de *Voces del Etsilio*, mis amigos de *LN9*, y sobre todo mis colegas de *Capital Sins*, son quienes han hecho que esta dura etapa sea mucho más bonita y llevadera.

Quiero también hacer un especial recuerdo a mi abuela Ana, la que ha visto crecer y superar año tras año las dificultades que me ha puesto la vida, pero lamentablemente no ha podido ver como, por escasos meses, su nieto se graduaba en Ingeniería Aeroespacial.

A esos profesores que han tenido un amable trato conmigo durante estos años, que se ponen en la piel del alumno y se preocupan por ellos, pero sobre todo a mi tutor, Manuel Morato, ya que sabe que no ha sido fácil para mi compaginar en todo momento la situación laboral y el proyecto, pero se ha implicado y preocupado de que siempre pudiera ir avanzando, aunque sea poco a poco.

No puede faltar tampoco el recuerdo a Eli y Luis, una familia que, aunque no es la mía de nacimiento, pero me ha acogido como si fuera parte de la suya.

Por último, pero más importante, agradecer a mi pareja, Laura Díaz, lo que ha hecho por mí desde el primer momento. Ella sabe mejor que nadie lo que a veces he sufrido y lo que otras he disfrutado, las circunstancias que me han marcado, las situaciones que he vivido. Ella mejor que nadie sabe lo difícil que me ha sido compaginar siempre trabajo con estudios, pero ha sido gracias ella que el objetivo se haya cumplido. En cierto momento durante estos seis años, me planteé la opción de dejar los estudios que tanto había querido alcanzar, pero decidí continuar y finalizar esta etapa, y eso ha sido posible gracias a su continuo esfuerzo por hacer que no me rindiera.

Seguro que no he nombrado a todos, pero gracias a cada uno de ellos he aprendido día tras día y han hecho posible que hoy haya realizado este proyecto.

Con esfuerzo y constancia se puede lograr casi cualquier cosa que uno se proponga, pero solo es posible si te lo propones de verdad.

Alberto Millán Montero
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Sevilla, 2021

Resumen

La tendencia habitual a en la realización de trabajos de fin de grado de esta índole ha sido el modelado y recreación virtual de aviones característicos de la primera mitad del siglo XX, típicos de la Primera Guerra Mundial, mediante el empleo del software CATIA, centrándose sobre todo en modelar la estructura interna de dichas aeronaves.

Para salir un poco de esta tendencia y afrontar el diseño de otras aeronaves no tan antiguas, se fija como finalidad de este trabajo el modelado y recreación virtual de la aeronave de reconocimiento estratégico Lockheed SR-71, cuya forma aerodinámica será el mayor reto a superar durante su modelado.

En primer lugar, se procederá con una descripción de la situación y marco histórico que dieron lugar al diseño y desarrollo de la aeronave seleccionada, y una breve descripción de las características o especificaciones del avión, así como las consecuencias que trajo consigo posteriormente.

Tras ello, se realizará la explicación paso a paso del proceso de modelado 3D que se ha seguido, el cuál constará de diferentes partes en las que se desarrollarán, además de la solución adoptada, las que se hayan desestimado y los motivos por los que se ha hecho.

Por último, se realizará el ensamblaje de todos los componentes y se llevará a cabo un proceso de simulación del movimiento de varios de estos, finalizando dicho proyecto con una serie de conclusiones obtenidas durante su desarrollo.

Abstract

The usual trend in this type of dissertation has been the modelling and virtual recreation of characteristic aircraft from the first half of the 20th century, typical of the First World War, using CATIA software, focusing above all on modelling the internal structure of these aircraft.

In order to break away from this trend and tackle the design of other, not so old aircraft, the aim of this work is the modelling and virtual recreation of the Lockheed SR-71 strategic reconnaissance aircraft, whose aerodynamic shape will be the greatest challenge to overcome during its modelling.

First of all, we will commence with a description of the situation and historical framework that led to the design and development of the selected aircraft, and a brief description of the characteristics or specifications of the aircraft, as well as the consequences it subsequently brought with it.

This will be followed by a step-by-step explanation of the 3D modelling process that has been followed, which will consist of different parts in which, in addition to the solution adopted, those that have been rejected and the reasons why this has been done will be developed.

Finally, the assembly of all the components will be carried out and a process of simulation of the movement of several of these will be carried out, ending the project with a series of conclusions obtained during its development.

Índice Abreviado

| | |
|---|-----------|
| <i>Resumen</i> | III |
| <i>Abstract</i> | V |
| <i>Índice Abreviado</i> | VII |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Historia de los aviones supersónicos | 4 |
| 2 Lockheed SR-71 <i>Blackbird</i> | 7 |
| 2.1 Marco histórico | 7 |
| 2.2 SR-71 <i>Blackbird</i> | 8 |
| 3 Modelado del SR-71 | 11 |
| 3.1 Documentación y trabajo previo | 12 |
| 3.2 Preparación del escenario de trabajo | 12 |
| 3.3 Modelado del fuselaje y zona alar | 13 |
| 3.4 Modelado del motor | 18 |
| 3.5 Modelado del estabilizador vertical | 19 |
| 3.6 Modelado tren de aterrizaje | 21 |
| 3.7 Modelado compuertas de tren | 25 |
| 3.8 Modelado <i>Cockpit</i> | 26 |
| 3.9 Modelado ventanas | 26 |
| 3.10 Modelado extremo del morro | 27 |
| 4 Ensamblaje y movimiento | 29 |
| 4.1 Ensamblaje de componentes | 29 |
| 4.2 Mecanismos y simulaciones | 30 |
| 5 Aplicación de material y renderizado | 33 |
| 6 Conclusiones del proyecto | 37 |
| <i>Índice de Figuras</i> | 39 |
| <i>Bibliografía</i> | 41 |

Índice

| | |
|---|-----------|
| <i>Resumen</i> | III |
| <i>Abstract</i> | V |
| <i>Índice Abreviado</i> | VII |
| 1 Introducción | 1 |
| 1.1 Historia de los aviones supersónicos | 4 |
| 2 Lockheed SR-71 <i>Blackbird</i> | 7 |
| 2.1 Marco histórico | 7 |
| 2.2 SR-71 <i>Blackbird</i> | 8 |
| 2.2.1 Primeros pasos del proyecto | 8 |
| 2.2.2 SR-71 y sus variantes | 9 |
| 3 Modelado del SR-71 | 11 |
| 3.1 Documentación y trabajo previo | 12 |
| 3.2 Preparación del escenario de trabajo | 12 |
| 3.3 Modelado del fuselaje y zona alar | 13 |
| 3.4 Modelado del motor | 18 |
| 3.5 Modelado del estabilizador vertical | 19 |
| 3.6 Modelado tren de aterrizaje | 21 |
| 3.6.1 Tren principal | 21 |
| 3.6.2 Tren auxiliar | 23 |
| 3.7 Modelado compuertas de tren | 25 |
| 3.7.1 Compuertas compartimento tren principal | 25 |
| 3.7.2 Compuertas compartimento tren auxiliar | 25 |
| 3.8 Modelado <i>Cockpit</i> | 26 |
| 3.9 Modelado ventanas | 26 |
| 3.10 Modelado extremo del morro | 27 |
| 4 Ensamblaje y movimiento | 29 |
| 4.1 Ensamblaje de componentes | 29 |
| 4.2 Mecanismos y simulaciones | 30 |
| 5 Aplicación de material y renderizado | 33 |

| | |
|------------------------------------|-----------|
| 6 Conclusiones del proyecto | 37 |
| <i>Índice de Figuras</i> | 39 |
| <i>Bibliografía</i> | 41 |

1 Introducción

A medida que va finalizando la etapa de estudio de un grado universitario, llega un momento en el que cada alumno debe ir pensando el tema sobre el que quisiera enfocar su proyecto final. Cuando uno tiene claro la rama o departamento con la que desarrollar su proyecto puede optar a uno de los proyectos que oferta la escuela, o puede tratar de establecer un contacto previo con algún profesor para proponer una idea de proyecto y que, si a este le parece bien, valide dicha propuesta.

El procedimiento seguido para la adjudicación de este trabajo ha sido el segundo de los arriba comentados. El deseo del alumno por desarrollar un proyecto con el Dpto. de Ingeniería Gráfica surge tras cursar la asignatura de Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador, donde se comienza a dar los primeros pasos con el software CATIA para desarrollar piezas sencillas, resultando ser atractivo y entretenido, y la idea de poder realizar un proyecto de un calibre mayor con este software ha sido la motivación que a llevado a buscar este trabajo.

Por estos motivos, se procedió a contactar con el mismo profesor que impartió la mencionada asignatura, D. Manuel Morato Moreno, quién finalmente accedió a tuturar este trabajo y con quién se decidió buscar algún avión, helicóptero o cualquier otro vehículo aéreo o espacial para modelar.

En un primer momento, se plantearon las siguientes propuestas:

- Mars Rover *Curiosity*: el Rover más grande y capaz jamás enviado a Marte. Lanzado en 2011 para estudiar las condiciones ambientales adecuadas para sustentar vida en Marte.^[1]
- Lockheed Martin F-22 *Raptor*: avión de combate táctico furtivo estadounidense, bimotor y de un solo asiento.^[2]



Figura 1.1 Captura de simulación del Mars Rover *Curiosity*^[1].



Figura 1.2 Captura de dos aviones Lockheed Martin F-22 *Raptor* en vuelo^[3].



Figura 1.3 AgustaWestland AW609 en vuelo en modo avión^[4].



Figura 1.4 Bell V-280 en configuración de crucero de alta velocidad^[5].

- AgustaWestland AW609: avión VTOL tiltrotor bimotor capaz de aterrizar verticalmente como un helicóptero pero con un alcance y una velocidad superior.^[4]
- Bell V-280 *Valor*: aeronave tiltrotor bimotor de elevación vertical desarrollado para el ejército de Estados Unidos.^[5]



Figura 1.5 Fairchild-Republic A-10 *Thunderbolt II*^[6].



Figura 1.6 Eurofighter *Typhoon* (C.16)^[8].

- Fairchild-Republic A-10 *Thunderbolt II*: avión militar monoplaza y birreactor, diseñado para proporcionar apoyo aéreo cercano a las tropas terrestres.^[6]
- Eurofighter *Typhoon*: avión de combate de rol oscilante más avanzado del mundo que proporciona capacidades aire-aire y aire-superficie que se pueden desplegar simultáneamente.^[7]
- Lockheed Martin SR-71 *Blackbird*: avión de reconocimiento estratégico de largo alcance capaz de superar la velocidad de Mach 3.^[9]

Tras estudiar y debatir las diferentes opciones, se optó finalmente por modelar el Lockheed Martin SR-71 *Blackbird* por los siguientes motivos:

1. Se descartó la opción del V-280 por tratarse de un modelo muy reciente que aún se encuentra en pruebas, por lo que la dificultad de encontrar planos sería muy elevada.
2. Se desestimaron las opciones del F-22, Mars Rover y AW609 al no encontrar planos adecuados para proceder al modelado.
3. Aunque las tres opciones restantes pudieran parecer, a priori, similares en cuanto a tipología de aeronave y diseño, se optó por el SR-71 por presentar una superficie muy aerodinámica, que podría suponer un mayor reto en el modelado.

Una vez decida la aeronave, queda acordar cuál iba a ser el grado de detalle al que debería llegar este proyecto. En un primer momento se opta por modelar el aspecto exterior del SR-71, además de realizar algunas simulaciones con superficies móviles de la aeronave, como podrían ser el tren de



Figura 1.7 SR-71B sobre Sierra Nevada, California, en 1994^[9].

aterrizaje o la compuerta del cockpit, lo cual resultaría un trabajo adecuado para un proyecto de esta índole.

Posteriormente, aunque surge la idea de intentar modelar también alguna zona de la estructura interior de la aeronave, esta se descarta debido al insuficiente detalle del que precisan los planos. Además, surge también la opción de intentar modelar el interior del cockpit y realizar un pequeño estudio de dimensiones modelando también una figura humana, pero esta idea no será contemplada hasta el final, según el grado de avance del proyecto y el tiempo disponible para su desarrollo.

Dado que la aeronave seleccionada está desarrollada para volar en régimen supersónico (aunque más adelante se mostrarán más detalles de esta), se ha considerado apropiado comenzar con una breve introducción a este tipo de aeronaves.

1.1 Historia de los aviones supersónicos

Un avión supersónico es una aeronave capaz de sobrepasar la barrera del sonido, partiendo así del número de Mach. El inicio de estos aviones se atribuye a la NASA con el objeto de instruir pilotos, pero posteriormente se llevaron al mundo militar, hasta llegar a usarse como aviones comerciales como fue el caso del *Concorde* y el *Tupolev Tu-144*.(ref wiki)

Durante la Segunda Guerra Mundial, el mundo de la aviación sufrió una revolución tecnológica impresionante. Cada vez las aeronaves eran capaces de volar más alto y más rápido, pero pilotos e ingenieros topaban una y otra vez con la conocida como "*barrera del sonido*". Entre los principales obstáculos se encontraba que, en los ensayos, a medida que la aeronave se aproximaba a Mach 1 la resistencia aerodinámica aumentaba de forma exponencial debido a lo que se conoce como "*resistencia de compresibilidad*" que da lugar a lo que se conoce como "*onda de choque*". Otro de los problemas era la brusca pérdida de potencia que experimentaban los motores a reacción al aproximarse a la barrera del sonido (que hoy sabemos por qué se producía).

Por todo esto, se llegó a pensar que la meta propuesta era inalcanzable, pero el 14 de octubre de 1947 el piloto de las Fuerzas Aéreas de los Estados Unidos, Chuck Yeager, consiguió la hazaña a bordo del Bell X-1, un avión experimental cuyo único fin era investigar en el campo de la aeronáutica



Figura 1.8 Concorde^[11].



Figura 1.9 F-15 Eagle^[12].

y romper la barrera del sonido.

El hito se consiguió solventando los obstáculos mencionados anteriormente. Por un lado, sustituyendo los motores a reacción por motores cohete que permitían alcanzar empujes muy altos de forma independiente a las condiciones exteriores. Por otro lado, disminuyendo el efecto de esa "resistencia de compresibilidad" con una configuración de ala delta o en flecha, morro afilado y fuselaje esbelto.^[10]

Algunos ejemplos de aviones supersónicos son:

- Concorde: fue el primer avión comercial que viajó a más del doble de la velocidad del sonido. Era capaz de transportar viajeros entre Nueva York y Londres en menos de 3 horas y media. Estuvo en servicio desde 1976 hasta 2003 y alcanzaba una velocidad de crucero Mach 2.02 (2.179km/h) con un techo de vuelo de 18.300 metros. Salió de circulación por un trágico accidente donde todos los ocupantes, e incluso cuatro personas de tierra, fallecieron.^[10]
- F-15 Eagle: construido por los Estados Unidos, es el avión más mítico de la historia. Su primer vuelo fue en 1972 y se tiene previsto seguir utilizando al menos hasta 2025. Este avión consigue alcanzar la velocidad de 3017km/h, casi tres veces la velocidad del sonido.^[10]



Figura 1.10 Sukhoi Su-27 *Flanker*^[12].



Figura 1.11 XB-70 *Valkyrie*^[13].

- Sukhoi Su-27 *Flanker*: surgió como la respuesta rusa al F-15 americano. Para muchos es el mejor avión de su generación. Fue presentado en 1977 y aún en la actualidad se sigue fabricando. Esta aeronave logra alcanzar una velocidad de 2500 km/h y utiliza la tecnología Fly-by-wire.^[10]
- XB-70 *Valkyrie*: es una auténtica rareza. Solo se fabricaron dos modelos y uno de ellos se estrelló contra un F-104. Se trata de un avión equipado de seis turboreactores que consiguen llegar hasta los 3309 km/h, o su equivalente a Mach 3.1. Debido a tan alta velocidad, algunas partes del fuselaje alcanzaban hasta los 330C de temperatura, debido a la fricción con el aire.^[10]

2 Lockheed SR-71 *Blackbird*

Para entender mejor el desarrollo y los hechos que dieron lugar al diseño del SR-71, se explica brevemente a continuación el marco histórico en el que se engloba, así como la evolución que ha tenido la aeronave hasta el estado actual.

2.1 Marco histórico

La década en la que comienza a desarrollarse el programa SR-71 se encuentra inmersa en plena Guerra Fría, un conflicto político, ideológico, social y cultural que se desarrolló entre los años 1945 y 1989 entre dos bloques de países liderados por las dos superpotencias surgidas a partir de la Segunda Guerra Mundial. Por un lado, Estados Unidos, líder del bloque Occidental integrado por los países europeos capitalistas que defendían el capitalismo como sistema económico y la democracia liberal como sistema político. Por otro lado, la antigua Unión Soviética encabezaba el llamado bloque del Este o bloque Oriental, integrado por las áreas bajo ocupación del Ejército Rojo y otras fuerzas armadas comunistas. Éstos defendían el comunismo como sistema económico y la democracia popular como sistema político.^[14]

La Guerra Fría no fue un conflicto armado, sino una amenaza permanente de conflicto entre ambos bloques, con una fuerte escalada armamentística, así como una fuerte competencia cultural y tecnológica, donde destaca la carrera espacial. Además, las diferencias entre ambos se manifestaron en la participación directa o indirecta en conflictos entre otros países, especialmente de Asia y África, que no estaban alineados directamente con uno de los bloques. Por ejemplo, la Guerra de Corea (1950-1953) previa al desarrollo del *SR-71*, la Guerra de Vietnam (1955-1975) o la Guerra



Figura 2.1 Banderas de los dos grandes bloques de la Guerra fría^[15].



Figura 2.2 Plan de vuelo del *U-2* el 1 de mayo de 1960, de acuerdo con documentos de la CIA desclasificados el 25 de junio de 2013. [16].

del Yom Kipur (1973), ambas en pleno desarrollo de la mencionada aeronave.

Fue uno de esos pulsos entre ambos bloques el que dio lugar al programa SR-71. En concreto, la detección y derribo de un avión de espionaje *U-2* estadounidense en territorio soviético el 1 de mayo de 1960. El plan de vuelo puede verse en la *Figura 2.2*.

2.2 SR-71 *Blackbird*

2.2.1 Primeros pasos del proyecto

Tras el hecho mencionado en la *Sección 2.1*, el jefe del programa *U-2* de la CIA, Richard Bissell, y el diseñador de Lockheed, Kelly Johnson, comenzaron a explorar una alternativa para mejorar el inesperado fallo del *U-2* que permitió a los soviéticos detectar la aeronave.

Con este objetivo en mente, Johnson diseñó para la CIA en los *Skunk Works* de Lockheed el *A-12 OXCART*, un modelo que incorporaba dos motores *Pratt & Whitney J75* sobre alas delta modificadas. Era capaz de volar a Mach 3.2 y a una altura de casi 30000 metros. El número de configuración del avión cambió a *A-12* con la incorporación de los motores *Pratt & Whitney J58*, realizando su primer vuelo en 1962.

De esta aeronave se construyeron 18 unidades en 3 variantes, de los cuales tres se convirtieron en *YF-12A*, prototipos para una versión de interceptor planeada, el *F-12B* y dos en la variante *M-21*. Además, se construyó una versión de reconocimiento para la Fuerza Aérea que se denominó originalmente *R-12*.

La USAF renombró a los *A-12* como *B-71*, siendo así los sucesores del programa bombardero supersónico *B-70 Valkyrie* (puede verse la *Figura 1.11*) que, cuando adquirieron capacidad de ataque, fueron designados como *RS-71 (Reconnaissance-Strike)*. Sin embargo, el Jefe del Estado Mayor de la Fuerza Aérea de Estados Unidos, Curtis LeMay, prefería la designación *SR* y quería que se renombrase nuevamente, de *RS-71* a *SR-71*.

2.2.2 SR-71 y sus variantes

El *SR-71* voló por primera vez el 22 de diciembre de 1964 y, en enero de 1966, el primer avión entró en servicio en la 42° Ala de Reconocimiento Estratégico en la Base de la Fuerza Aérea de Beale (California).

Se construyeron un total de 32 estructuras del avanzado fuselaje del avión, 29 unidades como *SR-71A* para realizar misiones, dos como *SR-71B* de entrenamiento, y una estructura fabricada como entrenador híbrido designado *SR-71C*, uniendo la mitad trasera de un *YF-12* con la parte delantera de un *SR-71*.

Durante toda la vida de servicio de los *SR-71 Blackbird*, desde 1966 hasta 1991, ostentaron varios récords como:

- Permaneció durante toda su carrera como el avión de reconocimiento tripulado más rápido y con mayor techo de vuelo del mundo, rompiendo el récord de velocidad máxima absoluta de 3529,56km/h y el récord estadounidense de altitud absoluta de 25929m.
- Realizó un marca de velocidad media de costa a costa de Estados Unidos de 3418 km/h, durando 64 minutos.
- Mantiene la marca de vuelo entre Nueva York y Londres en 1 hora, 54 minutos y 56 segundos, conseguida el 1 de septiembre de 1974.

Las especificaciones más relevantes de esta aeronave, en su versión *SR-71A* son las siguientes:

- Tripulación: 2
- Longitud: 32,74m
- Envergadura: 16,94m
- Altura: 5,64m
- Superficie alar: 170m²
- Peso vacío: 30600kg
- Peso cargado: 77000kg
- Peso máximo al despegue: 78000kg
- Velocidad máxima operativa (Vno): 3540km/h (Mach 3,2) a 24000m
- Alcance: 5400km
- Alcance en ferry: 5926m
- Techo de vuelo: 25908m
- Régimen de ascenso: 60m/s
- Carga alar: 460kg/m²
- Empuje/peso: 0,382

3 Modelado del SR-71

Aunque resulte una anticipación a los acontecimientos, se ha decidido mostrar al inicio de este capítulo un explosionado de todos los componentes que se van a ir modelando conforme se desarrolle el documento. Esta imagen va a ser muy útil a la hora de entender mejor los motivos por los que se ha elegido cada uno de los procedimientos de modelado y para tener una idea del resultado final de este.

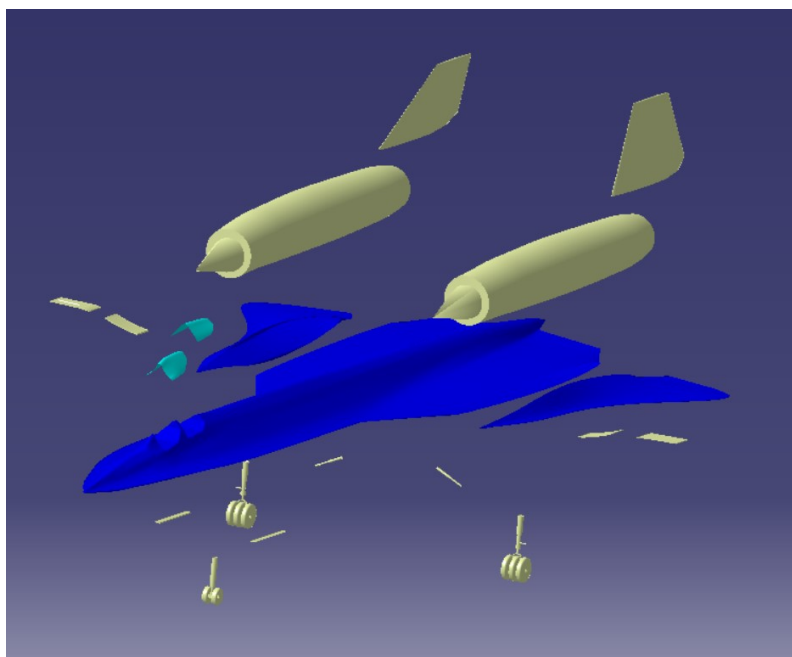


Figura 3.1 Explosionado de los diferentes componentes del modelo.

En la *Figura 3.1* se distingue el fuselaje, dos cabinas, tren de aterrizaje auxiliar y principal, dos motores, dos estabilizadores verticales y seis compuertas, dos para el tren auxiliar y cuatro para el conjunto de tren principal.

Así pues, se procede a continuación a detallar el procedimiento seguido para obtener dicho modelo.

3.1 Documentación y trabajo previo

Antes de comenzar el modelado de la aeronave, se recoge en esta sección un guión de lo que se prosigue a desarrollar en las posteriores.

En primer lugar, teniendo en cuenta las especificaciones técnicas de la aeronave recogidas en la parte final de la *Sección 2.2.2*, y los planos del *SR-71 Blackbird* (que pueden verse en el Anexo A de este documento), se ha obtenido una escala para estos que será tomada en cuenta en lo que sigue, ya que ésta no aparecía de forma explícita en los planos (posiblemente por tratarse de los planos de una maqueta de la aeronave real). De esta forma se podrá obtener cualquier medida de la aeronave cómodamente.

Tras esto, se decide dividir la aeronave en diferentes grandes partes, que serán diseñadas de forma independiente unas de otras:

- Fuselaje y zona interior de la configuración alar
- Motores
- Zona exterior de la configuración alar
- Estabilizador vertical
- Tren de aterrizaje
- Compuertas de compartimentos de tren
- Cabinas

Se comenzará por tanto por el fuselaje, que es el componente principal al que se unen la mayoría de las secciones restantes. A su vez, se irá dando forma a la zona interior de ala delta, ya que podría ser una mejor opción debido a la curvatura que presenta esta configuración de aeronave.

Se continuará con los motores y la zona exterior del ala, siguiendo así un orden de modelado desde el eje del avión hacia la punta del ala. Tras esto se modelará el estabilizador vertical, ya que este está en contacto con la parte superior del motor. Por último, se modelará el tren de aterrizaje, las compuertas y las cabinas.

3.2 Preparación del escenario de trabajo

Como se ha comentado en capítulos anteriores, el modelado del SR-71 se lleva a cabo con el software CATIA. Para comenzar el modelado de la aeronave con esta herramienta, es necesario en primer lugar crear un *Product* que englobe todo lo que va a ser el diseño de la aeronave.

El siguiente paso es decidir que procedimiento se va a llevar a cabo para comenzar a modelar. En este caso, la opción elegida ha sido la inserción de los diferentes planos que conforman las principales vistas: alzado, planta y perfil. Así, se consigue crear un escenario 3D a modo de base para empezar el modelado.

Para insertar dichos planos, se hace uso de la herramienta *Sketch Tracer*, permitiendo introducir las diferentes imágenes de los planos y colocarlas en la posición deseada. Es importante destacar que esta herramienta no reconoce las imágenes en formato *.png* por lo que habrá de asegurarse que éstas se encuentren en formato *.jpg*. Otro aspecto importante a tener en cuenta es que se ha de

configurar el módulo en la opción *Shading with Material* ya que, de lo contrario, el contenido de los planos insertados no será visible.

A continuación, mediante la opción *Create an Immersive Sketch* se selecciona la imagen en cuestión que se desee insertar y el correspondiente plano donde se quiere colocar. Una vez hecho esto, se elige un centro de referencia donde colocar los ejes, y se alinean y ajustan estos con las medidas adecuadas. En las siguientes imágenes se puede apreciar los planos que se insertaron inicialmente.

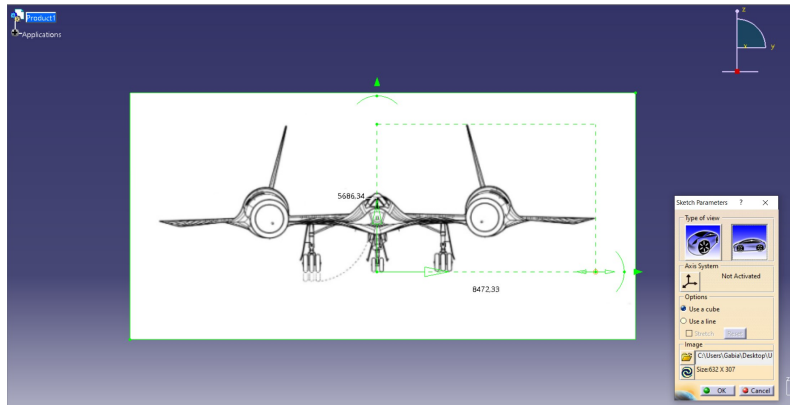


Figura 3.2 Vista frontal.

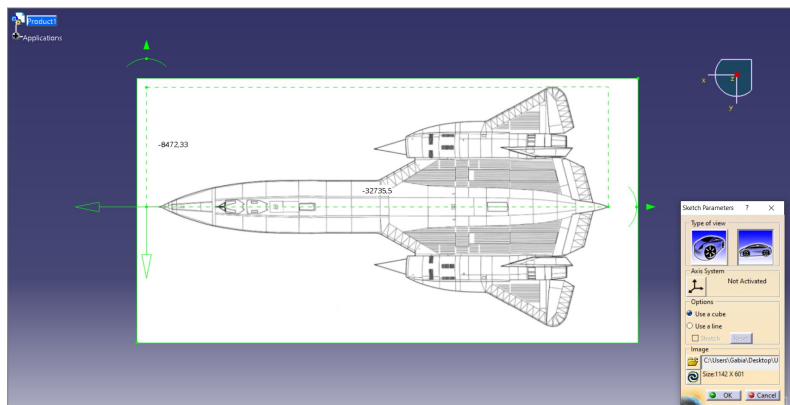


Figura 3.3 Vista en planta.

Si se observa con detenimiento las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5, se puede apreciar como las medidas de todas ellas son prácticamente coincidentes salvo alguna pequeña diferencia, las cuales pueden deberse a que las imágenes en su forma original no estén correctamente escaladas. Sin embargo, posteriormente se apreciará que estas pequeñas variaciones no influyen significativamente en el modelado final ya que, partiendo del escenario 3D mostrado arriba, se podrá ajustar el modelo de la forma más precisa posible a la forma que presentan los planos, obteniendo así una buena representación.

3.3 Modelado del fuselaje y zona alar

En primer lugar, y como ya se ha comentado en apartados anteriores, dada la forma aerodinámica de la aeronave y la configuración alar de esta, se ha decidido modelar la zona alar en conjunto con

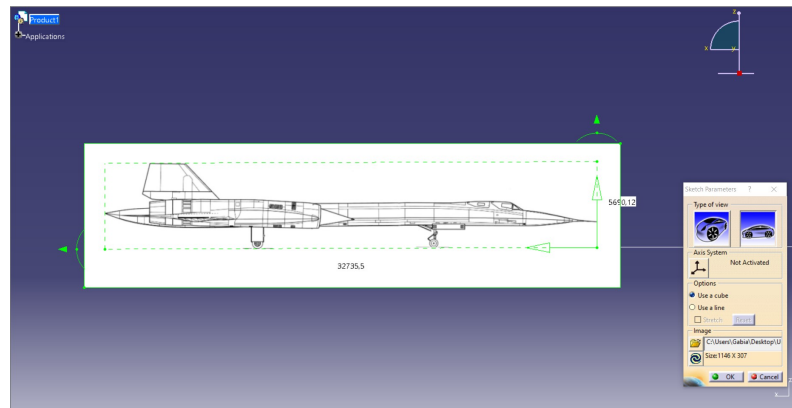


Figura 3.4 Vista de perfil.

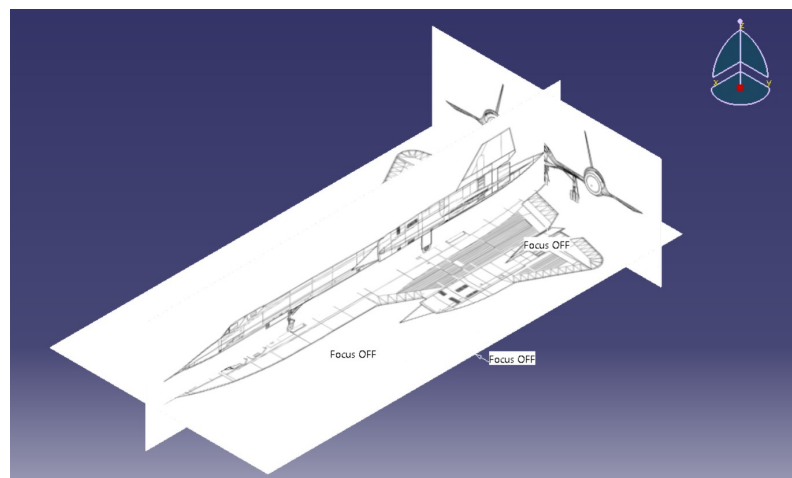


Figura 3.5 Escenario 3D en *Sketch Tracer*.

el fuselaje en un solo componente, por lo que no se hará distinción entre ambos. Si se modela por separado, y así se muestra a continuación, la zona alar exterior.

Para el modelado, dado que en los planos de la aeronave se contaba con numerosas secciones de varios cortes del avión, se considera la opción de incluir dichos planos y modelar el fuselaje mediante *Surfaces: Multi-Sections Surfaces*, sin necesidad de emplear curvas guía. La disposición de estos planos a lo largo del fuselaje puede verse en la *Figuras 3.6*.

El inconveniente es que habría que realizar un *Sketch* para cada corte, lo que conllevaría un tiempo de trabajo elevado y un resultado no óptimo dada la curvatura del fuselaje. Debido a esto, se desestima este procedimiento y se concluye que una mejor estrategia podría ser abordar el modelado mediante *Imagine&Shape*.

De esta forma, se procede a crear la estructura del fuselaje mediante la creación de un cilindro que se ajuste a las dimensiones de este y, mediante las opciones que permite la herramienta, se consigue un resultado bastante óptimo, como se muestra en las *Figuras 3.7, 3.8 y 3.9*. Hay que mencionar que el resultado final conseguido para el fuselaje no ha sido nada fácil de lograr. Debido a la superficie que este posee, se ha tenido que modificar por tramos siguiendo los planos de corte incluidos y, mediante la subdivisión de la superficie y la traslación de puntos y líneas, se ha ido adecuando esta a dichos planos.

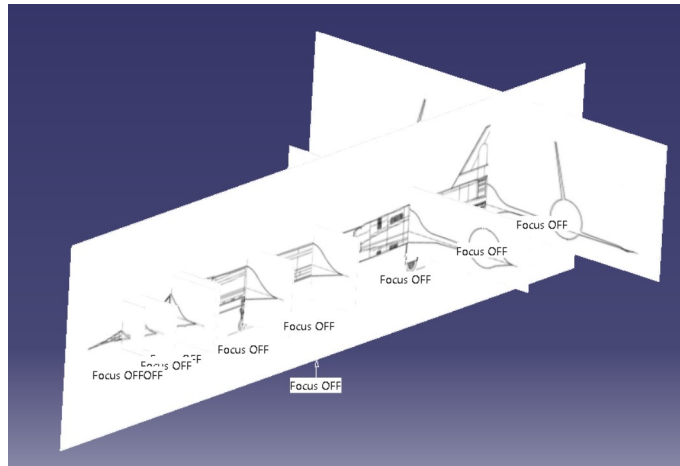


Figura 3.6 Disposición de diferentes planos de corte.

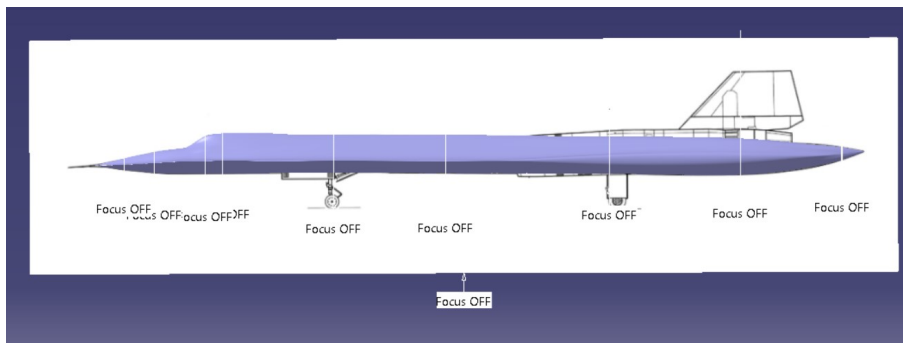


Figura 3.7 Vista de perfil del fuselaje.

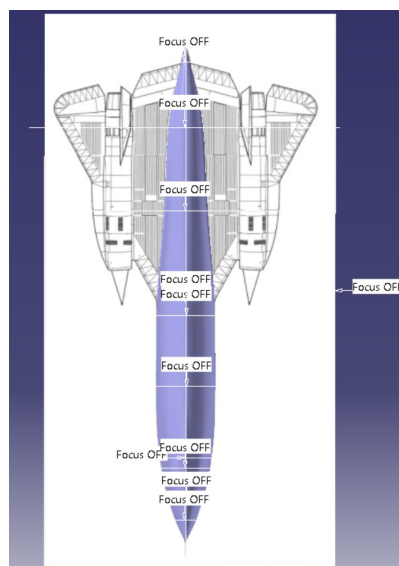
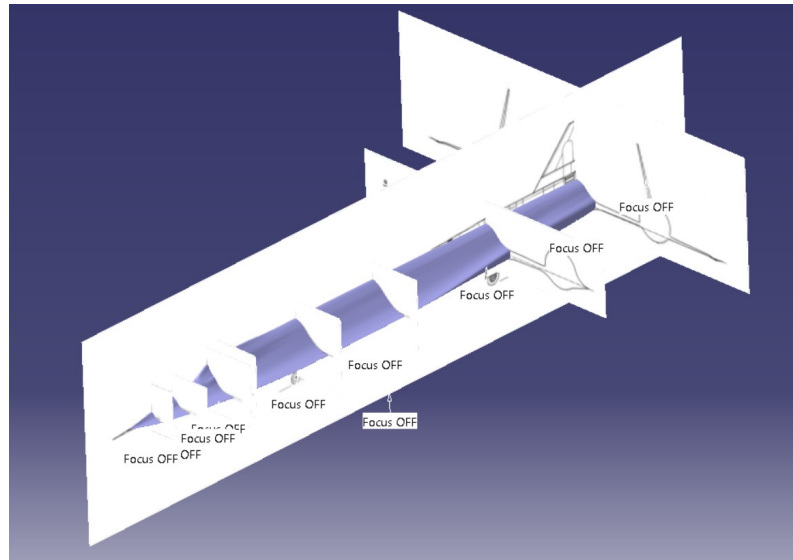
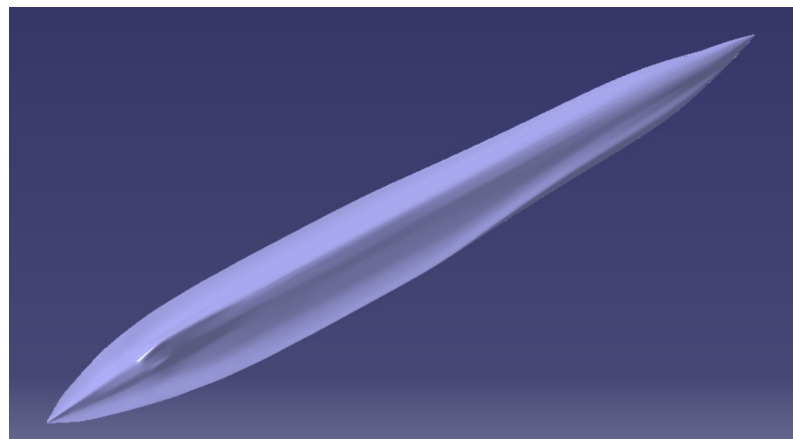


Figura 3.8 Vista en planta del fuselaje.

Por otro lado, mediante la opción *Styling Surfaces: Extrusion* se realiza una primera aproximación de la zona alar interior (Figura 3.9a). Dado que en la zona media del ala irá incluido posteriormente



(a) Vista isométrica con planos.



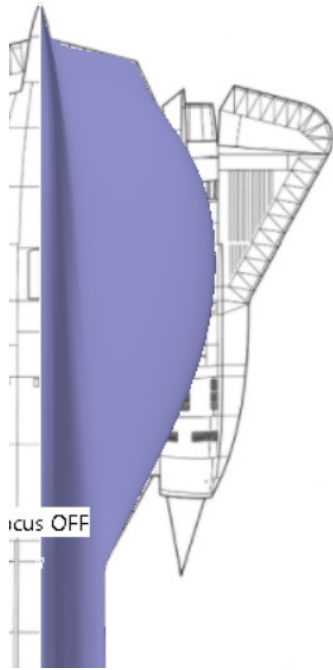
(b) Vista isométrica sin planos.

Figura 3.9 Conjunto de vistas del modelado del fuselaje.

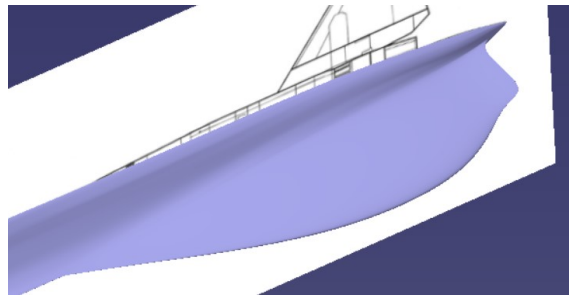
el modelo del motor, se opta por dar una forma aleatoria al modelado de esta zona, ya que luego podrá eliminarse la parte correspondiente oculta por el motor.

Una vez obtenida esta zona interior, y para seguir con el orden establecido de modelado desde el eje del fuselaje hacia las puntas de las alas, se prosigue con el modelado del motor, el cuál se describe más adelante. Es a partir de este, donde se comienza a modelar la zona alar más externa, siguiendo el mismo procedimiento que el adoptado para el modelado del fuselaje, pero esta vez a partir de la creación de un cubo ya que, al tratarse de una zona más plana, permite obtener un mejor resultado, que puede apreciarse en la *Figura 3.10c*.

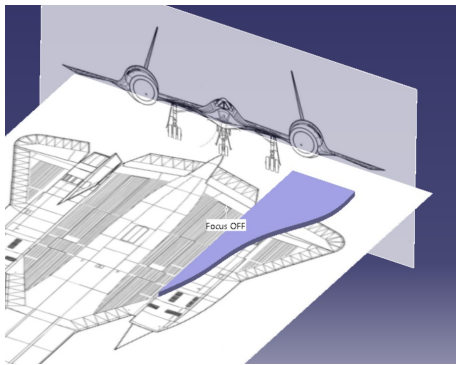
El resultado conseguido en el modelado del conjunto ala-fuselaje es razonablemente bueno, ya que se ajusta con bastante precisión a los planos. El único escollo radica en la zona de la cola, donde la curvatura generada en la superficie con el empleo de *Styling Surfaces: Extrusion*, no produce un buen ajuste entre ambos componentes, por lo que más adelante se realizarán unas correcciones para adecuar mejor dicha zona.



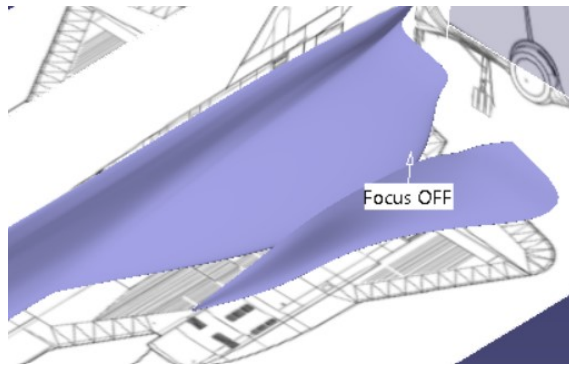
(a) Vista en planta zona alar interior.



(b) Perspectiva zona alar interior.



(c) Perspectiva zona alar exterior.



(d) Conjunto zonas alares.

Figura 3.10 Conjunto de vistas del modelado de la zona alar.

3.4 Modelado del motor

Para modelar el motor, lo que ha de apreciarse en primer lugar y que es lo que mayor dificultad ha planteado en su modelado, es que este no tiene un eje recto, si no que presenta cierta curvatura tanto en el eje y como en el eje z . Para solventar esto, se ha optado por crear una serie de planos y representar en cada uno de estos un *Sketch* circular, cada uno de los cuáles tiene un radio y un centro diferente, y representa una sección del motor. El resultado de la creación de cada *Sketch* puede verse en la *Figura 3.11*.

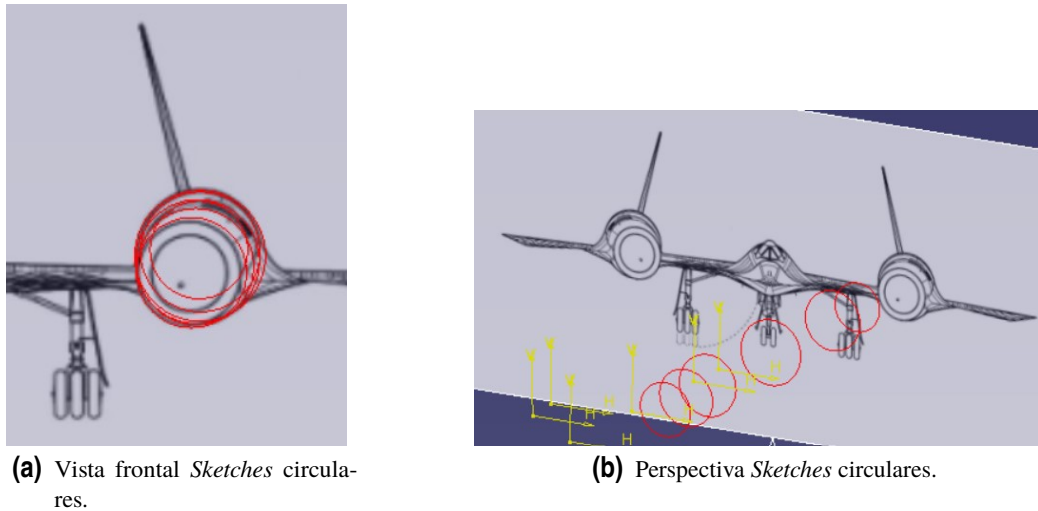


Figura 3.11 Conjunto de vistas del modelado de la zona alar.

Una vez se tienen estos *Sketches*, se emplean para que, mediante un *Multi-sections Surface* se consiga modelar la superficie del motor.

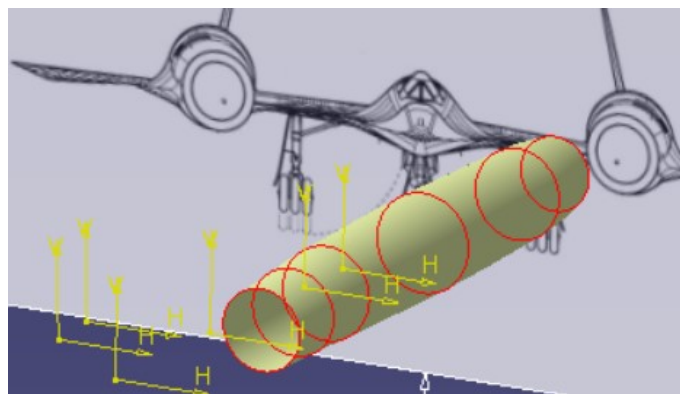


Figura 3.12 Superficie lateral motor.

Conseguida la superficie lateral, se cierran los extremos con un *Fill* y mediante un *Sketch* triangular y un *Revolute*, se logra modelar la zona delantera del motor. El resultado final de este se puede apreciar en la *Figura 3.13*.

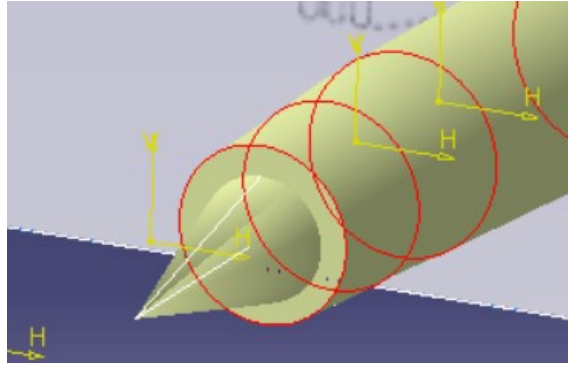


Figura 3.13 Zona delantera del motor.

3.5 Modelado del estabilizador vertical

En el modelado del estabilizador vertical, al que a partir de ahora se hará referencia como VTP, se procede de una forma similar a la del apartado anterior para modelar el motor.

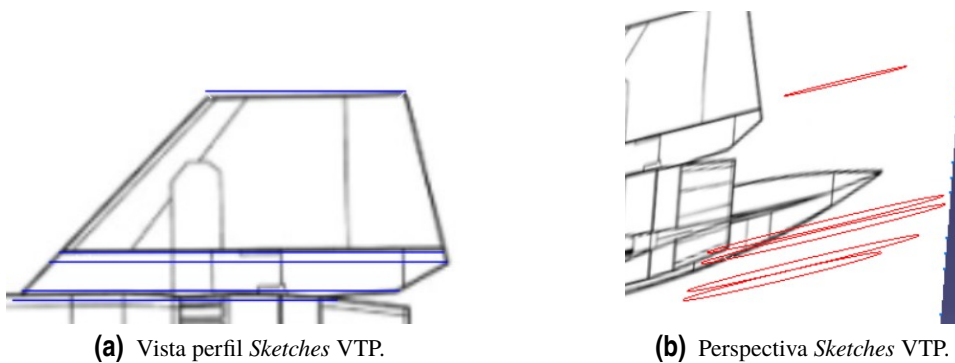


Figura 3.14 Conjunto de vistas *Sketches* VTP.

En este caso, la complejidad radicaba en no disponer de perfiles del estabilizador, además de estar este inclinado con respecto al plano xz .

En primer lugar, se han creado diferentes planos en los que se ha hecho en cada uno un *Sketch* de diferente forma, los cuales se pueden ver en la *Figura 3.14*. Con estos, se realizó un *Multi-sections Surface* entre todas las secciones para modelar la superficie del VTP.

Sin embargo, como se puede ver en la *Figura 3.15*, dada la forma del VTP, el resultado que se obtuvo no era muy bueno, por lo que se decidió optar por separar la superficie total en cuatro partes, realizando por tanto cuatro *Multi-sections Surface*. Las diferentes partes y el resultado completo pueden verse en la *Figura 3.16*.

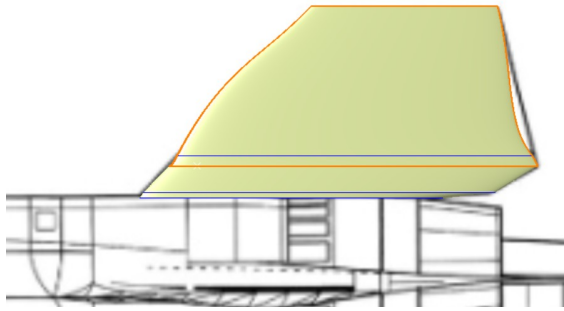


Figura 3.15 VTP mediante *Multi-sections Surface* completo.

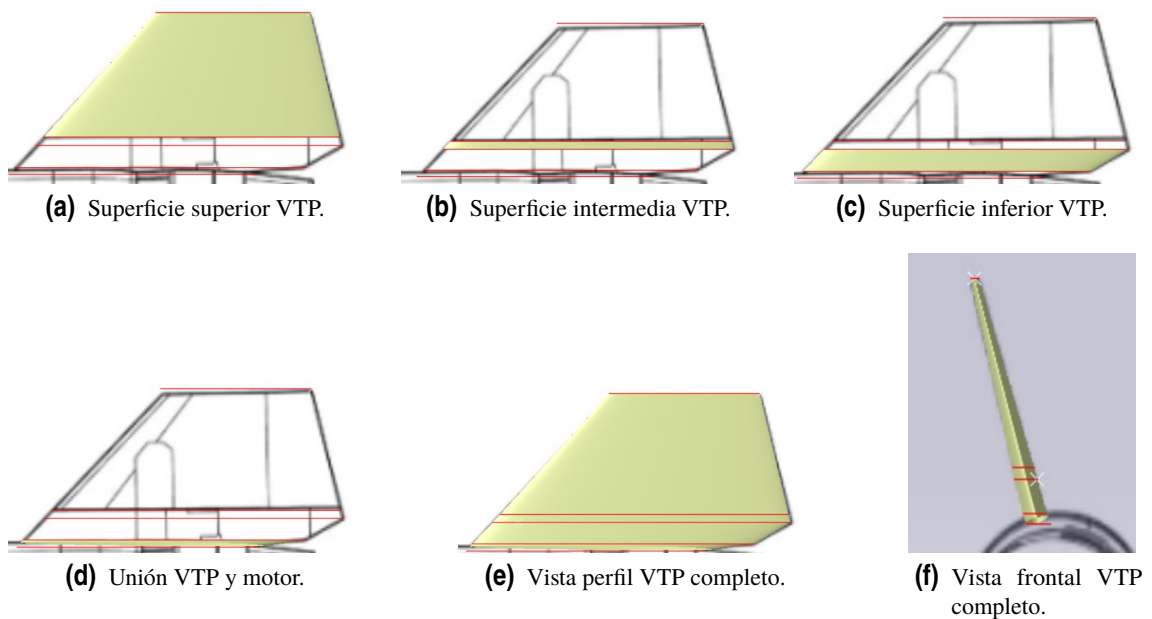


Figura 3.16 Modelado del estabilizador vertical.

Cabe destacar que para la unión del VTP con el motor mostrada en la *Figura 3.16d*, se ha realizado un *Split* entre ambas superficies para conseguir un mejor resultado.

Como se puede apreciar, el resultado final obtenido para el VTP con este procedimiento es mucho mejor que con el de un solo *Multi-sections Surface*. Tras esto, es necesario cerrar la zona superior del estabilizador, el cual cuenta con cierta curvatura. Para conseguir esta curvatura, se realizan dos *Sketches* que se van a emplear como *profile* y como *guide* para realizar un *Sweep*, que permite cerrar la zona superior del VTP de la mejor forma posible.

Para eliminar la superficie sobrante, se realiza un *Split* entre el *Sweep* y el *Multi-sections Surface* superior del VTP y, tras este, un segundo *Split* entre dicho *Multi-sections Surface* y el anterior *Split*, lo que proporciona un mejor ajuste entre ambas superficies. El resultado final se puede observar en la *Figura 3.18*.

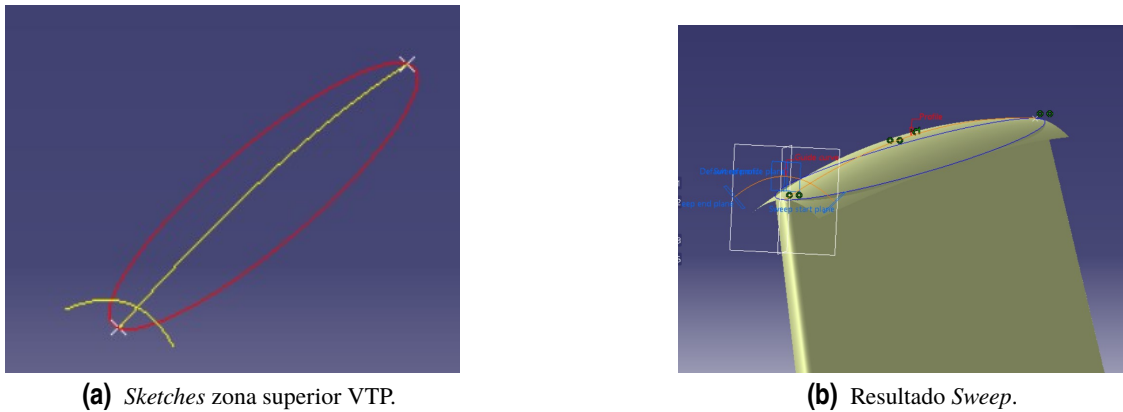


Figura 3.17 Proceso *Sweep* zona superior VTP.



Figura 3.18 Resultado final zona superior VTP.

3.6 Modelado tren de aterrizaje

El proceso de modelado de tren de aterrizaje se ha dividido en dos partes. Por un lado, se modela el tren de aterrizaje auxiliar y, por otro, el tren de aterrizaje principal del avión. Ambos procedimientos son muy similares aunque con algunas diferencias significativas, como puede ser el número de ruedas de uno y otro. Por tener un proceso algo más laborioso y complejo, se ha decidido explicar con más detalle el modelado del tren principal y el del tren auxiliar se describirá de forma más breve.

3.6.1 Tren principal

El tren de aterrizaje principal está compuesto de un eje horizontal sobre el que giran tres ruedas, de cada una de las cuales se va a diseñar tanto la llanta como el neumático. Además, consta de una pata que une el tren al fuselaje y un elemento curvo sobre la rueda central del tren que une el eje a la pata. Además, dado que dicho tren principal se divide a su vez en tren principal derecho e izquierdo, se va a realizar el modelado de este último, concluyendo el proceso con una simetría respecto al plano central de la aeronave.

Para realizar el modelado, se diseña en primer lugar un *Sketch* circular, seguido de un *Extrude* para hacer un cilindro que será el eje de las ruedas del tren principal.

El siguiente paso a realizar es hacer dos *Sketches*, uno elíptico y otro lineal, que van a hacer de sección y *spine* para un *Sweep*, cuyo resultado es la mitad del elemento que unirá el eje de las ruedas con la pata del tren (como la horquilla de una bicicleta), como puede verse en la *Figura 3.19*.

Además, se realiza un *Trim* entre "la horquilla" y el eje para conseguir una buena unión entre ambos elementos.

Para modelar la rueda, se realiza un *Sketch* seguido de un *Revolute* que da lugar a la llanta de dicha rueda. Además, para completar "la horquilla" se realiza una simetría de esta, dando como resultado la *Figura 3.19b*.

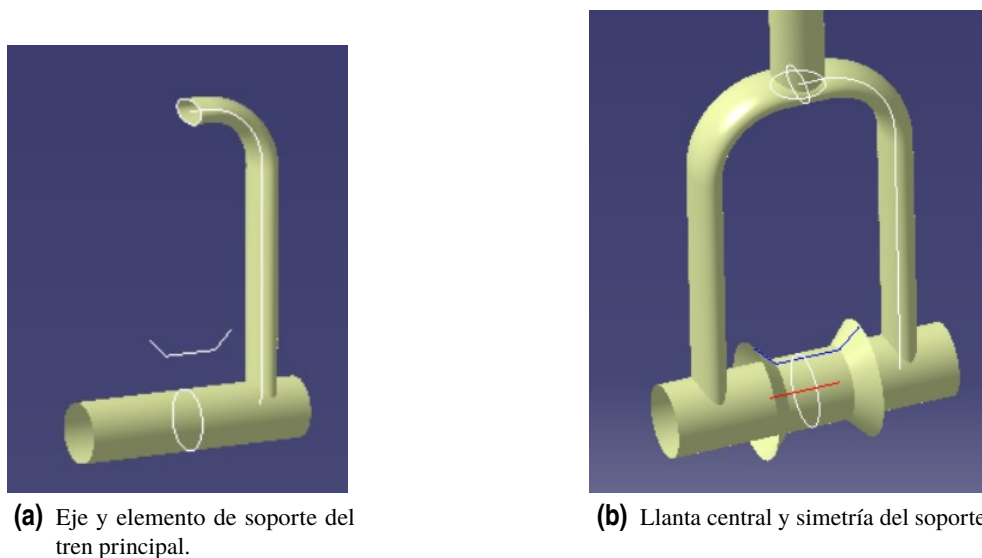
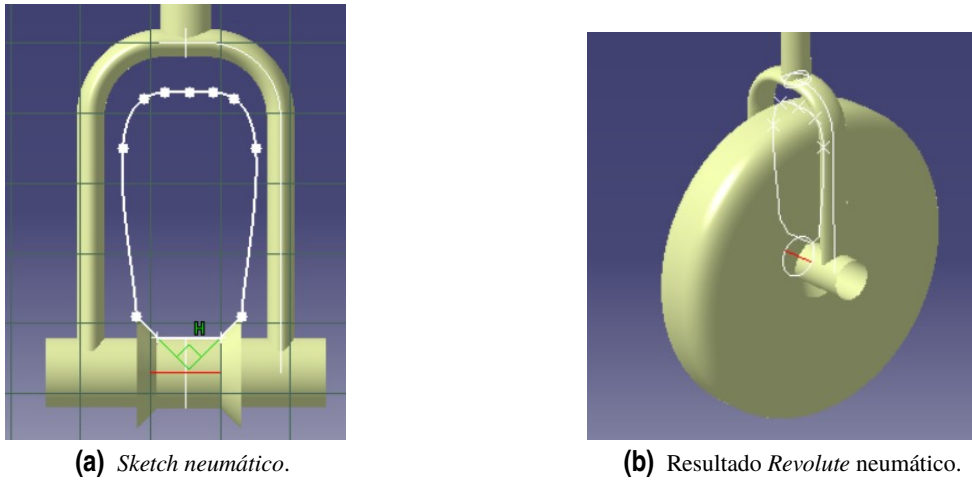
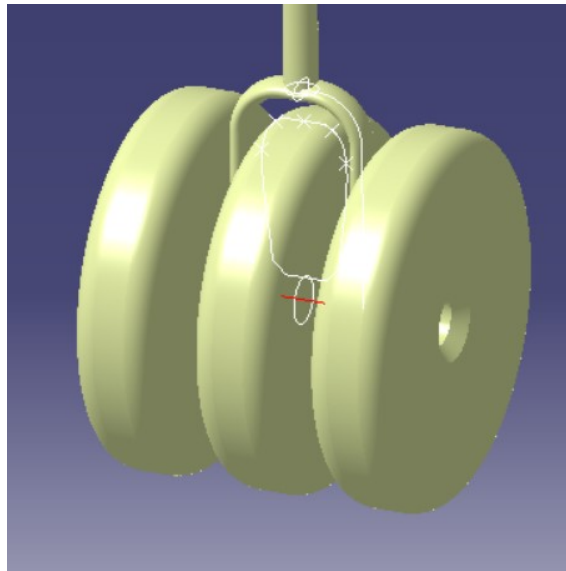


Figura 3.19 Proceso modelado tren principal.

A continuación, se realiza la pata del tren para lo que se diseñan diferentes *Sketches* circulares para las diferentes secciones de dicha pata, y los correspondientes *Extrudes* cilíndricos, *Fill* y *Trim* para cerrar los cilindros y que tengan las dimensiones adecuadas. Tras ello, mediante un *Split* se realiza la unión entre el cilindro inferior de la pata y "la horquilla".

Para el neumático, se realiza un *Sketch* con la forma más adecuada que se adapte al neumático, la cual puede verse en la *Figura 3.20a*. Así, mediante un *Revolute* se consigue la forma deseada de la rueda.

Para modelar las otras dos ruedas, se realiza primero una simetría de la rueda central con un plano situada en el punto medio de esta y una de las exteriores, seguida de otra simetría de la obtenida con un plano situado en el centro de la rueda central. Finalmente, y aunque anteriormente se ha dicho que se finalizaría con una simetría de todo el tren, se realiza dicho proceso pero en un *Part* diferente, ya que esto será necesario posteriormente a la hora de definir los movimientos.

(a) *Sketch neumático.*(b) Resultado *Revolute* neumático.**Figura 3.20** Rueda central tren de aterrizaje principal.**Figura 3.21** Tren principal izquierdo completo.

3.6.2 Tren auxiliar

Para modelar el tren de aterrizaje auxiliar, se comienza realizando tres *Sketches*, dos circulares de diferente diámetro, que conforman la pata del tren, y uno rectangular que será el soporte al que van unidas las ruedas. A continuación, se realizan tres *Extrudes* que dan lugar a dos cilindros que forman la pata del tren, y un prisma, que será la zona a la que se unirán las ruedas.

Tras esto, se realiza un *Sketch* para la llanta como el que se realizó para el tren principal, seguido nuevamente de un *Revolute*. Para realizar el modelado del neumático, se realiza otro *Sketch* y otro *Revolute*, dando como resultado el mostrado en la *Figura 3.23a*.

Para finalizar el modelo, se cierra el prisma al que se unen las ruedas mediante un *Fill*, y se realiza un *Trim* con el cilindro. Tras esto, se realiza otro *Trim* de este resultado con el fuselaje, finalizado el diseño de la unión cilindro-prisma con un *Split* con la llanta de la rueda (siendo esta el elemento de corte) y cerrando los cortes obtenidos mediante respectivos *Fill*. Por último, se realiza la si-

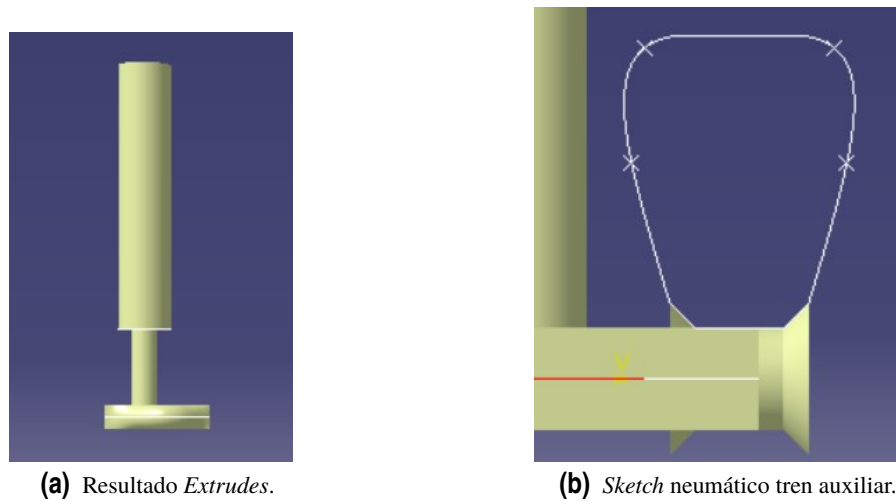


Figura 3.22 Proceso modelado tren auxiliar.

metría del conjunto para obtener la otra rueda, consiguiendo el resultado mostrado en la *Figura 3.23b*.

En la *Figura 3.24* se puede observar una disposición de ambos trenes.

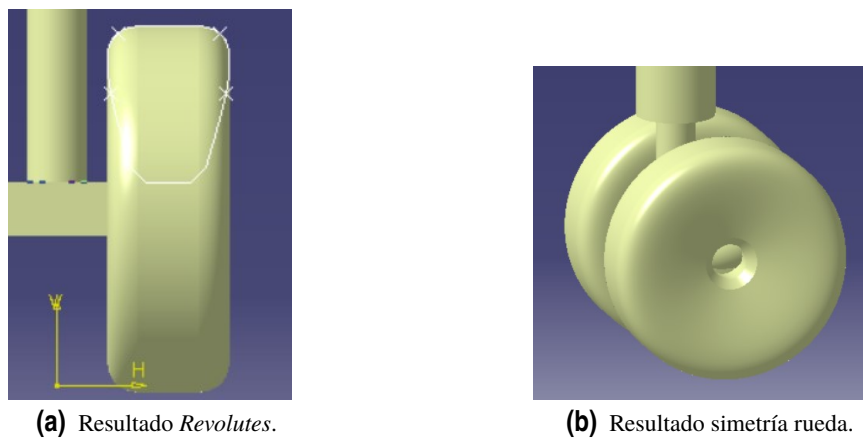


Figura 3.23 Resultado final tren de aterrizaje auxiliar.

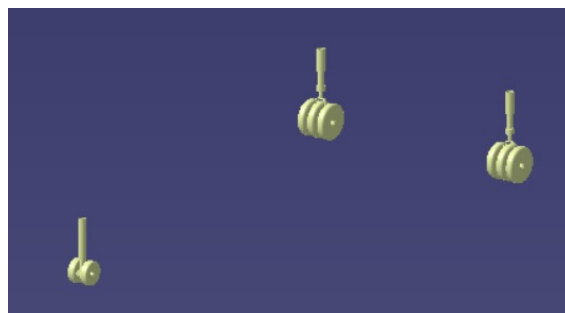


Figura 3.24 Trenes de aterrizaje *SR-71*.

3.7 Modelado compuertas de tren

De igual forma que se ha procedido con el tren de aterrizaje, se van a modelar las compuertas del compartimento de tren principal y de tren auxiliar por separado. Para el tren principal se realizará la del lado izquierdo del avión y posteriormente se realizará la simetría de este con el plano central de la aeronave. Además, se ha de tener en cuenta que cada lado del tren principal consta de dos compuertas, una interior y otra exterior. No obstante, se ha implementado un procedimiento que va a permitir obtener ambas compuertas de forma simultánea.

3.7.1 Compuertas compartimento tren principal

Para el modelado de la compuerta exterior del tren principal, se va a aprovechar la superficie del avión para conseguir que entre la superficie de ambos haya una perfecta continuidad. Para ello, la solución adoptada ha sido conseguir un *Trim* entre un *Extrude* de una superficie que tenga las dimensiones en planta de la compuerta y la propia superficie del avión. Este mismo procedimiento permite también generar los respectivos compartimentos de tren en el interior del fuselaje.

El borde inferior de la superficie obtenida se proyecta en un plano paralelo a yz que pase por el medio de la compuerta, y se traslada una distancia equivalente al espesor de la compuerta exterior, seguido de un *Extrude* para poder obtener la parte inferior del *Trim* anterior.

Sin embargo, durante el modelado de la compuerta exterior surgió la idea de poder modelar al mismo tiempo la compuerta interior. La solución adoptada fue agrandar las dimensiones de la superficie con la que se cortaba la superficie del avión. Así, la superficie obtenida sería la equivalente a la de ambas compuertas cuando el tren está recogido y, el compartimento de tren se puede realizar así con mayor facilidad.



Figura 3.25 Resultado compuertas tren de aterrizaje principal.

Finalmente, basta con cortar la superficie anterior con un plano orientado según la separación de ambas compuertas, y por último cerrar las dos superficie resultantes, cada una de ellas modeladas en un *Part* diferente debido a su movimiento independiente (al igual que sus respectivos simétricos).

3.7.2 Compuertas compartimento tren auxiliar

Las compuertas del compartimento de tren auxiliar se realiza con un proceso equivalente al anteriormente desarrollado. En este caso se toman las dimensiones del compartimento de tren auxiliar para la superficie que corta a la superficie del avión y, dada la geometría de esta, en lugar de proyectar el resultado del corte anterior, se toma un plano paralelo a xy que pase por el punto de intersección

más alejado del eje del avión.

En otro *Part* se realiza la simetría de la compuerta respecto al plano medio del avión. El resultado obtenido con este procedimiento es el que se muestra en la *Figura 3.26*.

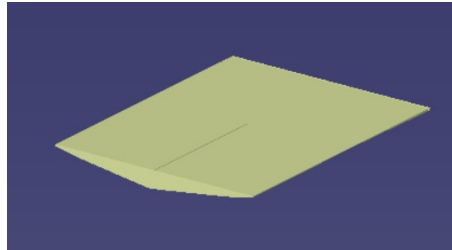


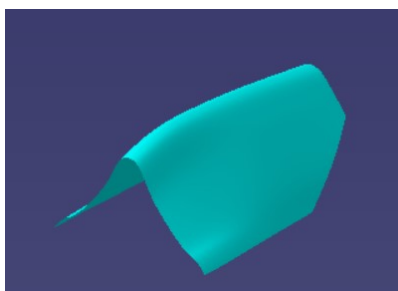
Figura 3.26 Compuertas compartimento de tren auxiliar.

3.8 Modelado Cockpit

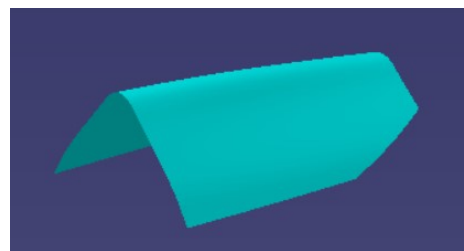
El *SR-71 Blackbird* posee dos cabinas en tándem, la delantera para el piloto y la trasera para el oficial de sistemas de reconocimiento.

La solución adoptada para modelar ambas cabinas consiste en generar cuatro planos alineados según la proyección de dicha cabina en el plano xz y, cortar sucesivamente la superficie del avión con todos y cada uno de ellos, obteniendo así un resultado óptimo ya que la parte superior de ambas cabinas coincide, como era de esperar, con la superficie de la aeronave.

En la *Figura 3.25* se puede ver el resultado de modelar ambas cabinas.



(a) Cockpit piloto.



(b) Cockpit copiloto.

Figura 3.27 Modelado cabinas *SR-71*.

3.9 Modelado ventanas

Las cabinas cuentan con cuatro ventanas cada una, dos a cada lado, aunque en realidad, la cabina del piloto solo posee dos e la compuerta de apertura, estando las otras dos ventanas en la zona frontal. Para modelarlas se ha decidido representar sus proyecciones en el plano medio del avión y desarrollar con cada una de ellas un *Extrude* de una longitud suficiente para atravesar todo el ancho del fuselaje. Tras esto, basta con hacer la intersección de de ambas superficies para obtener el resultado que mejor se adapta a la superficie del avión. El resultado final de cada ventana sobre las

cabinas y el fuselaje se puede ver en la *Figura 3.28*.

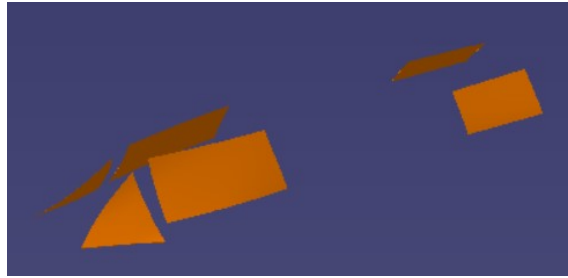


Figura 3.28 Modelado diferentes ventanas.

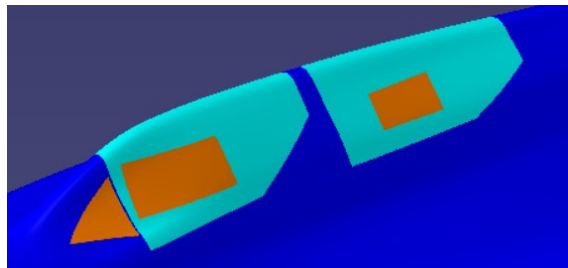


Figura 3.29 Ventanas sobre cabinas y fuselaje.

3.10 Modelado extremo del morro

Por último, pero no menos importante, y aunque no se haya modelado como un componente extra, se incluye en esta sección el modelado del extremo del morro, la cuál se trata de una sección desmontable de este en la que se incluye un radar. Para ello se ha realizado simplemente la proyección de la superficie a partir de la cuál va a salir el cono que va a formar dicho extremo, en un plano paralelo a xz muy cercano a dicha zona y que penetra en el fuselaje.

Con esta proyección y una circunferencia de radio ínfimo, se realiza un *Multi-Sections Surface*, dando como resultado el mostrado en la *Figura 3.30*.

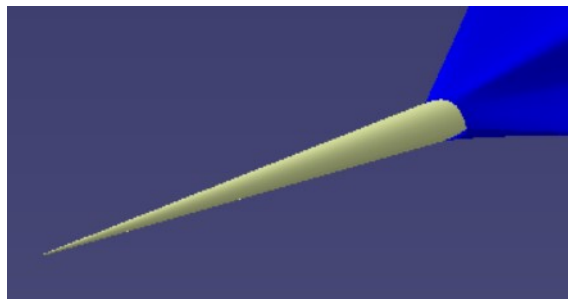


Figura 3.30 Modelado sección desmontable del morro.

4 Ensamblaje y movimiento

El trabajo de modelado que se ha venido desarrollando se ha desarrollado en un mismo *Product* para una mayor comodidad y visualizar mejor los resultados. No obstante, la coincidencia de estos no es completamente real, por lo que se van a ensamblar todos los componentes en otro *Product*, ya cada uno de ellos con su posición real.

Los módulos que van a permitir realizar el ensamblaje y la simulación de movimientos de los componentes móviles del avión son *Assembly Design* y *Digital Mockup: DMU Kinematics* respectivamente.

4.1 Ensamblaje de componentes

Como se acaba de comentar, en un nuevo *Product* dentro del módulo de *Assembly Design*, se van incluyendo los diferentes componentes modelados en el capítulo anterior y que conforman el *SR-71*.

El fuselaje del avión es el que se marca como *Fix component*, de forma que se impide su movimiento y se añaden el resto de componentes a este.

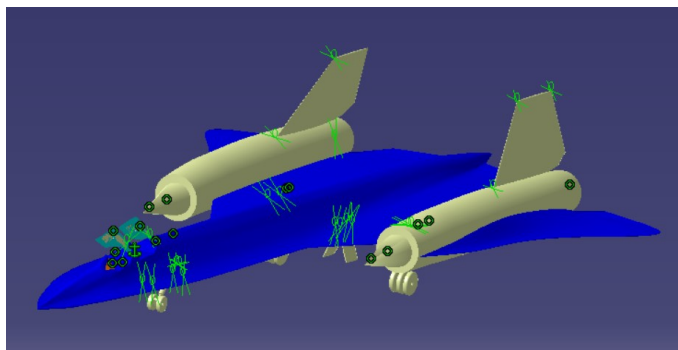


Figura 4.1 Ensamblaje y restricciones del *SR-71*.

Cabe mencionar que para poder ensamblar los diferentes componentes, ha sido necesario la creación de gran diversidad de puntos y ejes en los diferentes *Parts*, lo que facilita la tarea de incluir las restricciones de movimiento y fijar los grados de libertad de cada componente. No es de interés mencionar cuáles han sido todas las *Constraints* que se han impuesto para el ensamblaje, pero las más usadas han sido las del tipo *Offset Constraint* o *Coincidence Constraint*.

El resultado final del ensamblaje con sus restricciones puede verse en la *Figura 4.1*.

4.2 Mecanismos y simulaciones

En este apartado se van a diseñar los diferentes movimientos de los componentes móviles del avión, los cuales se han planteado de la siguiente forma:

- Giro de apertura/cierre *cockpit* piloto.
- Giro de apertura/cierre *cockpit* copiloto.
- Giro de extensión/retracción del tren de aterrizaje auxiliar.
- Giro de extensión/retracción del tren de aterrizaje principal (izquierdo).
- Giro de extensión/retracción del tren de aterrizaje principal (derecho).
- Giro de extensión/retracción de la compuerta de compartimento de tren auxiliar (izquierda).
- Giro de extensión/retracción de la compuerta de compartimento de tren auxiliar (derecha).
- Giro de extensión/retracción de la compuerta interior de compartimento de tren principal (izquierda).
- Giro de extensión/retracción de la compuerta interior de compartimento de tren principal (derecha).

Una vez diseñada la simulación de cada movimiento por separado, se va a generar una secuencia de simulación para ver el movimiento completo de todos los componentes.



Figura 4.2 Creación de los diferentes mecanismos.

La solución adoptada para cada movimiento ha seguido el mismo procedimiento, el cual se describe a continuación:

1. Se crea un nuevo mecanismo con la herramienta *Assembly constraints conversion*.
 2. Se fija uno de los componentes mediante la opción *Fixed Part*.
 3. Se selecciona el tipo de articulación que va a permitir cada giro, de los diferentes *Joints* que aparecen en el mecanismo. Por ejemplo, para el caso del movimiento del tren de aterrizaje auxiliar, se encuentran las de la *Figura 4.3*.
- Se realiza la simulación, imponiendo los límites del movimiento y eligiendo el recorrido de este, es decir, si se para en la posición final o invierte el sentido de movimiento.

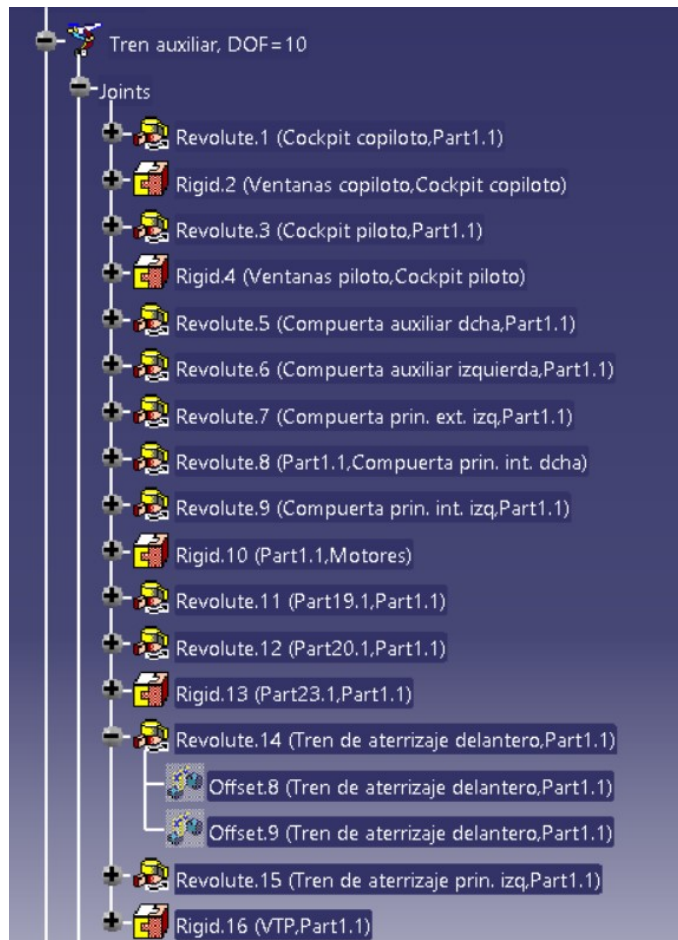
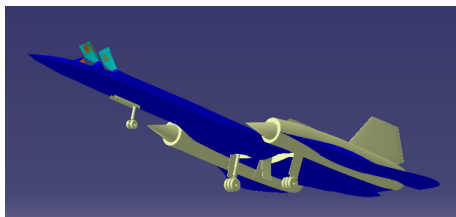


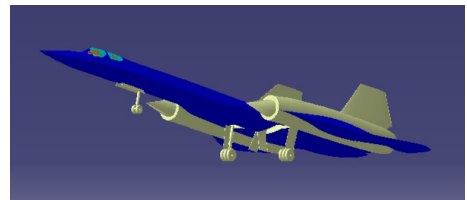
Figura 4.3 Ejemplo de diferentes *Joints* definidas en un mecanismo.

Completados todos los mecanismos de manera independiente, la herramienta *Edit Sequence* permite combinar todos estos en una secuencia de movimientos, que permiten tener una visualización más real de la operación normal de la aeronave.

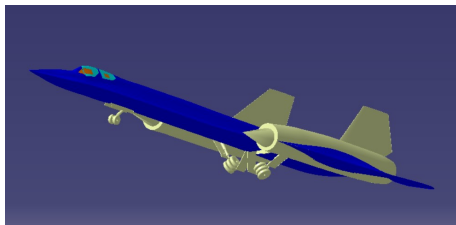
El orden de los movimientos que se ha seguido es: cierre de ambas cabinas de forma simultánea, retracción de los trenes de aterrizaje y, por último, el cierre de las compuertas.



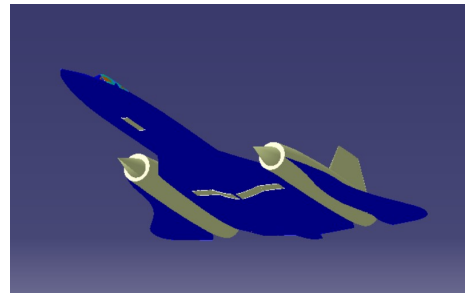
(a) Cierre cabinas.



(b) Cabinas cerradas e inicio retracción de trenes.



(c) Retracción de trenes.



(d) Posición final.

Figura 4.4 Secuencia posición despegue *SR-71*.

5 Aplicación de material y renderizado

Llegados a este punto, el modelado de la aeronave no está aún completo. En este apartado se va a aplicar el material correspondiente a cada componente. Por otro lado, el renderizado consistirá en sacar una imagen del avión con un entorno que simule el mundo real, y se va a emplear dicha imagen como comparativa entre la aeronave real y el modelo realizado.

La mayor parte de la superficie del *SR-71 Blackbird* está hecha de titanio, ya que se demostró que este metal se volvía más resistente debido al calor intenso originado por la fricción aerodinámica, por lo que al fuselaje, alas, superficie de motores y estabilizadores se les va a aplicar dicho material.

Por otro lado, a las patas del tren y los pistones de las compuertas se les va a aplicar acero, a las diferentes ventanas cristal, y a los neumáticos goma. Dado que el color que proporciona la aplicación de estos materiales está más o menos acorde a los colores reales del avión, se van a dejar estos como acabado final, no viendo necesidad de aplicar pinturas de diferente color.



Figura 5.1 Perspectiva frontal modelo final.



Figura 5.2 Perspectiva trasera modelo final.

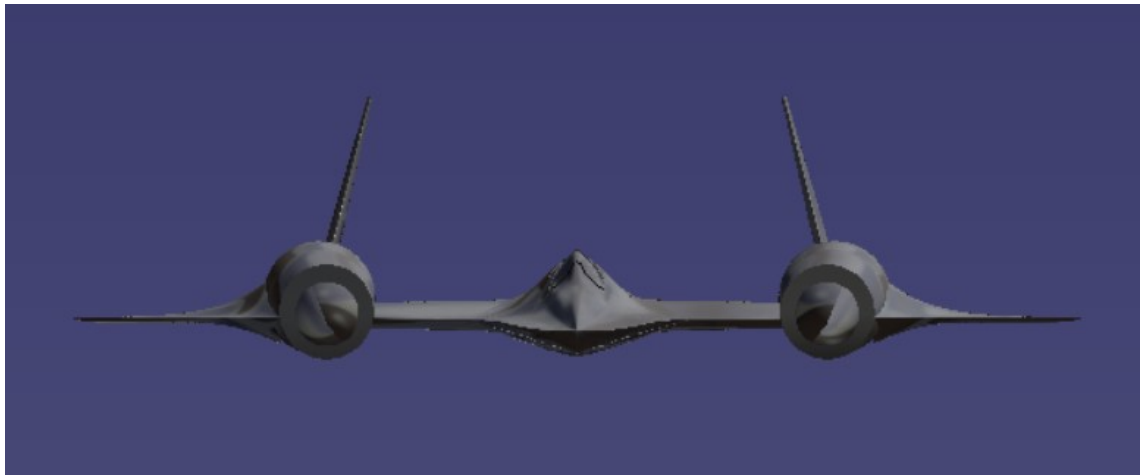


Figura 5.3 Vista frontal modelo final.



Figura 5.4 Vista de perfil modelo final.

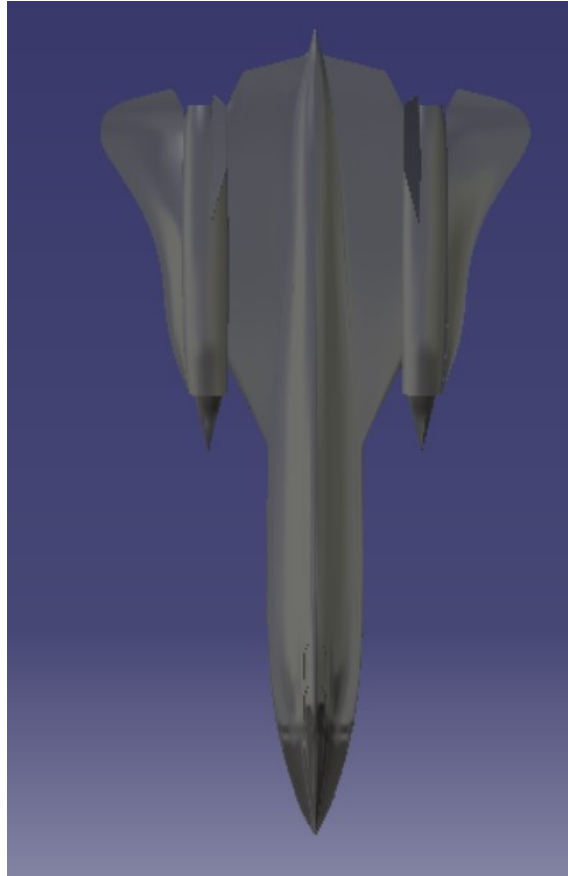


Figura 5.5 Vista en planta modelo final.



Figura 5.6 Modelo real *SR-71 Blackbird*.



Figura 5.7 Modelo realizado *SR-71 Blackbird*.

6 Conclusiones del proyecto

Durante la realización de este proyecto, el principal inconveniente que se ha encontrado es la falta de información, en cuanto a planos detallados se refiere, del avión a modelar. Esto ha dado lugar a que en ciertas ocasiones, se haya dado la situación de que el modelo que se realizaba no encajaba al cien por cien con los planos en los que se basaba, debido quizás a un pequeño desajuste entre estos, pero en todo caso se ha solventado de la mejor manera posible, obteniendo así el resultado óptimo para cada componente.

En cuanto al método de realización, desde el inicio del proyecto se estableció como objetivo tratar de realizar todos los componentes mediante superficies, lo cuál ha sido en algunos casos una dificultad añadida, ya que algunos componentes quizás se podrían haber realizado de forma más rápida con otro módulo del software. Sin embargo, en otros casos ha sido clave para poder modelar el avión, por ejemplo en el caso del fuselaje y los motores, ya que la geometría presentada era bastante compleja.

Siendo algo más específicos, el componente más difícil de modelar ha sido el fuselaje, por la superficie aerodinámica que esta presenta y a la que tantas veces se ha hecho referencia a lo largo del documento. Se ha tenido que realizar moviendo infinidad de puntos, hasta dar con el resultado más óptimo, por lo que ha sido una de las tareas más costosas en cuanto a tiempo.

Otra dificultad se encontró a la hora de establecer las restricciones y movimiento del tren de aterrizaje principal, ya que las dimensiones de las ruedas proporcionadas por los planos eran excesivamente grandes y no eran acorde al tamaño del fuselaje, ya que en la retracción de tren, estas atravesaban la superficie del avión. La solución que se adoptó finalmente fue alargar un poco la pata del tren y reubicar el eje de giro de esta, para que se replegara en la zona más grande del fuselaje.

Además, un caso similar al anterior se dio al intentar modelar la parte posterior del fuselaje, en la unión de este con el ala, ya que el proceso seguido dejaba una superficie más curva que la real. Para solucionarlo, se realizó una superficie alternativa a dicha zona para añadir el material al fuselaje principal, obteniendo así un buen resultado.

Algo que se ha quedado pendiente es un objetivo que se marcó también al principio del proyecto, consistente en desarrollar el interior de las cabinas y sacar un poco de partido al módulo de *Ergonomics Design and Analysis*, pero por falta de información y planos adecuados, se ha tenido que desestimar. Se consideró la opción de suponer ciertas medidas y formas a partir de imágenes, pero por falta de tiempo se desestimó también. Se consideró que la carga de trabajo ya había sido lo

bastante elevada para un proyecto de esta índole.

Por último, mencionar la dificultad añadida de manejar herramientas de CATIA que no resultaban familiares al inicio del proyecto, por lo que el trabajo de investigación, adaptación y aprendizaje también ha llevado bastante tiempo de este. No obstante, la experiencia y los conocimientos adquiridos hacen bueno el tiempo invertido.

En definitiva, ha sido un proyecto que ha proporcionado un gran aprendizaje y la posibilidad de sacarle mayor partido a una herramienta tan potente como es CATIA.

Índice de Figuras

| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Captura de simulación del Mars Rover <i>Curiosity</i> ^[1] | 1 |
| 1.2 | Captura de dos aviones Lockheed Martin F-22 <i>Raptor</i> en vuelo ^[3] | 2 |
| 1.3 | AgustaWestland AW609 en vuelo en modo avión ^[4] | 2 |
| 1.4 | Bell V-280 en configuración de crucero de alta velocidad ^[5] | 2 |
| 1.5 | Fairchild-Republic A-10 <i>Thunderbolt II</i> ^[6] | 3 |
| 1.6 | Eurofighter <i>Typhoon</i> (C.16) ^[8] | 3 |
| 1.7 | SR-71B sobre Sierra Nevada, California, en 1994 ^[9] | 4 |
| 1.8 | Concorde ^[11] | 5 |
| 1.9 | F-15 <i>Eagle</i> ^[12] | 5 |
| 1.10 | Sukhoi Su-27 <i>Flanker</i> ^[12] | 6 |
| 1.11 | XB-70 <i>Valkyrie</i> ^[13] | 6 |
| 2.1 | Banderas de los dos grandes bloques de la Guerra fría ^[15] | 7 |
| 2.2 | Plan de vuelo del U-2 el 1 de mayo de 1960, de acuerdo con documentos de la CIA desclasificados el 25 de junio de 2013. ^[16] | 8 |
| 3.1 | Explosionado de los diferentes componentes del modelo | 11 |
| 3.2 | Vista frontal | 13 |
| 3.3 | Vista en planta | 13 |
| 3.4 | Vista de perfil | 14 |
| 3.5 | Escenario 3D en <i>Sketch Tracer</i> | 14 |
| 3.6 | Disposición de diferentes planos de corte | 15 |
| 3.7 | Vista de perfil del fuselaje | 15 |
| 3.8 | Vista en planta del fuselaje | 15 |
| 3.9 | Conjunto de vistas del modelado del fuselaje | 16 |
| 3.10 | Conjunto de vistas del modelado de la zona alar | 17 |
| 3.11 | Conjunto de vistas del modelado de la zona alar | 18 |
| 3.12 | Superficie lateral motor | 18 |
| 3.13 | Zona delantera del motor | 19 |
| 3.14 | Conjunto de vistas <i>Sketches</i> VTP | 19 |
| 3.15 | VTP mediante <i>Multi-sections Surface</i> completo | 20 |
| 3.16 | Modelado del estabilizador vertical | 20 |
| 3.17 | Proceso <i>Sweep</i> zona superior VTP | 21 |
| 3.18 | Resultado final zona superior VTP | 21 |
| 3.19 | Proceso modelado tren principal | 22 |
| 3.20 | Rueda central tren de aterrizaje principal | 23 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.21 | Tren principal izquierdo completo | 23 |
| 3.22 | Proceso modelado tren auxiliar | 24 |
| 3.23 | Resultado final tren de aterrizaje auxiliar | 24 |
| 3.24 | Trenes de aterrizaje <i>SR-71</i> | 24 |
| 3.25 | Resultado compuertas tren de aterrizaje principal | 25 |
| 3.26 | Compuertas compartimento de tren auxiliar | 26 |
| 3.27 | Modelado cabinas <i>SR-71</i> | 26 |
| 3.28 | Modelado diferentes ventanas | 27 |
| 3.29 | Ventanas sobre cabinas y fuselaje | 27 |
| 3.30 | Modelado sección desmontable del morro | 27 |
| 4.1 | Ensamblaje y restricciones del <i>SR-71</i> | 29 |
| 4.2 | Creación de los diferentes mecanismos | 30 |
| 4.3 | Ejemplo de diferentes <i>Joints</i> definidas en un mecanismo | 31 |
| 4.4 | Secuencia posición despegue <i>SR-71</i> | 32 |
| 5.1 | Perspectiva frontal modelo final | 33 |
| 5.2 | Perspectiva trasera modelo final | 34 |
| 5.3 | Vista frontal modelo final | 34 |
| 5.4 | Vista de perfil modelo final | 34 |
| 5.5 | Vista en planta modelo final | 35 |
| 5.6 | Modelo real <i>SR-71 Blackbird</i> | 35 |
| 5.7 | Modelo realizado <i>SR-71 Blackbird</i> | 36 |

Bibliografía

- [1] NASA Science. Mars Exploration Program.
<https://mars.nasa.gov/msl/mission/overview/>
- [2] Lockheed Martin F-22 Raptor.
https://en.wikipedia.org/wiki/Lockheed_Martin_F-22_Raptor
- [3] Lockheed Martin.
<https://www.lockheedmartin.com/en-us/products/f-22.html>
- [4] AgustaWestland AW609.
https://en.wikipedia.org/wiki/AgustaWestland_AW609
- [5] Bell V-280 Valor.
https://en.wikipedia.org/wiki/Bell_V-280_Valor
- [6] Fairchild-Republic A-10 Thunderbolt II.
https://es.wikipedia.org/wiki/Fairchild-Republic_A-10_Thunderbolt_II
- [7] Eurofighter World.
<https://www.eurofighter.com/>
- [8] Ejército del Aire. Ministerio de Defensa. Gobierno de España.
<https://ejercitodelaire.defensa.gob.es/EA/ejercitodelaire/es/aeronaves/avion/Eurofighter-Typhoon-C.16/#>
- [9] Lockheed SR-71.
https://es.wikipedia.org/wiki/Lockheed_SR-71
- [10] European Aviation School Barcelona.
<https://easbcn.com/aviones-supersonicos-y-la-barrera-del-sonido/>
- [11] Avión Supersónico Concorde.
<https://es.wikipedia.org/wiki/Concorde>
- [12] Aviones de Combate o Aviones de Guerra.
<https://avionesdecombate.org/>
- [13] Pablo Díaz (2017). AVGeekPedia: North American XB-70 Valkyrie, el Triste Final de un Sueño Americano. Aviacionline.
<https://www.aviacionline.com/2017/05/avgeekpedia-north-american-xb-70-valkyrie-el-triste-final-de-un-sueno-americano/>

- [14] Enciclopedia de Historia. Guerra Fría.
<https://enciclopediahistoria.com/guerra-fria/>
- [15] UNHCR ACNUR. La Agencia de la ONU para los Refugiados.
https://eacnur.org/blog/la-guerra-fria-causas-y-consecuencias-tc_alt45664n_o_pstn_o_pst/
- [16] The Central Intelligence Agency and Overhead Reconnaissance: The U-2 and OXCART Programs, 1954-1974 (2013), pag.186. https://www.cia.gov/readingroom/docs/DOC_0000190094.pdf