



Modelado y Recreación Virtual de Patrimonio Aeronáutico como Innovación Docente en Estudios de Ingeniería

Modelling and Virtual Recreation of Aeronautical Heritage as a Teaching Innovation in Engineering Studies

Laura García Ruesgas ^{1*}, Eduardo Fernández González ², Francisco Valderrama Gual ¹, Amparo Verdú Vázquez ³

^{1*} Departamento de Ingeniería Gráfica, E.T.S. de Ingeniería. Universidad de Sevilla, España. lauragr@us.es

¹ Departamento de Ingeniería Gráfica, E.T.S. de Ingeniería. Universidad de Sevilla, España. fv@us.es

² Universidad de Sevilla. edu130796@gmail.com

³ Departamento de Tecnología de la Edificación, E.T.S. de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid

Recibido: 5/05/2021 | Aceptado: 10/07/2021 | Fecha de publicación: 30/07/2021
DOI:10.20868/abe.2021.2.4723

TITULARES

- Innovación Educativa ligada a un aprendizaje autónomo.
- Recuperación de Patrimonio Histórico Aeronáutico.
- Modelado Sólido y Recreación Virtual con software de uso estándar en la industria aeronáutica europea (CATIA).

HIGHLIGHTS

- Educational Innovation linked to autonomous learning.
- Recovery of Aeronautical Historical Heritage.
- Solid Modelling and Virtual Recreation with standard software used in the European aeronautical industry (CATIA).

RESUMEN

El patrimonio aeronáutico a diferencia de otros como el arquitectónico o industrial no ha sido tan abordado históricamente.

Desde hace 20 años, en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, se imparte docencia sobre Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador en sus múltiples titulaciones [2]. En los estudios de Ingeniería Aeroespacial se emplea CATIA, software estándar en la industria aeronáutica europea, Estados Unidos y Canadá [3].

Durante el aprendizaje, los alumnos adquieren competencias para realizar modelados y recreaciones virtuales [5], no tan sólo orientadas a sus futuras actividades profesionales, sino también a otras relativas al rescate y catalogación del patrimonio histórico aeronáutico [6].

Se presenta en esta comunicación el Modelado y Recreación Virtual del avión biplano Ansaldo SVA 5 [7], cuya documentación de partida consistió en planos realizados a mano y en documentos referentes a los diferentes procesos de verificación del proyecto del avión y a las modificaciones realizadas.

Palabras clave: *Innovación Educativa; Patrimonio Aeronáutico; Modelado Sólido; Recreación Virtual; CATIA.*

ABSTRACT

The aeronautical heritage, unlike others such as architectural or industrial heritage, has not been so much addressed historically.

For the last 20 years, the Seville School of Engineering has been teaching Computer Aided Design and Manufacturing in its multiple degrees [2]. CATIA, standard software in the aeronautical industry in Europe, the United States and Canada, is used in the Aerospace Engineering studies [3].

During the apprenticeship, students acquire skills to perform modelling and virtual recreations [5], not only oriented to their future professional activities, but also to others related to the rescue and cataloguing of the aeronautical historical heritage [6].

This paper presents the modelling and virtual recreation of the biplane Ansaldo SVA 5 [7], whose starting documentation consisted of handmade plans and documents relating to the various processes of verification of the aircraft project and the modifications made.

Keywords: *Educational Innovation; Aeronautical Heritage; Solid Modelling; Virtual Recreation; CATIA.*

1. INTRODUCCIÓN

El diseño asistido por ordenador (CAD) permite a diseñadores e ingenieros, entre otros, crear modelos virtuales que tratan de reproducir fielmente las características principales de un producto, como pueden ser el tamaño o la forma de cada uno de sus componentes, posibilitando además la simulación de imágenes virtuales. Por

otro lado, facilita al diseñador la tarea de modificar los conceptos iniciales de diseño con sencillez conforme se va avanzando en el desarrollo del producto final.

De esta forma, los sistemas CAD / CAM contribuyen a mejorar el diseño, el desarrollo y la fabricación de los productos, además de favorecer la reducción de costes de forma

notable y aumentar la productividad [8]. CATIA, WorkNC, Unigraphics, CAMWorks o GibbsCAM son ejemplos de este tipo de software.

Los sistemas CAD/CAM comenzaron a utilizarse a principios de los años 70 en sectores muy específicos como el automovilístico o el aeronáutico, ya que en aquella época la inversión en este tipo de tecnología no se encontraba al alcance de cualquier empresa por motivos de tipo económico. Hoy en día, su uso está muy extendido en toda la industria en general y como consecuencia de su extraordinaria importancia en el ámbito empresarial, muchas universidades han apostado por introducir el aprendizaje de esta tecnología en el plan de estudios de algunas de sus titulaciones, al considerar esta formación imprescindible para el futuro profesional de sus estudiantes. En la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla, se imparte docencia sobre Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador en sus múltiples titulaciones, entre las que se encuentra la titulación de Ingeniería Aeroespacial [2]. Una mayor profundización en los contenidos de esta asignatura se realiza en los Trabajos de Fin de Grado y Fin de Máster.

En particular, en los estudios de Ingeniería Aeroespacial se emplea CATIA, software estándar en la industria aeronáutica europea, Estados Unidos y Canadá [3]. Desde el año 2002, el departamento de Ingeniería Gráfica de la ETSI en Sevilla, dispone de 41 licencias de CATIA. En otras titulaciones, se cuenta con un número ilimitado de licencias campus de los programas Solid Edge y Siemens NX, entre otros. Actualmente, CATIA se considera una de las herramientas más potentes para el procesamiento de archivos CAD, proporcionando apoyo desde la concepción del diseño hasta la producción y análisis de productos. Algunas de las empresas de ingeniería más importantes del mundo hacen

uso de este software para llevar a cabo sus proyectos. Algunos ejemplos, dentro de la industria aeronáutica, son: Boeing, Airbus, Bombardier, Embraer o Dassault Aviation.

Nuestros alumnos tienen acceso a módulos completos que integran todas las herramientas necesarias para la realización del diseño, análisis, simulación, presentación, fabricación, producción y mantenimiento de productos. De esta forma, en su aprendizaje, los alumnos pueden combinar el uso de módulos diferentes. Suele ser habitual comenzar utilizando aquellos módulos que facilitan el diseño de componentes en 3D para continuar con aquellos otros que posibilitan su ensamblaje en 3D o permiten obtener planos 2D de los componentes diseñados. Posteriormente, aprenderán a manejar los módulos en los que se analiza y simula el mecanizado de piezas, aquellos otros en los que se realiza un análisis por elementos finitos o diseños eléctricos, electrónicos o de tuberías, hasta incluso análisis ergonómicos necesarios en determinados casos.

Otra característica importante a destacar de este software es la extensa librería de materiales de la que dispone, desde madera o piedra hasta materiales compuestos, cada vez más utilizados en la industria aeronáutica. El usuario puede crear también sus propios materiales, siendo necesario para ello disponer de una serie de características técnicas y parámetros necesarios como pueden ser la densidad, el módulo de Young o el coeficiente de dilatación térmica.

Esta fuerte inversión económica por parte de nuestra Escuela en la adquisición de softwares específicos, se ve recompensada por el alto nivel de formación de nuestros alumnos, que queda confirmada por la satisfacción mostrada en la industria del sector aeronáutico y sus empresas auxiliares [4], que consecuentemente supone

también una fuerte apuesta en Innovación Educativa.

Dado que el aprendizaje del funcionamiento de este software se encuentra limitado en los estudios de grado por razones de tiempo, son muchos los estudiantes que demandan un conocimiento más exhaustivo. Esta fue la razón principal por la que se comenzó a proponer el desarrollo de un tipo de proyectos en los que se fomenta el uso de un mayor número de módulos de este software, ofreciendo de esta forma a los estudiantes nuevos retos de diseño que les permiten potenciar su creatividad. Estos proyectos deben poder ejecutarse en un tiempo limitado y deben depender únicamente de los estudiantes y sus correspondientes tutores.

Como consecuencia de este aprendizaje, los alumnos adquieren competencias más que suficientes para realizar modelados y recreaciones virtuales [5], no tan sólo orientadas a sus futuras e inmediatas actividades profesionales, sino también a otras relativas al rescate y catalogación del patrimonio histórico aeronáutico [6] muy abandonado en la actualidad, dado que no supone una actividad profesional remunerada para un colectivo de ingenieros que tienen su futuro profesional garantizado en la industria de la producción aeronáutica.

Por los motivos mencionados con anterioridad, el patrimonio aeronáutico a diferencia de otros como el patrimonio arquitectónico o industrial no ha sido históricamente tan abordado. En particular, en Sevilla, única ciudad española en

donde ininterrumpidamente se ha desarrollado actividad de producción aeronáutica durante el último siglo [1], llama la atención que no exista ni siquiera un museo relacionado con este tema.

Durante los últimos años, varios profesores del departamento de Ingeniería Gráfica de la Universidad de Sevilla han tutorado proyectos relacionados con la recuperación de patrimonio histórico aeronáutico mediante modelado 3D y recreación virtual [9], siendo el número total de proyectos realizados por los autores de este trabajo cercano a los 15, de un total próximo a 30 en todo el departamento. Estos proyectos se pueden consultar en su mayoría en la biblioteca de la Universidad de Sevilla, ya que deben haber obtenido una calificación alta para estar alojados en el repositorio. Se han modelado todo tipo de aeronaves antiguas, encontrando una gran mayoría perteneciente a la Primera y Segunda Guerra Mundial.

2. METODOLOGÍA

La metodología utilizada se expone gráficamente en la figura 1. Como se puede observar, el primer paso consiste en la realización de una "Búsqueda de información" acerca de una aeronave antigua de la que no se disponga información digitalizada. El rango temporal no es excesivamente amplio, ya que puede comenzar con el inicio de las primeras aeronaves conocidas y concluir aproximadamente a principios de los años 70, cuando se introduce el CAD en la industria.

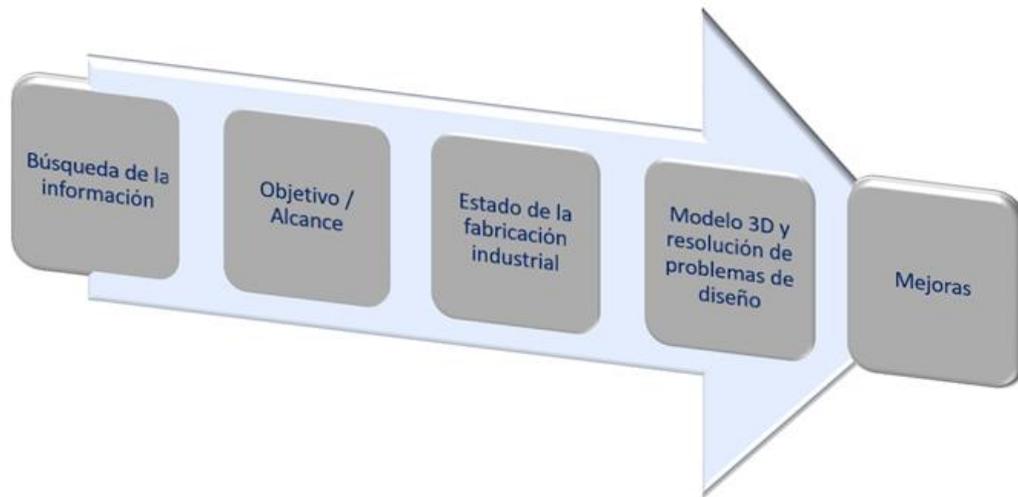


Fig. 1: Metodología

El período de invención de una determinada aeronave va a definir los objetivos del proyecto. Por un lado, las aeronaves más antiguas suelen proporcionar menos información, disponiendo tan sólo de bocetos simples y algunas imágenes. En estos casos, el alumno se encuentra obligado a desarrollar su creatividad y adaptarse a los materiales y herramientas del momento. En los casos en los que se trabaja con aeronaves más cercanas al término de la primera mitad del siglo XX (años 40 y 50), es posible obtener algún plano de apoyo sobre el que se puede medir y a partir del cual es posible seleccionar los materiales más adecuados, aunque el número de elementos en estos casos es mayor.

Por lo tanto, hay que estudiar los diseños mecánicos, las máquinas de fabricación disponibles, así como los materiales. El siguiente paso es el diseño y la recreación virtual tridimensional, así como detectar los posibles errores de diseño que no aparecen en los bocetos, planos, imágenes o en cualquier otro

tipo de información disponible, como pueden ser réplicas en museos. Los alumnos deben ser capaces de analizar y corregir esos fallos. Algunas veces, las correcciones llevan implícitas mejoras en la definición de la aeronave.

2.1. Búsqueda de información

La problemática principal que encuentran los estudiantes al comenzar un proyecto de este tipo es la dificultad existente en la búsqueda de información útil. Normalmente, la información es muy escasa y salvo en ocasiones extraordinarias en las que los alumnos acuden a un museo o a una empresa, y tienen la suerte de poder obtener información sobre la aeronave a modelar, lo habitual suele ser efectuar búsquedas exhaustivas en la red, en foros, acudir a colecciones privadas o incluso libros antiguos. Hay quienes, debido a la imposibilidad de obtener algún plano de cierta calidad, se decantan por comprar maquetas de la aeronave en cuestión, y trabajar partir de dicha información.

2.2. Objetivo/Alcance

El alcance de los proyectos depende en gran medida de la información disponible de la aeronave concreta. Si la información de la que se dispone son tan sólo imágenes, el objetivo será obtener un modelo tridimensional lo más fiel posible a dichas imágenes. Sin embargo, si la fuente de información incorpora además planos con medidas, se podrán realizar otro tipo de estudios por parte del alumno. Se suelen estudiar herramientas de análisis de interferencias estáticas y dinámicas.

2.3. Estado de la fabricación industrial

Para poder obtener un modelo con una fiabilidad aceptable, resulta fundamental realizar una correcta selección de los materiales más apropiados y aplicar correctamente medidas no estándar en mecanismos específicos como pueden ser engranajes o tornillos.

2.4. Modelo 3D y resolución de problemas de diseño

Todas las aeronaves estudiadas carecen de información completa, bien porque los datos de partida sean tan sólo dibujos o bocetos o porque los planos no están completamente definidos. La tarea de los alumnos es completar dicha información e intentar finalizar estos planos.

2.5. Mejoras

En la mayoría de los casos, es necesario añadir datos adicionales a la información ya disponible para conseguir un rendimiento óptimo de la aeronave con la que se está trabajando. Toda esta información quedará recogida como mejoras del modelo inicial. Por ejemplo, en el caso presentado en este trabajo, se incluyen

como posibles mejoras, entre otras, el modelado de las conexiones mecánicas entre superficies de control y mandos de vuelo.

3. RESULTADOS

En este apartado se incluye a modo de ejemplo, una de las recreaciones virtuales que ha sido realizada y tutorada por los autores de este trabajo.

3.1. Ejemplo: Avión Biplano Ansaldo SVA 5

El SVA fue uno de los primeros aviones de concepción y construcción completamente italianos durante la Primera Guerra Mundial. Diseñado a finales de 1916 por los ingenieros Umberto Savoia y Rodolfo Verduzzio, su primer prototipo se construyó a finales de marzo de 1917, aunque con algunas modificaciones con respecto al diseño original entre las que destaca el uso de un único radiador, tipo automóvil [10], característico del SVA. Aunque fue inicialmente diseñado para ser un avión de caza, un intenso período de pruebas a cargo de pilotos militares demostró que el SVA, aunque más rápido que otros cazas contemporáneos no tenía la capacidad de maniobra necesaria para ser utilizado como avión de combate. Sin embargo, su alcance, techo operacional y su impresionante velocidad (una de las más rápidas en esos momentos, mayor a la de todos los aviones de combate de los Aliados en la Primera Guerra Mundial) les hizo replantearse su función a la DTAM italiana, que decidió utilizarlo como avión de reconocimiento y bombardero ligero. El modelo SVA 5 fue el primero en ser utilizado como bombardero.



Fig. 2: Imagen de Ansaldo SVA 5 de la época (Fuente: militaryfactory.com).

3.2. Documentación del avión biplano Ansaldo SVA 5

La documentación de partida para realizar el modelado de este avión fue facilitada por el Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle [11], ciudad a la que se viajó para poder obtener dicha información. Una vez allí, fue posible realizar una visita guiada al citado museo, donde además de poder observar el avión, se tuvo acceso a una serie de archivos que contenían información relevante para la

realización de este proyecto [12]. Entre los documentos facilitados, existen planos realizados a mano por el ingeniero Rodolfo Verduzzio, así como documentos referentes a los diferentes procesos de verificación del proyecto del avión y a las modificaciones realizadas a lo largo del desarrollo del mismo con objeto de solventar distintos problemas. Estos planos lógicamente, habían sufrido el desgaste del tiempo, pero aun así no fue difícil rescatar las cotas.

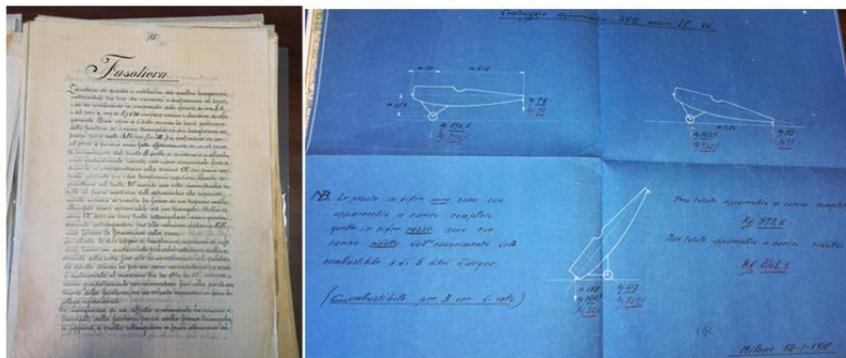


Fig. 3: Manuscrito con información del fuselaje (izquierda) y aeronave en diferentes configuraciones (derecha) (Fuente: Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle)

Los planos a los que se ha tenido acceso, contienen información detallada de prácticamente el avión completo, aunque solo se presentan correctamente acotadas tres costillas principales. Del resto, se conoce su posición y las medidas respecto a las principales anteriormente mencionadas, teniendo que

realizar mediciones basadas en ellas. Existen pocos planos de conjuntos individualizados, por lo que los planos principales con los que se pudo trabajar contenían el ensamblaje completo de todas las partes y conjuntos del avión.



Fig. 4: Ansaldo SVA 5 expuesto en el Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle

La documentación disponible en relación a las características técnicas de la aeronave son las siguientes [13]:

Tabla 1: Especificaciones del avión

Apertura alar	9,18 m
Longitud	8,13 m
Altura	2,72 m
Superficie alar	26,96 m ²
Peso al vacío	695 kg
Velocidad máxima	207 km/h
Motor	SPA 6ª 205CV o Isotta Fraschini 6º 250 CV
Armamento	Ametralladoras "Vickers calibre 7,7"

3.3. Modelado del avión en CATIA V5

Para realizar el modelado del avión, se decidió dividir éste en los siguientes subconjuntos: fuselaje, ala, timón de cola, hélice y tren de aterrizaje [14]. A continuación, se muestra de forma resumida el proceso de modelado en cada uno de ellos [15].

3.3.1. Fuselaje

El fuselaje constituye la parte central de la estructura del avión, cuya finalidad no es otra que servir de alojamiento a pasajeros o carga, así como a los sistemas y equipos de abordaje. Además, actúa como unión de las demás partes del avión, acoplándose a éste de forma directa, como es el caso de las alas, el timón de cola, el motor (en caso de aeronaves monomotor) o el tren de aterrizaje, o bien de forma indirecta, como los motores (en el caso de aeronaves

bimotor) o las superficies de control. En el caso que nos ocupa, dado que el Ansaldo SVA 5 es una aeronave monomotor con una única hélice, estará alojado en el fuselaje, en la parte del morro. Este avión presenta además una configuración de 'doble ala', aunque solo el ala baja irá unida al fuselaje de forma directa.

El Ansaldo SVA 5 posee un fuselaje de tipo reticular o tubular, compuesto principalmente de cuadernas, largueros y diagonales. Las cuadernas son los elementos que dan forma y rigidez a la estructura, los largueros, que son de perfil rectangular y alargados, recorren todo el fuselaje y su función es unir las cuadernas, y las diagonales dan rigidez al conjunto largueros-cuadernas. La estructura formada por estos elementos se cubre de láminas de madera adquiriendo una forma aerodinámica y uniforme.

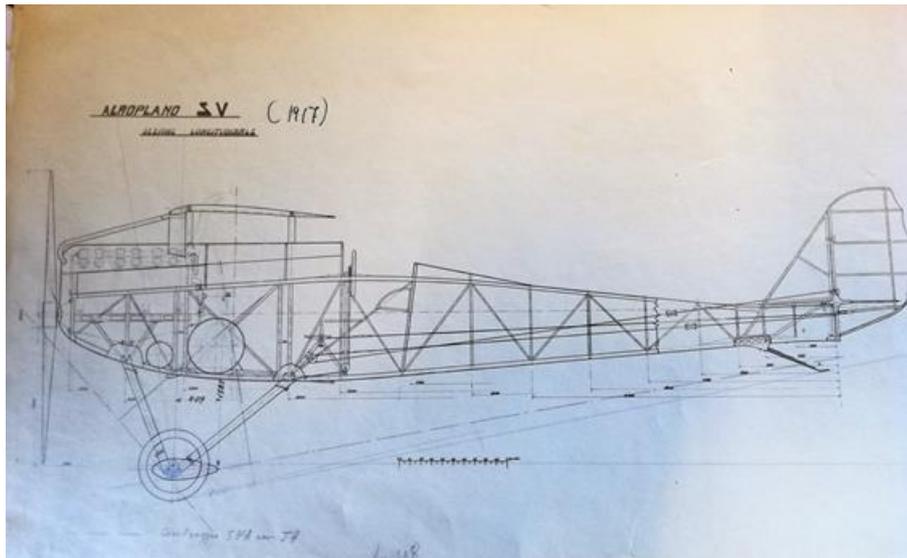


Fig. 5: Perfil con la posición de las cuadernas y la distancia entre ellas (Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle)

El proceso de modelado comenzó con las cuadernas por ser los elementos de los que se disponía de mayor información y a partir de sus medidas fue posible diseñar el resto. Según los planos a los que se tuvo acceso, resulta evidente la existencia de un total de 17 cuadernas

repartidas a lo largo de la estructura, existiendo información precisa de las cuadernas número 3, 8 y 12.

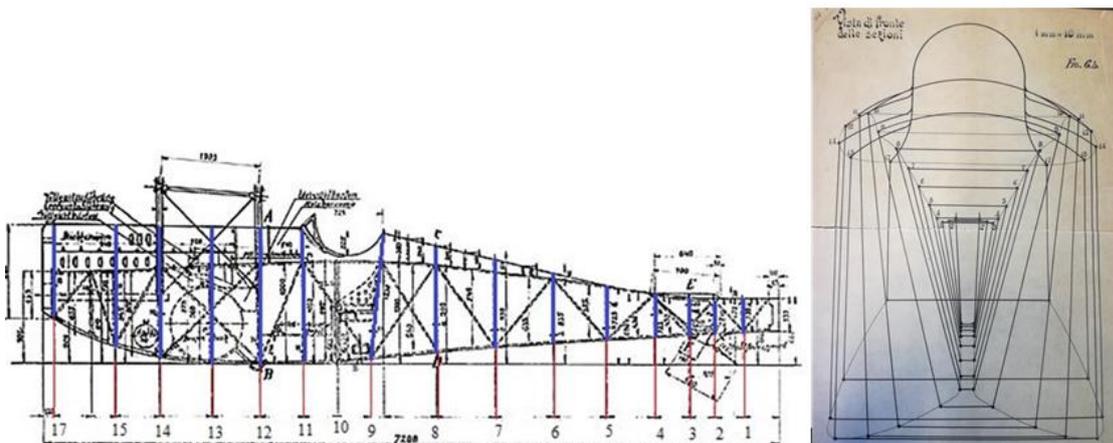


Fig. 6: Numeración de las cuadernas (izquierda) y vista central de secciones (derecha) (Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle)

En base a esta información, se modelaron las diferentes cuadernas y se ubicaron todas ellas en el espacio (figura 7 y figura 8).

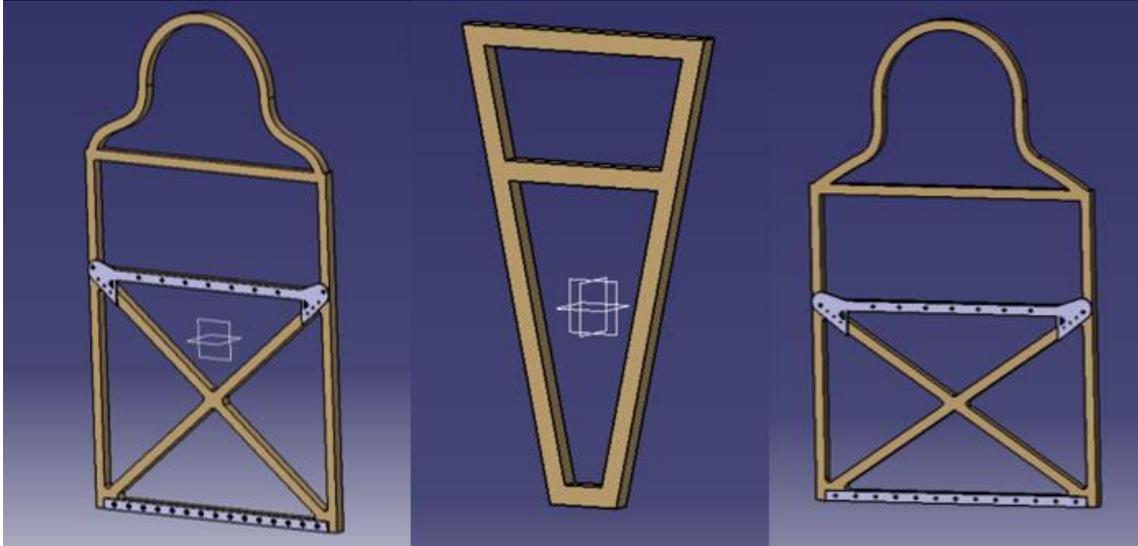


Fig. 7: Ejemplos de modelado completo de las cuadernas n°12 (izda), n°2 (centro) y n°14 (dcha)

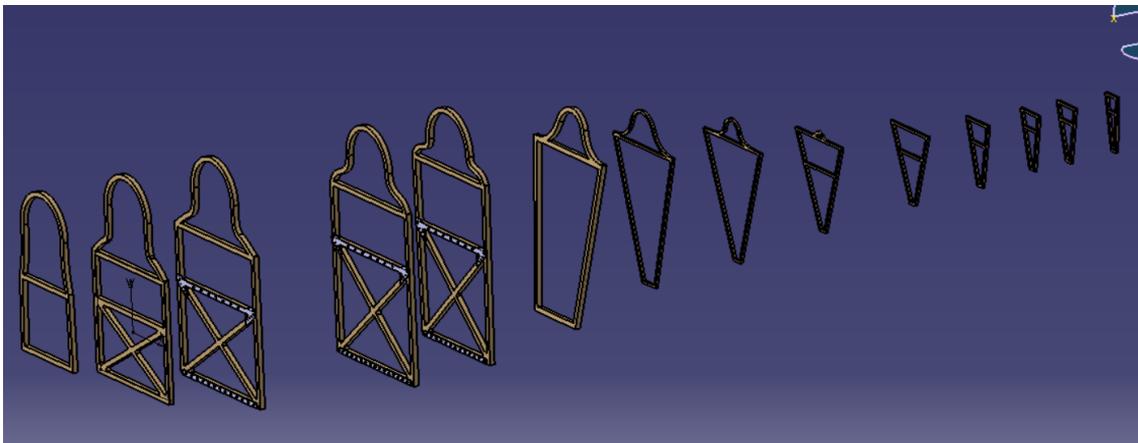


Fig. 8: Posicionamiento de las cuadernas en el espacio

Una vez posicionadas las cuadernas, se procedió a la creación de los largueros que dan forma a la estructura principal. Se diferencia entre largueros horizontales, que unen todas las cuadernas entre sí, y largueros diagonales, de

perfil cuadrado que unen las cuadernas una a una. Su posicionamiento se detalla en la Figura 9.

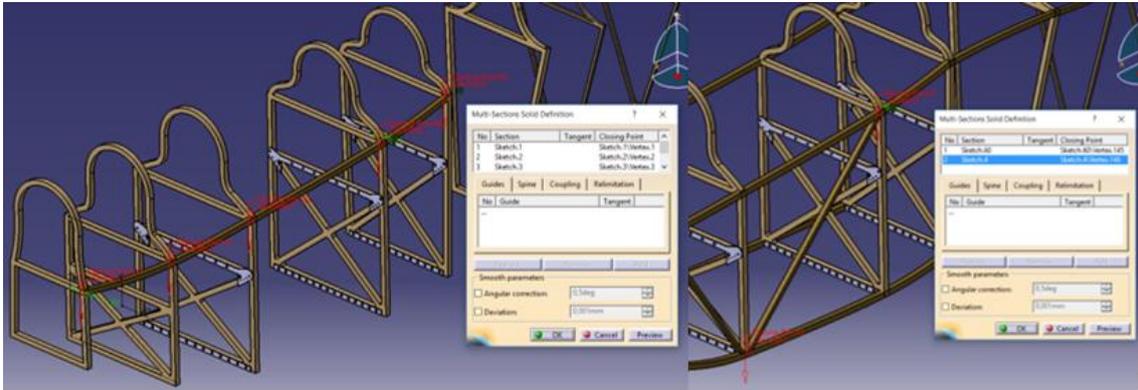


Fig. 9: Larguero horizontal (izquierda) y larguero diagonal (derecha)

Finalizado el modelado de todos los largueros, la estructura principal del fuselaje queda definida como se observa en la figura 10.

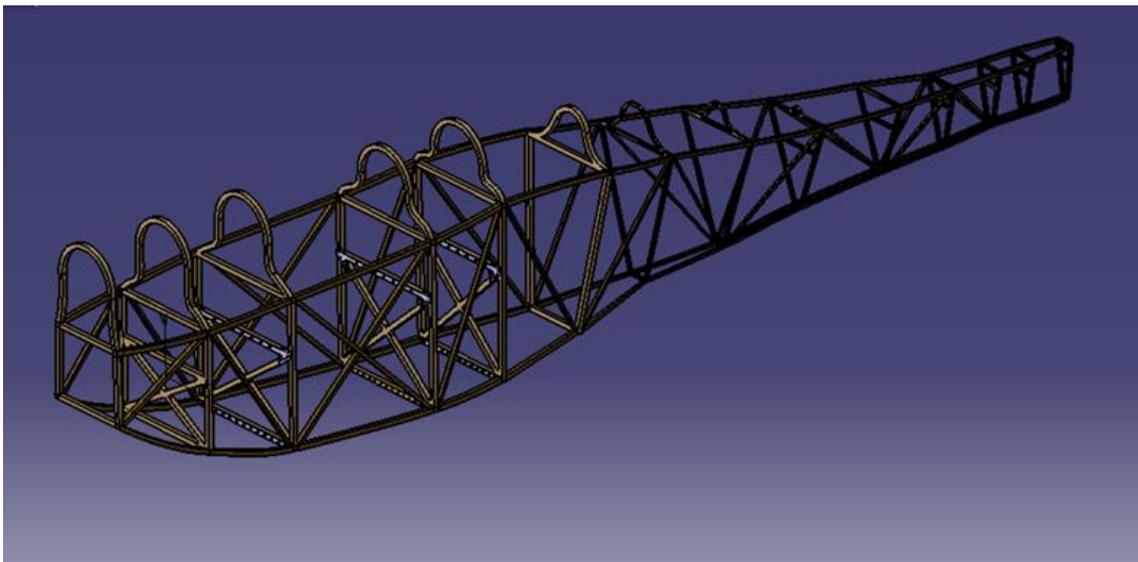


Fig. 10: Estructura principal del fuselaje

Para crear la cubierta del fuselaje se utilizó el módulo de superficies. La siguiente figura muestra el resultado obtenido al aplicar un espesor de 6mm.

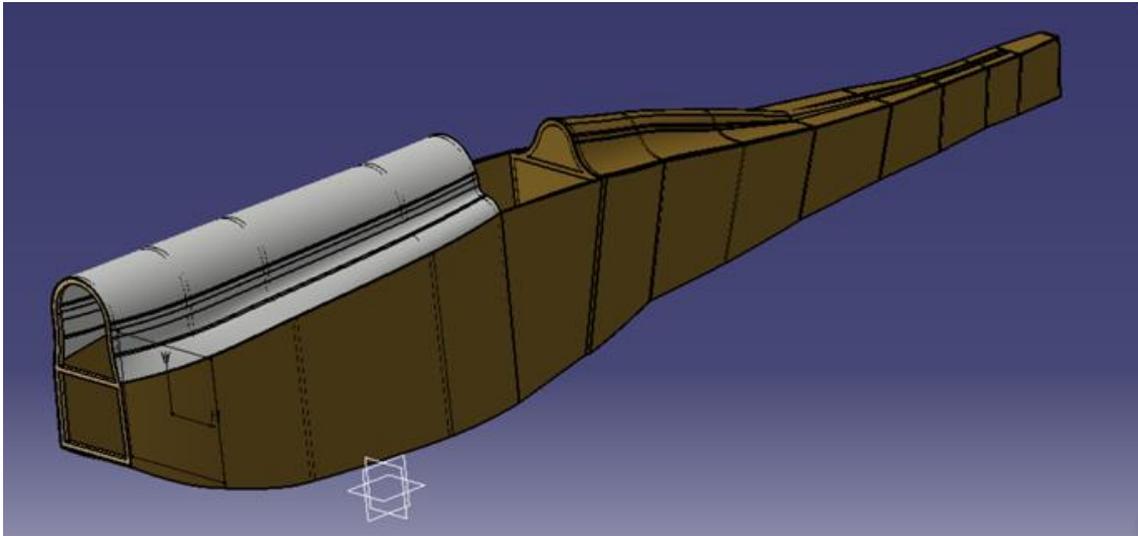


Fig. 11: Cubierta del fuselaje completo tras aplicarle espesor

3.3.2. Cubierta del motor

La cubierta del motor presenta varios tubos de escape de gases, así como orificios cuya misión

es dejar evacuar el calor creado por éste mientras está en funcionamiento.



Fig. 12: Carcasa del motor real (izda.) y carcasa del motor modelada en CATIA (dcha.)

3.3.3. Conjunto alas

El ala es el elemento esencial para que un avión pueda volar, ya que se encarga de crear la sustentación, razón por la cual el avión puede vencer su peso consiguiendo que se eleve. En este caso, el avión dispone de una configuración

de doble ala, también llamado biplano. Esta configuración es típica en el diseño de los primeros aviones y fue la más utilizada en las aeronaves que operaron en la Primera Guerra Mundial, aunque años después se demostraría que eran poco eficientes y se dejaron paulatinamente de usar y fabricar. Los planos

disponibles con las medidas de las alas alta y baja contienen el suficiente detalle como para poder ser modeladas sin apenas realizar suposiciones.

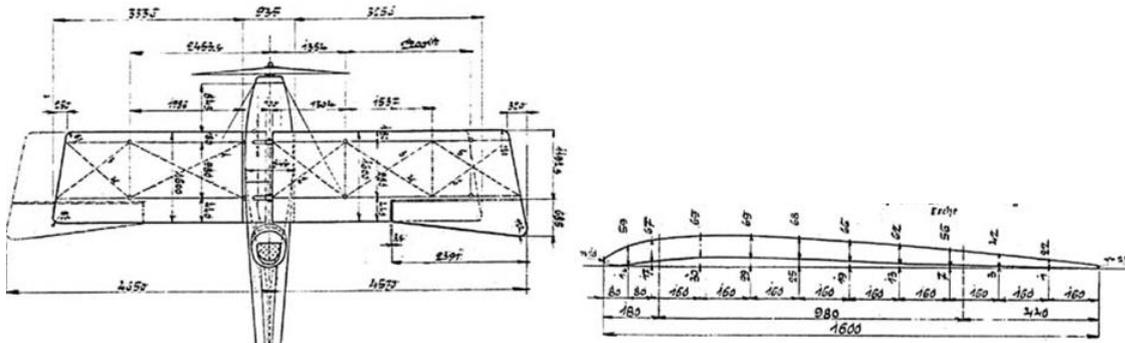


Fig. 13: Planos de ala alta y de ala baja (izda.) y plano del perfil del ala (dcha.)

Una vez generado con Catia el perfil alar, éste se solidifica y se copia mediante un patrón rectangular el número de veces indicado en los planos, en este caso fueron necesarias 19 copias equidistantes entre sí 222,63mm. Para realizar la unión entre ellas, se utilizaron dos largueros horizontales que recorren toda la

estructura aportando consistencia: uno próximo al borde de ataque y otro prácticamente en el borde de salida. En la figura 14 se puede observar la forma y medidas que se han dado al perfil del larguero, así como la unión de todos los perfiles.

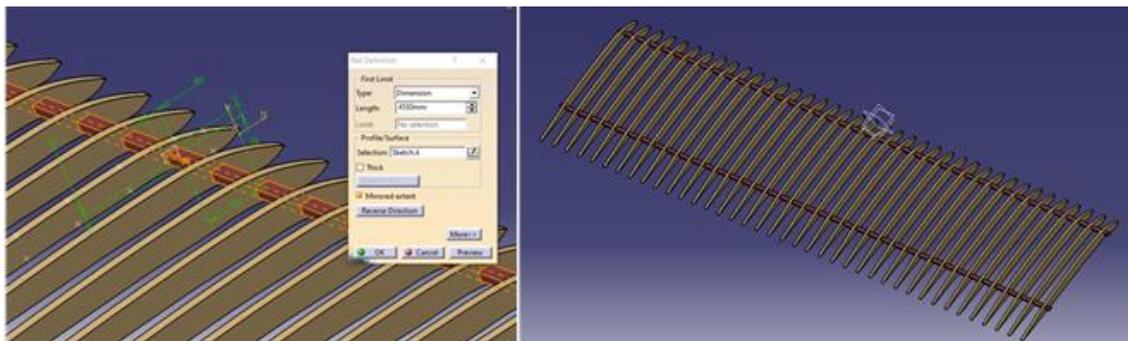


Fig. 14: Larguero de borde de salida (izda.) y perfiles de ala alta unidos mediante largueros (dcha.)

Finalmente, se creó el recubrimiento del ala con tela tratada endurecida, un método muy utilizado en avionetas y cazas de la época. Posteriormente, se efectuaron varios vaciados,

acordes con la información aportada en los planos. La figura 15 muestra el resultado final.

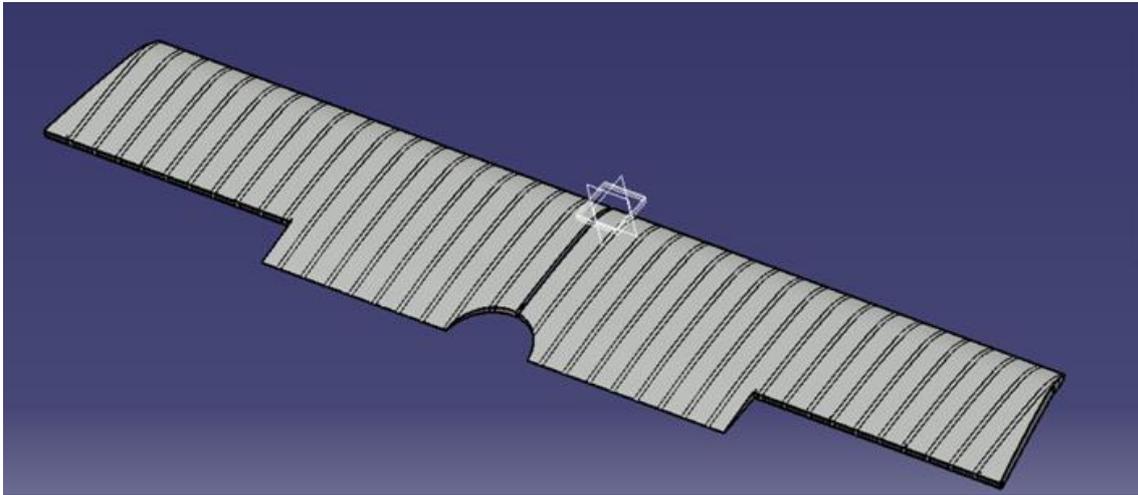


Fig. 15: Modelo definitivo del ala alta.

En el borde de salida del ala se encuentran los alerones, superficies de control cuyo cometido es aumentar la sustentación de una de las alas y disminuirla en la otra, permitiendo realizar un giro denominado alabeo. El alerón del ala alta del Ansaldo SVA 5 es de tipo 'Punta de ala' y su forma se puede observar en la figura 13, en la que también aparecen sus medidas. El perfil del alerón será la continuación del que tendría el ala en la zona en la que se ha realizado el vaciado aumentando las dimensiones de este hasta llegar al extremo. Para modelar el alerón, lo primero que se hizo fue obtener su perfil, dibujado con un boceto. Sin embargo, el alerón va aumentando de tamaño. Para resolver esto, se creó un plano a una distancia de 2391mm del

plano del boceto previo y se proyectó en él el contorno del perfil. A este contorno se le aplicó un escalado igual a la fracción entre la longitud al inicio del hueco y la longitud al final de este, información recogida en los planos. Con la orden Multi-Sections Solid de Catia se creó un sólido compacto con la forma del alerón, y posteriormente, se le efectuaron los vaciados correspondientes para obtener los perfiles que conforman el alerón. La última costilla se presenta inclinada, dado que el ala no tiene una terminación recta. Los alerones presentan también dos largueros que los cruzan, y se crearon de la misma forma que los del ala.

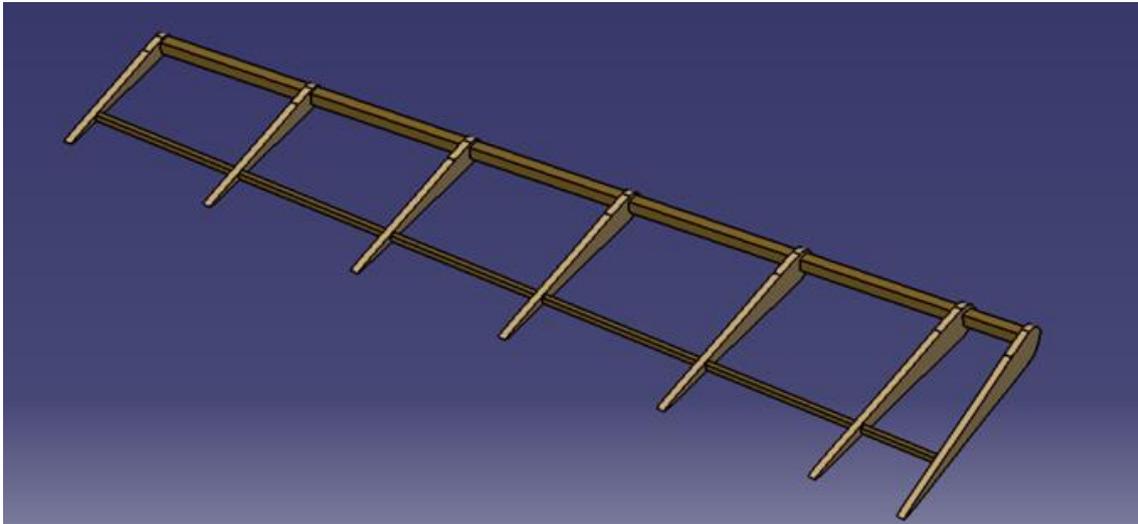


Fig. 16: Costillas y largueros del alerón del ala alta.

Por último, se aplica un recubrimiento al igual que en el caso del ala imitando la tela que lo recubre en la realidad.

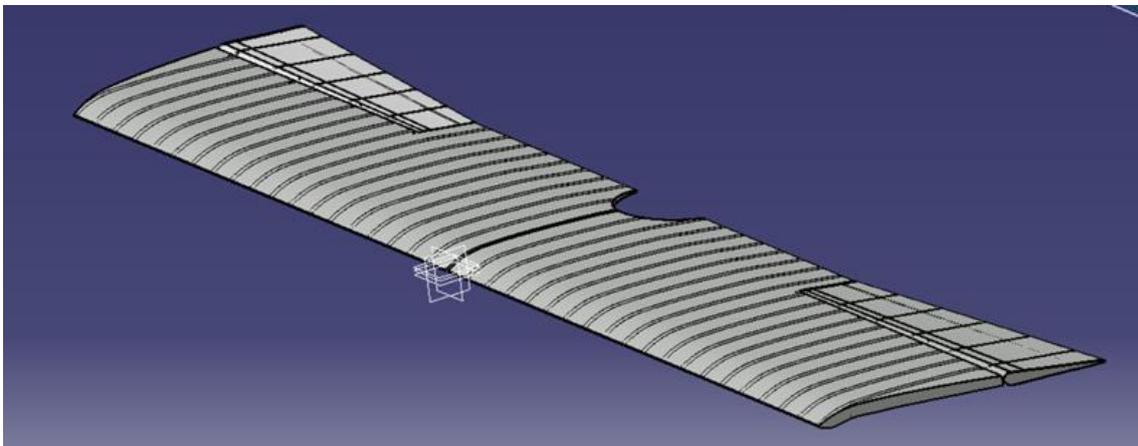


Fig. 17: Ala alta completa.

La unión del alerón con el ala alta se materializó mediante uniones cuyo diseño se muestra en la siguiente figura. Este modelo se realizó teniendo en cuenta las fotos de del ala del avión, ya que

no se dispuso de planos ni medidas de estas uniones.

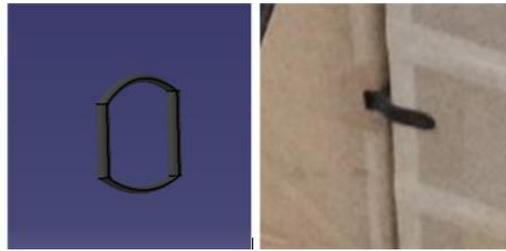


Fig. 18: Unión entre alerón y ala alta.

De forma análoga al modelado del ala alta se modeló el ala baja. Ésta tiene el mismo perfil que el ala alta y, por tanto, las medidas mostradas en la figura 13 tienen validez también en este caso.

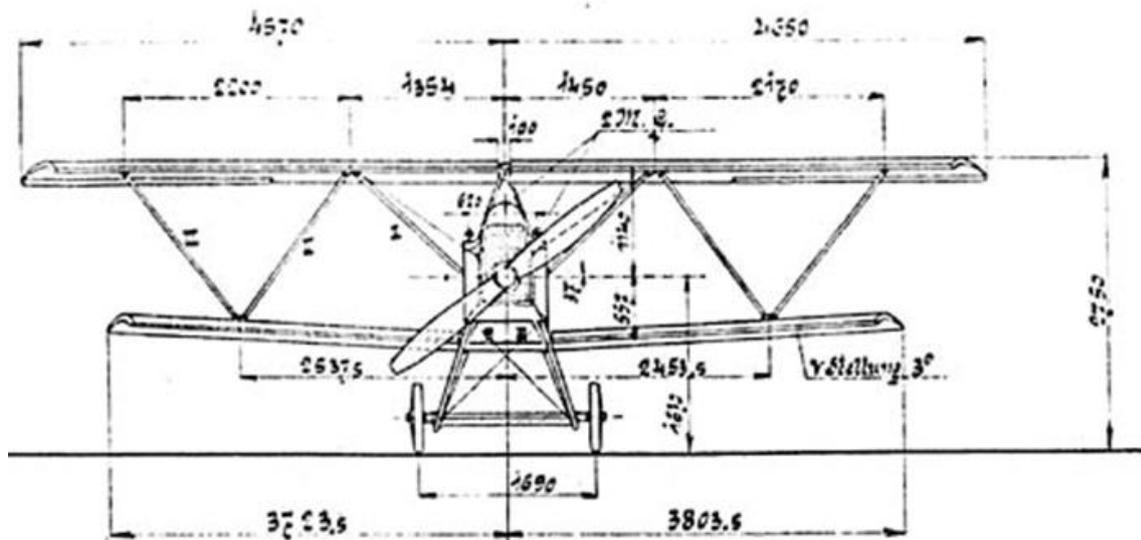


Fig. 19: Ala baja con la inclinación indicada.

Esta ala, a diferencia del ala alta, presenta una pequeña inclinación de 3° , y por tanto el perfil alar del extremo está posicionado más alto que el perfil central de partida. Para ello, se creó un nuevo boceto a una distancia de 3554mm elevando cada punto del perfil 186 mm tras realizar los cálculos necesarios. Con estos bocetos se aplica una operación Multi-Sections

Surface y se intersecta por 12 planos intermedios a una distancia entre ellos de 2734mm creando la silueta de todos los perfiles del ala baja, a los que posteriormente se les da un espesor de 20mm.

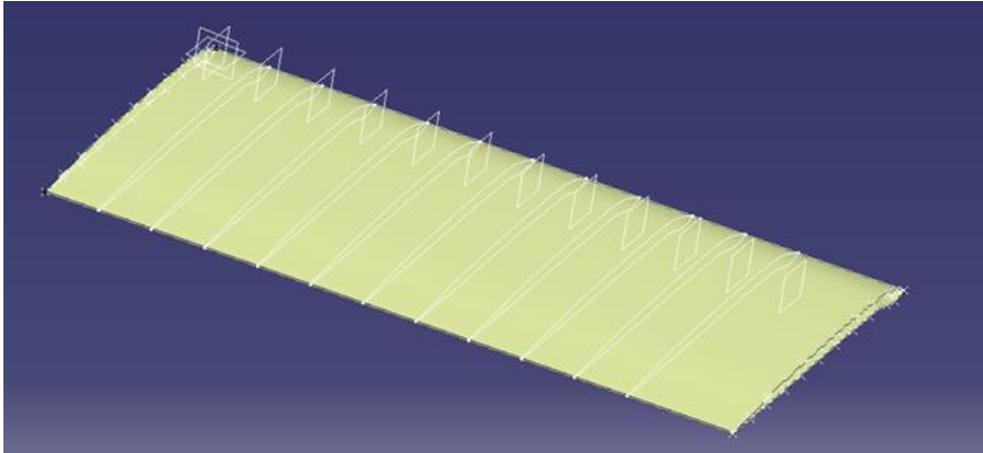


Fig. 20: Operación *Multi-Sections Surface* con perfiles intermedios creados con *Intersection*.

Posteriormente se aplica una operación de simetría para crear las costillas del semiala restante. La costilla del extremo se encuentra en una posición inclinada, al igual que en el caso del ala alta, por lo que el boceto de la última costilla se proyecta en un plano que posee la misma inclinación que el extremo del ala dentro de un nuevo boceto, aplicándole a esta nueva

costilla el mismo espesor que al resto. A continuación, se crearon los largueros, modelados con la orden *Multi-Sections Solid* entre dos bocetos rectangulares que se encuentran en la costilla central y en la costilla del extremo.

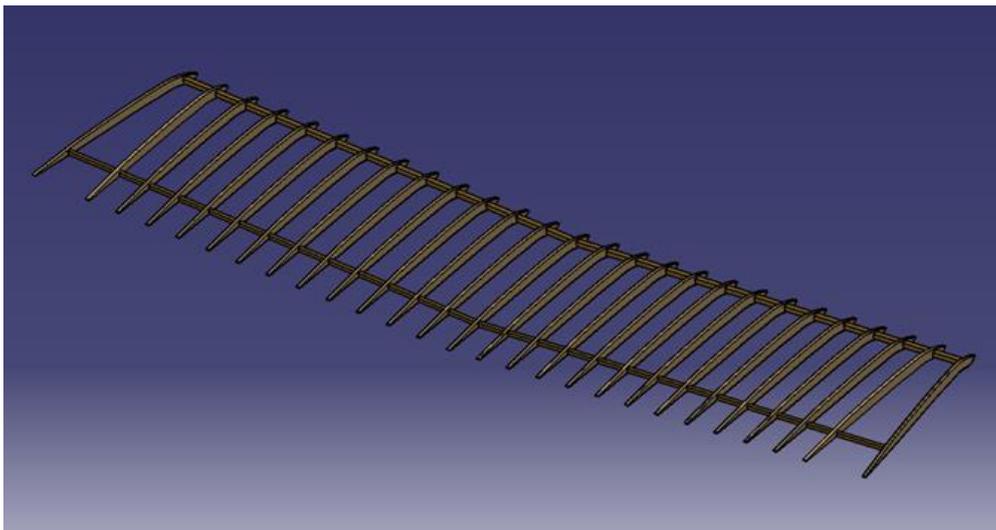


Fig. 21: Estructura interna del ala baja con costillas y largueros.

Para finalizar el modelado del ala baja tan solo quedaría aplicar el recubrimiento de 5mm de espesor y realizar un vaciado en la parte central correspondiente con el ancho del fuselaje a la altura en la que se encuentran las alas

posicionadas respecto a éste, que en este caso es de 935mm de ancho. El ala baja quedará por tanto como muestra la figura 22.

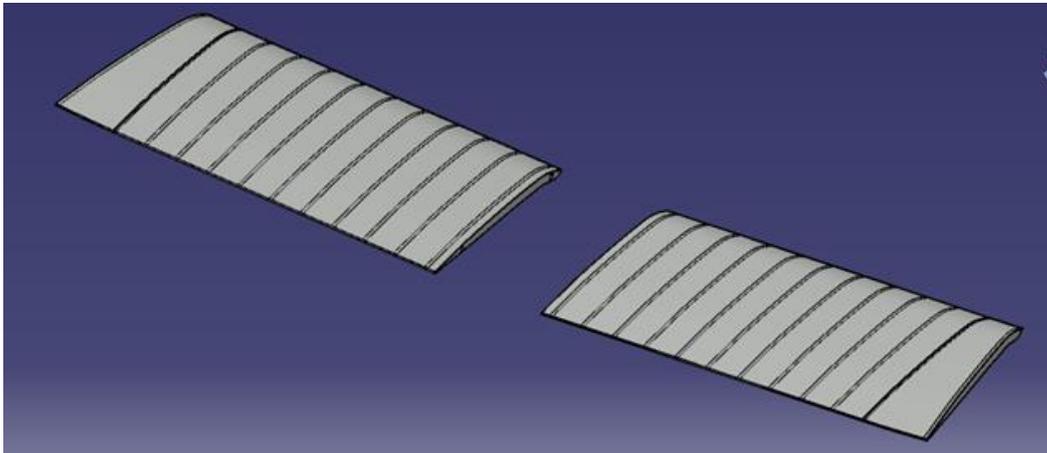


Fig. 22: Ala baja con recubrimiento y vaciado aplicado.

Para realizar la unión entre alas, en primer lugar, se posicionaron éstas según la información detallada en los planos. A continuación, se dibujaron los bocetos de las barras de unión

entre alas y el fuselaje con las medidas especificadas en el croquis adjunto (figura 23).

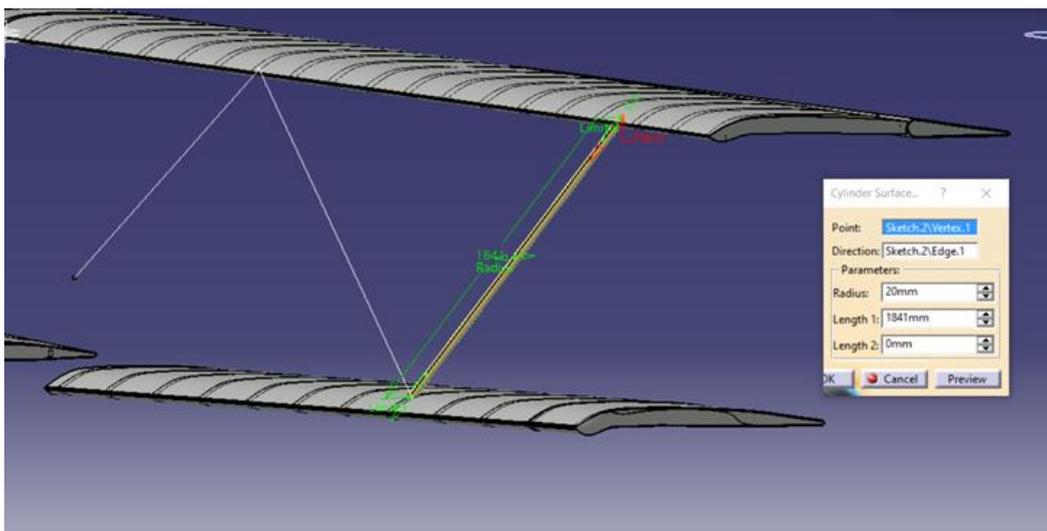


Fig. 23: Bocetos de las barras de unión.

Se dispusieron dos filas de estas uniones, a una distancia de 985mm entre ambas conociendo que la primera se encuentra a 185mm del borde de ataque del ala. Las dos filas de barras se encuentran unidas a las alas en los mismos puntos (referido a la distancia horizontal) aunque a diferente altura, ya que el perfil cambia de forma conforme se avanza en la cuerda de éste. Tras la creación de los perfiles de las barras, se les aplicó forma cilíndrica con un radio de 20mm. También se diseñan los alambres que se unen

en cruz entre las barras. Se crean planos que contienen a los 4 puntos que se unen entre las dos barras correspondientes y en ellos se dibujan las guías que siguen estos alambres. Una vez modelados todas las barras y alambres, se procede a la unión de las barras con el fuselaje que presentan la siguiente forma (figura 24):



Fig. 24: Unión metálica de barras con fuselaje, caso real (izda.), modelo virtual en CATIA (dcha.).

En el diseño de estas uniones metálicas se extruyó un boceto con la forma indicada tras crear un plano vertical en el extremo de la barra que se une al fuselaje. Presenta una anchura de

60 mm y se les ha dado un redondeo a los bordes de 30mm para que quede lo más similar posible al del avión real.

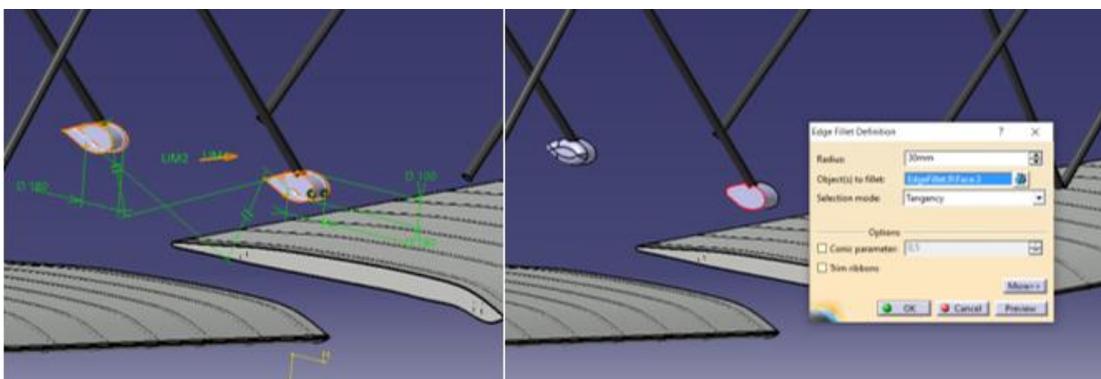


Fig. 25: Extrusión de unión de barras con fuselaje (izda.) y redondeo aplicado al mismo (dcha.).

Las alas se posicionan entre las cuadernas 12 y 14 con el ala baja a la altura de la parte inferior del fuselaje.

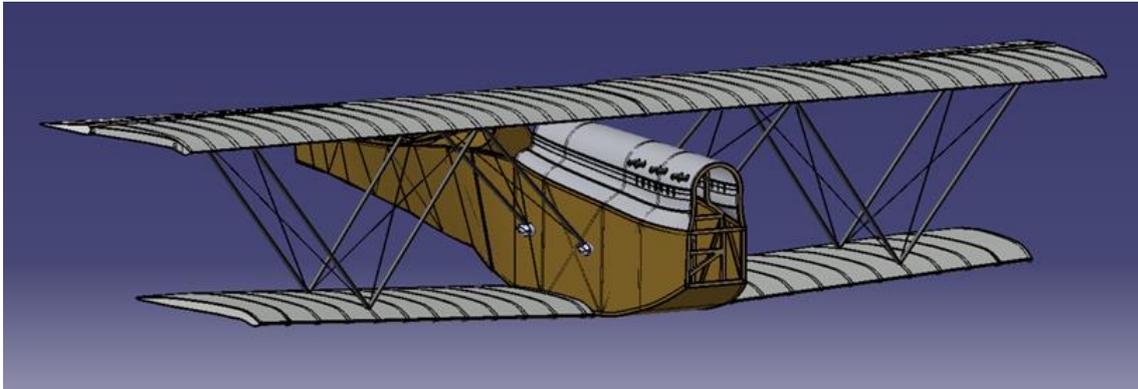


Fig. 26: Conjunto alar posicionado respecto al fuselaje.

3.3.4. Empenaje

El empenaje, conjunto de estabilizadores de cola del avión, se encuentra en la parte posterior de éste denominada cola. Se compone estructuralmente de dos elementos: el estabilizador vertical y horizontal. La clasificación de los tipos de cola se hace atendiendo a la posición del estabilizador horizontal respecto al vertical. La manera de

ubicarlos se realiza atendiendo principalmente a criterios aerodinámicos. El tipo de cola que presenta el Ansaldo SVA 5 es la más frecuente, una cola clásica, usada aproximadamente en un 75% de las construcciones aeronáuticas. Suele ser la solución óptima desde el punto de vista de estabilidad, control y de peso estructural del conjunto.

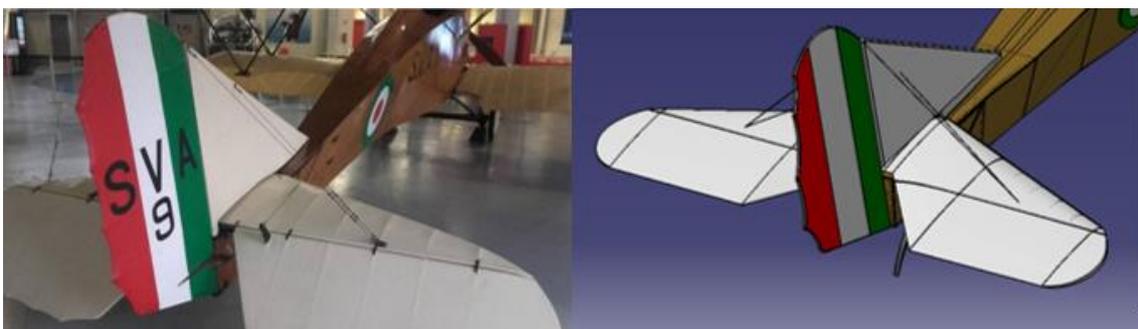


Fig. 27: Empenaje de cola de Ansaldo SVA 5 y su modelado en CATIA.

El estabilizador horizontal contribuye a la estabilidad longitudinal del avión. Generalmente se trata de una superficie aerodinámica

simétrica, ya que debe tener posibilidad de generar cargas verticales. Suelen tener una parte móvil que hace crecer o disminuir estas

cargas denominada timón de profundidad. Las medidas del estabilizador horizontal del SVA 5 quedan recogidas en los planos facilitados. Dispone de costillas que le darán la forma aerodinámica que posee, cambiando éstas de tamaño y posición unas respecto a otras. Se comienza el modelado creando planos a la altura a la que se encuentran las costillas y suponiendo el mismo perfil que en las alas, escalado a la longitud del estabilizador a la altura en la que se encuentra cada plano. La longitud de cada costilla se calcula sabiendo que en la parte central es de 555mm y que forma prácticamente un triángulo rectángulo hasta llegar al extremo, a 1500mm de la parte central. El timón de profundidad, sin embargo, siempre mantiene el mismo ancho de 600mm. A las costillas del lado derecho, les realizamos una simetría respecto al plano X-Z para generar las

costillas del lado izquierdo. En este caso, el estabilizador horizontal dispone de tres largueros que recorren la estructura. Tiene uno en el borde de ataque con un perfil rectangular de 20x15 mm, otro que recorre la parte central de 8x8 mm y el último que se encuentra en el borde de salida del timón de profundidad que tiene las mismas medidas que el larguero central. Posteriormente, se crea el recubrimiento que imita la tela para cubrir la estructura dándole un espesor de 4mm. Por último, se crea la parte redondeada en la que acaba el extremo del estabilizador. Para mantener la forma del perfil, se creó un perfil similar al último del extremo, pero más estrecho en un plano alejado 500mm. Se separó el timón de profundidad del resto del estabilizador mediante un vaciado con la forma semicircular y un ancho de 5mm.



Fig. 28: Estructura de estabilizador horizontal (izda.) y modelo de estabilizador horizontal completo.

El estabilizador vertical contribuye en gran medida a la estabilidad direccional del avión. Generalmente se trata de una superficie aerodinámica simétrica, ya que debe tener posibilidad de generar cargas horizontales. Posee una parte móvil que se denomina timón

de dirección. Existen varios planos en los que se detallan las medidas y la forma del estabilizador vertical, como se muestra en la figura 29.

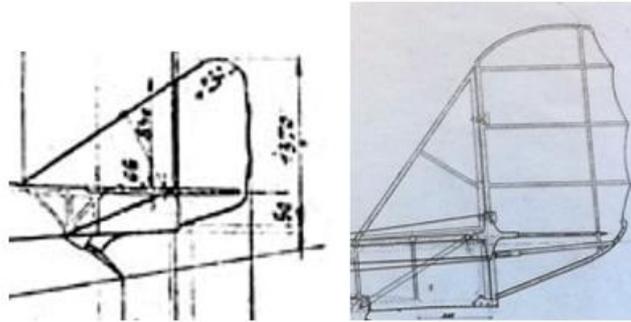


Fig. 29: Planos del estabilizador vertical.

Se comienza con el diseño del timón de dirección que tendrá una estructura tubular aplicando con posterioridad un recubrimiento.

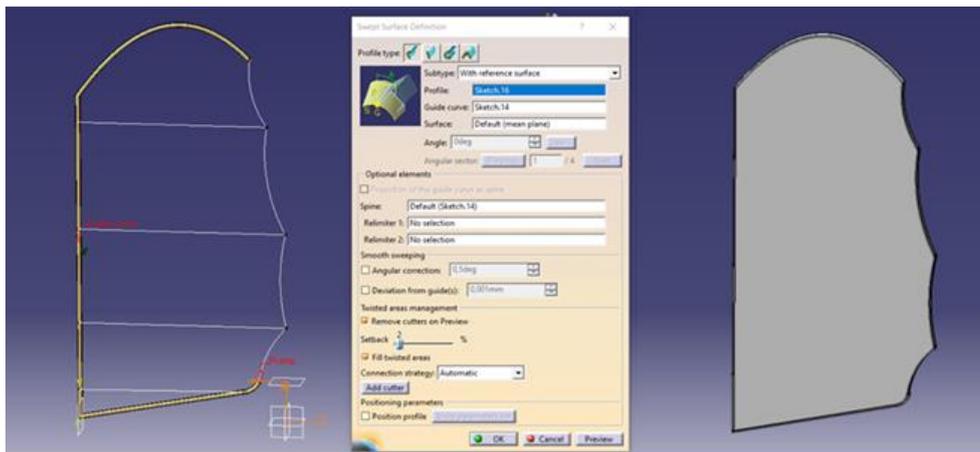


Fig. 30: Estructura tubular del timón de dirección (izda.) y timón de dirección (dcha.).

A continuación, se diseña la aleta dorsal que conforma el estabilizador vertical junto al timón de dirección de estructura también tubular. El

conjunto del empenaje se coloca de la siguiente forma (figura 31):

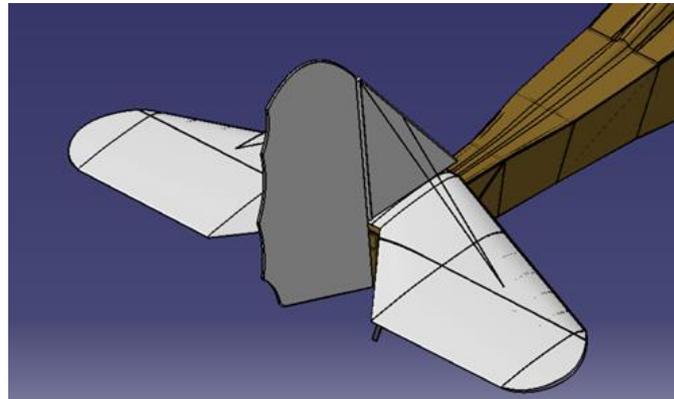


Fig. 31: Empenaje colocado respecto al fuselaje.

3.3.5. Apoyo cola

Este apoyo es útil para que la cola no toque el suelo cuando el avión esté estacionado, no dañándose así ni la estructura ni el empenaje.

No se dispuso de las medidas exactas, pero se sabía que estaba posicionado entre las costillas nº 2 y 3.

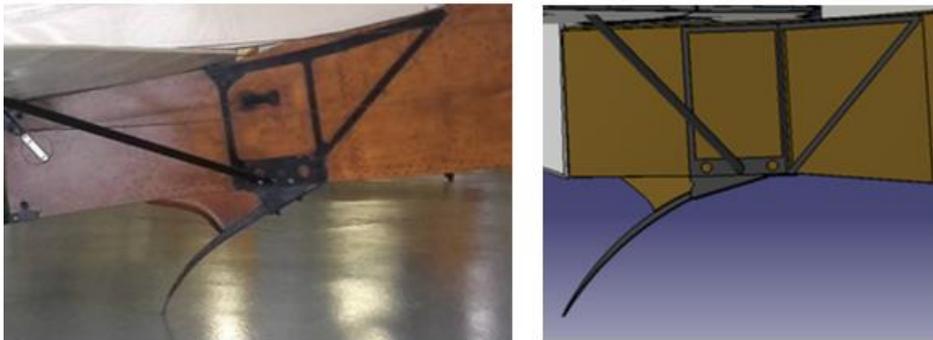


Fig. 32: Apoyo cola real frente al modelado.

3.3.6. Hélice

La hélice, mecanismo formado por dos o más aspas o palas que al girar sobre un eje y adquirir cierta velocidad de rotación produce una fuerza propulsora, básicamente transforma la energía mecánica que recibe en energía cinética que se le comunica al eje. Cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que van

cambiando progresivamente su ángulo de incidencia y tamaño desde la raíz hasta el extremo. En este caso el modelado se dividirá en una parte central que será cilíndrica y en el modelado de la hélice mediante perfiles. Se modela también la carcasa donde va alojada la hélice, así como el respiradero del motor.



Fig. 33: Hélice real y modelo en CATIA.

A continuación, se modeló el eje que permanece unido a la hélice mediante una placa atornillada.



Fig. 34: Eje y placa de unión a la hélice real y modelo en CATIA.

En relación a la carcasa donde irá alojada la hélice, conviene resaltar que su perfil tendrá la misma forma que el de la cuaderna 17 pero con una leve disminución en las longitudes de los

listones. La siguiente figura muestra el conjunto hélice ya ubicado en el morro del avión.



Fig. 35: Posicionamiento del conjunto de la hélice en el fuselaje.

Por último, se modeló el tren de aterrizaje junto con diversos elementos de la cabina como el asiento o el volante.

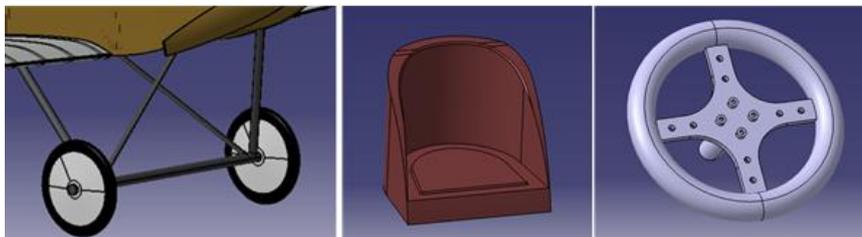


Fig. 36: Imágenes en CATIA del tren de aterrizaje, asiento y volante del avión.

Finalmente, se muestran imágenes del avión real comparado con el modelo en CATIA.



Fig. 37: Foto real de Ansaldo SVA 5 en museo (izda.) y recreación virtual de Ansaldo SVA 5 en museo.

La siguiente imagen muestra una recreación virtual del Ansaldo SVA 5 en vuelo.



Fig. 38: Recreación virtual SVA 5 en vuelo.

4. CONCLUSIONES

Desde el año 2002, más de 30 estudiantes han elegido este tipo de proyecto como trabajo final para completar sus estudios. El reto de diseñar aeronaves que nunca se fabricaron o que, si lo hicieron, no existen originales o están incompletas, resulta enormemente atractivo. La

motivación es un pilar fundamental en la Educación y este tipo de proyectos ligados al diseño 3D, con un gran componente de autoaprendizaje son claros ejemplos.

En este proyecto en particular, se ha realizado un exhaustivo trabajo de investigación inicial en el que se ha tenido la oportunidad de visitar uno

de los museos de aeronáutica militar más importantes de Italia y se ha podido acceder a documentos que poseen más de un siglo de historia. Se ha podido confirmar en la ejecución de este trabajo, que el software CATIA es óptimo para realizar el modelado de piezas complejas y de estructuras completas en la que intervengan muchas partes o productos diferentes. CATIA pone al alcance del diseñador multitud de módulos y herramientas con las que resulta posible diseñar con bastante afinidad y similitud las piezas o productos reales que pretendemos recrear. No es de extrañar, por tanto, que sea uno de los softwares más utilizados en la industria aeronáutica, en el que las piezas y estructuras que deben diseñarse son de extrema complejidad. Se incluyen en este trabajo posibles mejoras como el modelado de las conexiones mecánicas entre superficies de control y mandos de vuelo, el modelado del panel de instrumentos, así como el estudio aerodinámico y estructural de la aeronave.

REFERENCIAS

- [1] Martín Caballero, J. (2018). La industria aeronáutica en Sevilla en el siglo XX: el caso de industrias subsidiarias de aviación (1938-1966). <https://idus.us.es/handle/11441/92802>.
- [2] Morales-Palma, D. & Martínez-Donaire, A.J. & Centeno, G. & Vallecana, C (2016). Teaching Experience for the Virtualization of Machine Tools and Simulation of Manufacturing Operations, J. Materials Science Forum. 853, 79-84.
- [3] Hürlimann, F. & Kelm, R. & Dugas, M. & Oltmann, K. & Kress, G (2011). Mass estimation of transport aircraft wingbox structures with a CAD/CAE-based multidisciplinary process, J. Aerospace Science and Technology. 15, 323-333. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2010.08.005>.
- [4] Aguilera, C.M. & Castañeda, A. & Guerrero, F (2016). Past, Present and Future of the Andalusian Aeronautical Cluster, J. Network-Centric Collaboration and Supporting Frameworks. 224, 583-590.
- [5] Guitescu, I-M. & Luminita Scutaru, M. & Guitescu, M. & Nicolae Borza, P. & Marin, M (2021). New Command Mechanism of Flaps and Wings of a Light Sport Aircraft, J. Symmetry. 13, 221-235. <https://doi.org/10.3390/sym13020221>.
- [6] Fix, P.D (2012). From Sky to Sea: The Case for Aeronautical Archaeology, The Oxford Handbook of Maritime Archaeology, online publication. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780199336005.013.0043.
- [7] Fernández González, E. (2019). Recreación Virtual y Modelado del Avión Biplano Ansaldo SVA 5 en Catia V5 R19. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/92722/>.
- [8] Lorenzo-Yustos, H. et al. (2010). Towards complete product development teaching employing combined CAD - CAM - CAE technologies, Comput. Appl. Eng. Educ., vol. 18, no. 4, pp. 661-668.
- [9] Ross, W. A. & Aukstakalnis, S (1994). Virtual Reality: Potential for Research in Engineering Education, J. Eng. Educ., vol. 83, no. 3, pp. 287-291.
- [10] Subteniente Caballero Calderón, E. J. (2012). Un motor de automóvil adaptado a la aviación, Boletín de Aeronáutica y Astronáutica nº72. http://www.aviait.com/act/cera_una_volta/echi/UV_Echi_2016/l_raid_della_1_Sezione_SVA_da_Sovizzo.pdf
- [11] Il Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna, Massimo Mondini, 2010. <https://www.specchioeconomico.com/sommario/articoli/4400-massimo-mondini-museo->

storico-dell-aeronautica-dove-atterrano-gli-aerei-
che-non-volano-piu

[12] Documentos facilitados por el Centro di Documentazione “Umberto Nobile” por Il Museo Storico dell’Aeronautica Militare di Vigna di Valle, 1918.

[13] Museo dell’Aeronautica Militare di Vigna de Valle, Ansaldo SVA 5.
<http://www.aeronautica.difesa.it/storia/museostorico/Pagine/AnsaldoSVA5.aspx>

[14] Reche, A (2009). Estructuras principales del avión, International Virtual Aviation Organisation. <https://es.ivao.aero/>

[15] Universidad de Sevilla, Descripción de las partes fundamentales de un avión. http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4922/fighero/4_DESCRIPCION+DE+LAS+PARTES+FUNDAMENTALES+DE+UN+AVION.pdf 11