

Trabajo Fin de Grado

Ingeniería Aeroespacial

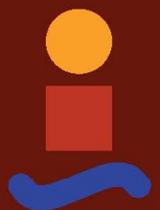
Modelado con CATIA V5 y recreación virtual de una avioneta de recreo para su fabricación.

Autor: Alberto Tirado Vega

Tutor: Maria Gloria del Río Cidoncha

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

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Ingeniería Aeroespacial

Modelado con CATIA V5 y recreación virtual de una avioneta de recreo para su fabricación.

Autor:

Alberto Tirado Vega

Tutor:

Maria Gloria del Río Cidoncha

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

Trabajo Fin de Grado: Modelado con CATIA V5 y recreación virtual de una avioneta de recreo para su fabricación.

Autor: Alberto Tirado Vega

Tutor: María Gloria del Río Cidoncha

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2020

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Hasta el momento, la experiencia más enriquecedora que he vivido. No habría sido posible sin todas y cada una de las personas que me han ayudado a lograrlo.

Cuando se cierra una etapa, acostumbramos a recordar solamente lo que nos ha hecho más felices en ella, por ello ahora puedo valorar lo que realmente es importante para mí.

Gracias a mi padre y a mi madre, por su fuerza para que siga adelante. Siempre dando apoyo desde la ternura y el amor. Con los valores adecuados, se le puede hacer frente a cualquier cosa.

Gracias a mi hermano, por sus enseñanzas y consejos. La forma de concebir el éxito y el fracaso, con la absoluta naturaleza de su ser. Cuando uno se comprende a sí mismo, la paz interior es el mejor argumento para sobreponerse. Una idea firme y valiente, no tiene miedo a equivocarse.

Gracias a mis amigos, ellos han sido mis compañeros de vida estos últimos años. Compartir emociones nos hace más fuertes. Aunque cada uno recorra su propio sendero, en los momentos de debilidad parece que éstos convergen para superar con más de un alma lo que una sola no puede.

Gracias a las personas que estaban al principio y ya no están, lo que recibí en su día no perece con el tiempo, sólo se afianza más en mi interior.

Gracias a los que han llegado en el camino. Cuanto más avanzas, más complejo se vuelve uno mismo, y es por lo que un apoyo correcto lo hace todo más sencillo. Cuanto más pasa el tiempo, más sentido le encuentro a las percepciones que me llegan, y más seguro estoy de lo que pienso.

Acompañadme siempre.

Resumen

En este trabajo, se integra la aportación del alumno, a un proyecto privado de modelado de una avioneta para su posterior venta y fabricación.

Mediante el programa CATIA V5, se van a mostrar las diferentes tareas realizadas, problemas encontrados, soluciones propuestas y resultados finales.

Abstract

In this project, the contribution of the student is integrated into a private project of modeling a plane for later sale and manufacturing.

Through the CATIA V5 program, the different tasks performed, problems encountered, proposed solutions and final results will be shown.

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Ilustraciones	xvi
1 Introducción	1
1.1 <i>Propósitos y objetivos</i>	1
1.2 <i>Ámbito, alcance y límites</i>	1
1.3 <i>Metodología empleada</i>	2
1.4 <i>Organización del proyecto</i>	2
1.5 <i>Nomenclatura</i>	3
2 Software Utilizado	4
2.1 <i>Descripción y razones del uso de CATIA V5</i>	4
2.2 <i>Herramientas utilizadas</i>	5
2.3 <i>Uso complementario de Dropbox</i>	7
3 Historia del Proyecto	9
3.1 <i>Contexto Histórico</i>	9
3.2 <i>Evolución y Actualidad</i>	10
4 Modelado en CATIA	15
4.1 <i>Corrección del Fuselaje</i>	15
4.1.1 Estado inicial	15
4.1.1 Superposición de geometrías	16
4.1.2 Objetivos añadidos	18
4.1.3 Proceso de corrección	19
4.1.4 Problemas encontrados	28
4.2 <i>Corte de las Barras</i>	30
4.2.1 Estado inicial y detalles en el plano	30
4.2.2 Proceso de corte	31
4.3 <i>Generación de la Superficie Exterior</i>	40
4.3.1 Aproximación del tren de aterrizaje	41
4.3.2 Aproximación del fuselaje	49
4.3.3 Procedimientos fallidos	56
5 Análisis, Resultados y Conclusiones	61
5.1 <i>Análisis Corrección de Fuselaje</i>	61
5.2 <i>Análisis Corte de Barras</i>	62
5.3 <i>Análisis Generación de Superficie</i>	63
5.4 <i>Conclusiones generales</i>	64
6 Posibles Desarrollos Futuros	66
7 Referencias	67

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1 Árbol de archivos	5
Ilustración 2 Dropbox	8
Ilustración 3 Antigua Fábrica Australiana [2]	9
Ilustración 4 Imagen avioneta I [2]	10
Ilustración 5 Comparativa pesos iniciales y fracción de peso [4]	11
Ilustración 6 Avioneta con el tren de aterrizaje "Taildragger" [3]	12
Ilustración 7 Avioneta con el tren de aterrizaje "Nose Wheel" [2]	12
Ilustración 8 Fuselaje de tubos con fabricación actual II [3]	13
Ilustración 9 Fuselaje de tubos con fabricación actual I [3]	13
Ilustración 10 Imagen avioneta II [2]	14
Ilustración 11 Estado inicial de la estructura de barras del fuselaje.	15
Ilustración 12 Líneas del fuselaje con geometría correcta	16
Ilustración 13 Superposición de geometrías I	16
Ilustración 14 Superposición de geometrías II	17
Ilustración 15 Superposición de geometrías III	17
Ilustración 16 Superposición de geometrías IV	18
Ilustración 17 Ventana de propiedades de un <i>Part</i>	19
Ilustración 18 1º Corrección del Fuselaje I	20
Ilustración 19 1º Corrección del Fuselaje II	21
Ilustración 20 1º Corrección del fuselaje III	21
Ilustración 21 1º Corrección del Fuselaje IV	22
Ilustración 22 1º Corrección del Fuselaje V	22
Ilustración 23 1º Corrección del Fuselaje VI	23
Ilustración 24 1º Corrección del Fuselaje VII	23
Ilustración 25 1º Corrección del Fuselaje VIII	23
Ilustración 26 Barra con quiebro	24
Ilustración 27 Resultado Erróneo con 1º Corrección	24
Ilustración 28 Menú Operations	24
Ilustración 29 2º Corrección del Fuselaje I	25
Ilustración 30 2º Corrección del Fuselaje II	25
Ilustración 31 2º Corrección del Fuselaje III	26
Ilustración 32 2º Corrección del Fuselaje IV	26

Ilustración 33 2º Corrección del Fuselaje V	26
Ilustración 34 2º Corrección del Fuselaje VI	27
Ilustración 35 2º Corrección del Fuselaje VII	27
Ilustración 36 2º Corrección del Fuselaje	28
Ilustración 37 Problemas Ubicación Archivos I	28
Ilustración 38 Problemas Ubicación Archivos II	29
Ilustración 39 Problemas Ubicación Archivos III	30
Ilustración 40 Unión errónea de barras	30
Ilustración 41 Detalles de uniones en planos I	31
Ilustración 42 Detalles de uniones en planos II	31
Ilustración 43 Unión Fuselaje: Extracción del Plano	32
Ilustración 44 Geometría oculta	32
Ilustración 45 Zona de Unión de Trabajo	32
Ilustración 46 Corte de Barras I	33
Ilustración 47 Corte de Barras II	33
Ilustración 48 Corte de Barras III	34
Ilustración 49 Corte de Barras IV	34
Ilustración 50 Corte de Barras V	35
Ilustración 51 Conjuntos de Herramientas por utilizar	35
Ilustración 52 Corte de Barras VI	35
Ilustración 53 Corte de Barras VII	36
Ilustración 54 Corte de Barras VIII	36
Ilustración 55 Corte de Barras IX	37
Ilustración 56 Corte de Barras XI	37
Ilustración 57 Corte de Barras XII	37
Ilustración 58 Corte de Barras XIII	38
Ilustración 59 Corte de Barras XIV	38
Ilustración 60 Corte de Barras XV	38
Ilustración 61 Segunda Extracción del Plano	39
Ilustración 62 2º Corte de Barras I	39
Ilustración 63 2º Corte de Barras II	39
Ilustración 64 2º Corte de Barras III	40
Ilustración 65 2º Corte de Barras IV	40
Ilustración 66 Avioneta sin superficie exterior	41
Ilustración 67 Tren de aterrizaje I	42
Ilustración 68 Tren de aterrizaje II	42
Ilustración 69 Tren de aterrizaje III	42
Ilustración 70 Versión anterior de superficie del tren	43
Ilustración 71 Superficie versión anterior	44

Ilustración 72 Extract para crear un plano	44
Ilustración 73 Preliminares al Extrude	44
Ilustración 74 Generación Extrude	44
Ilustración 75 Generación Cylinder	45
Ilustración 76 Herramienta Trim	45
Ilustración 77 Operación Edge Fillet	45
Ilustración 78 Resultado conjunto de operaciones	46
Ilustración 79 Union de barras a rueda	46
Ilustración 80 Unión real de barras a rueda	46
Ilustración 81 Aproximación unión de barra a rueda	47
Ilustración 82 Unión a fuselaje con amortiguador	47
Ilustración 83 Proceso aproximación amortiguador	47
Ilustración 84 Aproximación amortiguador	48
Ilustración 85 Tren principal real	48
Ilustración 86 Aproximación tren principal	48
Ilustración 87 Aproximación tren principal completo	49
Ilustración 88 Unión tren principal a fuselaje	50
Ilustración 89 Aproximación Fuselaje I	50
Ilustración 90 Aproximación Fuselaje II	50
Ilustración 91 Aproximación Fuselaje III	51
Ilustración 92 Intento Estabilizador Horizontal	51
Ilustración 93 Operación Connect Curve	52
Ilustración 94 Generación de Estabilizadores	52
Ilustración 95 Unión Fuselaje Cola	53
Ilustración 96 Aproximación Fuselaje III	53
Ilustración 97 Extrapolación del Ala	53
Ilustración 98 Trim Fuselaje Alas	54
Ilustración 99 Aproximación a falta del Morro	54
Ilustración 100 Aproximación Bancada Motor I	54
Ilustración 101 Aproximación Bancada Motor II	55
Ilustración 102 Resultado Superficie Exterior	55
Ilustración 103 Resultado Sólido Macizo Avioneta	56
Ilustración 104 Intento fallido fuselaje	57
Ilustración 105 Multisection Cola I	57
Ilustración 106 Multisection Cola II	58
Ilustración 107 Generación Morro I	58
Ilustración 108 Generación Morro II	59
Ilustración 109 Generación Morro III	59
Ilustración 110 Generación Morro IV	59

Ilustración 111 Resultados Corrección Fuselaje	62
Ilustración 112 Resultados Corte de las Barras	63
Ilustración 113 Resultado Generación Superficie Exterior	64

1 INTRODUCCIÓN

En el presente documento se plasma el trabajo realizado para la empresa aeronáutica *Aeropup* durante los últimos meses. Este proyecto se ha convertido en un bonito reto para culminar mis estudios de aeronáutica. Aquí recojo los puntos más interesantes de mi labor, y hago un análisis de la tarea realizada, mi progresión técnica, y datos de interés.

Este proyecto surge de la casualidad. Al llegarme la oferta de *Participar* en una práctica para dicha empresa y, tras contactar con la Universidad de Sevilla, quedamos en que daría apoyo a la empresa a la vez que se hacía el documento que lo corroborase, y que consistiría en el trabajo fin de grado que aquí se presenta.

Todo nace del afán de aprender sobre diseño 3D aplicado a la ingeniería aeroespacial y consecuentemente, al programa CATIA V5, debido a su gran influencia en el sector

1.1 Propósitos y objetivos

Varios son los objetivos de este proyecto, sobre todo basados en el aspecto técnico. Esto es, distintas tareas que no sería posible realizarlas sin el suficiente conocimiento del programa de diseño en cuestión. Esto conlleva que, en el transcurso del progreso técnico, hay un objetivo muy importante escondido, la mejora personal y la capacidad de adaptación a un nuevo software de diseño.

El proyecto global tiene como objetivo la generación en CATIA V5 del modelo de la avioneta en cuestión, por lo que todas las tareas serán realizadas en dicho programa.

Este trabajo, tiene como objetivo el aprendizaje de una herramienta de trabajo dominante en el sector aeroespacial. El proyecto tiene como meta la comercialización de la avioneta, y ésto da la oportunidad de aprender en un entorno óptimo, ya que entraría a formar *Parte* de un proyecto real y de incidencia en el sector aeroespacial.

También se explicará más adelante, el origen de este proyecto, contexto histórico, y el sentido del modelado para su comercialización.

1.2 Ámbito, alcance y límites

Como ya se ha comentado, el ámbito del proyecto global consiste en una recreación virtual de una avioneta para su uso, en este caso, venta del modelo para su fabricación. Este trabajo, recoge las tareas realizadas por el alumno, y su aportación al modelado.

Al contactar con la empresa, se propusieron distintas labores a realizar. Al hablar con la tutora de la universidad decidimos limitar la extensión del trabajo para adecuarlo más al alcance de un trabajo de fin de grado, y dejar la posibilidad de continuar con el proyecto para un posible trabajo de fin de máster si fuese necesario.

Inicialmente, se necesitaba que se realizasen las siguientes labores para el proceso:

- Modificar toda la estructura del fuselaje acorde a la geometría de fabricación. Consistiría en mover las barras a los puntos correctos desde la geometría modelada actual (incorrecta) a la geometría adecuada, como realizando una segunda versión de éste.

- Adjudicar un estado a cada pieza en cuanto a lo que se va a necesitar para la fabricación. En función de si es necesario fabricarlo (con sus propiedades) o si se puede comprar fácilmente (piezas de fácil acceso como tornillos o tuercas poco relevantes).
- Generar la superficie exterior de toda la avioneta, y así poder meterla en un programa CFD para su análisis.
- Realizar el corte de las barras estructurales del fuselaje en el modelo para su fabricación orientada a la soldadura.
- Generar todos los planos de las piezas necesarias para su fabricación (los planos de las piezas que compra el fabricante no serían necesarios).

Ahora se debía escoger que tareas plasmar en el trabajo de fin de grado, independientemente de si iban a ser realizadas para el modelado. La tutora académica analizó los puntos propuestos y decidió que los aspectos mas interesantes serían la corrección de la estructura del fuselaje, el corte de las barras para su fabricación y la generación de la superficie exterior para su posterior uso, pero sin entrar en un estudio CFD.

1.3 Metodología empleada

El proyecto se ha llevado a cabo coordinándome con el tutor de la empresa, Luis, y con la tutora de la universidad, Maria Gloria. El trabajo en CATIA V5 se ha realizado en un ordenador personal, sin asistir a la empresa físicamente. Contactando por teléfono o vía telemática, se acordaban las próximas tareas y se discutía sobre problemas encontrados.

Esto consiste en un ejercicio dividido en dos vertientes. En primer lugar, la enseñanza por *Parte* de Luis, el ingeniero que se ocupa de la coordinación del alumno con el proyecto. Esta *Parte* consiste en una explicación detallada del próximo trabajo a realizar. A *Partir* de ahí comienza el trabajo personal, del que se aprende a ser autodidacta y trabajar con distintos recursos al alcance como el propio ingeniero de la empresa, TFGs, amigos universitarios, profesores o páginas web, pero siempre usándolo como recurso y como herramienta para solucionar problemas puntuales que impiden el avance del trabajo

En cuanto a la metodología dentro del programa CATIA V5, se hablará de ello en el apartado dedicado al software utilizado, donde se dará información del porqué de su utilización, así como las directrices seguidas para su uso en el día a día.

También se debe decir, que el trabajo en CATIA se combina con un un programa de organización interna-externa de archivos como es Dropbox. La comodidad de subir archivos a un conjunto privado en la nube hace que desde cualquier lugar se pueda estar actualizando el progreso del proyecto, y estar todas las *Partes* involucradas al día de los avances.

1.4 Organización del proyecto

La organización es un pilar esencial dentro de un proyecto a *Partir* del cual se trabaja con mayor efectividad y comodidad. Esto se aplica a todas las *Partes* de un proyecto. Desde la división más general, hasta una buena disposición de datos de cualquier trabajador.

Se ha podido experimentar personalmente la importancia de una organización en un proyecto donde intervienen varias personas. En primer lugar, actualmente, la tecnología es nuestro mejor aliado. Hay infinidad de herramientas digitales que nos permiten estar al día de los avances de nuestros compañeros, a pesar de no *comPartir* ordenador. Tanto en oficinas *comPartiendo* un servidor, como a *Partir* de espacio reservado en la

nube, es posible crear una base del proyecto a *Partir* de la cual va creciendo conforme cada uno de los compañeros del proyecto va añadiendo su trabajo.

Existe una organización jerárquica, en la que esta el proyecto completo en la punta de la pirámide. Ahora hacemos una división lógica del proyecto y cada subdivisión estará a su vez compuesta de otros elementos. Así se puede crear una compleja organización, que resulta cómoda a la hora de trabajar. Vamos a ejemplificarlo con nuestro caso: el proyecto global sería la avioneta, con su archivo que contiene todo. Lo podemos subdividir en fuseaje, alas, cola, motor, superficies de control, etc. Cada una de estas divisiones tendrán a su vez muchos más niveles por debajo. Esto siempre ocurre en proyectos de gran dimensión.

Además, es muy interesante pensar que si se está trabajando en el ala de la avioneta no se debe trabajar en el archivo de la avioneta, sino en el archivo del ala. Con esto, evitaremos que el ordenador deba procesar toda la información que no es útil en ese momento, es decir, no sirve que el ordenador cargue la compleja disposición del aerorreactor si no va a ser modificada.

También podríamos hablar de una organización temporal. Cuando el proyecto avanza, se va guardando como copia de seguridad, y muchas cosas ya no deberían ser modificadas por el momento. En ese caso, muchas veces se suelen crear copias de elementos del proyecto, y se deja a alguien que modifique con libertad, para luego si es correcto, añadirlo en el proyecto principal. Esto es muy útil para la *rePartición* de labores entre los integrantes del proyecto.

En nuestro caso, la corrección del fuselaje se debe hacer. Entonces, copiamos el archivo anterior de fuselaje, y lo metemos en una carpeta que consista en la revisión del fuselaje. Como se sabe que se va a modificar gran cantidad de archivos, se extrae el completo y se obtiene como un pequeño proyecto que no se va a ver interferido por los demás. Cuando se complete la corrección, con multitud de archivos distintos a los originales, se sustituye en el proyecto de golpe.

En el mundo laboral se comprueba que la organización es vital para la salud de un proyecto. Hasta la organización más simple parece muy útil. En el caso anterior, hablábamos de la corrección del fuselaje. A la hora de nombrar cada barra del fuselaje, se usa un sistema organizativo para tener localizadas las barras. En nuestro caso, por ejemplo, separamos el grupo techo del fuselaje, y dentro de su nomenclatura se crea una sucesión simple de números en una dirección de avance. Así, se pueden localizar mucho mejor según que elementos dentro de un gran proyecto.

1.5 Nomenclatura

Durante todo el proyecto, se hablará de algunos conceptos que primero deberían explicarse:

Product: consiste en un tipo de archivo de CATIA, que tiene la capacidad de contener en sí otros archivos. Es extremadamente útil para proyectos ingenieriles de ensamblaje de piezas. Puede contener dentro *Products*, *Parts*, y *Components*.

Part: también es un tipo de archivo de CATIA, que representa una pieza simple, sin ensamblaje. No puede contener nada dentro, y puede estar contenida en un *Product* dentro de un conjunto mayor.

Component: es un tipo de archivo que no se puede desvincular del conjunto que se está trabajando. No puede ser guardado a *Parte*, y no se puede utilizar en otro ensamblaje.

Módulo: es cada uno de los conjuntos de herramientas que propone CATIA en función de la naturaleza del trabajo que se deba realizar. Según la forma que se quiera diseñar, o según como se quiere realizar el proceso de conformación de los sólidos.

Árbol: consiste en la estructura situada a la izquierda de la pantalla, que te informa de la organización de lo que estás trabajando y te da fácil acceso a la interacción entre elementos de un mismo nivel. Da información y además, es una herramienta para agilizar el trabajo.

2 SOFTWARE UTILIZADO

Es importante hacer referencia al software utilizado. Sobretudo en trabajos basados totalmente en su uso. En este apartado, se va a intentar explicar y razonar el uso del CATIA V5, y se va a profundizar un poco en el manejo del programa.

2.1 Descripción y razones del uso de CATIA V5

El Software de diseño CATIA V5 ha sido utilizado para un gran número de trabajos de finalización de estudios, y el porqué ya ha sido recogido en trabajos anteriores como por ejemplo en el trabajo de fin de grado del antiguo alumno Carlos Nogueras [1].

Los inicios del programa datan de 1977, y fue en 1981, cuando la empresa Dassault System es creada, y se va a encargar de desarrollar y vender el software. Tan rápido como pudieron, las empresas punteras del sector se hicieron con los servicios de un programa que facilitaba mucho el diseño en 3D. Con el paso del tiempo, el programa se ha ido renovando y actualizando en distintas versiones que hoy en día forman una gran herramienta de trabajo que permite controlar una gran cantidad de módulos. Existen distintos módulos para diferentes acciones del diseño o la fabricación.

Provocó que una multitud de empresas muy importantes del sector ingenieril hayan hecho uso de este programa para diseñar sus piezas y llevar a cabo sus proyectos. Algunos ejemplos generales serían BMW, Porsche, Nokia. Y dentro de nuestro sector destacamos Boeing, Airbus o Embraer.

Por tanto, debido a su importante integración en el sector, además de una estabilización firme en las empresas punteras, CATIA V5 ha sido el programa de diseño elegido para este proyecto, debido a sus posibilidades y buen funcionamiento dentro del sector aeronáutico. En nuestro caso, hemos utilizado la versión R21. En cuanto a las versiones dentro de CATIA V5, son bastante similares, aunque se debe tener cuidado al sobrescribir archivos en versiones más nuevas porque impide abrirlo otra vez en la versión antigua. También cabe decir que han surgido problemas por el desajuste de versiones, y hay que acudir a copias antiguas para poder continuar sin tener impedimentos a la hora de abrir archivos.

Razones y motivos de ámbito técnico de la elección de CATIA V5R21 para el proyecto Aeropup, que permiten buen diseño y edición:

- Un reconocido módulo de superficies, llamado Generative Shape Design, que es muy adecuado para la generación de la superficie exterior de la avioneta.
- También el módulo de *Part Design* contiene herramientas muy útiles para demás acciones que debemos realizar en el proyecto como el corte de las barras de fuselaje, o su cambio de ubicación.
- Su gran utilización en la industria. Es más fácil comercializar un modelo si está diseñado en uno de los programas más importantes del momento. Cualquier empresa fabricante acepta este formato. Además, es muy útil aprender este programa en un proyecto real y con impacto en la industria, por pequeño que sea.
- Presenta una gran facilidad a la hora de tratar conjuntos de piezas. Compuesto por *Products* que pueden contener a su vez otros *Products*, que consisten en conjuntos de *Parts*, es decir, de piezas. Es de fácil intuición para el ensamblaje de conjuntos, lo que lo hace idóneo para proyectos ingenieriles como este, de gran complejidad y gran número de piezas.
- Gran comodidad organizativa. El árbol de archivos de la izquierda de la pantalla de CATIA V5, resulta muy útil para este tipo de proyecto, y ayuda a llevar un seguimiento mas fácil para el usuario que esta trabajando.

2.2 Herramientas utilizadas

Hay multitud de herramientas útiles dentro de este software, eso es lo que lo hace ser uno de los más utilizados en la industria. En cada proyecto, en función de las necesidades del diseño, se hará uso de unas u otras herramientas más específicas.

En primer lugar, mostrar el árbol de archivos que se ha aprendido a utilizar en esta experiencia profesional. Consiste en una representación gráfica de la jerarquía de archivos, da gran información, y permite interactuar con los archivos, como ya veremos más adelante.

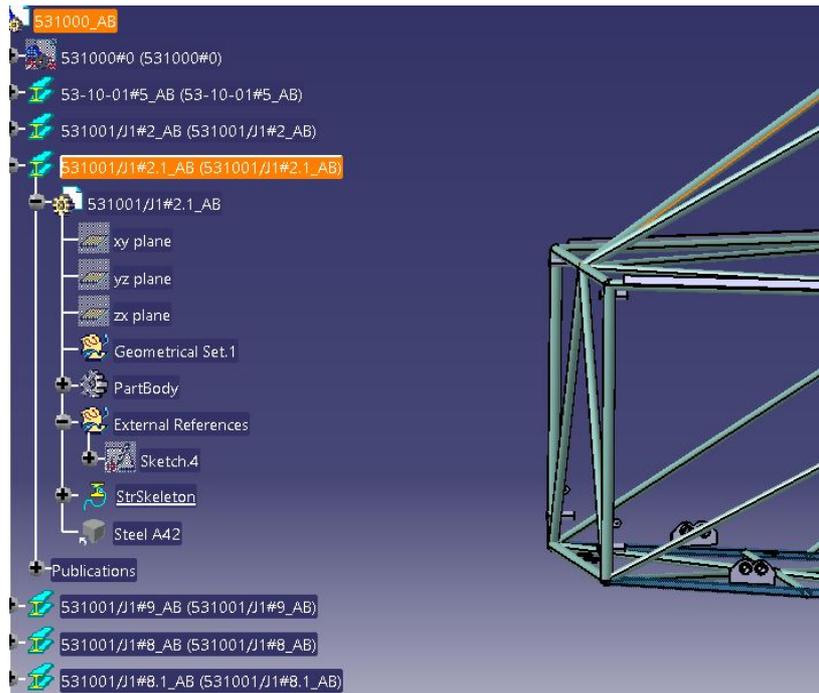


Ilustración 1 Árbol de archivos

Por ejemplo, en el *Product* de la avioneta hay distintos *Products*. Uno de ellos es el que aparece abierto en pantalla. Cada uno de los archivos en columna que aparecen del *Product*, es un tipo de *Part* que actúa como barra estructural, creado desde un módulo específico de CATIA.

Al abrir un *Part*, aparece de qué se compone y las principales características del *Part*. Además, se puede ver en la imagen que al clicar sobre una barra, ésta se marca en naranja, al igual que la barra en sí en el dibujo 3D de la pantalla. La barra en cuestión es la diagonal más alta que aparece en la esquina superior derecha de la imagen. Se puede observar que se marca de naranja también, lo que resulta muy útil para no equivocarte de componente al trabajar desde el árbol.

A continuación, se utiliza un extracto de un Trabajo de Fin de Grado [1] para listar y explicar las herramientas más relevantes que se han podido llegar a utilizar pertenecientes a los dos módulos que se han necesitado en este proyecto; los módulos de *Part Design* y *Generative Shape Design*.

En el diseño de cada *Part* deberemos hacer uso correcto de un gran número de herramientas disponibles en el módulo de diseño de CATIA (*Mechanical Design/Part Design*) entre las que destacan:

-  **Sketch:** Conexión de curvas o rectas que forman un perfil plano y normalmente cerrado. También usaremos esta herramienta en el módulo de superficies.
-  **Pad:** Extrusión de perfiles cerrados según dirección lineal.

-  **Pocket:** Vaciado por extrusión de un sólido ya creado.
-  **Shaft:** Generación de sólidos mediante revolución de perfil alrededor de un eje de revolución.
-  **Hole:** Taladrado de superficies.
-  **Rib:** Extrusión de perfil sobre una curvaguía.
-  **Slot:** Vaciado de perfil sobre una curva guía.
-  **Multi-sections Solid:** Creación de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Removed Multi-sections Solid:** Vaciado de sólidos de acuerdo a un patrón de secciones variables.
-  **Edge Fillet:** Realiza redondeos en aristas.
-  **Chamfer:** Realiza chaflanes en las aristas.
-  **Thread/Tap:** Realiza roscado interno o externo alrededor de una superficie cilíndrica.
-  **Split:** Recorte de sólidos con superficies auxiliares.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.
-  **Circular Pattern:** Repetición de elementos según un patrón circular.
-  **Shell:** Vaciado de sólidos por selección de la cara a eliminar y grosor resultante de pared deseado.
-  **Mirror:** Operación de simetría con respecto a un plano.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union Trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la *Parte* sobrante.
-  **Constraint y Constraint Defined in Dialog Box:** Relación entre geometrías en 2D.

Por otro lado, también se debe conocer con detalle algunas de las instrucciones que encontramos en el módulo de superficies (*Shape/Generative Shape Design*), que serán de gran importancia a la hora de modelar todas las cubiertas exteriores.

-  **Extract:** Permite extraer un elemento de otro previamente creado.
-  **Intersection:** Obtención de la intersección de dos elementos.
-  **Multi-Sections Surface:** Creación de superficie a *Partir* de una serie de secciones variables.
-  **Split:** Recorte de superficies o curvas mediante un elemento de corte.

-  **Trim:** Recorte de dos superficies o curvas entre sí.
-  **Helix:** Creación de hélice en una dirección dada.
-  **Extrude:** Creación de superficies regladas por extrusión de contorno o curva bidimensional.
-  **Fill:** Creación de superficies a *Partir* de contornos cerrados.
-  **Blend:** Creación de superficie de conexión entre dos elementos alámbricos.
-  **Join:** Unión de superficies adyacentes.
-  **Thick Surface:** Da espesor a una superficie.
-  **Add:** Operación booleana de suma.
-  **Remove:** Operación booleana de resta.
-  **Union Trim:** Operación booleana de ensamblaje que elimina la *Parte* sobrante.

Durante el trabajo, las herramientas que se vayan utilizando y nombrando en el proceso, deben estar aquí recogidas ya que son los módulos utilizados para este proyecto.

2.3 Uso complementario de Dropbox

Además del CATIA V5, es interesante nombrar a la Dropbox, un sistema de almacenamiento de datos en la nube que permite que gente a kilómetros de distancia sea capaz de trabajar en un proyecto común sin ningún tipo de problema.

Los archivos se sitúan en una de las carpetas del ordenador, y con conexión a internet, se actualizan solos para todos los integrantes que comparten esa carpeta. Es decir, al modificar un archivo, y otro usuario lo verá modificado sin la necesidad de establecer ningún tipo de contacto. Esto ha resultado útil para la realización del trabajo. En primera instancia, permitía la posibilidad de trabajar desde casa, sin la necesidad de reunión con el supervisor, solo por vía telefónica. Más tarde, cobró aún más sentido dentro de la crisis sanitaria mundial, ya que proporcionaba una comodidad exactamente igual que antes de que ocurriera nada. Los avances tecnológicos nos permiten estar avanzando sin problema en un proyecto en pleno confinamiento.

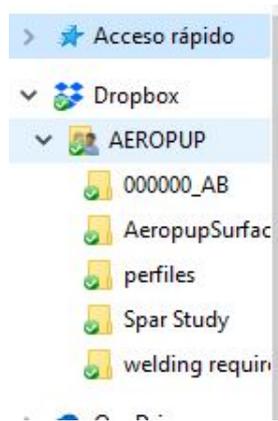


Ilustración 2 Dropbox

Dentro del menú de archivos del ordenador, vemos como aparece esta herramienta. Por último, comentar lo que aparece en la imagen. Cuando aparece el icono verde, indica que la sincronización del archivo local con el archivo en la nube está completa. Es el indicador de que la carpeta, y todas sus modificaciones personales, han sido trasladadas a los demás usuarios de la carpeta compartida, siempre que los demás tengan la conexión a internet necesaria para sincronizarse a la nube.

3 HISTORIA DEL PROYECTO

A través de la página web de Aeropup [2] y de un artículo de la revista australiana Sport Pilot [3], se ha podido organizar un apartado histórico basándonos en la evolución de la avioneta, y con alguna ilustración real del proyecto en el pasado y presente.

En este apartado, se va a explicar la evolución que ha vivido este proyecto a lo largo de la historia. Digamos que este proyecto ha sufrido dos fases, una primera hace unos cuarenta años cuando fue diseñada; la otra, corre actualmente, cuando ha sufrido una renovación completa.

Por eso, es controvertido hacer un apartado llamado “Estado del Arte” en un proyecto que ha vivido dos brechas tecnológicas distintas. Por ello, en primer lugar, se hablará del inicio histórico del proyecto y se darán datos interesantes, y posteriormente se hablará de la evolución del proyecto hasta la actualidad. Lo que supone el cambio de época para un diseño, y porqué ha sobrevivido su fin tantos años después.

3.1 Contexto Histórico

Esta avioneta nació en 1982 en Australia. Allí, la aviación ligera era un medio de transporte imprescindible para llegar a algunos lugares remotos o cruzar terrenos mal preparados para el transporte terrestre. Por ello, se creó un nicho de mercado donde la mejor oferta iba a ser demandada en un gran número de ocasiones, tanto para los que la necesitaban, como los que veían la aviación ligera como un entretenimiento.

Por ello nació esta empresa, a manos de un ingeniero aeronáutico que fue capaz de aprovechar la situación para sacar un gran primer modelo de avión ligero que iba a cumplir con los requisitos que el mercado dictaba. A continuación, una imagen de la fábrica donde montaban y preparaban las aeronaves.



Ilustración 3 Antigua Fábrica Australiana [2]

Como podemos observar, tampoco consiste en una gran nave industrial; en aquella época y para el tipo de avión recreativo que producían, no existía una gran producción en serie. Se aceptaban pedidos y se fabricaban las aeronaves necesarias.

Ya en esta época, la aeronave poseía muy buenas características que hicieron que tuviese una buena respuesta por parte de la clientela.

El avión de ala alta poseía muy buenas cualidades de manejo y rendimiento. Con unas superficies de control extensas, hacía posible un control preciso. Tenía capacidad para noventa litros de combustible, que se traducían en una excelente autonomía de la aeronave.

El larguero principal del ala fue exclusivamente diseñado para este avión, con lo que se consiguió reducir el diámetro del larguero y con ello, el peso total del ala.

La cabina, formada por un plástico transparente, ofrecía una visibilidad de más de 180° para los pilotos, lo que se convirtió también en un atractivo muy interesante.

Por último, ya en su primer modelo, el avión fue diseñado para poder integrar la gran mayoría de motores del momento.

3.2 Evolución y Actualidad

La evolución es un aspecto muy importante en la vida de una empresa que vende un producto muy particular. Si se quiere seguir participando de forma activa en el mercado, las innovaciones toman un papel indispensable para proporcionar ese salto de seguridad y características que va implícito en el paso de los años.



Ilustración 4 Imagen avioneta I [2]

Uno de los primeros avances que proporcionó la avioneta, por verosímil que parezca, es la posibilidad de plegar las alas sin desconectar líneas de combustible, para obtener una serie de beneficios como una buena eficiencia, al ser mucho más fácil de transportar y de almacenar. Este diseño es muy práctico y redujo el coste por hora de vuelo de forma considerable.

Como cuenta el ingeniero australiano Rollo en [3], que estuvo a cargo de la empresa tiempo atrás, aunque después de Cotton (fundador); fue un gran hito la incorporación de un segundo asiento a la cabina. Esto sucedió tras varias mejoras de modelos de la avioneta, y además el segundo asiento se coloca al lado del piloto, y no detrás. Este detalle fue bien recibido por la clientela.

En el artículo de Sport Pilot [3], Rollo cuenta como B. James, un distribuidor local, llevó a cabo un proyecto de sustitución de aeronaves en el que se reemplazaban CESSNA 172, cuyas propiedades encontramos en European Flyers [5], por las avionetas de Aeropup. Aunque fuese un modelo antiguo para esa época, es interesante hacer una comprobación de propiedades. Además, en un estudio de diseño de aeronaves ligeras [4] se muestra una comparativa de distintas aeronaves en función de su peso máximo W_o , y de la fracción de peso de W_e/W_o .

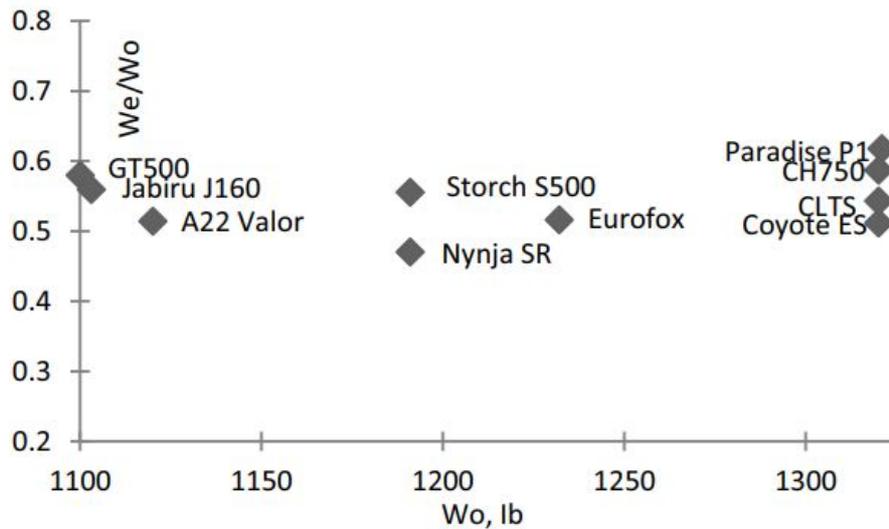


Ilustración 5 Comparativa pesos iniciales y fracción de peso [4]

Las propiedades óptimas se dan para una baja fracción de peso en vacío, dejando así peso disponible para combustible o carga. Aún así, no se hace una comparación de qué aeronave es mejor, ya que para ello habría que analizar todas las propiedades en función de unos requisitos de misión. A la vez, ya que estamos hablando de aviación ligera, es interesante reducir el peso inicial, por lo que también tomáremos como una característica positiva un bajo peso inicial.

El C172 con un $W_o = 1110$ kg y un $W_e/W_o = 0.67$, se veía claramente superado por las características de los modelos Aeropup, con un $W_o = 750$ kg y un $W_e/W_o = 0.4$. Cabe decir que seguramente las propiedades de nuestra avioneta hayan ido mejorando durante los últimos años, pero aún así, seguramente supusieron una gran mejora para según que requisitos de misión, ya sea recreativa o de transporte.

Un ejemplo muy claro de evolución casi obligada es el tren de aterrizaje de la avioneta. Antiguamente, se diseñó un tren de aterrizaje que conocían como “Taildragger” (arrastrador de cola), con la rueda única situada bajo la cola del avión; tal y como se ve en la imagen de la antigua fábrica australiana. A pesar del buen impacto que tuvo, la demanda de los clientes cambiaba. Distintos pilotos contactaron con la empresa para proponer otra disposición del tren de aterrizaje. A pesar de las buenas prestaciones del modelo original para aterrizar en distancias cortas y superficies con irregularidades, existía la incomodidad de los pilotos que les obligaba a estar en la cabina mirando siempre hacia el cielo. A continuación, la empresa realizó rápidamente un diseño conocido como “Nose Wheel” (rueda de nariz) que permitiese la comodidad de los pilotos y tuviesen una visibilidad clara de la pista. Posteriormente la empresa ofreció el servicio y dejó que el tipo de tren de aterrizaje quedase a elección del comprador.



Ilustración 6 Avioneta con el tren de aterrizaje "Taildragger" [3]



Ilustración 7 Avioneta con el tren de aterrizaje "Nose Wheel" [2]

En cuanto a los materiales, es muy predecible la evolución. Cada vez que se ha podido, se han ido aprovechando los avances tecnológicos de los materiales compuestos. Y consecuentemente, cada modelo posee un mayor porcentaje de peso de estos materiales ligeros. Por ejemplo, la punta del ala actualmente se fabrica con material compuesto.

Otro de los avances más importantes de la evolución de este proyecto, es el rediseño de la cabina. Se redistribuyen las cargas minimizando el número de pilares necesarios. Con ello, se evita cualquier perturbación en la visibilidad consiguiendo un ángulo de visión de cerca de 360° gracias a su cubierta de tortuga transparente.

La composición de los tubos del fuselaje está al nivel actual de la industria, al estar formada por la aleación de acero Cr-Mo, que le proporciona las características necesarias. En el apartado "4.1 Corrección del Fuselaje", se observa toda la estructura de jaula de acero del fuselaje.

Desde hace no mucho tiempo, cada tubo del fuselaje se corta con láser de control numérico. Este proceso le proporciona una precisión espectacular para la hora de la soldadura de los tubos, proporcionando mejores características al coincidir con más exactitud con la geometría ideal. Esta precisión ha provocado que el fuselaje de la avioneta sea actualmente uno de los fuselajes más ligeros en el mundo de la aviación de recreo. El corte tan preciso de cada tubo se debe a que cada tubo tiene su propia geometría y se debe fabricar particularmente. En este mismo proyecto, mostraré en el apartado "4.2 Corte de las Barras" como se prepara un tubo del fuselaje en

CATIA V5 para ser cortado con exactitud en su fabricación para la soldadura.

En un artículo de Sport Pilot [3], Rollo cuenta como afecta la evolución tecnológica a la producción de las avionetas. Antiguamente, con muchos menos pedidos, se fabricaban uno por uno y con un proceso de fabricación mucho más lento. Ahora bien, al incluir procesos como el corte por control numérico, se encarece el proceso de fabricación, y es más conveniente producir un mayor número de avionetas para que el coste de producción sea menor. Esto ha provocado que el mercado de clientes se abra al resto del mundo, obligando así a la globalización de la empresa.



Ilustración 8 Fuselaje de tubos con fabricación actual II [3]



Ilustración 9 Fuselaje de tubos con fabricación actual I [3]



Ilustración 10 Imagen avioneta II [2]

La empresa sufrió una transformación muy importante, en la que el centro de mando paso a formar parte de varios ingenieros aeronáuticos españoles, que le han dado un toque moderno al proyecto en un largo proceso de actualización del que se plasma una pequeña parte en este trabajo

Con más de cien unidades vendidas entre todos los modelos, varios miles de horas de vuelo, se ha probado el diseño hasta el límite con un resultado de la seguridad absoluto.

4 MODELADO EN CATIA

En esta sección se va a desarrollar el trabajo realizado. Dividiremos en dos grandes bloques la evolución del trabajo. En primer lugar, la corrección del fuselaje, y posteriormente la generación de la superficie exterior.

En cada uno de los apartados, se enseñará el estado actual del conjunto, y se definirá el objetivo. Después se analizará el proceso seguido distinguiendo entre las diferentes técnicas de trabajo para alcanzar el resultado. También es importante destacar los problemas encontrados, y las alternativas valoradas para continuar adelante. Es imprescindible, ya que es en los intentos de superar un obstáculo cuando uno realmente progresa y mejora su actividad dentro del programa. Por último, se enseñarán los resultados obtenidos después del proceso que se ha desarrollado.

A medida que se avanza en el trabajo, nos valemos de un manual de CATIA V5 [6] y de una página de documentación libre sobre el mismo software [7] para obtener información que ayude al desarrollo del proyecto. Tener referencias bien alineadas con el trabajo es de gran ayuda en los momentos que no se puede seguir por uno mismo.

4.1 Corrección del Fuselaje

La avioneta ya se ha intentado modelar en CATIA anteriormente, aunque no se ha logrado con la exactitud requerida para un proceso industrial. La geometría de barras del fuselaje ha sido obtenida de unos planos en papel, y en el primer modelado había una gran diferencia con la geometría correcta. A partir de ese momento entra la labor expuesta en este trabajo. A continuación, se muestra la evolución.

4.1.1 Estado inicial

La estructura de barras del fuselaje está creada. En primer lugar, vamos a mostrar una imagen del conjunto de barras sobre el que se va a trabajar.

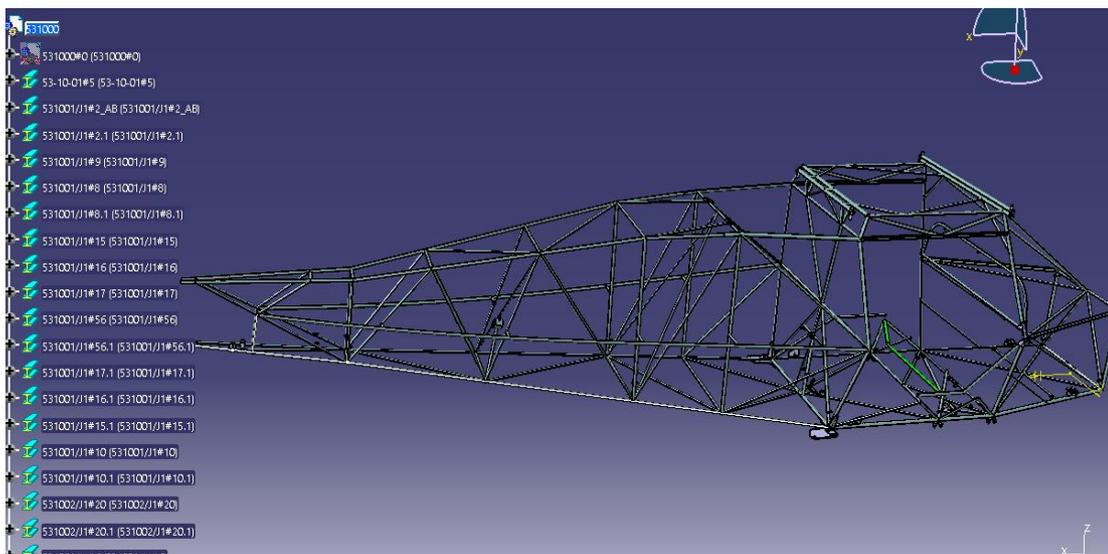


Ilustración 11 Estado inicial de la estructura de barras del fuselaje.

Se ve perfectamente la estructura, y en el árbol de archivos de la izquierda, se aprecia la gran cantidad de barras pertenecientes a distintos *Parts*, que van a tener que ser modificados uno a uno.

4.1.1 Superposición de geometrías

Al ser la geometría incorrecta, se ha implementado un *Part* al *Product* de la avioneta. Este archivo, contiene una geometría de líneas que representan la línea media de las barras con su distribución correcta. Se muestra a continuación.

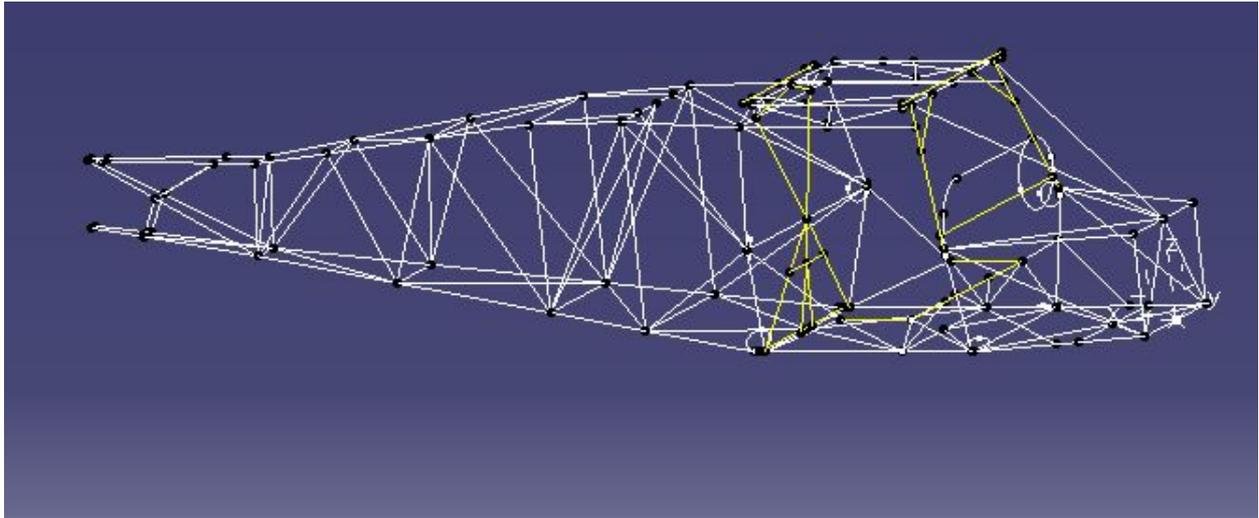


Ilustración 12 Líneas del fuselaje con geometría correcta

A simple vista no se nota una gran diferencia, porque no la hay. Pero las geometrías son distintas, y esa variación no respeta la exactitud del diseño original.

La imagen anterior, es el resultado de ocultar el *Product* del fuselaje con la opción “*Hide/Show*”. Esta herramienta permite ocultar o volver a mostrar los elementos seleccionados. Es muy cómodo ocultar elementos cuando se trabaja en algo en particular del proyecto, y se pretende evitar la molestia de la visión de otros elementos; es más, se suele tener todo oculto menos lo que se trabaja, para que sólo muestre eso por pantalla. Una vez se coge la costumbre de usarlo, es de gran utilidad.

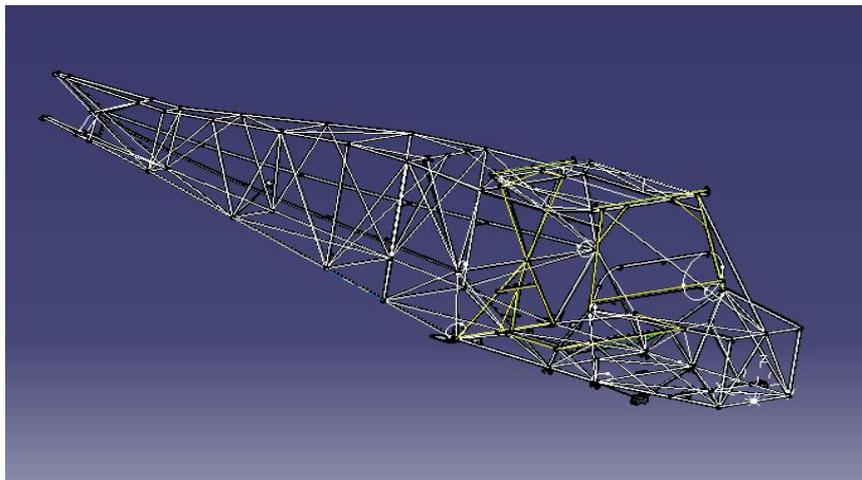


Ilustración 13 Superposición de geometrías I

El siguiente paso consiste en superponer las dos geometrías para poder apreciar las desviaciones, y poder trabajar con continua comparación entre las barras del fuselaje y las líneas de referencia. A continuación, se va a mostrar en varias imágenes el estado del fuselaje, y algunas zonas donde existe clara discrepancia entre las dos geometrías.

Y ahora al acercarse a las distintas zonas del fuselaje nos encontramos con el principal problema del modelado anterior, una gran diferencia entre modelo y diseño.

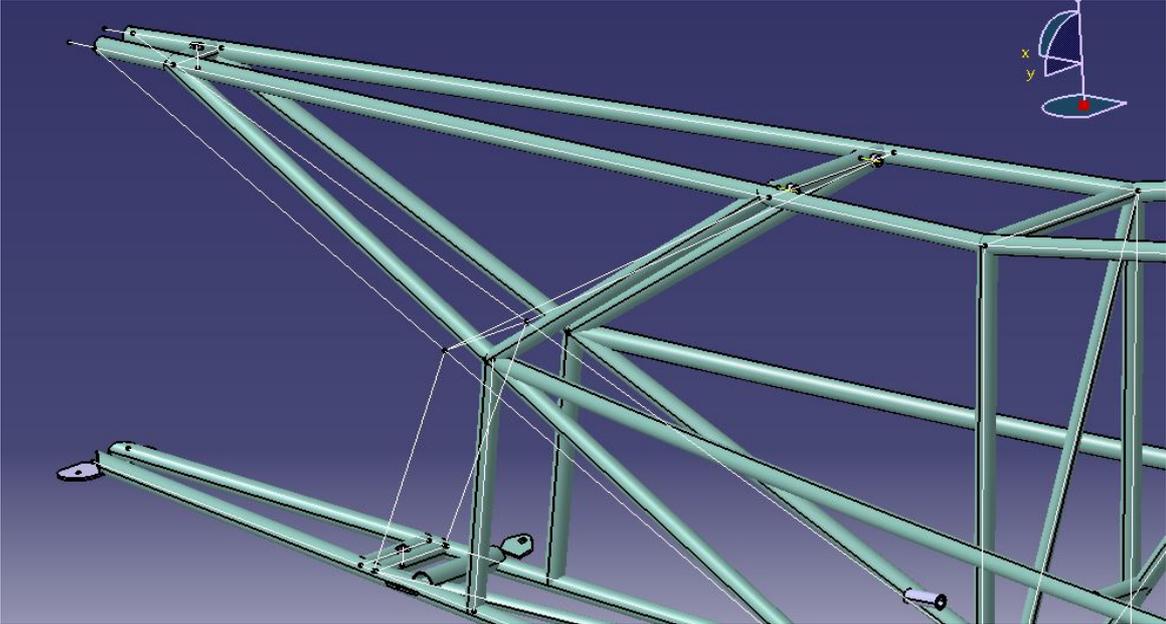


Ilustración 14 Superposición de geometrías II

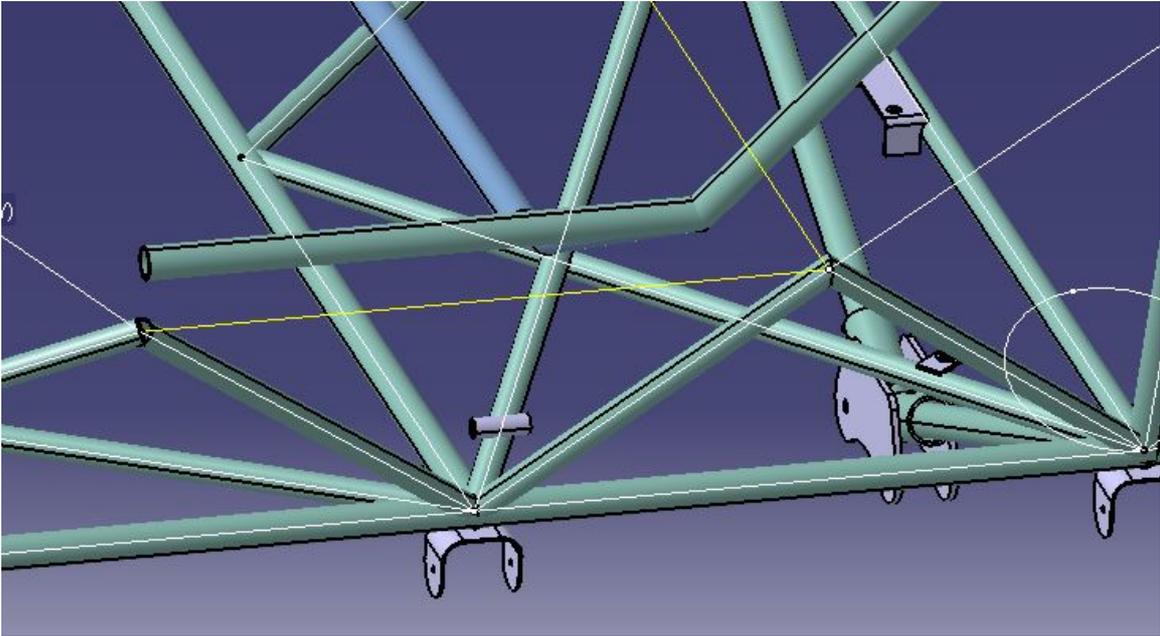


Ilustración 15 Superposición de geometrías III

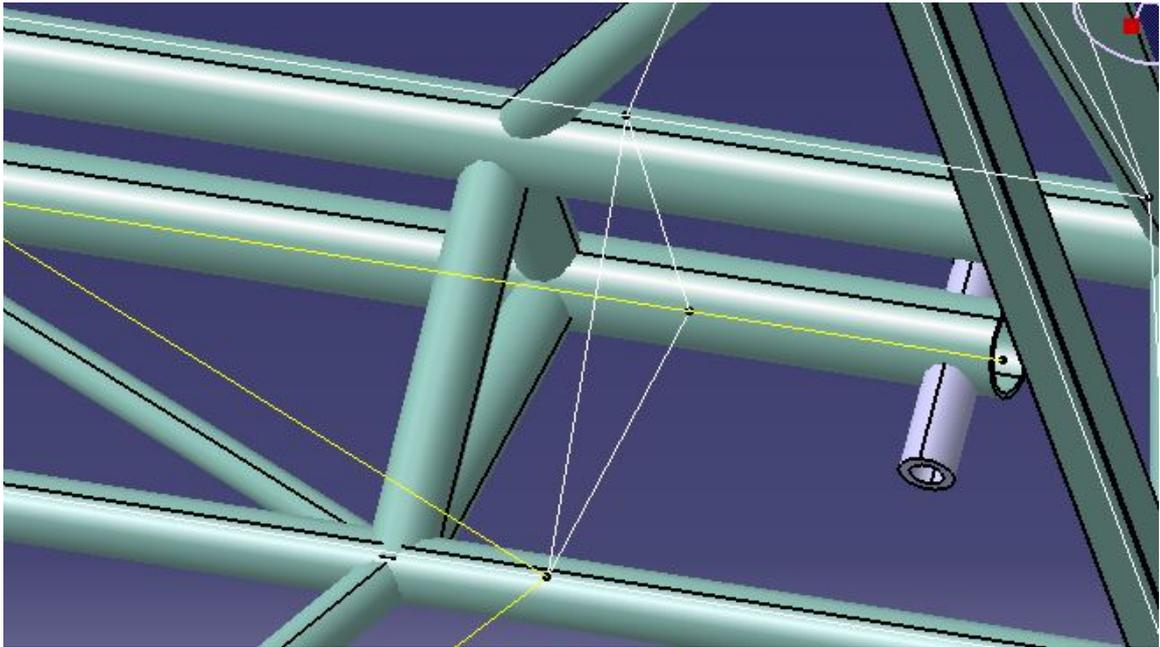


Ilustración 16 Superposición de geometrías IV

Se observa una clara diferencia entre las geometrías de todas las barras y la de las líneas. Se puede deducir donde debe ir cada una de ellas. Por eso se van a tratar las barras una a una.

Es importante comentar que, en primer lugar, se añadió el *Part* que contiene el *Geometrical Set* con toda la geometría de líneas correcta al *Product* general de la avioneta. Más adelante, se cambió de idea al ver que era mejor trabajar directamente sobre el *Product* del fuselaje, para que el archivo pese menos y se trabaje con mayor fluidez en el programa; y sea más rápido y cómodo. Basta con introducir el *Part* de la geometría en el *Product* del fuselaje para solamente trabajar con estos dos elementos.

4.1.2 Objetivos añadidos

El objetivo principal de la corrección del fuselaje consiste en tratar cada uno de los archivos *Part* de las barras del fuselaje, para trasladar a las barras la geometría correcta. Para ello, se debe ir una por una recolocándolas en su sitio correspondiente.

Además, a la vez que se vayan retocando las barras, hay otras cosas que ir llevando a cabo. Hay que decir, que este es un proyecto profesional, y necesita un seguimiento certero del avance. Por ello, cada vez que alguien edita o corrige un conjunto ya creado, no se sobrescribe sobre ese mismo archivo, sino que se crea una nueva versión.

En este caso, es sencillo. El nombre del *Product* del fuselaje es 531000. Entonces, en la carpeta global del proyecto, se crea la carpeta 000000_AB, y dentro se guarda el *Product* del fuselaje como 531000_AB ya que el trabajo sobre el fuselaje forma *Parte* de la “Revisión AB” del proyecto global. Además, a cada barra retocada y colocada en su nueva posición se le cambia el nombre también. Es decir, a una barra corregida se le añade al final “_AB” para distinguir que ya ha sido revisada y corregida.

Por último, las barras están formadas todas por el mismo tipo de material. Hay que informar en cada archivo dentro del modelo, mediante una categoría a la pieza, si ese elemento es preciso fabricarlo por la empresa fabricante de la aeronave, o si puede ser comprado. En este caso, ya que todas las barras son elementos estructurales propios de este diseño, deben ser fabricados. Esta categoría debe ir dentro de las propiedades de cada uno de estos archivos.

Al dar al botón derecho en un *Part* de una barra, clicar en propiedades (“*Properties*”), y elegir la pestaña de *Product*, nos encontramos con una ventana en la que va a haber que modificar los objetivos añadidos ya comentados.

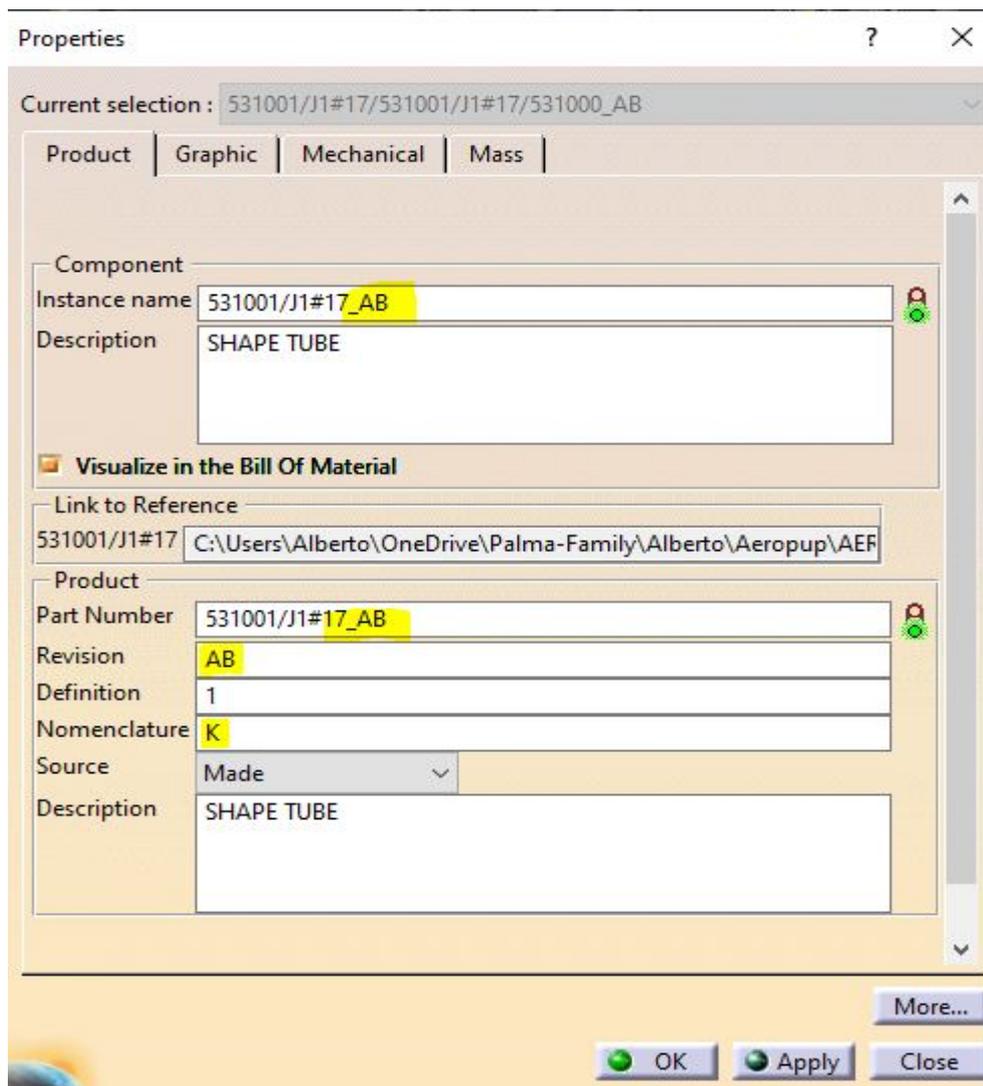


Ilustración 17 Ventana de propiedades de un Part

Se ha resaltado en amarillo, los cambios que hay que realizar al corregir una barra. En primer lugar, en *Component*, añadir el sufijo de la revisión te permite ver desde el árbol de elementos qué barras están corregidas y cuáles no. Dentro del apartado *Product*, nos encontramos con el *Part Number* donde también se pone el sufijo. En *Revision* se confirma que ese archivo ya ha sufrido la revisión. Por último, en *Nomenclature*, se le asigna la categoría “K”, para confirmar que debe ser fabricada.

4.1.3 Proceso de corrección

Se va a partir de una primera técnica para corregir las barras, pero iremos viendo que no va a funcionar para la mayoría de ellas. Nos iremos encontrando problemas por los cuales no funciona o no resulta una buena solución, y a partir de ahí se van a intentar idear métodos alternativos a partir de los cuales conseguiremos adecuar la estructura del fuselaje.

4.1.3.1 Primera técnica de corrección

En primer lugar, vamos a seleccionar una barra y a ver de qué está formada, y qué compone su *Part*. Cabe decir,

que para trabajar en una barra debemos hacer doble click en el *Part* para obtener la marca azul en el nombre, y ya podríamos trabajar con ella. Por ejemplo, la siguiente:

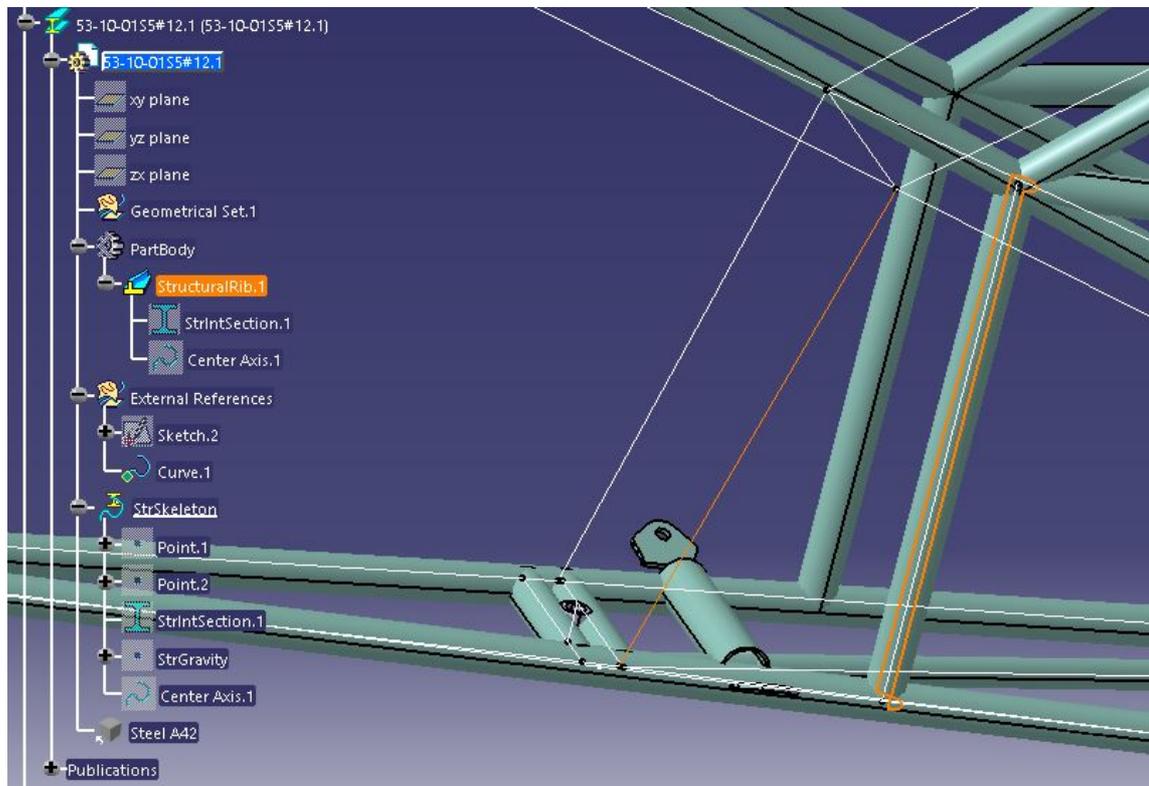


Ilustración 18 1º Corrección del Fuselaje I

Todas las barras tienen una estructura semejante. En el *PartBody* incluyen su propiedad de *StructuralRib*, en *External References* se le dan las restricciones exteriores de geometría a la barra, y en *StrSkeleton*, también se fijan datos geométricos como puntos de inicio y final o curva de la línea media de la barra.

En la imagen, vemos seleccionadas la barra en cuestión, y la línea que debería ser su eje para que cumpliera la geometría.

Por lo que a nosotros respecta, todo es correcto excepto la curva a seguir por la sección de la barra. La primera técnica consiste simplemente en sustituir la curva a la que esta asociada la barra del fuselaje. A continuación, se muestra el proceso seguido.

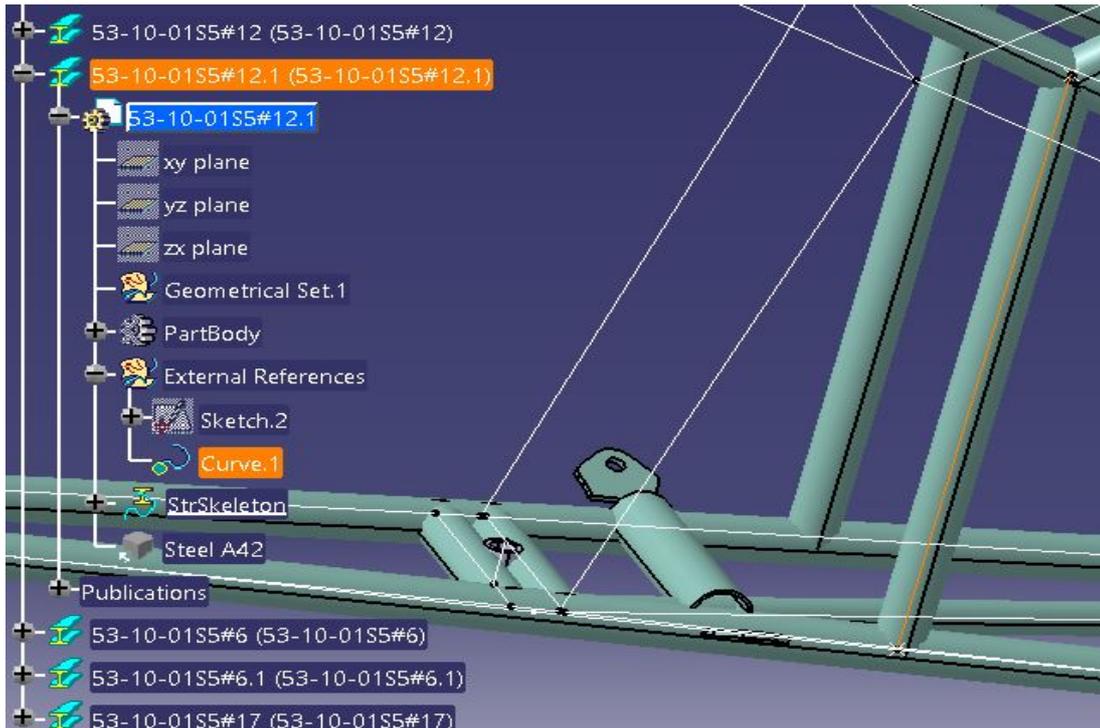


Ilustración 19 1º Corrección del Fuselaje II

Si nos fijamos en *External References*, vemos que se compone de un sketch, que le da la sección a la barra, y de una curva, que es la problemática de la barra en sí. La marcamos, y vemos como se colorea de naranja la línea que hace de eje en la barra. Eso significa que esa es la línea que debemos sustituir. Además, tenemos al lado las líneas que deberían ser las correctas mediante la superposición comentada en apartados anteriores. Salvo en algunos casos, mediante una fácil intuición, se puede saber qué línea corresponde a qué barra para hacer una corrección directa entre esos dos elementos.

Ahora simplemente se le da al botón derecho encima de la curva (en el árbol de la izquierda o en el dibujo, da lo mismo) para que se abra un menú de acciones con dicha curva. Aquí le damos a la herramienta *Replace*, y se nos abre la siguiente ventana:

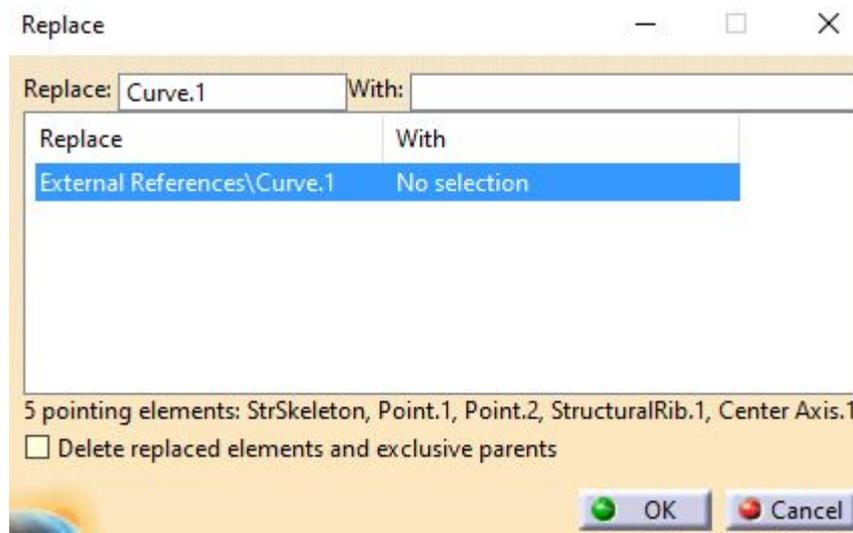


Ilustración 20 1º Corrección del fuselaje III

Lo único que nos pide la herramienta en primera instancia, es que elijamos la curva con la que queremos sustituir la ya preseleccionada.

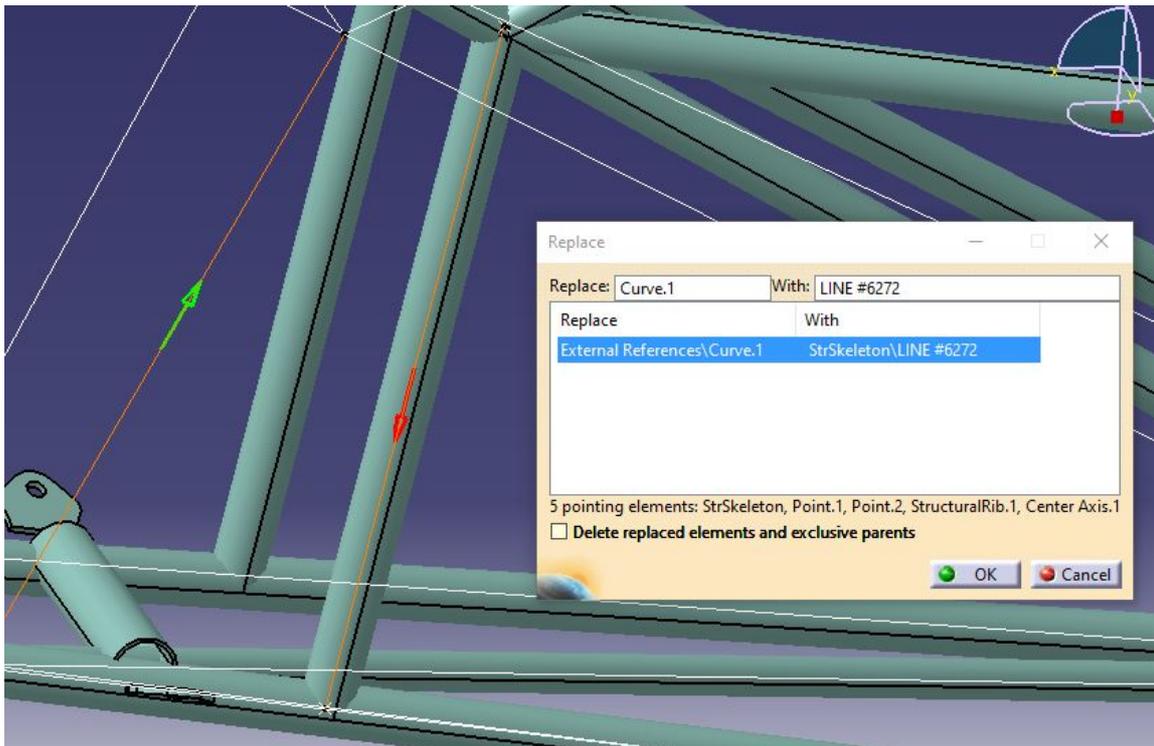


Ilustración 21 1º Corrección del Fuselaje IV

Ahora vemos como al marcarle la curva deseada para la nueva geometría correcta, el programa muestra una flecha en cada uno de los elementos en cuestión. La verde es la única que se puede variar; haciendo un click sobre ella, cambia de sentido. Nosotros queremos que ambas vayan en el mismo sentido, para una correcta generación de la barra. Además, es conveniente marcar la casilla inferior para eliminar los elementos reemplazados y aligerar el archivo.

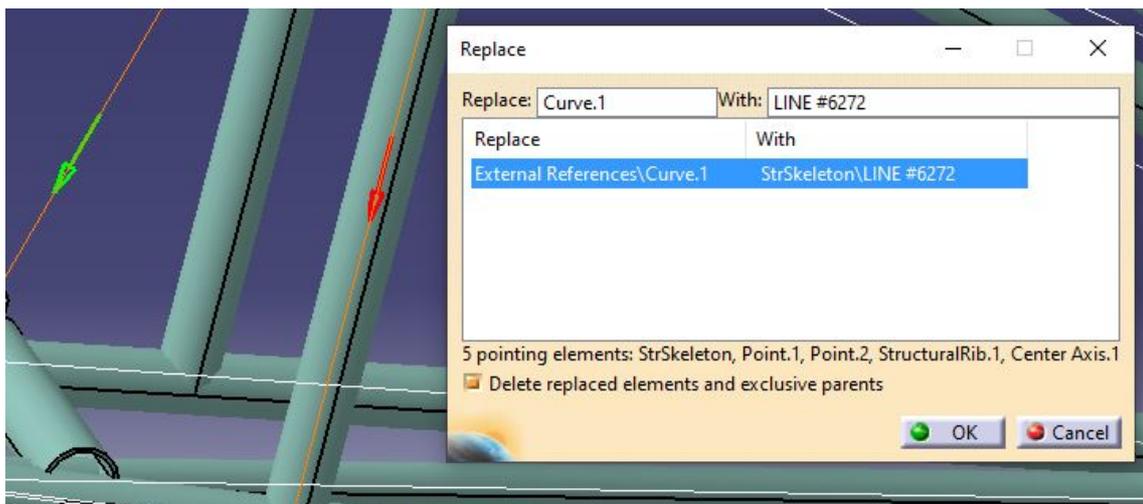


Ilustración 22 1º Corrección del Fuselaje V

Aquí ya tenemos la herramienta lista para darle a *Ok*, y ver el cambio de ubicación de la barra. Por último, el programa hace saltar una ventana para darte un aviso.

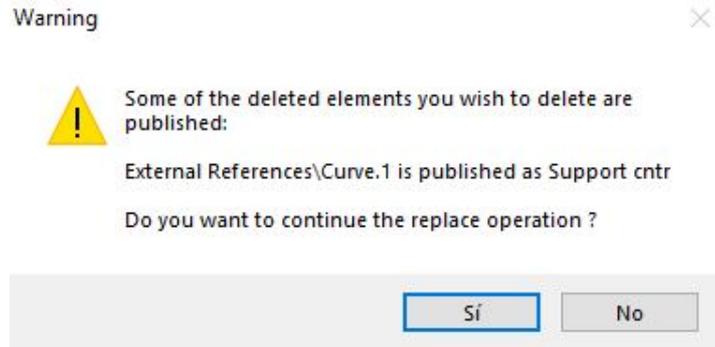


Ilustración 23 1º Corrección del Fuselaje VI

Sin ningún tipo de peligro, le damos a que queremos continuar con la operación, y a continuación ya se muestra la barra con posición corregida:

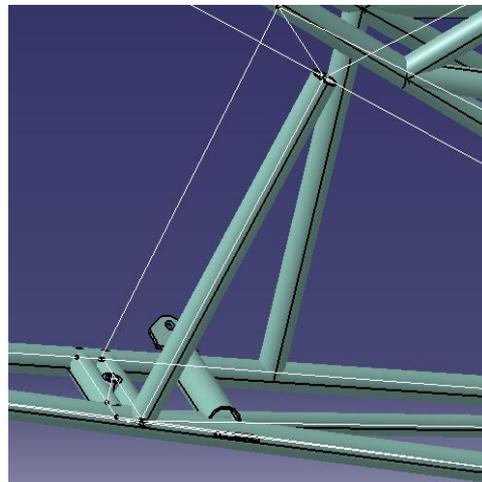


Ilustración 24 1º Corrección del Fuselaje VII

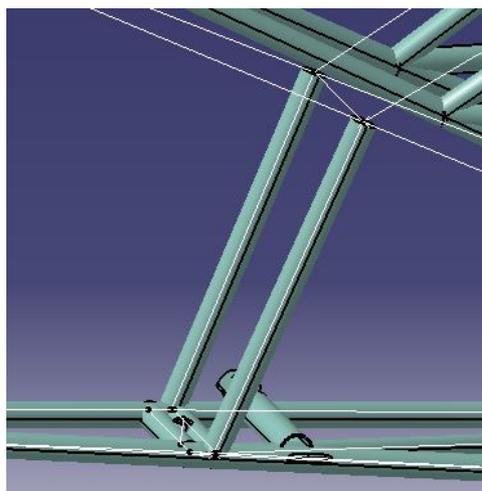


Ilustración 25 1º Corrección del Fuselaje VIII

Y de esta forma concluye la primera forma y más fácil para corregir la posición de las barras. Es la técnica más sencilla ya que las barras para las que es útil son barras simples y sin quiebros, y con la línea a sustituir bien aislada y localizada.

4.1.3.2 Segunda técnica de corrección

Si continuamos con el proceso de corrección, nos vamos a encontrar con muchas barras que pueden ser corregidas como en el apartado anterior, de una forma simple. Pero aún así, no es suficiente para un gran número de barras. Esto se debe a que no hay el mismo número de barras que de líneas. Lo que quiere decir esto, es que existen barras, que tienen quiebros, y se componen de lo que podrían ser dos o más barras distintas, y tienen asociadas dos o más líneas con las que corregir su posición. Para mayor claridad, se va a mostrar en imagen éste problema.

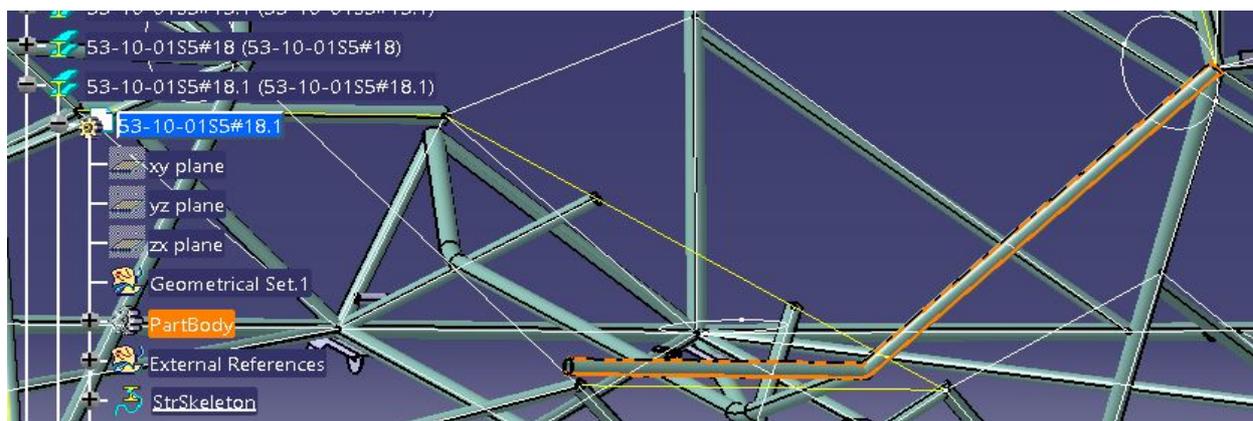


Ilustración 26 Barra con quiebro

Como podemos observar, aquí no se puede sustituir la geometría, porque hay dos líneas de geometría para una sola curva de la barra. Aún así se ha intentado, y se va a mostrar en una imagen como no sirve la primera técnica de corrección.

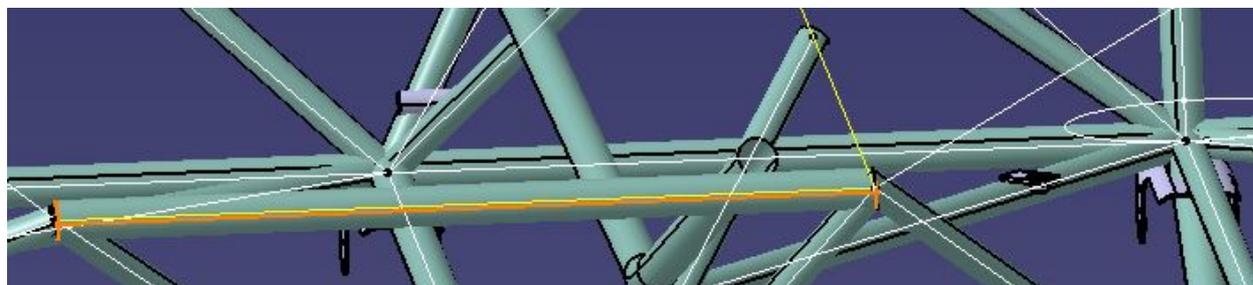


Ilustración 27 Resultado Erróneo con 1º Corrección

El problema es que la herramienta *Replace* solo te deja elegir una curva para sustituir. La imagen anterior muestra el resultado si solo eliges la línea horizontal, solo se genera la barra en esa distancia. Esta técnica es inútil para este tipo de barras.

Con el uso de la lógica, salen dos posibilidades para arreglar el problema encontrado. O separar la barra en función de las líneas, o unir las líneas para después ser sustituidas en la barra. La opción correcta es la segunda. Se va a intentar unir las líneas para crear una polilínea y entonces utilizar la herramienta *Replace* para corregir las barras.

A continuación, vamos a elegir el módulo de CATIA V5 llamado *Generative Shape Design*, ya que aquí se encuentra una herramienta imprescindible para proceder. Dentro del conjunto de *Operations*, encontramos la herramienta *Join*.



Ilustración 28 Menú Operations

La herramienta *Join* es la primera por la izquierda. En primer lugar, marcaremos las dos líneas que queremos unir.

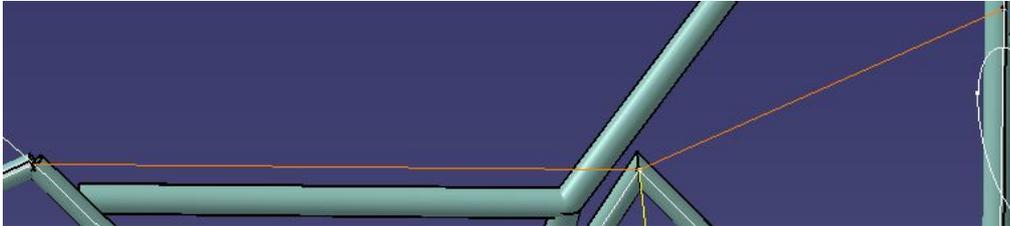


Ilustración 29 2º Corrección del Fuselaje I

Ahora se hace uso de la herramienta *Join*. Una vez tenemos las dos líneas seleccionadas, utilizamos la herramienta, y nos aparece la siguiente ventana:

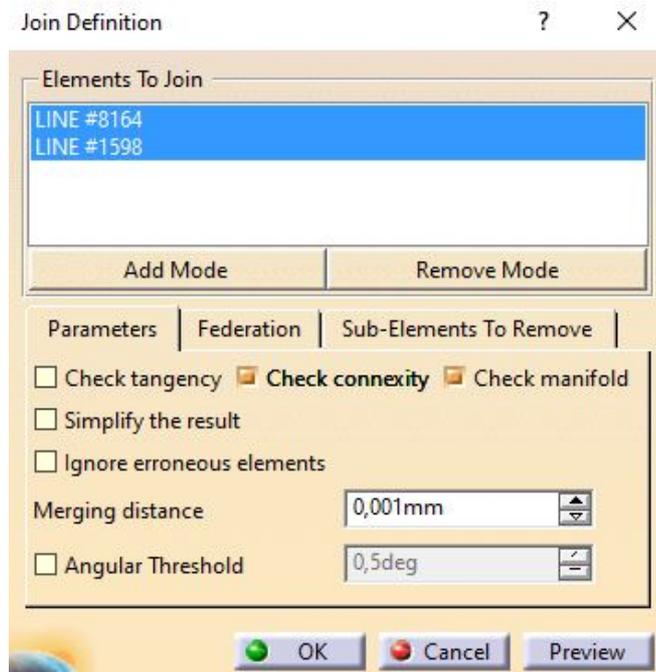


Ilustración 30 2º Corrección del Fuselaje II

Dentro de esta ventana, vemos varias casillas marcables que son importantes a la hora de usar correctamente la herramienta. Las dos casillas marcadas son imprescindibles, ya que la unión de estas líneas se basa en la continuidad de la barra. Por ello *Check connexity* y *Check manifold* deben estar marcadas. En el caso de *Check tangency*, debe estar desmarcada; esto se debe a que siempre va a haber un quiebro en estos casos por lo que no se va a respetar la tangencia entre las líneas. Por ellos es preciso desmarcarla. Aún así, se va a mostrar lo que ocurre al marcar *Check tangency*:

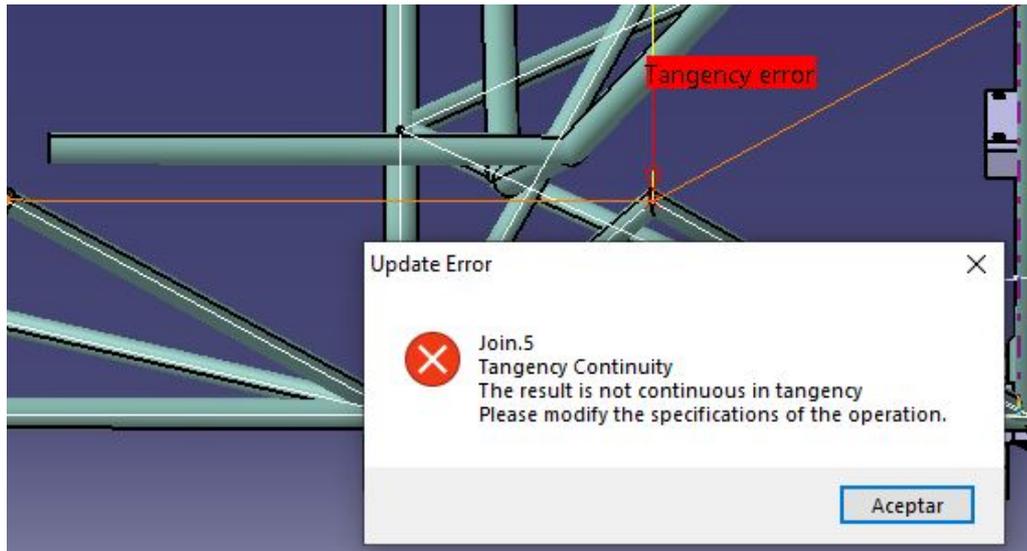


Ilustración 31 2º Corrección del Fuselaje III

Se observa que el programa da error, y no te permite realizar la unión de las líneas, por lo que las uniones se deberán realizar tal y como aparece en el cuadro anterior de *Join Definition*.

Antes de utilizarla, debemos seleccionar el archivo que contiene todas las líneas de geometría correcta, para que la unión se guarde dentro del *Part* con la geometría, y así tener los archivos organizados para su posterior uso en la corrección. Esto es muy importante ya que se puede llenar el árbol del programa de archivos mal posicionados que molesten durante el proyecto.

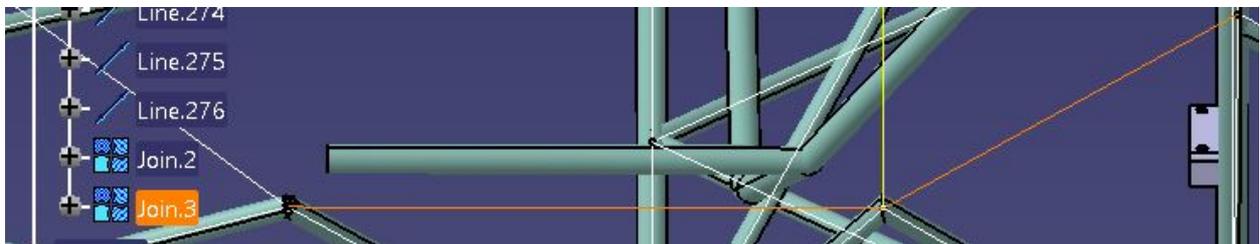


Ilustración 32 2º Corrección del Fuselaje IV

Vemos que se nos guarda como *Join*. Ahora, cuando dentro de la barra queramos sustituir la línea base, escogeremos este elemento. Como se ve en la pantalla, se marcan ambas líneas al pulsar en el elemento, lo que quiere decir que la unión es correcta.

A *Partir* de aquí se procede como en la primera forma de corrección. Nos iremos a la barra en cuestión, nos introducimos en el *Part*, en *External References*, y usamos *Replace*.

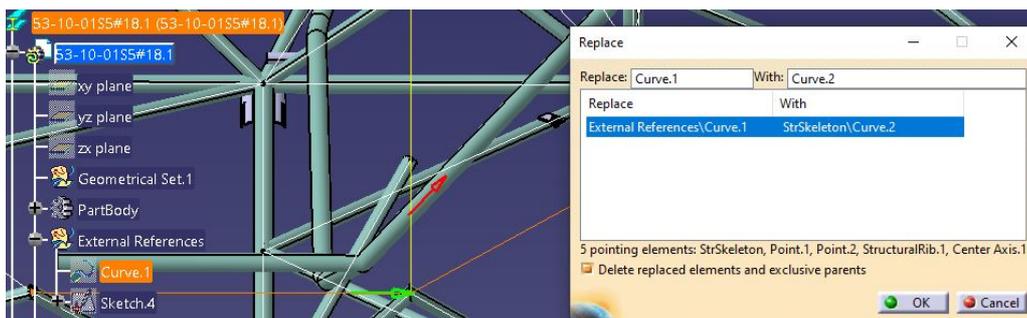


Ilustración 33 2º Corrección del Fuselaje V

Ahora vemos en pantalla, que ambas líneas están seleccionadas dentro del elemento *Curve.2*, que consiste en la unión anterior. También debemos fijarnos que las dos flechas verde y roja apuntan en el mismo sentido de recorrido de la curva, y que la casilla inferior está marcada.

El resultado final de la barra con quiebro se va a mostrar a continuación frente a la barra antes de la corrección, para que se aprecie el cambio.

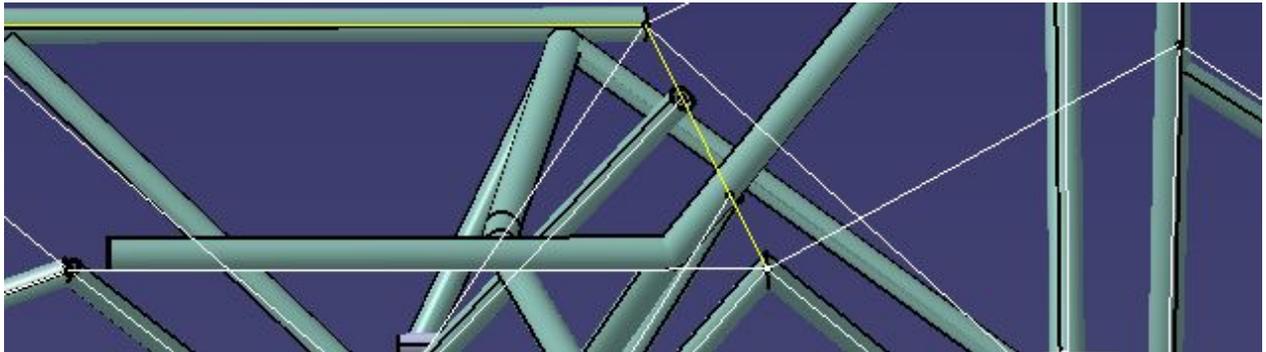


Ilustración 34 2º Corrección del Fuselaje VI

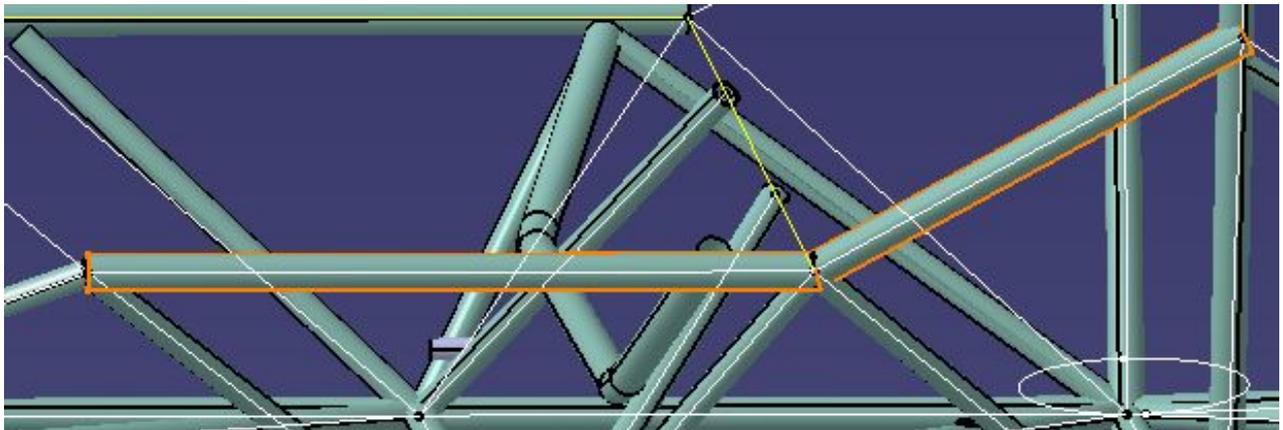


Ilustración 35 2º Corrección del Fuselaje VII

El resultado es correcto, y al descubrir la utilidad de esta forma de trabajar, se redujo considerablemente el tiempo de corrección del fuselaje.

A continuación, se va a mostrar una barra formada por lo que serían tres elementos distintos. Se ejemplifica para ver como se trabaja al aumentar el número de quiebros de la barra, y se va a mostrar el resultado final. No se va a enseñar el proceso detallado ya que es exactamente igual que el anterior añadiendo una línea más a la unión, lo que significa que no consiste en otra técnica de corrección.

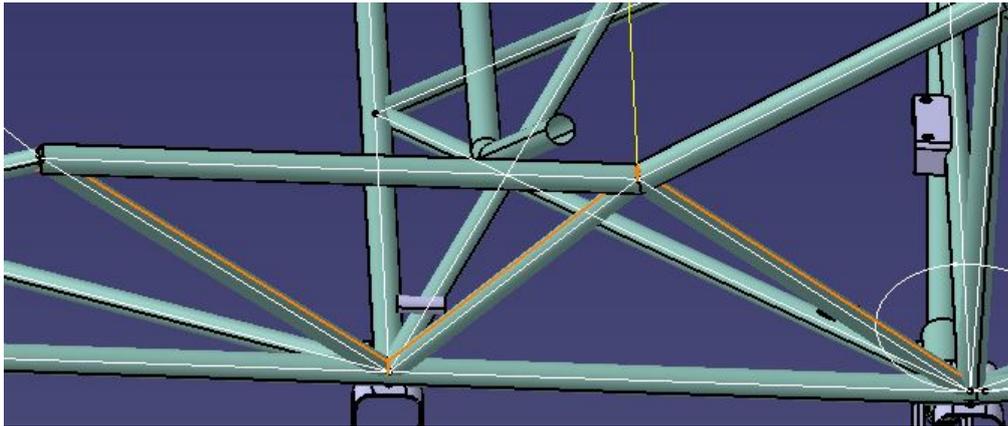


Ilustración 36 2º Corrección del Fuselaje

Vemos que al seleccionar el *Part*, se marcan de naranja lo que serían en teoría tres barras por separado. Justo arriba apoyada esta la barra corregida previamente, y se ve que coinciden en los puntos de unión.

Mediante estas dos técnicas, se puede corregir la mayoría de las barras, salvo algunas excepciones que quedan fuera de este trabajo por su complejidad.

Sería conveniente aclarar que, los archivos que se forman con más de una barra, es decir, que tienen quiebros, no se fabrican unidas realmente. Sólo se está modelando la geometría, y este es el mejor camino para arreglarla. Posteriormente, habrá que separar las barras para realizarle el corte a cada una para su futura soldadura, pero su ubicación en el espacio ya será la correcta.

4.1.4 Problemas encontrados

En el CATIA V5, encontramos una disposición de los archivos, en la que los *Products* incluyen a los *Parts* y *Components*. Para un correcto funcionamiento del programa con el proyecto, se debe tener control sobre la ubicación de los archivos dentro del disco duro.

En este caso, se trabaja con una carpeta con el contenido del proyecto en Dropbox. Esto quiere decir que si se sobrescribe algo se le modifica a los demás usuarios de la carpeta compartida. Por ello, se decidió realizar una copia de los archivos en el disco duro local. Esto propició un desacompañamiento entre los archivos. Entonces cuando se observaba el *Product* del fuselaje no se veía lo que se tenía que ver.

CATIA nos informa al abrir el archivo, de los componentes que no ha podido abrir por alguna razón, y no puedes trabajar con ellos, por ejemplo:

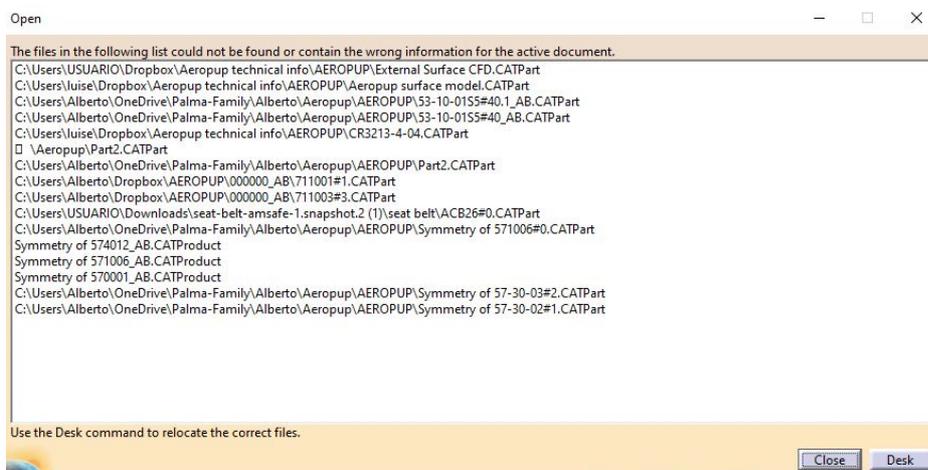


Ilustración 37 Problemas Ubicación Archivos I

Vemos que distintos archivos provenientes de distintas carpetas no se encuentran o contienen información errónea para el documento activado.

Por ello, se aprende a usar un método que ofrece CATIA para indicarle al programa en que carpetas del disco duro debe buscar los archivos.

Es conveniente cerrar el *Product* antes de hacer los cambios en la configuración. Hay que entrar en *Tools, Options, Document*.

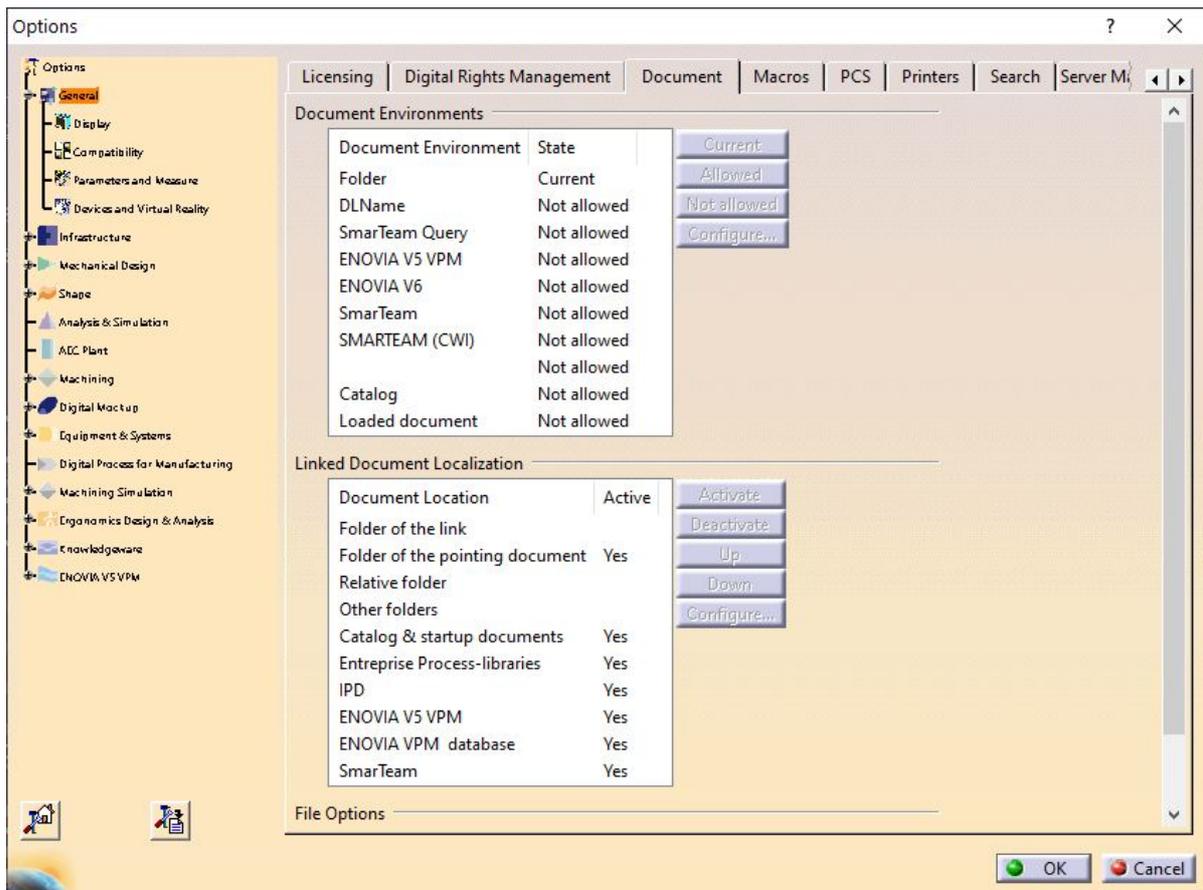


Ilustración 38 Problemas Ubicación Archivos II

En el apartado de “Document Environment” se debe seleccionar el entorno donde se encuentra el documento. Solo se puede tener seleccionado un entorno. Como nuestro proyecto esta guardado en el disco duro en una carpeta, debemos elegir *Folder*, y los demás deben estar en *Not allowed*. Esto quiere decir que no abrirá ningún archivo que no provenga del entorno *Folder*.

En el segundo apartado *Linked Document Localization*, se pretende darle la información a CATIA de dónde debe buscar entre las carpetas para abrir los archivos del *Product*. La idea es que todo el subconjunto del fuselaje este guardado en la misma carpeta, para tener una buena organización. Entonces, ya que puede haber más archivos iguales en otras rutas, y que pueden molestar al abrir el *Product*, debemos indicarlo en el programa. Consistirá en dejar en activo o no las posibilidades que te ofrece de *Document Location*. En nuestro caso, ya que deben estar en la misma carpeta, se debe dejar activo *Folder of the pointing document*, para que se abra todo el conjunto de la misma carpeta, y desactivar demás opciones que podrían dar lugar a confusiones con los archivos como: *Folder of the link*, *Relative folders* o *Other folders*.

Una vez se hace el cambio y se cierra CATIA, se abre el *Product* y así se pueden ver los cambios. Por ejemplo, si se desmarca la opción de *Folder of the pointing document*, podría dar problemas en los archivos que antes

abría correctamente:

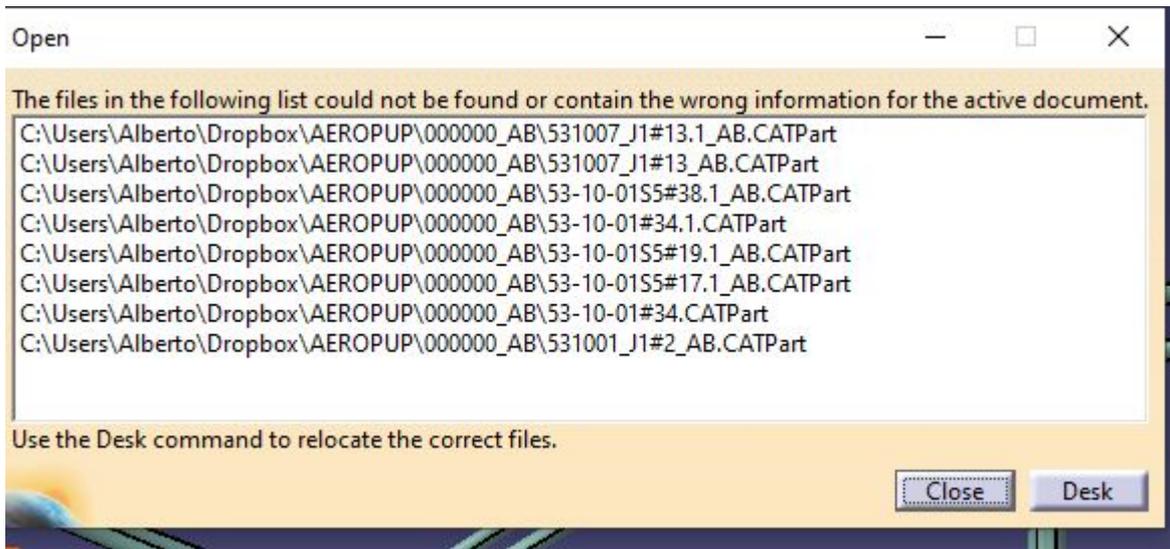


Ilustración 39 Problemas Ubicación Archivos III

Mediante la herramienta aprendida, se deben ir solucionando los errores que da el *Product* al abrir hasta que no de ningún problema y todos los archivos abran correctamente.

4.2 Corte de las Barras

4.2.1 Estado inicial y detalles en el plano

Una vez está corregido el fuselaje, significa que las barras estructurales están colocadas en la posición correcta. Cuando nos aseguramos de esto, podemos ir al siguiente paso. En el proceso de fabricación, se debe fabricar cada barra individualmente para posteriormente unir las por soldadura. Pero ello, en el diseño, se debe prestar atención a las uniones estructurales. A continuación, se va a mostrar como CATIA dibuja estas uniones de la estructura entre las barras del fuselaje:

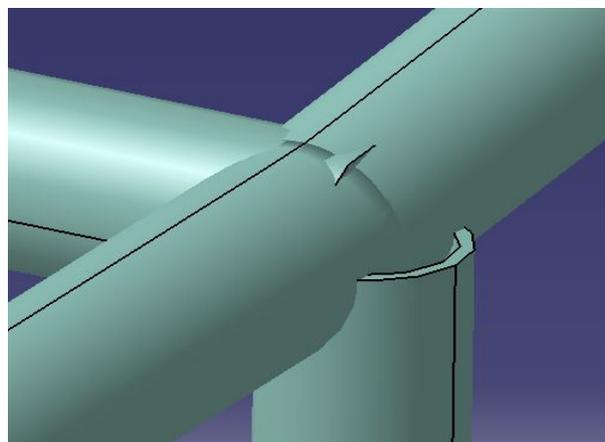


Ilustración 40 Unión errónea de barras

Se observa que la geometría dibujada es incorrecta. Esto se debe a que, en primera instancia, la barra se dibuja

del punto inicial al final, y se superponen de una manera aleatoria. Esto se debe dejar corregido en cada extremo de cada una de las barras.

En el diseño de la estructura se muestra como debe ser la unión de las barras en las distintas disposiciones que se encuentran en la geometría del fuselaje. En nuestro caso, hay unos planos dedicados a darnos información sobre las uniones.

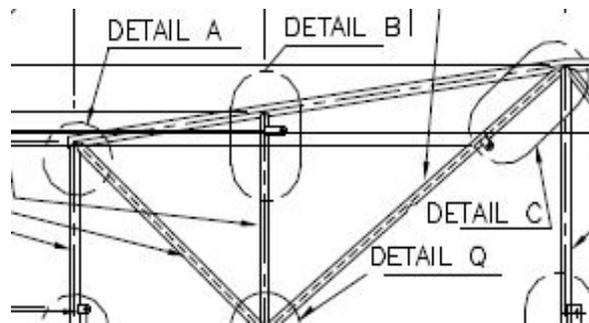


Ilustración 41 Detalles de uniones en planos I

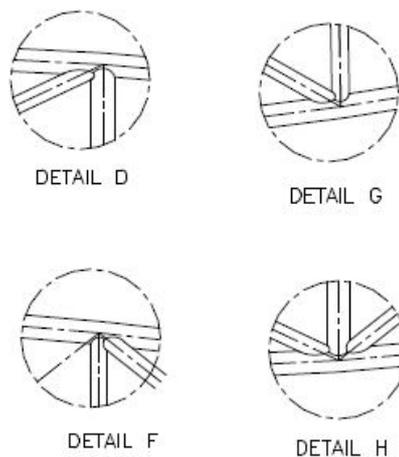


Ilustración 42 Detalles de uniones en planos II

En estas imágenes se muestran dos recortes de unos planos de la estructura del fuselaje de la avioneta. En esta serie de planos se intenta mostrar información sobre las uniones de la estructura. En la primera imagen, se coge un recorte de la vista en planta del fuselaje, concretamente de la parte derecha del morro. En ella nos muestran la ubicación en el plano de los detalles. Los detalles, son zonas en el plano que no se pueden observar con comodidad o precisión en una de las vistas principales. Entonces se marca como detalle y la consiguiente letra que se le quiera dar para reconocerlo y hacerlo único. Posteriormente, se indicará en alguno de los planos adyacentes la información necesaria en cada uno de los detalles. En eso consiste la segunda imagen, muestra información sobre como se deben realizar las uniones de la estructura en las zonas marcadas anteriormente. Esto quiere decir que, si miramos los planos con detenimiento, podemos saber que barra debe ser cortada para unirse a otra, y de qué forma debe ser cortada.

4.2.2 Proceso de corte

4.2.2.1 Primer caso

A continuación, se va a mostrar el ejemplo de una unión de la estructura del fuselaje de la avioneta. Se partirá

de la información inicial, hasta modelar correctamente la unión estructural. En primer lugar, tenemos la información de los planos oficiales del fuselaje.

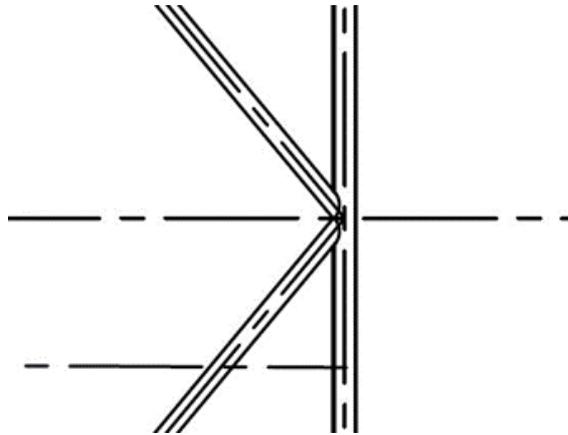


Ilustración 43 Unión Fuselaje: Extracción del Plano

En la imagen superior, observamos como la barra vertical no se ve afectada. En cambio, las barras inclinadas deben recibir un corte en el extremo para unir correctamente en el punto indicado. En las imágenes a continuación, se observa claramente el problema de las uniones de las barras estructurales de nuestro fuselaje. En la primera imagen, el contorno naranja y negro nos indica las dimensiones reales del *PartBody*, a pesar de que esté oculto bajo otra geometría. Por ello, una forma muy útil para darse cuenta es ocultar la barra vertical, para observar sin dificultad los extremos de ambas barras.

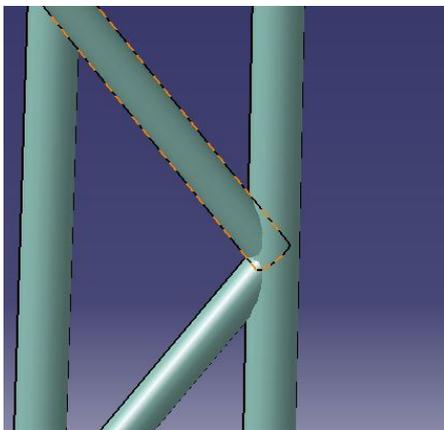


Ilustración 44 Geometría oculta

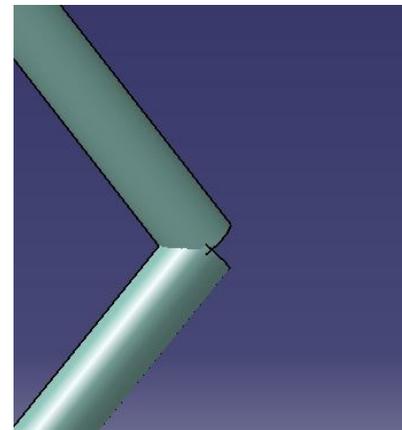


Ilustración 45 Zona de Unión de Trabajo

Es fácil observar que esa no es la geometría correcta para la fabricación, y debe ser corregida. A continuación, vamos a desarrollar la corrección de esta unión estructural a modo de ejemplo del corte de las barras mediante el uso de dos de los módulos más importantes de CATIA V5: *Generative Shape Design* y *Part Design*.

En primer lugar, vamos a comenzar desde el módulo de *Generative Shape Design*, ya que lo que queremos, es obtener la superficie exterior de la barra vertical. Esto se debe a que la barra vertical, no va a ser cortada. Se necesita la superficie de la barra vertical, para usarla como elemento de corte frente a las demás barras. Es decir, usar la superficie de una como límite de las otras.

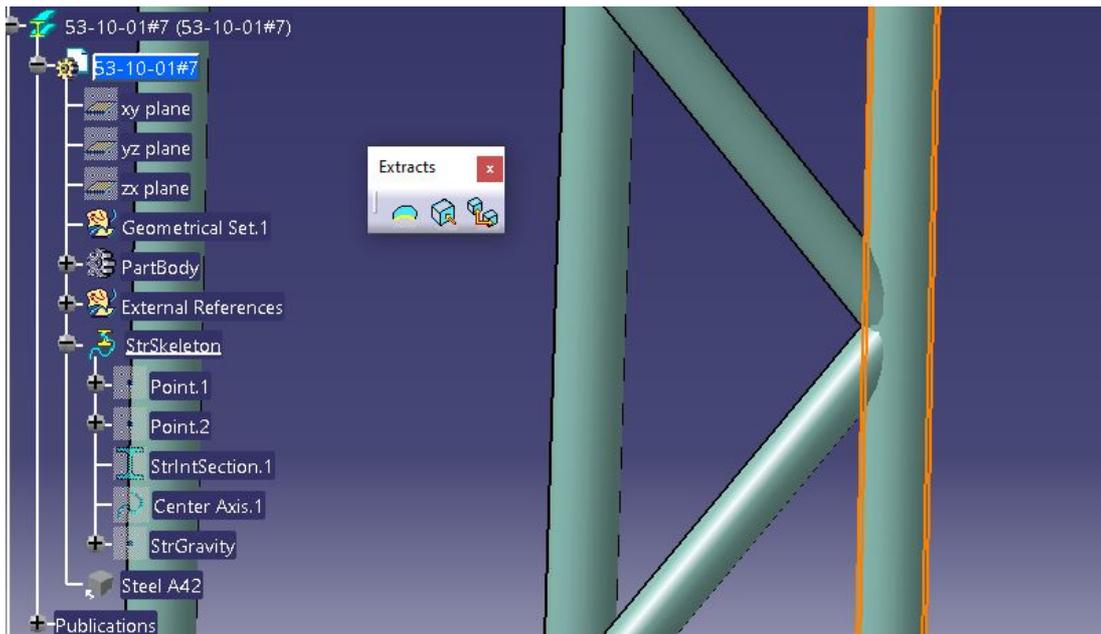


Ilustración 46 Corte de Barras I

La herramienta que nos es más útil en esta situación es *Extract*. Se encuentra en el módulo de superficies en el que estamos trabajando, y en el grupo de herramientas de *Extracts*. Al usar dicha herramienta, nos pide los elementos a extraer. Hay que tener cuidado, ya que al elegir *StructuralRib* como se muestra en el ejemplo, puede parecer que estas extrayendo toda la barra, pero pueden ser solamente 180° de la circunferencia completa. Lo más cómodo es elegir directamente el *PartBody* en cuestión.

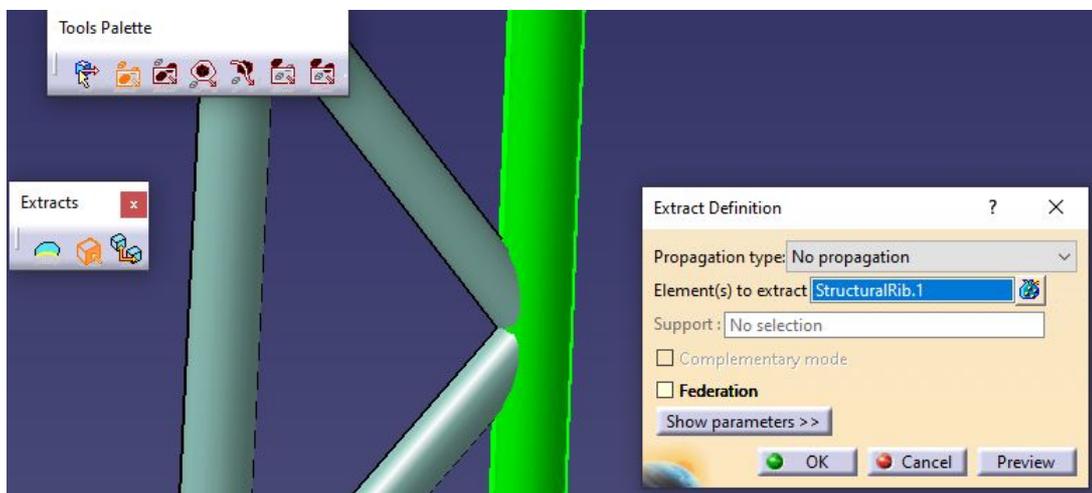


Ilustración 47 Corte de Barras II

Ahora una vez se tiene la extracción, se queda una superficie de color amarillo que puede ser molesta, así que se oculta, y para su consiguiente uso, se copia en el portapapeles. Para ello, hay que encontrarla en el árbol de archivos. El nuevo *Extract.1* se encuentra dentro del *Part*, dentro de *StrSkeleton*.

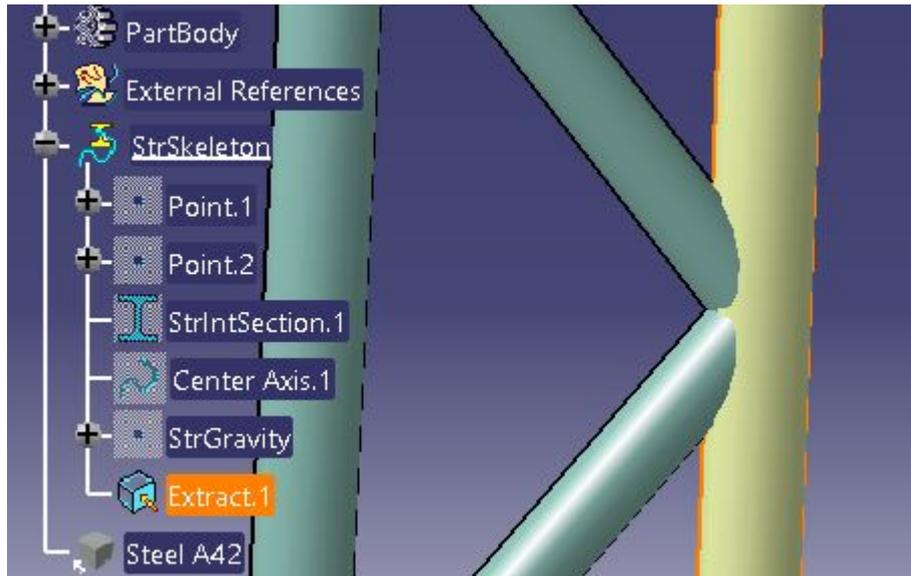


Ilustración 48 Corte de Barras III

Una vez se tiene copiada y oculta la superficie que ejerce de límite para las demás barras, se debe incluir en el archivo de cada una de las barras de se quieren cortar. En este caso, hay dos barras que van a utilizar ese límite para saber el corte que necesitan. En el caso de que fuesen necesarias más superficies límites, se extraerían sin problema y se trabajaría con más de un *Extract*.

Ahora debo pegar el extracto en todas las barras que quiera cortar con ella. Para ello, botón derecho dentro del *Part*, y se elige *Paste Special*. A continuación, se abre una ventana para elegir el tipo de pegado del *Extract* anterior, y se debe escoger *As Result*, para que lo trate como un resultado; en este caso, una superficie.

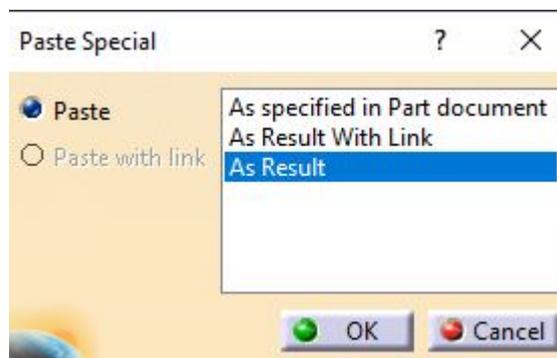


Ilustración 49 Corte de Barras IV

Una vez ya se han pegado las superficies necesarias para cortar en cada una de las barras, nos aseguraremos de que está bien colocado dentro del *StrSkeleton* y oculto en este momento para que no moleste. Es interesante que, al pegarlo como resultado, ahora se muestran como *Surfaces* y no como *Extracts*.

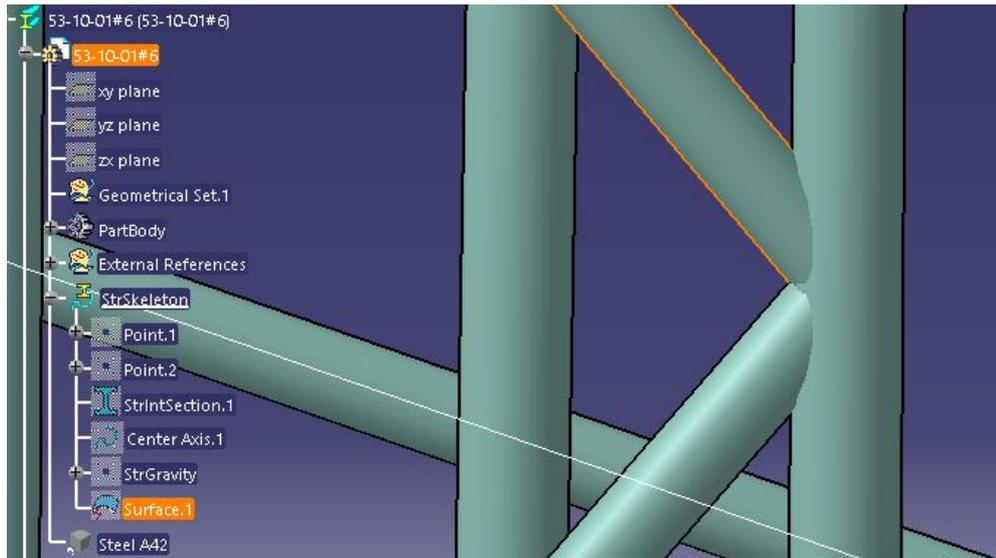


Ilustración 50 Corte de Barras V

Una vez ya se ha pegado el Extract en todas las barras que quiera cortar, debo cambiar al módulo de *Part Design* para utilizar sus herramientas. Es importante realizar el “copia y pega” en *Generative Shape Design* y cambiar al finalizar, porqué si no, el programa puede dar problemas. Estas son las herramientas necesarias para el corte después de habémoslo dejado preparado en el anterior módulo.



Ilustración 51 Conjuntos de Herramientas por utilizar

En primer lugar, se va a utilizar la herramienta *Split*. Para poder usarla, se debe definir el *PartBody* que se pretende cortar como *Work Object*. Además, a cada *PartBody* solo se le puede aplicar *Split* con una superficie que se encuentre dentro del archivo propio del *Part*. Por ello, antes hemos copiado y pegado los *Extracts* en las barras correspondientes.

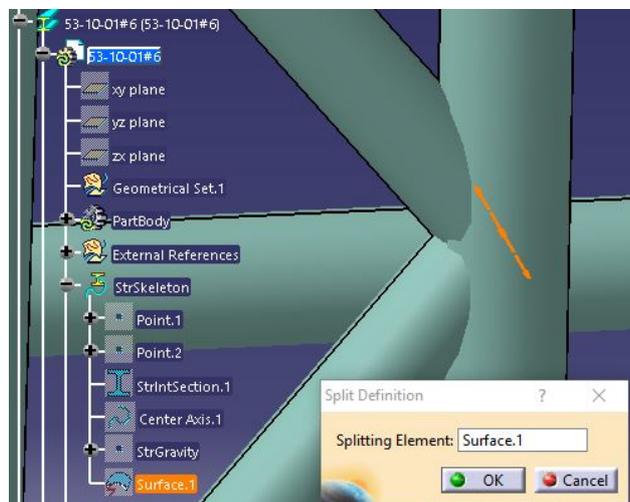


Ilustración 52 Corte de Barras VI

En la imagen anterior se observa el uso de la *Surface* dentro de *StrSkeleton*. La ventana de *Split Definition*, solo te pide el *Splitting Element*, que en este caso es *Surface.1*, que realmente es el *Extract* del módulo de superficies anterior.

Por último, están las líneas naranjas sobre la unión. Cada vez que clickas encima cambian de posición, y solo hay dos posiciones posibles. Esto se debe a la naturaleza de la geometría de las barras. Las barras no son cilindros macizos, sino que tienen un espesor, y el interior es hueco, para ahorrar en peso. Al hacer el *Extract*, también nos estamos llevando superficie interior, y al hacer el *Split* digamos que realmente corta con la cara externa e interna de la barra vertical. Por consiguiente, nos quedan dos soluciones posibles al corte: o lo que queda entre las superficies exterior e interior, o lo que queda fuera de la barra vertical, y dentro de ella. Obviamente la solución válida es la que elimina el material a *Partir* de la superficie exterior hasta la interior, así se crea una discontinuidad por donde queremos hacer el corte.

Desde fuera ahora queda así, se ve que ha sido cortado claramente, y se observa una diferencia en el extremo con la barra de la izquierda.

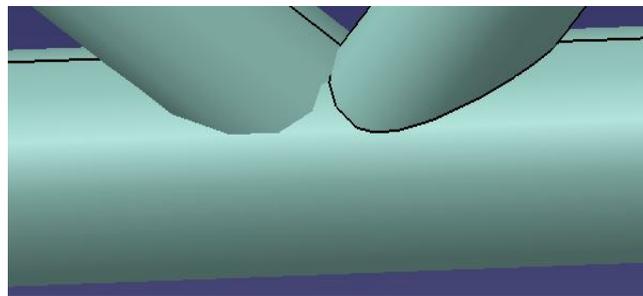


Ilustración 53 Corte de Barras VII

Si ocultamos la barra vertical para ver el resultado, vemos que el corte ha sido realizado, sin embargo, hay un trozo de barra sobrante que no se ha visto atravesado por ninguna superficie de corte ya que esa zona se encontraba dentro del hueco de la barra vertical. Está claro que el trozo sobrante debe ser eliminado, ya que no tienen ningún interés para la fabricación.

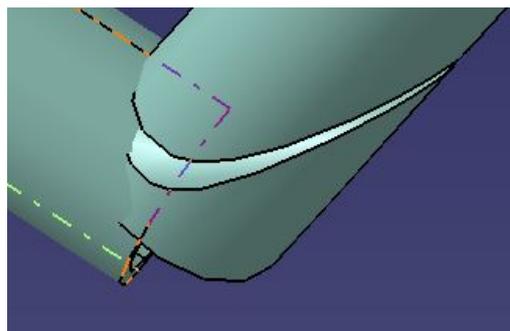


Ilustración 54 Corte de Barras VIII

Para ello, vamos a utilizar las operaciones booleanas, ya que son muy útiles para sumar, combinar o quitar material. La herramienta que se utiliza ahora se llama *Remove Lump*. Es muy cómoda para eliminar trozos sobrantes de material.

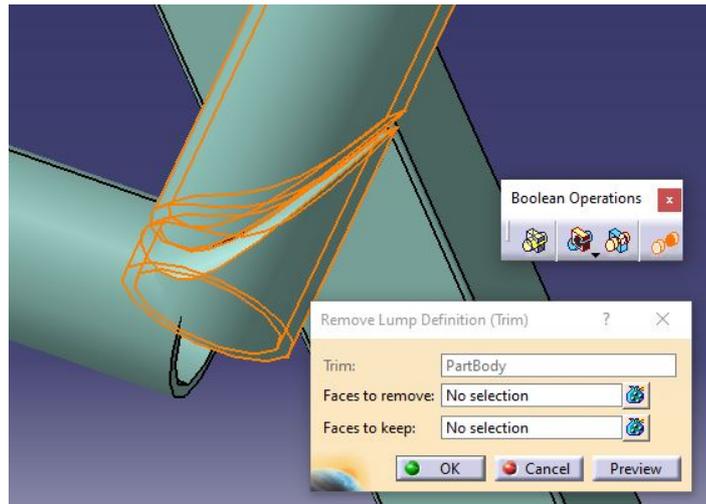


Ilustración 55 Corte de Barras IX

Se escoge desde el *PartBody* en cuestión, y se le aplica la operación. En nuestro caso, solamente tenemos que añadir selecciones al apartado de “Fases to remove” (caras a eliminar). Simplemente se deben ir marcando las caras que conforman el trozo que queremos eliminar.

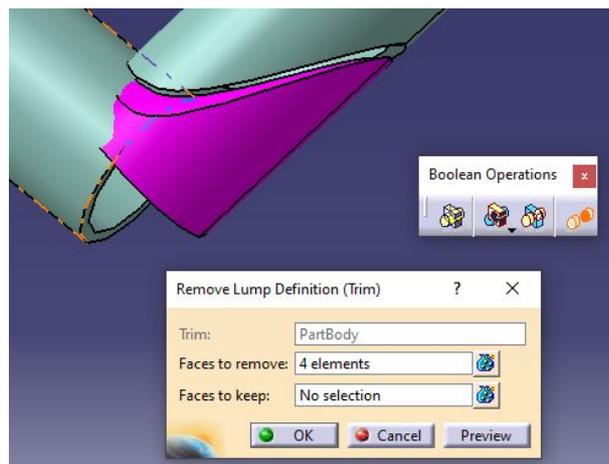


Ilustración 56 Corte de Barras XI

Es muy sencillo, además las caras se van marcando de color violeta. Cuando uno observa el material sobrante completamente coloreado, le damos a Ok.

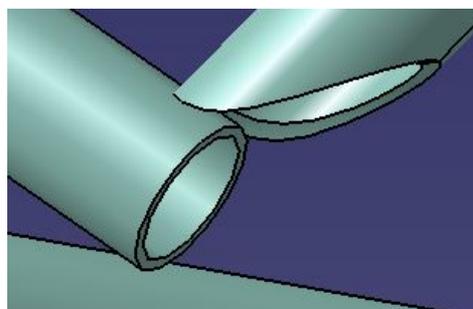


Ilustración 57 Corte de Barras XII

Como se muestra en la imagen anterior, el resultado después de la operación booleana ha sido un éxito, ya que se aprecia la geometría de la barra como tiene que ser en el extremo, así tendrá una fácil soldadura a la barra

vertical.

Procedemos exactamente igual en la otra barra, primero *Split*, luego *Remove Lump*.

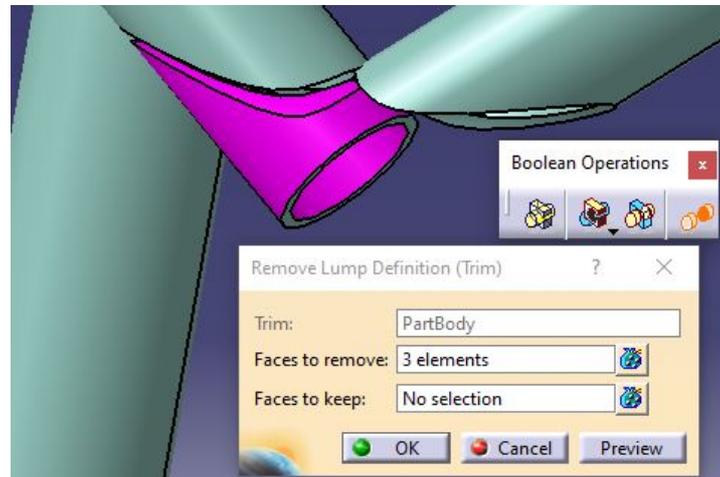


Ilustración 58 Corte de Barras XIII

A continuación, se muestra el resultado del corte de las dos barras con la barra vertical oculta, para observar la geometría curva del extremo de las barras.

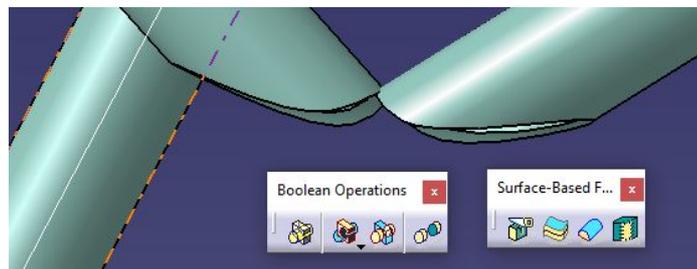


Ilustración 59 Corte de Barras XIV

Y al devolverle la visibilidad a la barra principal, vemos como el modelado de la unión ha sido un éxito.

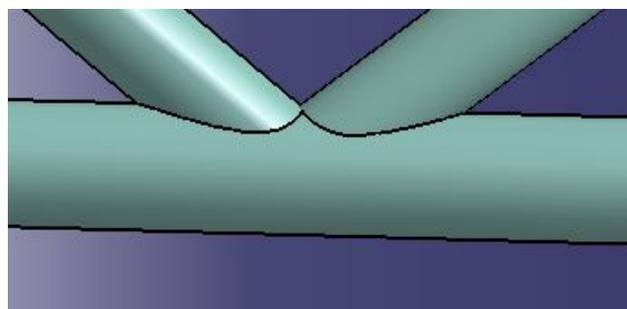


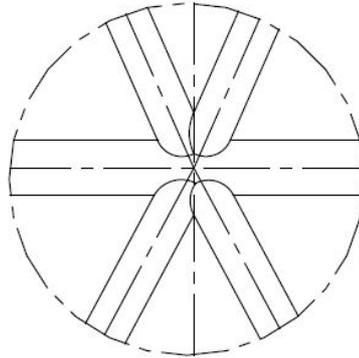
Ilustración 60 Corte de Barras XV

4.2.2.2 Segundo caso

A continuación, se va a mostrar otro ejemplo más complejo, pero de forma resumida. Se va a mostrar el punto

inicial y el resultado obtenido.

La extracción del detalle del plano es la siguiente:



DETAIL 28

Ilustración 61 Segunda Extracción del Plano

Al fijarnos en ese elemento de la base de la cabina del fuselaje, vemos como está actualmente en CATIA, y observamos que esta superponiendo la geometría igual que en el caso anterior. Es necesario cortar las barras para unir las posteriormente.

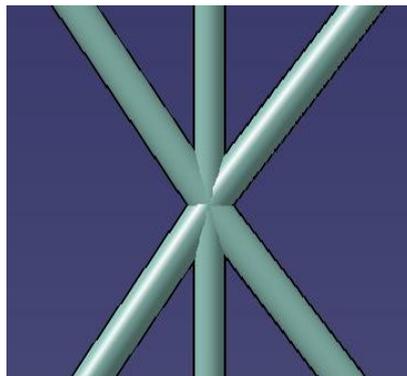


Ilustración 62 2º Corte de Barras I

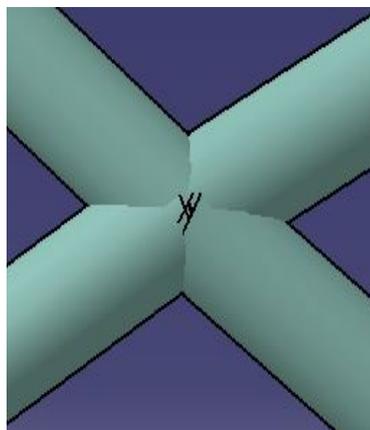


Ilustración 63 2º Corte de Barras II

El proceso completo sería muy parecido al anterior, pero algo más complejo. En primer lugar, deberíamos extraer la superficie de dos de las tres barras. Esto se debe a que en este caso se están superponiendo mas de

dos barras en el mismo espacio. Eso significa, que habrá una barra que debe ser cortada por las superficies de las otras dos. Habrá una que solo ha sido cortada por una superficie y corta con la suya a la otra, y la principal que simplemente corta a las otras dos y no es cortada por ninguna.

A continuación, se muestra el resultado final del proceso descrito.

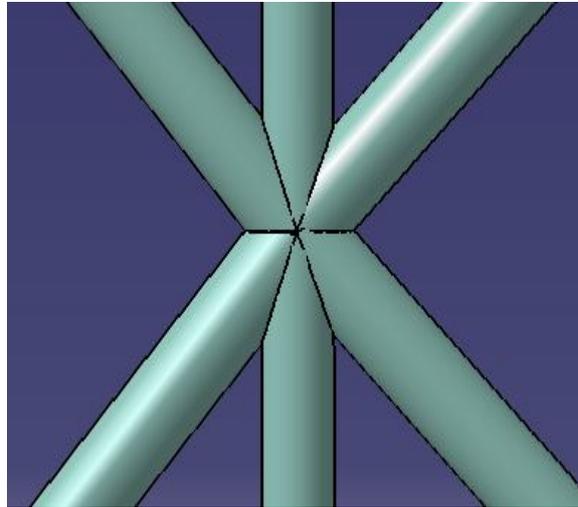


Ilustración 64 2º Corte de Barras III

Por último, se oculta la barra principal (la que no es cortada por ninguna) para ver la geometría curva de los extremos de las barras. Podemos decir que ha sido modelado con éxito la unión estructural de 5 barras del suelo de la cabina de la avioneta.

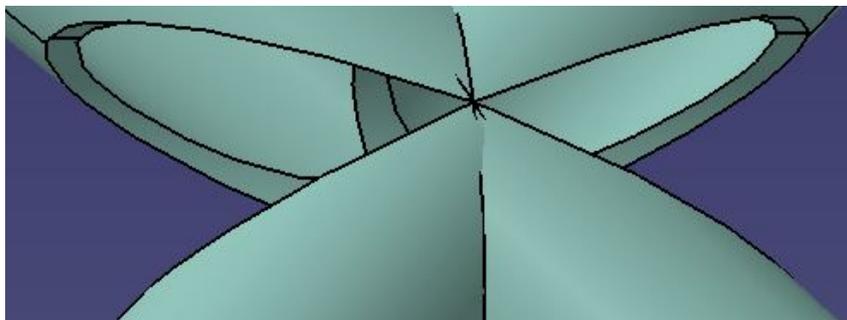


Ilustración 65 2º Corte de Barras IV

4.3 Generación de la Superficie Exterior

En este apartado se va a intentar llevar a cabo la generación de la superficie exterior de la avioneta, para su posterior uso. Consiste en generar aquella superficie con la que se realizará un análisis fluidodinámico de la avioneta mediante un programa CFD.

En este apartado, se va a hacer un uso en su máximo exponente del módulo de superficies *Generative Shape Design*. Se han descubierto muchas herramientas, y su utilidad en el transcurso de este apartado, y creemos que el aprendizaje va a ser realmente útil para el futuro.

Es muy importante saber que, no todas las geometrías de superficies son válidas, y muchas de las ideas que uno tiene pueden llevar a error de programa. Superficies que no son continuas en tangencia, no son útiles para el posterior análisis porque daría lugar a error. Por ello, es muy interesante, comprobar mediante las herramientas

de CATIA las continuidades entre las distintas superficies que vamos generando para saber si son válidas o no lo son.

Otras veces, es más interesante hacer una línea de unión recta y después darle un redondeo a la arista de forma que sea tangente con las dos geometrías adyacentes. Aunque también te puede dar lugar a error.

La clave para comprenderlo es conocer el posterior proceso a partir de nuestro resultado final. A partir de una superficie cerrada de toda la avioneta, se realiza un mallado. Este mallado, solo puede realizarse si no existen ángulos rectos, o superficies complejas, que den lugar a una discontinuidad de tangencia. Es decir, podemos hacerlo mal, y la superficie estará terminada, pero cuando se intente mallar para hacer un análisis CFD dará lugar a error.

Es un apartado de diseño autónomo, en el que se aprende a base del error, pero que proporciona un salto de calidad en el diseño en CATIA bastante grande.

A continuación, una imagen de la avioneta de forma estructural, pero inútil para hacer un análisis CFD. Por ello es necesaria la generación de la superficie exterior.

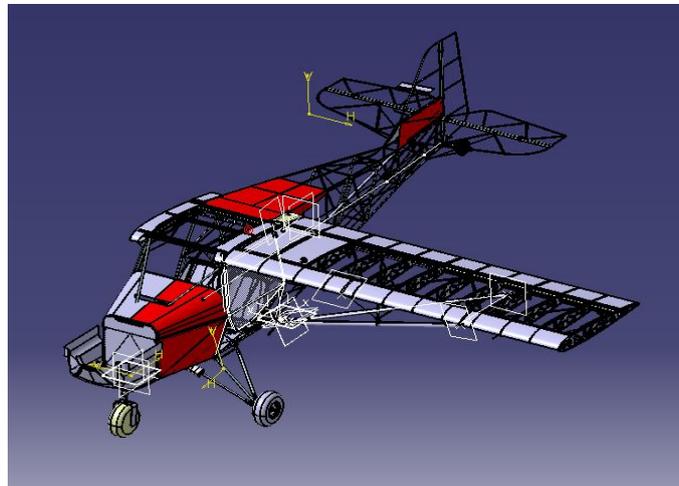


Ilustración 66 Avioneta sin superficie exterior

También se debe comentar que, se tiene el acceso al último intento de generación de superficie exterior, con alguna cosa de la que nos podríamos servir. Pero por la gran cantidad de errores que tiene, y por la recomendación de empezar un archivo nuevo a *Partir* de las piezas del avión, se decidió partir de cero, aunque de alguna cosa si que se haya prestado ayuda.

La primera cuestión fue una difícil elección para saber por donde empezar. Hasta este momento, solo se había utilizado el módulo de superficies para el primer paso de corte de las barras del fuselaje. Se decide empezar por un elemento algo apartado, y con menor complejidad geométrica, el tren de aterrizaje.

4.3.1 Aproximación del tren de aterrizaje

En primer lugar, se muestran tres imágenes del tren de aterrizaje, para comentar el modo de proceder en este apartado. En las imágenes podemos ver con todo tipo de detalle el conjunto de piezas que forman el tren de aterrizaje. Ahora bien, cuando estamos generando la superficie exterior, tanto detalle es malo, por lo que hemos explicado anteriormente. Si una zona tiene demasiado detalle, con muchas caras de piezas, muchas esquinas y complicaciones, y queremos adaptarla para un mallado, puede llegar a ser un trabajo casi imposible para un estudiante de grado.

Por todo esto se hacen aproximaciones. Estas aproximaciones sirven para reproducir zonas complejas de baja influencia aerodinámica y estructural, y poder mallar la superficie aproximando a través de geometrías básicas como planos, cilindros o esferas. Esto es lo que se va a hacer en este apartado.

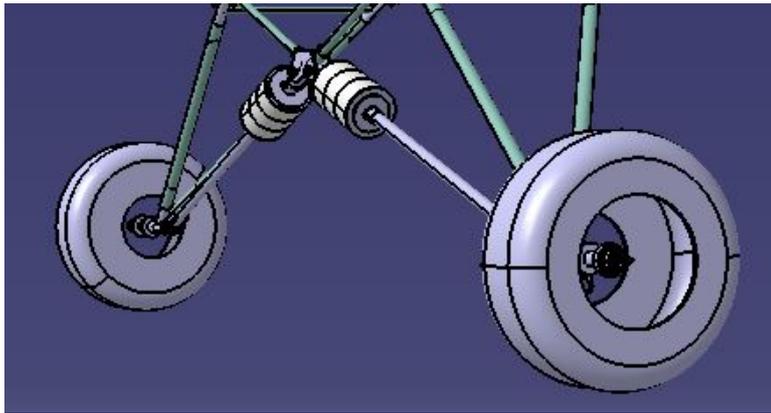


Ilustración 67 Tren de aterrizaje I

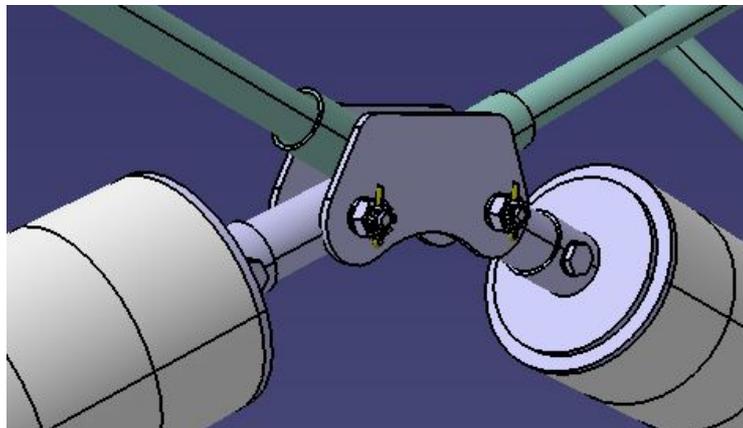


Ilustración 68 Tren de aterrizaje II

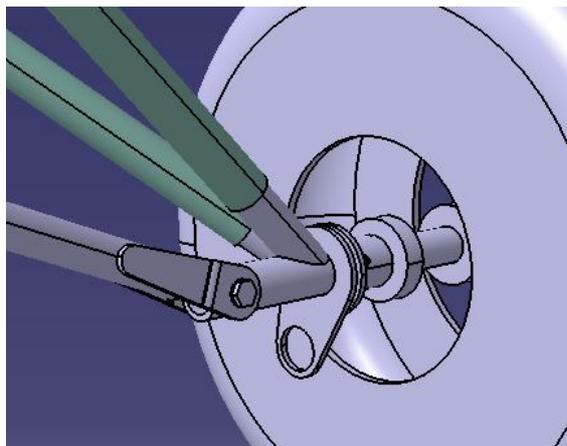


Ilustración 69 Tren de aterrizaje III

También se ha comentado anteriormente, el posible uso de versiones antiguas del intento de generación de superficie exterior. Realmente, tampoco acorta mucho el tiempo, pero puede ser más manejable para tratar como conjunto de superficies y obtener geometrías necesarias para las operaciones de una manera directa y rápida. A continuación, una imagen de la superficie exterior del tren de aterrizaje en anteriores versiones. Vemos como todos los problemas mencionados sobre detalles y ángulos pronunciados están presentes en esta zona.

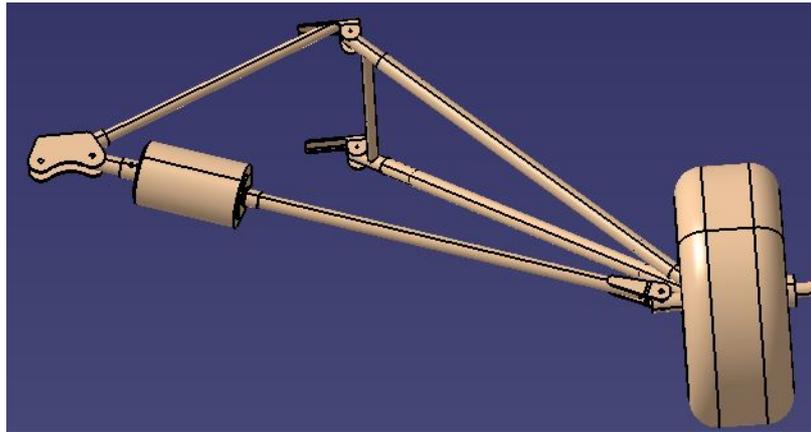


Ilustración 70 Versión anterior de superficie del tren

La metodología seguida es el producto del proceso de aprendizaje sobre las herramientas y el módulo de superficies. Empezando por la lectura de varios manuales de CATIA V5, comienza una aproximación del tren lo suficientemente exacta para que se considerase un buen resultado para poder continuar con el proyecto después de mi trabajo.

Se va a explicar una sucesión de operaciones que va a marcar el modelo a seguir durante todo el proceso. Las operaciones más importantes en esta aproximación son (la leyenda de herramientas se encuentra en el extracto de un pasado Trabajo de Fin de Grado [1] expuesto en el apdo. “2.2 Herramientas Utilizadas”):

- **Extract:** se puede obtener la cara del elemento que se necesita para posteriormente combinarla con otras para generar la superficie general. Muy útil para obtener la geometría base con la que trabajar. También muy útil extraer superficies planas para crear planos en ese *Extract* para servirse de ellos posteriormente.
- **Extrude:** crear una superficie plana para tapar agujeros, y posteriormente unirlo al conjunto.
- **Cylinder:** crear geometría base con forma de cilindro para combinarla con otras.
- **Sphere:** crear geometría base con forma de esfera para combinarla con otras.
- **Trim:** se pueden generar superficies y conjuntos de superficies por separado y posteriormente unir las mediante una intersección de ambas. Muy útil para formar conjuntos cerrados de superficies.
- **Edge Fillet:** se utiliza para retocar superficies que terminan en ángulo recto, y posteriormente adaptar las aristas mediante un redondeo, y así cumplir la continuidad de tangencia.

El uso de estas herramientas por primera vez ha sido con la ayuda de la página de documentación para CATIA V5 [7], donde podemos encontrar la explicación y ejemplos de la utilización de las herramientas ordenadas por módulos.

Muchas acciones como creación de puntos, líneas y planos son totalmente necesarias para crear elementos básicos, pero no tienen mucho interés en el trabajo.

Vamos a comenzar por el detalle de la cara exterior de la rueda, para comprender la forma de trabajar, e ir generando poco a poco nuestra propia superficie exterior a partir de la anterior. Ahora bien, el objetivo, es que no exista ningún error en toda la superficie.

En la primera imagen vemos que tiene por lo menos cuatro aristas que no cumplen los requisitos, y una cara interna que lo único que hace es complicarlo, lo mejor es cerrarlo.

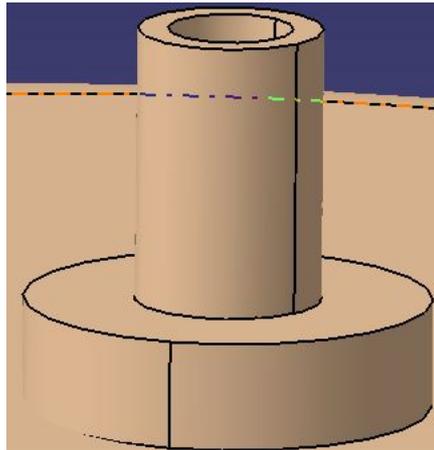


Ilustración 71 Superficie versión anterior

El primer paso es extraer la superficie coloreada de verde. Después se crea un plano que la contenga. En ese plano se crean cuatro puntos que encierran el área deseada. Se forman dos líneas que se cortan a *Partir* de los cuatro puntos. Se genera superficie moviendo una de las líneas sobre la otra con la herramienta *Extrude*.

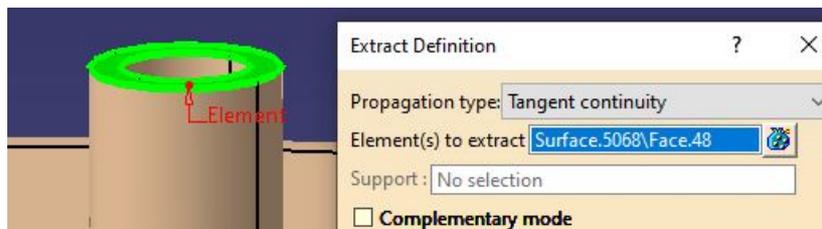


Ilustración 72 Extract para crear un plano

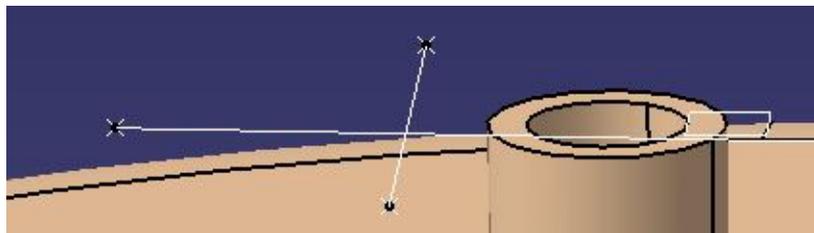


Ilustración 73 Preliminares al Extrude



Ilustración 74 Generación Extrude

Con esto ya tendríamos simplemente la superficie que tapa ese cilindro vertical. Ahora a continuación creamos la superficie lateral del cilindro. En este caso se hizo creando un punto y una línea que hiciese de eje. Quizás fuese más rápido hacer un *Extract* de lateral. En ese momento no conocía las posibilidades del *Extract*, ya que en función del tipo de continuidad del *Extract* que elijas, te da una superficie o otra de mayor extensión (con una continuidad menos restrictiva). En la ilustración 68 vemos que está elegida la continuidad en tangencia, que es la que precisa ese *Extract*. Si escogiese “Point Continuity”, se extendería más allá.

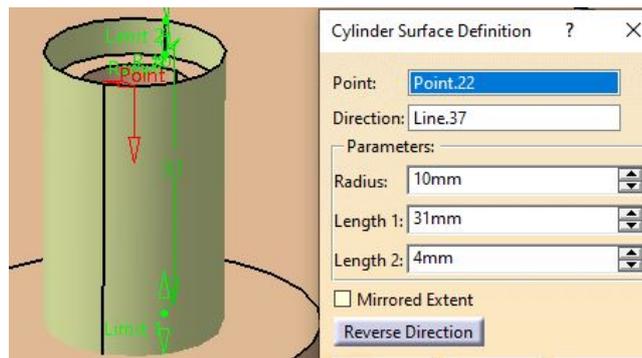


Ilustración 75 Generación Cylinder

Una vez está el cilindro creado continuamos con otros dos *Extracts* que conforman esta parte que sobre sale de la rueda. Ahora llega el momento de la herramienta *Trim*, con la que obtengo el resultado deseado, todo formando parte del mismo elemento.

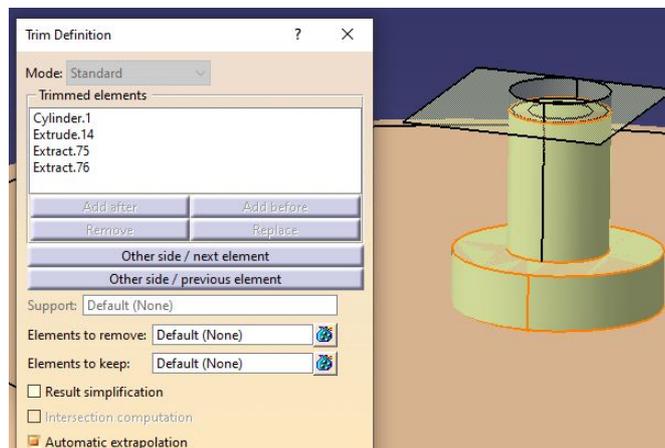


Ilustración 76 Herramienta Trim

Para finalizar este ejemplo de ejecución, hay que utilizar la herramienta *Edge Fillet*. Debo dar un radio a todas las aristas para que el elemento sea continuo en tangencia (se debe elegir ese modo en el menú de la operación). En la imagen vemos como hay dos aristas redondeadas, y la marcada de rojo es la que está siendo redondeada. En esto momento no se sabía, pero se pueden marcar varias aristas a la vez y así acortar algo de tiempo.

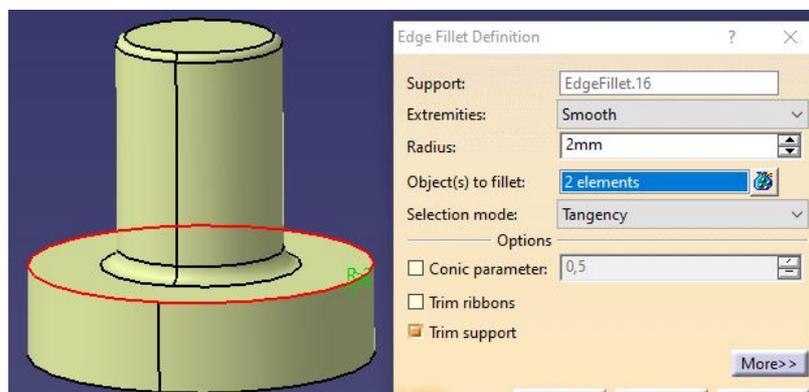


Ilustración 77 Operación Edge Fillet

Por último, se muestra el elemento resultante del conjunto de operaciones. La idea de trabajo es continuar con

estos métodos hasta que terminemos o haya un impedimento superior, que es lo que va a ocurrir. Todo el resultado es un elemento sin discontinuidades en tangencia (cerrado no ya que se debe continuar por la parte inferior) así que cumple con los requisitos establecidos.

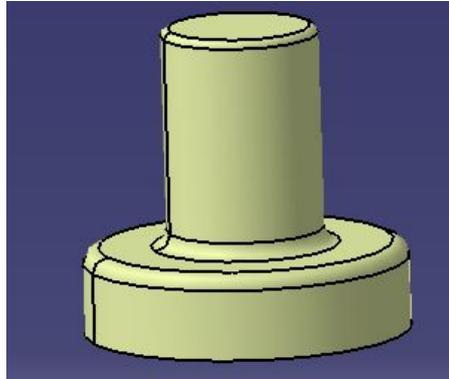


Ilustración 78 Resultado conjunto de operaciones

A continuación, simplemente se hace un *Extract* de la rueda con continuidad en tangencia para obtener solo la rueda. Luego se une con el resultado anterior mediante un *Trim* y se le da otro *Edge Fillet* para dejarlo unido a la rueda como toca.

También se generan cilindros que representen las barras estructurales que van a la rueda mediante la herramienta de *Cylinder*. Cada uno de estos se alarga hasta que corte a la rueda, y posteriormente se puede unir a la rueda con la herramienta *Trim*, y adecuar la arista de unión añadiéndole un radio. Mostramos como queda la unión de las barras a la rueda.

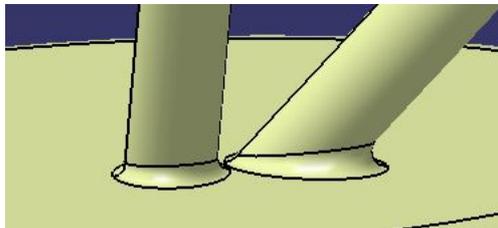


Ilustración 79 Unión de barras a rueda

Ahora a continuación vamos a ver porqué no hemos unido la tercera barra. Esto se debe a que se debe hacer una aproximación más precisa de la realidad. La geometría real de unión a la barra es la siguiente:

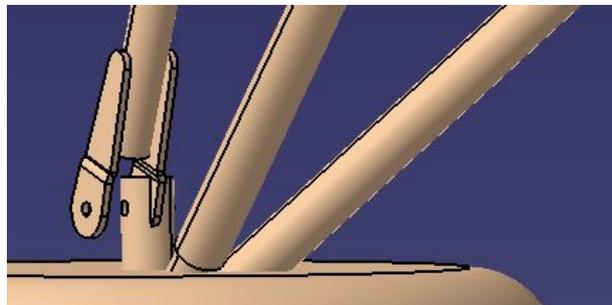


Ilustración 80 Unión real de barras a rueda

En este momento, el diseñador debe decidir una solución de compromiso entre ajustar lo máximo a la realidad el diseño, y con no gastar demasiados recursos como tiempo o personal, porque el trabajo podría llegar a ser muy laborioso.

Se decidió que se podría cubrir la zona de unión mediante una esfera, que haga de conector entre la rueda y la

barra para modelar esa zona. El procedimiento consiste en crear un punto que será el centro de la esfera, por lo que hay que elegir bien su localización. Elegir un radio consecuente para que se aproxime lo máximo posible a la realidad y así tener menor error. Después se une con la barra y con la rueda mediante una operación de *Trim*. Después de la unión, hay que dar radio a las aristas para respetar los requisitos de mallado, así que terminamos con la operación de redondeo que estamos utilizando, *Edge Fillet*.

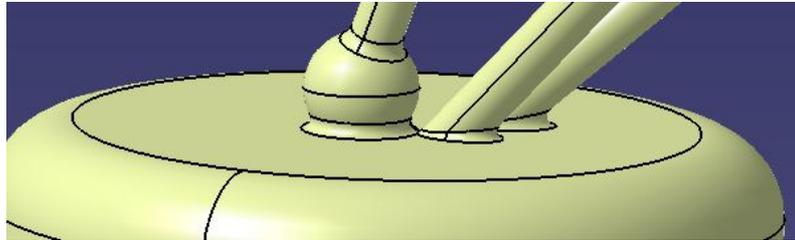


Ilustración 81 Aproximación unión de barra a rueda

En una de las barras, nos encontramos un amortiguador y la pieza de unión a fuselaje, que en la realidad tiene detalles y aristas muy pequeños que dificultan la generación de superficie:

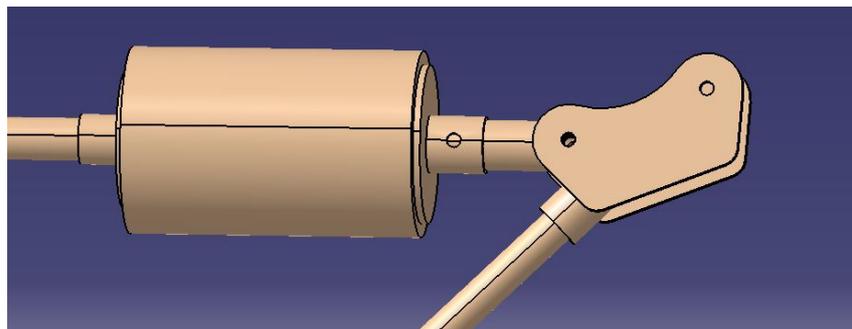


Ilustración 82 Unión a fuselaje con amortiguador

Se va a proceder de una manera similar a los pasos anteriores. En primer lugar, el amortiguador, lo vamos a simplificar con un cilindro y dos tapas. Esto lo haremos generando un *Cylinder* lo más parecido posible a la realidad, y lo taparemos mediante dos *Extrudes*, basta con hacer uno y realizar la operación *Translate* para ahorrar generación de geometría base, ya que se duplica la geometría elegida en traslación.

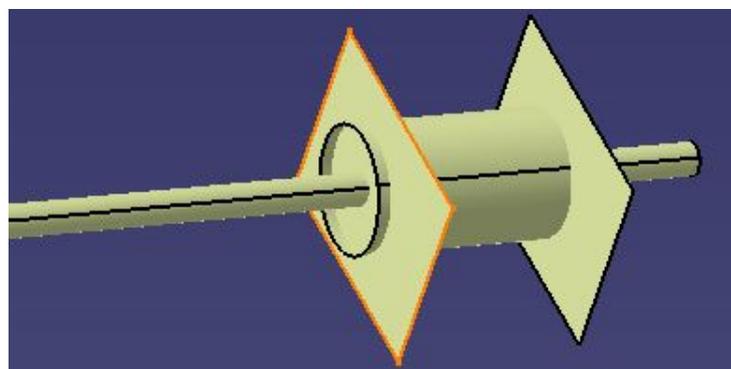


Ilustración 83 Proceso aproximación amortiguador

A continuación, se hacen las operaciones de *Trim* y *Edge Fillet*, y queda unido y redondeado, formando parte del mismo conjunto y sin discontinuidades en tangencia, el resultado es el siguiente:

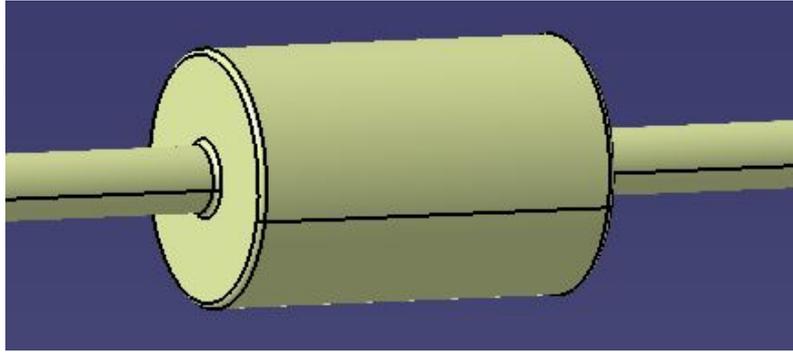


Ilustración 84 Aproximación amortiguador

Como vemos, con este tipo de técnica, se pueden hacer buenas aproximaciones. Debido a que la complejidad no aumenta, se va a dar el resultado de la aproximación del tren de aterrizaje principal comparado con la realidad. La aproximación de las uniones al fuselaje, se han realizado mediante esferas. A continuación, una perspectiva general del tren:

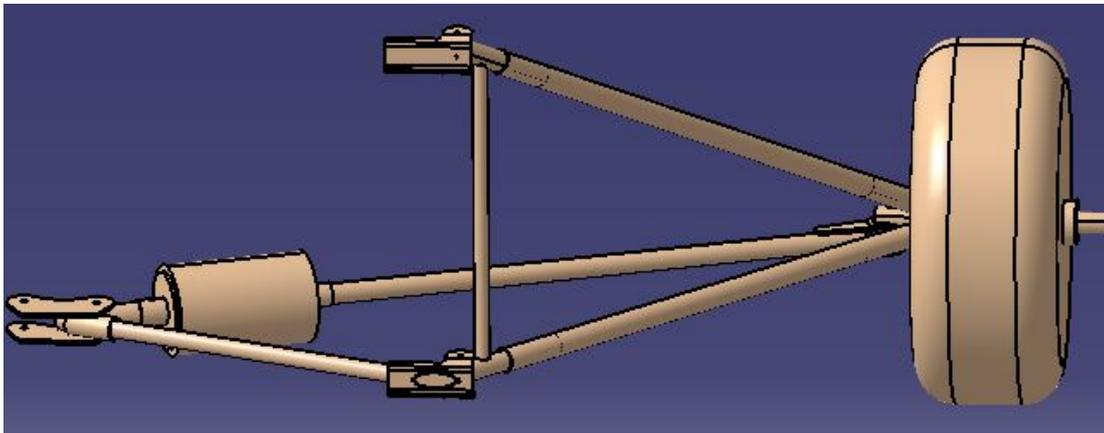


Ilustración 85 Tren principal real

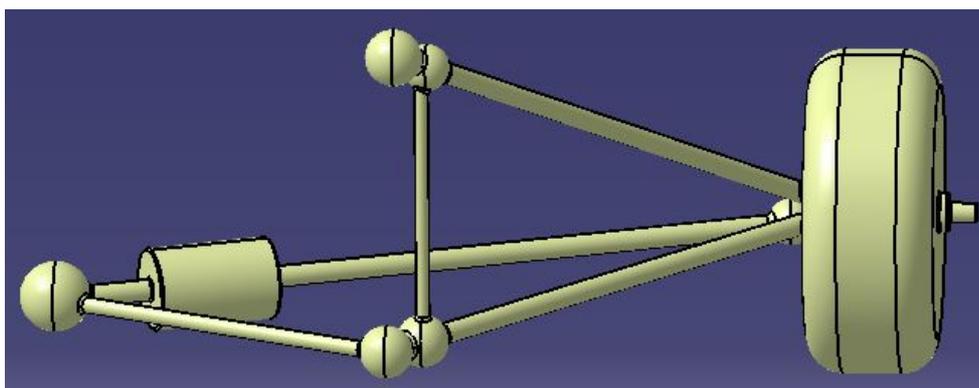


Ilustración 86 Aproximación tren principal

Se puede ver en la comparación, que la nueva geometría es menos pronunciada, con tangencia en todas las aristas para poder colocar una malla. Por último, mostrar la imagen del tren completo. Con una simple simetría respecto al plano XZ de la aeronave, obtenemos la otra mitad, que unimos a la primera mediante las operaciones de *Trim* y *Edge Fillet*. El resultado es el siguiente:

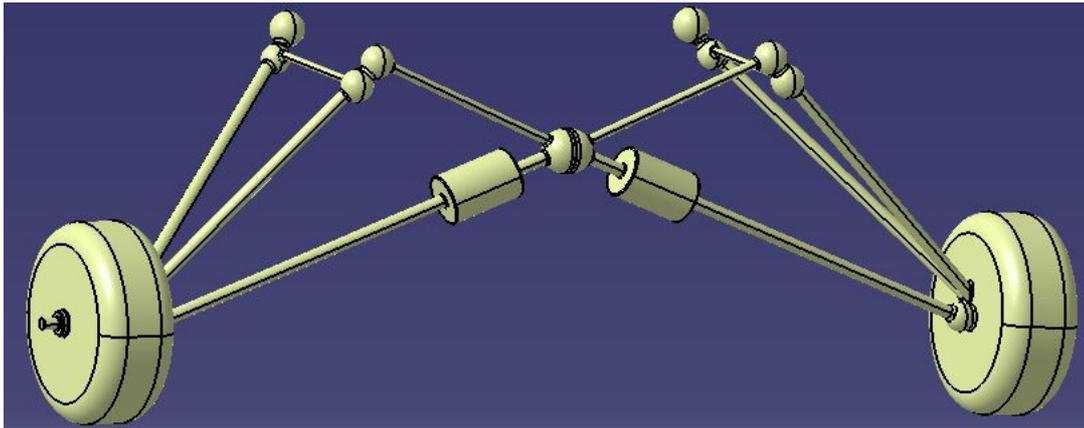


Ilustración 87 Aproximación tren principal completo

4.3.2 Aproximación del fuselaje

La idea de la generación de la superficie nos hace llevar la metodología de que el siguiente paso siempre parte del anterior. Para no perder el hilo, lo siguiente que se va a generar es la zona del fuselaje a la que se engancha el tren principal, para seguir creando una superficie formada por un único elemento.

Hay que recalcar, que la geometría de la avioneta no es para nada sencilla. Además, no se puede generar fácilmente a partir de la unión de varias geometrías simples. Va a haber zonas que, si que se pueden aproximar con mayor facilidad, y valoraremos posteriormente si la aproximación tomada tiene un error demasiado grande superponiendo las geometrías y viendo sus diferencias.

La idea es tomar referencia del archivo de ensamblaje general de la avioneta, y sacar geometría límite a partir de la cual se pueda generar una aproximación de la superficie exterior.

Desde la zona central del fuselaje, hasta justo antes de la cola del avión, vemos que sigue una geometría parecida, con secciones con la misma forma y distinto tamaño. Al contrario, la zona delantera tiene mayor complejidad con secciones curvas que presentan una mayor dificultad para la generación de la superficie. Por ello, se ha decidido empezar por la zona central, y aprovechar la poca variabilidad de la cola del fuselaje, para completar la geometría de esa zona.

De momento, se va a intentar reproducir las partes planas; para ello es muy útil obtener los vértices de la superficie, crear el contorno cerrado de líneas y aplicar la herramienta *Fill*. Mediante la opción del cuadro de la operación, aseguramos que la superficie creada sea plana siempre que se pueda. En un primer lugar, se usa la operación *Fill* para zonas planas, pero como veremos más adelante, también sirve para algunas zonas curvas del morro del avión.

Mediante estas operaciones sin mayor complicación, en las que la precisión se basa en una buena extracción de la geometría base a partir del modelo original, obtenemos una primera parte del fuselaje a la que se une el tren principal. La superficie generada se une al tren como ya se venía haciendo, mediante las operaciones de *Trim* y *Edge Fillet*. Por último, las aristas que se han creado al unir las placas obtenidas posteriormente deben ser redondeadas, ya que la operación de *Edge Fillet* anterior, se le ha realizado al contorno de la unión fuselaje – tren principal.

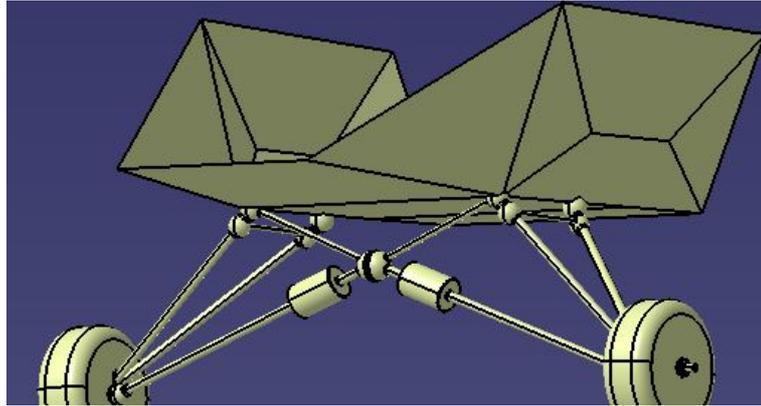


Ilustración 88 Unión tren principal a fuselaje

Es normal que los proyectos puedan sufrir pequeñas variaciones en los objetivos. En nuestro caso, estábamos buscando una superficie exterior que fuese un conjunto cerrado y a la vez tuviese continuidad en tangencia en toda ella. Se nos informa, que es obligatorio que el resultado sea un conjunto cerrado, para poder convertir la superficie en sólido. Ahora bien, una vez ya tengamos el sólido, habrá aristas que sean más cómodas para redondear, siendo un sólido y no una superficie. Por ello, no nos preocuparemos por adaptar algunas de las aristas resultantes, ya que después de la conversión a sólido macizo, es más fácil. Nos centraremos en terminar la superficie exterior en un conjunto cerrado.

Lo siguiente es continuar extendiendo la superficie. Se decide seguir intentado generar la cola del fuselaje, ya que el morro dio lugar a bastantes problemas intentándolo de otras maneras.

Se va a continuar extrayendo puntos del modelo completo de piezas del avión, y se trasladan para obtener los puntos límite de la geometría. Desde la geometría de puntos, creamos las líneas que van a ser utilizadas como contornos para rellenarse mediante la operación *Fill*.

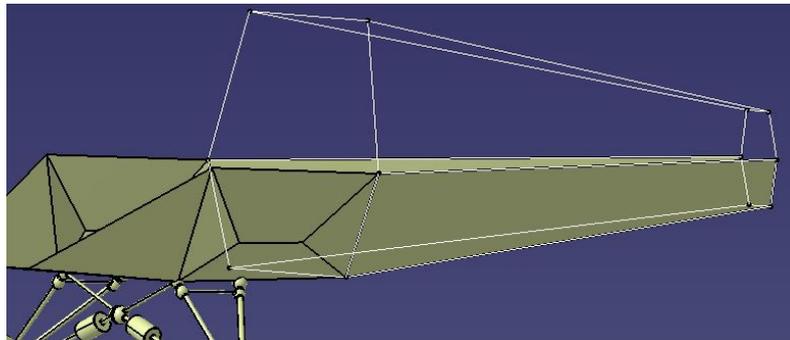


Ilustración 89 Aproximación Fuselaje I

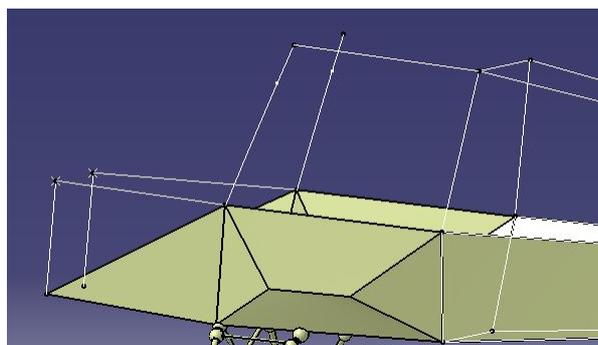


Ilustración 90 Aproximación Fuselaje II

Aquí podemos observar el paso previo al *Fill*, cuando aún estamos preparando la geometría. También en la zona de la puerta, y comenzando un poco por zonas sencillas de la parte delantera de la avioneta, vamos dejando preparados los contornos para las operaciones siguientes.

Una vez vamos obteniendo las distintas placas formadas, hay que ir uniéndolas al conjunto de superficie para tener un único elemento cerrado que nos sirva para su posterior análisis. Mediante la herramienta *Join*, comprobamos además que no haya problemas de continuidad entre las distintas superficies.

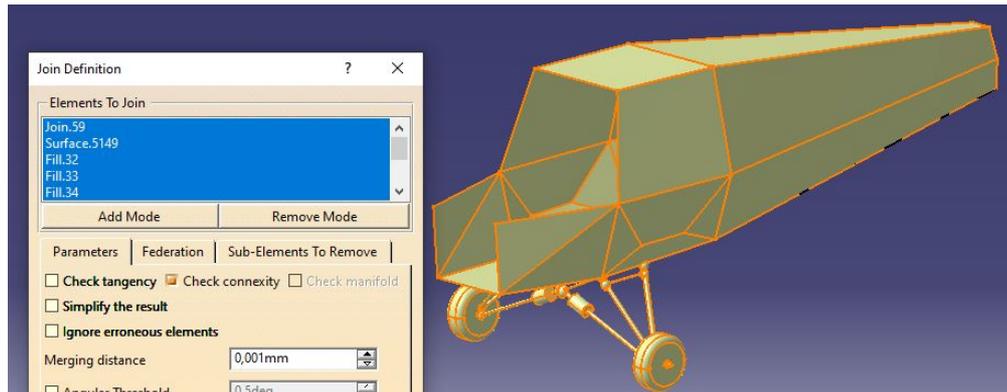


Ilustración 91 Aproximación Fuselaje III

Ahora tenemos lista la primera aproximación del fuselaje sin mayor complicación. A continuación, se va a intentar aproximar la cola, con los estabilizadores correspondientes.

Un primer intento basado en la anterior versión de la superficie exterior no es de gran ayuda. No tiene ni estabilizador horizontal, y una geometría desarrollada muy compleja que, mediante un *Extract*, se intenta aprovechar. Posteriormente se le hace una simetría con respecto al plano XZ y, a continuación, se intentan unir mediante un *Bend*, el cual no da muy buen resultado.

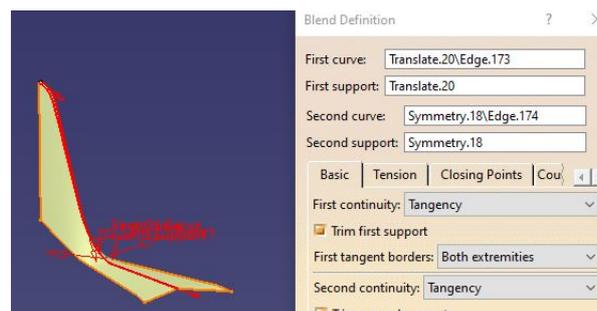


Ilustración 92 Intento Estabilizador Horizontal

Debido a ello, se intenta obtener desde la geometría de la estructura. Se hacen *Extracts* para obtener el contorno deseado, pero las charnelas y ejes de giro dejan huecos sin contorno. Mediante la herramienta *Connect Curve* solucionamos este problema, y eligiendo además que se respete una continuidad en tangencia.

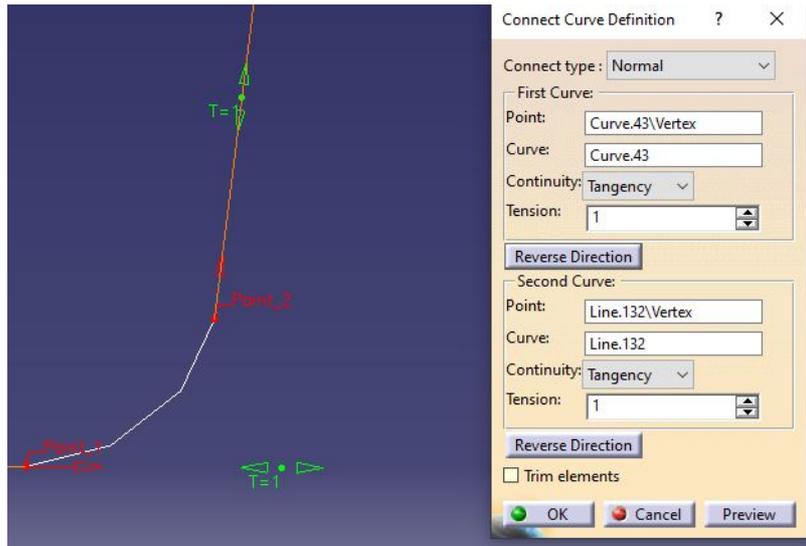


Ilustración 93 Operación Connect Curve

Una vez tenemos un contorno cerrado para nuestras geometrías, podemos rellenar mediante *Fill* para obtener un plano con las dimensiones requeridas. Con la operación *Extrude*, la damos el espesor deseado.

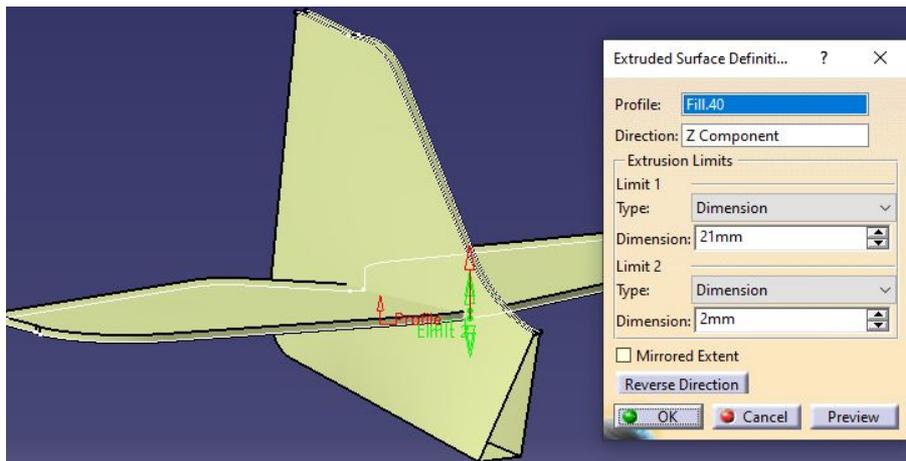


Ilustración 94 Generación de Estabilizadores

Una vez unimos ambos estabilizadores con la herramienta *Trim*, ya tenemos el conjunto de la cola, y podemos unirlo al cuerpo del fuselaje. Como no coincide bien, vamos a tener que crear una superficie que adapte estos dos conjuntos. Y lo haremos mediante la creación de geometría. Puntos y líneas para crear las placas necesarias. Crear puntos extra en la sección más simple es muy útil, para hacer una pequeña variación de sección que arregle el problema explicado. Lo vemos en la siguiente imagen:

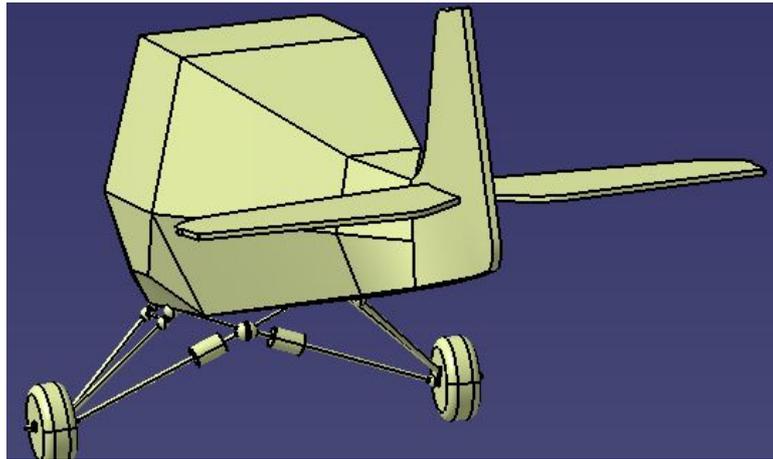


Ilustración 95 Unión Fuselaje Cola

Al frente de la avioneta, el cristal de la cabina tiene una adaptación curva que exige una aproximación de la superficie que le sea fiel. Por eso, se crean contornos con lados curvos para darle tres dimensiones a la superficie que queremos generar. Al completar mediante *Fill*, así es como queda la zona curva.

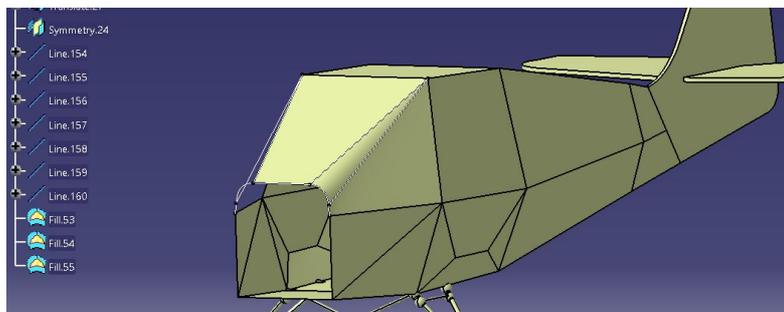


Ilustración 96 Aproximación Fuselaje III

Una vez tenemos completa la parte superior de la avioneta, donde se engancha el grupo alar, podemos pasar a adecuarlo y unirlo al conjunto.

Se coge la sección de ala de la anterior versión, ya que tenía una representación correcta del perfil aerodinámico, y hay que respetar la geometría para su posterior análisis. Como el ala solo llega desde el extremo hasta algo antes del inicio del fuselaje, se le va a aplicar una operación llamada *Extrapolation*. Se escoge una sección (Boundary) de la superficie, que es la que se quiere extrapolar. También se elige una dirección, para saber hacia dónde. Por último, se debe decir hasta dónde. Como se puede ver en la siguiente imagen, lo óptimo es elegir la opción "Up to element", para decidir el límite de extrapolación. En este caso, se elige el plano XZ para que llegue hasta la mitad de la avioneta.

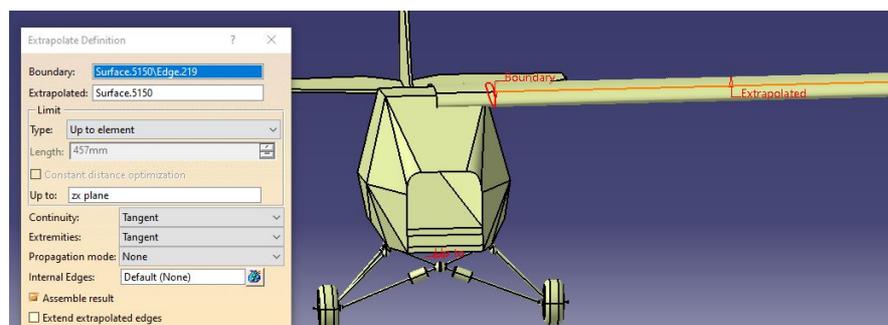


Ilustración 97 Extrapolación del Ala

Lo siguiente es realizar una simetría respecto al mismo plano XZ, y unir ambos elementos mediante *Join*, y ya

tendríamos completo el grupo alar. A continuación, lo unimos al fuselaje con *Trim*. Además, aplicamos un *Edge Fillet* para suavizar la unión.

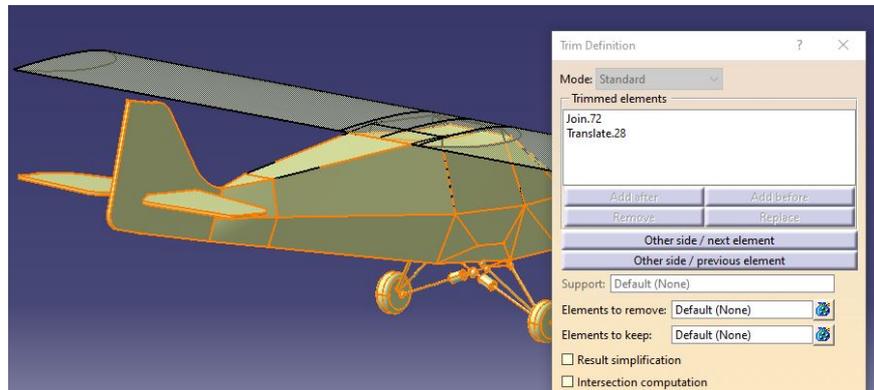


Ilustración 98 Trim Fuselaje Alas

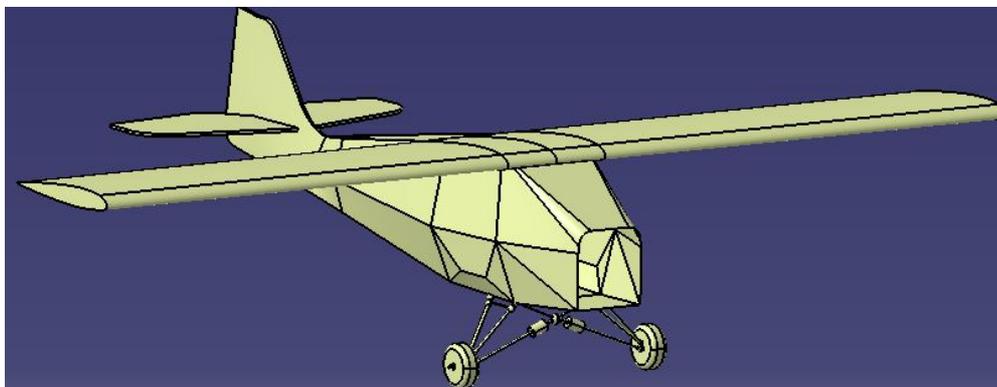


Ilustración 99 Aproximación a falta del Morro

Ahora hay que generar la superficie que simule la bancada del motor. Tiene una geometría compleja de superficies curvas que se va a intentar aproximar reproduciendo una buena geometría base de curvas fieles a la geometría real a partir de *Extracts* de la versión anterior de la bancada.

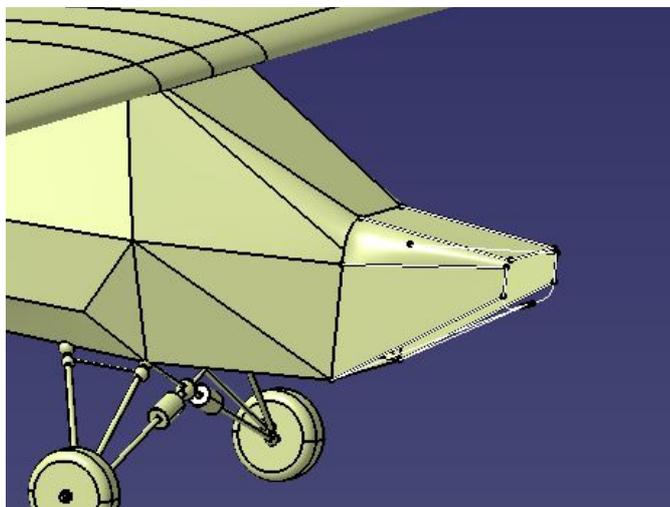


Ilustración 100 Aproximación Bancada Motor I

Vemos una serie de líneas y puntos que son los que definen los contornos utilizados para las operaciones de *Fillet*,

que consiguen aproximar superficie de la bancada del motor.

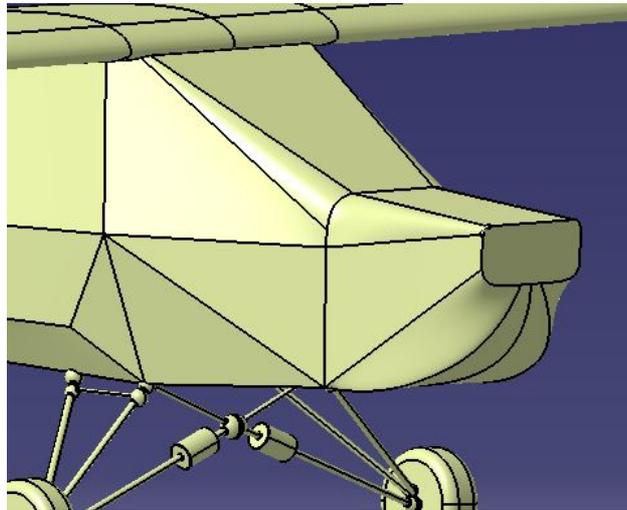


Ilustración 101 Aproximación Bancada Motor II

El resultado es correcto, así que vamos a pasar a mostrar una imagen del resultado final:

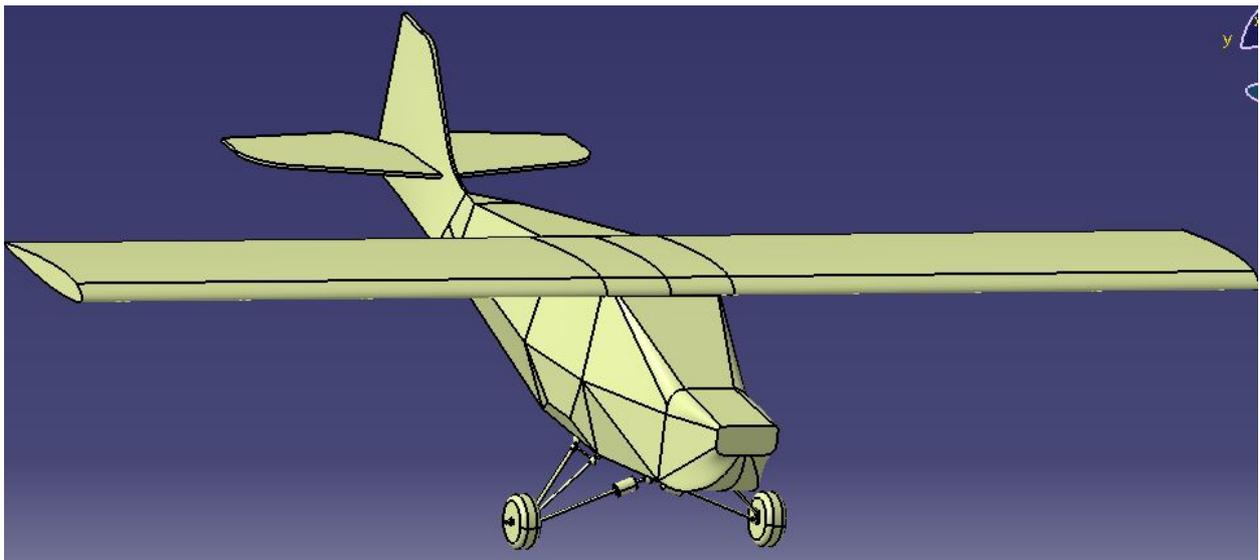


Ilustración 102 Resultado Superficie Exterior

El siguiente paso, es comprobar que la superficie es correcta. Para ello, intentaremos convertir esta superficie en sólido macizo. Esto se hace con la herramienta *Close Surface*. Como la superficie está bien cerrada, aparece con el color gris de sólido macizo. Además, una vez la obtenemos, podemos aplicarle operaciones de redondeado de aristas con *Edge Fillet*, como vemos que se han realizado en el *Part Body* formado.

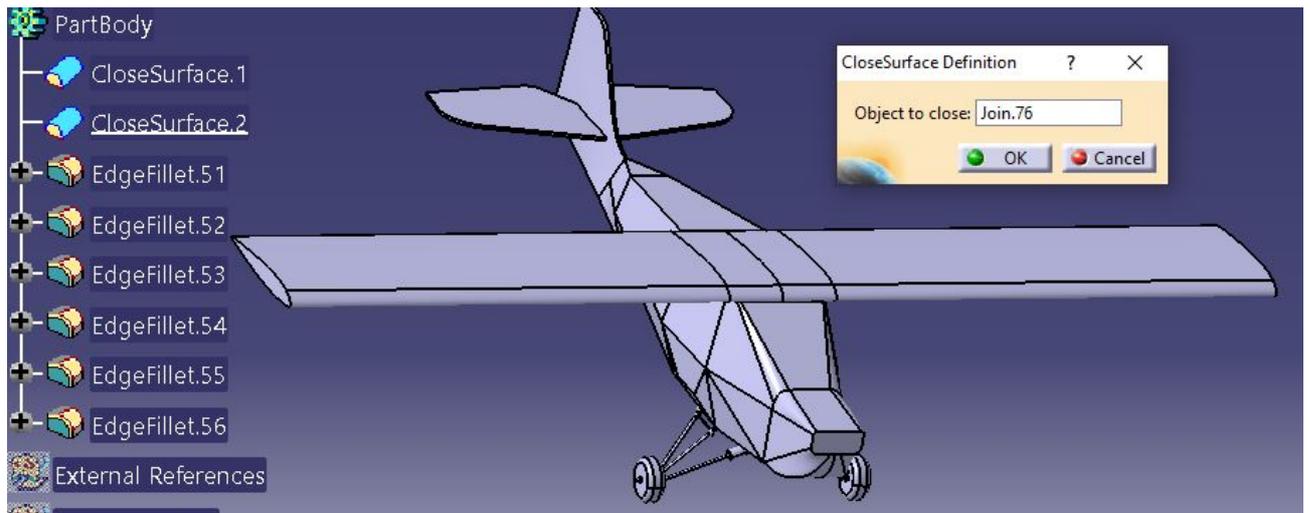


Ilustración 103 Resultado Sólido Macizo Avioneta

El resultado es correcto, y afirmamos que se va a poder realizar un mallado del sólido para posteriormente hacer un análisis CFD de la avioneta.

4.3.3 Procedimientos fallidos

En apartados anteriores, se ha ido contando el procedimiento correcto a través del cual se ha conseguido alcanzar los objetivos. Este apartado va dedicado a los intentos más relevantes que no han dado sus frutos, pero que han ayudado a entender la problemática de la generación de superficies; y basándonos en el hecho de haber intentado diversas técnicas, puedo decir que se ha aprendido sobre más herramientas y operaciones, que si se hubiese sabido exactamente como hacerlo.

Una de las herramientas principalmente utilizadas en los intentos fallidos es *Multi section*. Está herramienta, necesita una información muy precisa, a través de secciones, guías y espigas. Con la definición de estas distintas curvas, se designan las secciones que tienen que ser unidas mediante la generación de una superficie que puede llevar unas guías para respetar una geometría dada, y no las una aleatoriamente.

4.3.3.1 Intento de unión del tren al fuselaje

Se intentó basarse en la geometría de la versión de la anterior superficie. A través de extractos de la geometría anterior, y modificándolas, se consigue hacer una propia zona de fuselaje.

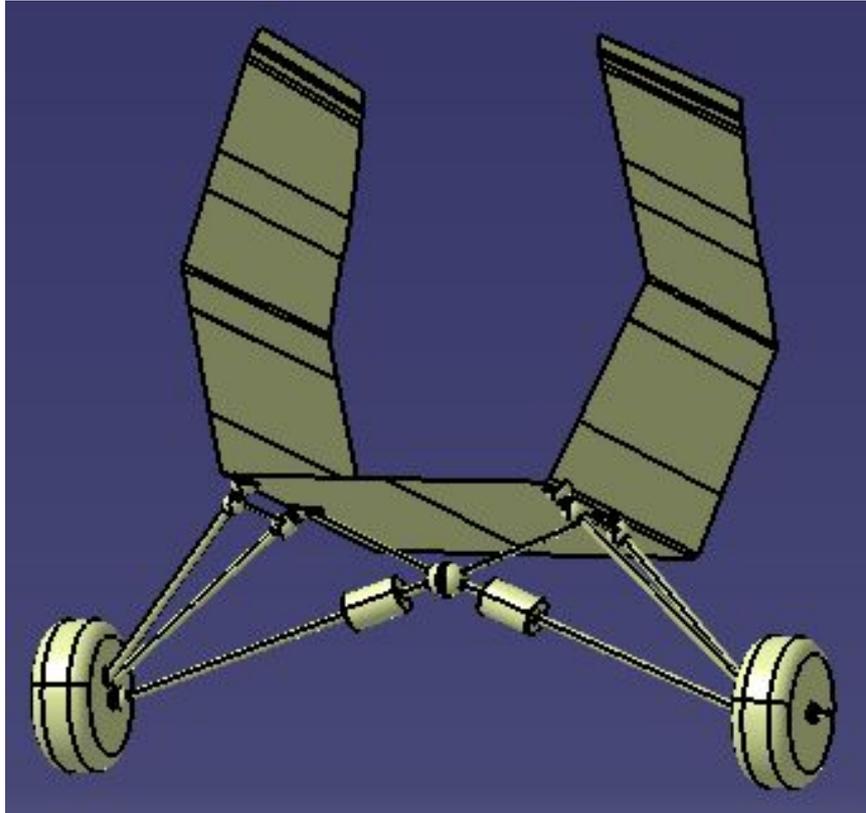


Ilustración 104 Intento fallido fuselaje

Parece que tenía buena pinta, y respetaba la geometría original. El problema está que la herramienta *Multisection* da lugar a muchos errores si no se hace de forma muy precisa. Trabajando mucho la geometría de las secciones y las guías fuimos capaz de unirlos, pero continuar desde aquí era muy complicado. Al intentar unir las secciones de los extremos, a otras secciones, el número de puntos de tangencia, y los puntos por donde pasan las guías no son los mismos. Esto da lugar a discontinuidades. Por ello se abandonó continuar desde este punto. Parece que la herramienta *Multisection* es útil para formar una superficie bien preparada desde el principio, no para ir haciendo partes del fuselaje de una en una y luego intentar unirlos.

4.3.3.2 Intento de generación de la cola

En este momento, se sigue pensando en aprovechar la herramienta *Multisection* para otras zonas menos complejas, así que se me intenta generar la cola de la avioneta. En este caso, se muestra la disposición de la geometría de líneas para realizar el *Multisection*.

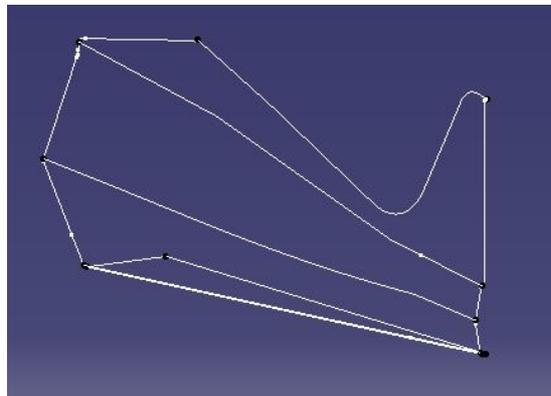


Ilustración 105 Multisection Cola I

Y al aplicar la operación vemos el siguiente cuadro:

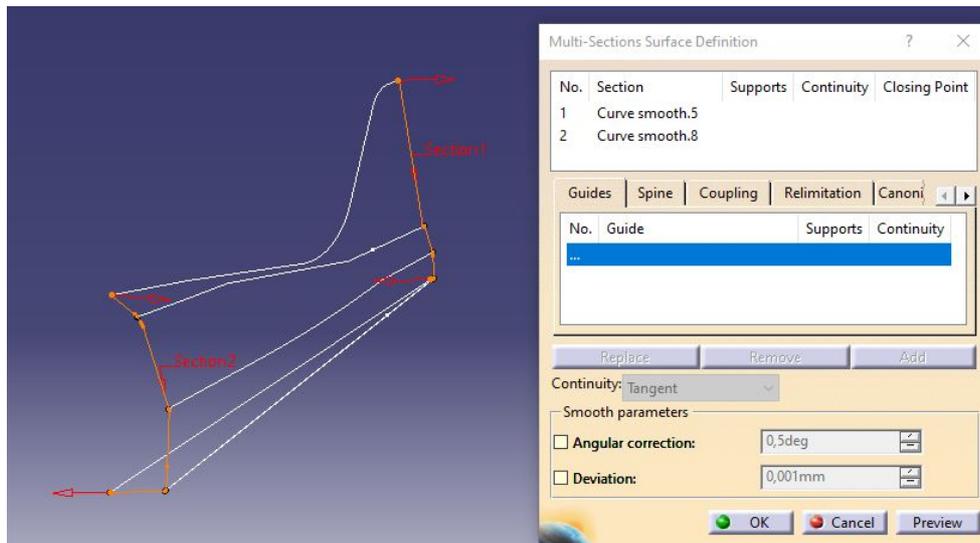


Ilustración 106 Multiseccion Cola II

Al realizar la operación siempre provocaba un error donde decía que la solución a la operación daba lugar a cúspides muy pronunciadas en la geometría, y no la generaba imaginámosador, así que también se abandonó este camino.

También cabe decir que, si se hubiese evitado meter el estabilizador vertical en esta operación, hubiese sido mucho más sencillo, pero quizás hubiésemos tenido el mismo problema al intentar unirlo posteriormente. Las secciones que se querían juntar con una continuidad están desemparejadas desde los puntos característicos de las propias secciones.

4.3.3.3 Intento de recuperación del morro de anteriores versiones de la avioneta

Por último, se intenta reformar el morro del avión, que tenía una gran cantidad de discontinuidades, a través de una gran toma de geometría sobre la versión anterior.

A continuación, se dejan una serie de imágenes de las distintas formas de intentar la generación de la superficie del morro. La finalidad de estos intentos era obtener una superficie sin discontinuidades, pero con ninguno de los siguientes se consigue. Siempre se obtienen discontinuidades en las juntas, o la operación daba lugar a error, por tener como resultado una geometría con vértices muy pronunciados.

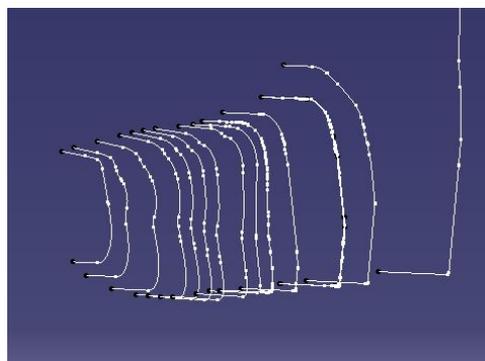


Ilustración 107 Generación Morro I

En este primer caso, se intentó conseguir la precisión necesaria a través de una gran cantidad de secciones, y el resultado fue muy malo, vemos que las secciones no se parecen mucho, y no tienen una geometría suavizada. Daba lugar a un resultado, pero el número de discontinuidades al analizarlo era muy grande.

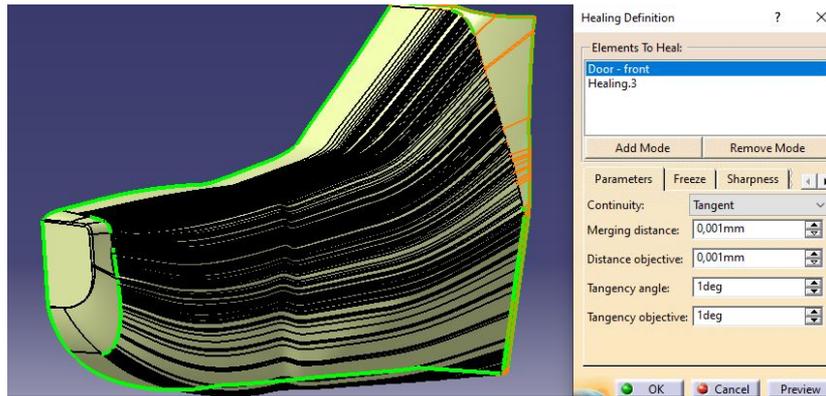


Ilustración 108 Generación Morro II

La geometría se consiguió generar, pero al intentar unirla con las otras partes de la superficie de la avioenta, se obtuvieron discontinuidades que no podíamos enmendar. En este caso se utilizaba la herramienta *Healing* para unir las secciones, ya que es el programa quien intenta unirlos respetando la continuidad que tu elijas, pero no siempre funciona.

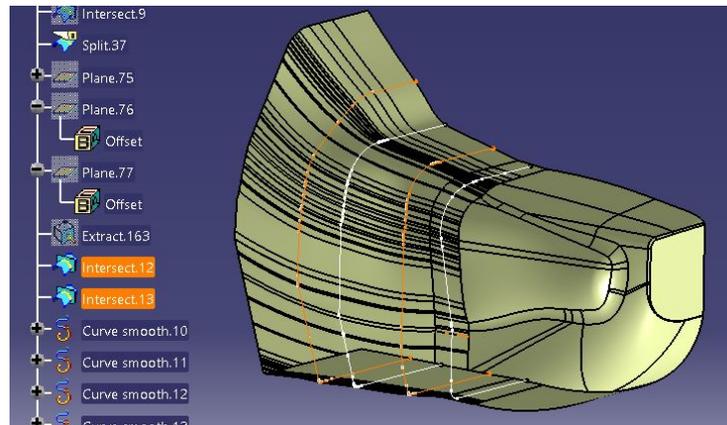


Ilustración 109 Generación Morro III

Aquí vemos más intentos simplemente cambiando la longitud de la superficie generada con el *Multisection*. También me gustaría destacar la obtención de la sección necesaria para la operación de *Multisection*, mediante la operación de *Intersection*. Se realiza la intersección entre una superficie y el plano elegido por el diseñador (interesa paralelo al plano YZ del avión).

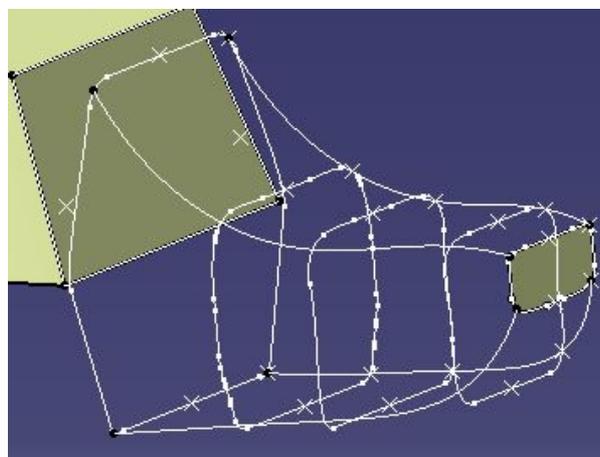


Ilustración 110 Generación Morro IV

Aquí vemos ya la última intentona, a través de una geometría mucho más cuidada, con unas secciones iguales en puntos de tangencia; también suavizando las curvas para obtener una continuidad en las secciones. Las guías están preparadas para tener una continuidad en tangencia, y ni aún así la solución cumplía los requisitos establecidos. Desde este momento, se decide continuar por otro camino, ya que, tras una larga dedicación, no se obtiene ningún resultado válido para cumplir los objetivos.

5 ANÁLISIS, RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se va a realizar un análisis de los tres grandes objetivos de este proyecto, y se va a estudiar si se han cumplido los objetivos y cómo se ha realizado el proceso de aprendizaje en cada uno de ellos.

En cada uno de los apartados se va a hacer un repaso de los objetivos y también de la facilidad o dificultad para lograrlos.

También cabe decir que, como son labores que no están relacionadas una con otra, puede que los análisis y los objetivos sean algo dispares y se traten desde distintas perspectivas. Pero, en primera instancia, consiste en ver la posición inicial frente a los objetivos, la valoración de posibilidades, camino escogido, y resultados. Se van a intentar sacar conclusiones también de datos y procedimientos, y no sólo de resultados.

Por último, unas conclusiones generales que compararán las labores desde una visión más amplia. Y en el cómputo más global, del proyecto, como me ha influido para mi futuro más próximo.

5.1 Análisis Corrección de Fuselaje

Este apartado fue el primero en el que se trabajó. Esto provoca que la progresión, y por tanto el tiempo, son mayores que en los demás apartados. Al ser el primero, a la vez que se aprende a usar CATIA V5 de una forma más profesional, adaptando el uso de archivos con cientos de archivos en su interior y numeración lógica, a utilizar módulos que rara vez había utilizado, y herramientas que no sabía para que servían.

Además, como en la gran mayoría de los trabajos ingenieriles, las primeras directrices que dan los superiores suelen ser más precisas y exactas, y conforme va pasando el tiempo, uno va alcanzando mayor autosuficiencia, o así es como creo que debería ser, y es, en este caso. Por ello, en cuanto a la técnica, en primera instancia, no se tuvo mucha alternativa. Lo primero fue corregir todas las barras que se podían mediante la metodología más simple a la que se ha llamado en el trabajo “primera técnica de corrección”. Este primer tramo sirvió para lo que se ha comentado anteriormente, conocerme con el programa.

A continuación, como se ha comentado en el apartado 4.1.3.2 Segunda Técnica de Corrección, tuvimos que ingeniar una segunda técnica que solucionase un problema encontrado para muchas barras que no podía corregir de la otra manera. Ese fue el primer gran avance en este trabajo. Además, sin ninguna explicación del tutor, con el uso de la lógica y las herramientas del programa, se vio que era posible plasmar imaginado. Esto sirvió de motivación para el resto del trabajo, ya que el resultado fue óptimo.

En cuanto al resultado, no existía mucha variabilidad en él. Es decir, o se hacía bien respetando la geometría, o se hacía mal. Por ello, la realización no conlleva una gran realización personal en cuanto a la innovadora aportación del estudiante. Sirvió más para aprender una mecánica limpia y segura mientras se trabajaba en el programa, dando preparación para posteriores apartados.

También tocó aprender por otro lado. Al actualizar tantos archivos, por archivos corregidos, y trabajando desde la distancia desde el almacenamiento en la nube, hubo problemas de rutas, de links y de archivos que no abren cuando deberían. Esto se explica en el apartado “4.1.4 Problemas encontrados”. Esto nos obligó a solucionar ese problema desde cero. Con la ayuda del tutor, y una breve explicación de como funcionaban los enlaces entre los archivos y como modificarlos, se pudo solucionar un problema que llevaba siendo dejado de lado semanas.

En resumen, la curva de aprendizaje durante este apartado fue importante. Además, estuvimos varias semanas en esta parte del trabajo, y se aprendió en el manejo del programa, así como no tener miedo a errores desconocidos, o acciones que se imaginan, pero no se sabe como implementar en el programa.

Creo que los resultados a medio-largo plazo de este apartado fueron muy positivos, y tanto el tutor como yo quedamos satisfechos con la nueva versión del fuselaje corregido.

A continuación, dejamos una imagen de la coincidencia de geometría original y de las barras del modelado del fuselaje. Al ser algo difícil de mostrar gráficamente, no se va a mostrar todo el fuselaje, sino que se hace un recorte de una zona de la cola de la avioneta, donde se aprecia que las líneas blancas que definen la geometría correcta pasan por el eje de las barras del fuselaje.

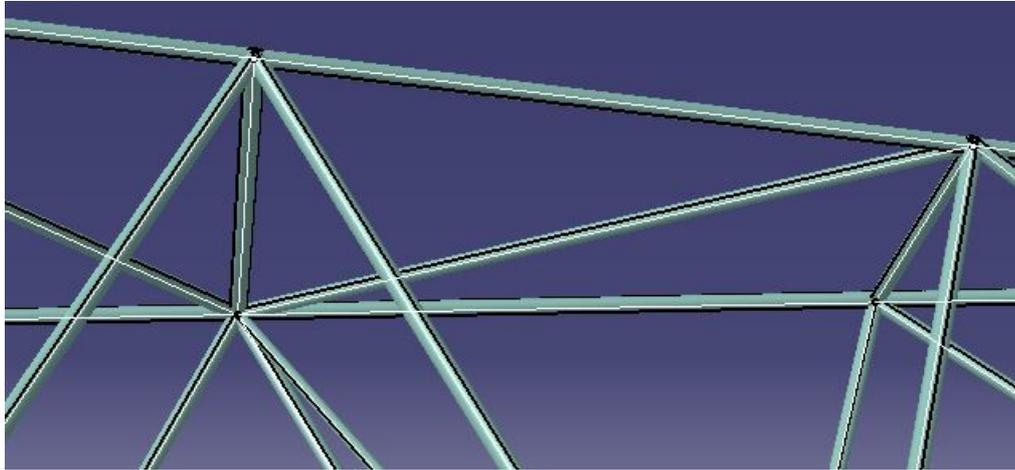


Ilustración 111 Resultados Corrección Fuselaje

5.2 Análisis Corte de Barras

Siguiendo el orden cronológico en el documento, este fue el segundo trabajo que se realiza después de la corrección del fuselaje. En primer lugar, consistía en hacer un corte de las barras *Particular*, para después hacer los planos de fabricación de cada una de ellas. Al final, la labor se centró en hacer los cortes para que encajen las barras en la soldadura del fuselaje, y la generación de los planos quedaría fuera del alcance del proyecto.

De momento, solo sabía manejar el módulo de *Part Design*, y no sabía que iba a necesitar para este apartado. Además, ya se dieron pocas directrices, y se me instó a iniciarme en el módulo de superficies. Entendí que debía enfrentarme al programa yo solo e intentar plasmar las operaciones mentales en el programa. Esto me sirvió para comprender cada vez más el uso del programa por parte del diseñador. Hay que hacer una cosa concreta, pero hay que hacerla a través de unos medios que son elección del diseñador, y cada uno impone su estilo y su forma de trabajar.

Tras varios intentos, con distintas técnicas, se descubre un método propio para cortar las barras a partir de las herramientas de los dos módulos utilizados en este trabajo. Es más, solo con la combinación de ambos módulos se puede resolver el problema. Es otro matiz al que yo no había alcanzado antes de este punto en el trabajo. La combinación de módulos de CATIA V5 te da la posibilidad de trabajar la misma pieza desde distintas perspectivas y con herramientas parecidas pero enfocadas de otra manera, que implica un necesario apoyo en otros módulos.

En cuanto a la técnica utilizada en “4.2 Corte de las Barras”, el resultado es muy satisfactorio. Se aprende a usar herramientas que no se tenía clara su funcionalidad, porque nunca se había presentado ese problema. Es mucho más útil, saber que se necesita hacer algo, y como se haría, y que solo falte saber como comunicárselo al programa. Cuando uno logra tener una buena comunicación o conexión con el programa de diseño, creo que es cuando se alcanzan los mejores métodos. Sobre todo, cuando se aplica el mismo método a un caso algo más complejo de lo habitual, y no surge ningún problema, o de fácil solución para arreglarlo, es cuando la técnica utilizada es más global y por tanto acorta el tiempo de diseño.

El resultado logrado, sin mirar los métodos utilizados, también es muy positivo, las barras se cortan por la superficie exterior de las adyacentes, y eso hace que encajen perfectamente para su futura fabricación y soldadura. A continuación, se reutiliza una imagen donde se aprecia la precisión del modelado del corte, para su posterior fabricación. Se observa la curvatura de la geometría final de la barra de la derecha, cortada así para una perfecta adaptación a una barra horizontal que se encuentra oculta en la imagen para su mejor apreciación.

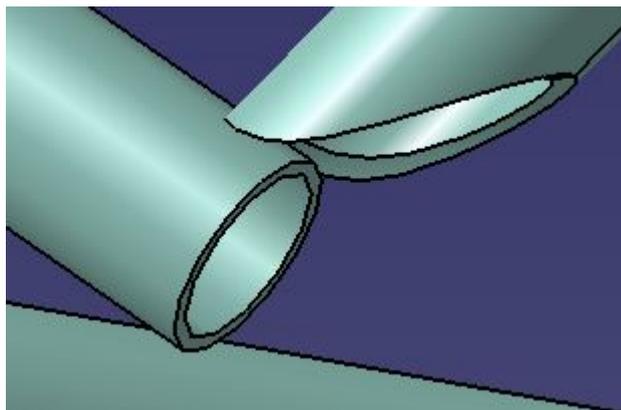


Ilustración 112 Resultados Corte de las Barras

También cabe comentar, que en un primer momento me dio problemas el hecho de que no fuesen tubos macizos y tuviesen una superficie interior. Al cortar con superficie, o sólido, una superficie o un sólido, los resultados eran distintos. La solución es la más lógica, cortar un sólido con una superficie, pero por culpa de la geometría puedes encontrarte posibilidades inesperadas al juntarse varias barras en un mismo punto.

Además, me gustaría hacer referencia a que la información necesaria la he extraído yo de un conjunto de planos de detalles de uniones. Bajo mi punto de vista, es una acción de puro carácter ingenieril, que refleja una metodología de exactitud, y me ha parecido muy interesante llevarla a cabo por primera vez.

Por último, me gustaría comentar que ha sido el apartado que más he disfrutado como diseñador. Tanto por la progresión personal, que me ha permitido moverme con mayor soltura; como por la labor a realizar en sí misma, que me ha parecido muy interesante y útil. Cabe decir que los cortes realizados a las barras influirán directamente en unos planos de fabricación que serán llevados a cabo en una empresa fabricante, lo que me produce una gran emoción e ilusión extra para el proyecto.

5.3 Análisis Generación de Superficie

Este apartado, es el último que he realizado para la empresa. La generación de una superficie exterior, precisa y cerrada para extraerla de CATIA y utilizarla en un programa CFD para hacer el análisis fluidodinámico correspondiente.

Este es el apartado que más complejo ha resultado. Debido a la gran variedad de geometría de la avioneta, se ha tenido que explorar las diferentes herramientas y operaciones del módulo de superficies utilizado: *Generative Shape Design*.

En un primer momento, la generación del tren de aterrizaje provocó muy buenas sensaciones. Fue un aprendizaje rápido, con el que se perfeccionó el uso de las operaciones básicas, y dio lugar a buenos resultados de una forma relativamente rápida. En este proceso, no hubo grandes atascos en los procesos ideados como diseñador, y daban lugar a superficies cerradas con continuidad en tangencia a lo largo de todo el tren de aterrizaje.

También me gustaría comentar, que las aproximaciones realizadas en este apartado se hacían desde una inseguridad provocada por la inexperiencia. La consulta de los métodos obtenidos con el supervisor fue muy positiva. Esto significa que, según su experiencia, los caminos escogidos para aproximar la superficie real no iban a descuadrar en gran medida los resultados obtenidos en el análisis CFD.

Por ello, la generación del tren de aterrizaje principal fue muy positivo, ya que produjo una mejora de cualidades de diseño de forma autodidacta, además del resultado en sí mismo. A juicio de mi tutor, el resultado obtenido mediante esta aproximación estaba dentro de los límites del error aceptados por él como trabajador con gran responsabilidad de la empresa. Esto también ayudó a reconocer en cierta medida, los errores aceptables en un proyecto de este tipo.

En cuanto a la generación del fuselaje, fue un proceso más truncado por los errores. Los intentos de aproximar las distintas zonas del fuselaje mediante la generación a partir de las secciones dieron lugar a muchos errores.

Además, mi tutor, me aconsejó que no era la forma idónea para que lo realizase, ya que requería un nivel de precisión todavía no alcanzado. Aún así, decidí intentarlo para conocer mejor las limitaciones propias y del programa.

Esto provocó grandes parones en mi progreso. Un gran periodo de tiempo sin obtener avances reales fue una piedra en el camino. Aún así, esto demuestra que, para obtener conclusiones claras y propias, hay que enfrentarse a los problemas sin miedo y con humildad. Aunque no haya obtenido unos resultados válidos con los primeros métodos utilizados, he aprendido cómo no funcionan según que operaciones, o que necesitarían para obtener un buen resultado.

Una vez descartado el primer camino de trabajo, decidimos pasar a otra forma de aproximarlos. El uso de la herramienta *Fill*, ha sido la clave para mi progreso. A partir de un buen uso de una herramienta multidisciplinar, se han obtenido los mejores resultados para la generación de la superficie exterior. Un gran avance en la generación del fuselaje dio lugar a muy buenas sensaciones.

A partir de ese momento, no había problemas en realizar casi ninguna operación que se imaginaba. Si se intentaba de una forma y no funcionaba, solía funcionar a la segunda. Eso generó mucha motivación para terminar la superficie, y además haciéndolo mediante el uso de varias herramientas sofisticadas que no sabía utilizar antes de empezar este apartado.

Muy contento con el resultado final, ya que es muy visual, y se puede apreciar todo el trabajo realizado. Igualmente, el tutor también aceptó con seguridad el primer modelo de superficie exterior que le entregué, ya que había ido supervisándolo de vez en cuando y sabía su progreso. Por último, la aceptación fue total cuando se convirtió la superficie en sólido macizo, se terminó de redondear las aristas y así se dejó listo para un posterior mallado.

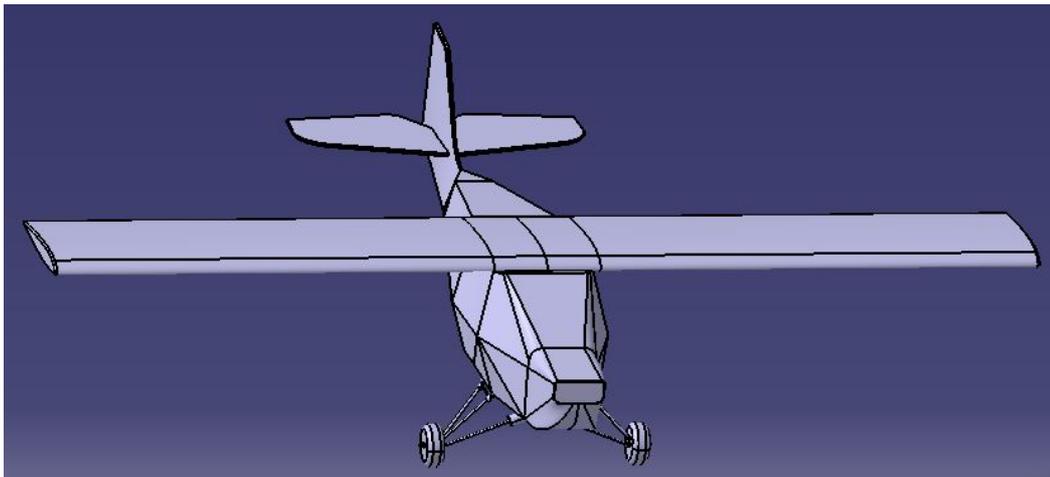


Ilustración 113 Resultado Generación Superficie Exterior

5.4 Conclusiones generales

En este apartado, hablaré de una visión personal sobre el proyecto, y sobre el diseño como trabajador. Tengo que agradecer la oportunidad de haber estado en un proyecto de este tipo. Es un orgullo presentar como trabajo final del grado, mi participación en un proyecto que va a tener repercusión internacional; y un impacto, aunque sea mínimo, en la industria aeronáutica.

En este proyecto, he plasmado una gran cantidad de cosas aprendidas durante mis estudios. La capacidad de trabajo independiente es muy importante. Saber enfrentarse a los distintos problemas que uno se va encontrando como ingeniero. Ingeniar soluciones que satisfagan los requisitos establecidos, con un uso correcto de los recursos disponibles.

También es muy importante la comunicación profesional. Dejar de lado las emociones propias sobre tu trabajo, y ceñirse a un objetivo común. Trabajar como un equipo es esencial, empezando desde la comunicación y la organización.

La ilusión por aprender y mejorar es cada vez mayor. Trabajar con profesionales que te enseñan, y a la vez contemplar su visión mucho más amplia y fortalecida sobre algo donde uno mismo aún se ve algo inmaduro. Al ver la gran cantidad de cosas por mejorar, me motiva a seguir aprendiendo en proyectos de este tipo. Pienso que, para tener una motivación, hace falta tener un mínimo de responsabilidad. Si no, es difícil aplicar la seriedad que el proyecto requiera.

Además, he comprendido que es imprescindible equivocarse. La experiencia se coge a base de decisiones fallidas. Te ayuda a tener criterio, y cada vez, ser más cuidadoso y tener más cosas en cuenta. Cambiar de perspectiva suele ser primordial. No cerrar la mente a un método de trabajo, e indagar en las posibilidades que te ofrece, en este caso, el programa de diseño.

Concluyo, que las sensaciones obtenidas después de este trabajo en el que he participado a lo largo de unos seis meses son muy positivas. El aprendizaje es la principal de ellas. Estoy muy contento con mi progreso en calidad de diseñador. También con mi capacidad de trabajo, y la templanza necesaria para manejar situaciones en las que los resultados no acompañan a ese trabajo.

6 POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS

El proyecto del que forma parte este trabajo continúa tras mi aportación. El modelado de la avioneta forma parte de un proyecto comercial donde solo tengo conocimiento de la parte técnica. Por lo tanto, se van a comentar los distintos caminos que habría que seguir para continuar con mi labor.

En primer lugar, está el fuselaje corregido. La corrección de este fuselaje solo forma parte de el modelado, cuya finalidad es únicamente una perfecta reproducción virtual de la avioneta. No tiene la posibilidad de desarrollo y continuación del trabajo. Esto se debe a que la continuación del modelado del fuselaje ya ha sido realizada mediante la generación de las piezas necesarias a partir de las barras estructurales. No obstante, al no ser realizada de forma correcta, se ha tenido que corregir.

En cuanto al corte de las barras del fuselaje, si que tiene una clara continuación directa. Consiste en la elaboración de los planos de fabricación de cada una de las barras con las vistas necesarias y detalles suficientes para cumplir con las complejas geometrías que resultan en los extremos de los tubos. Para la obtención de estos planos, se seguiría trabajando en CATIA V5, aislando cada una de las piezas y obteniendo las proyecciones óptimas para una buena representación en el plano.

Acerca de la generación de la superficie exterior, es de vital necesidad seguir trabajando con el modelo de superficie exterior de la avioneta. Esta superficie ha sido generada para poder realizar un análisis CFD de la avioneta. Según el criterio aprendido en la universidad, este análisis se haría en el programa Star CCM. Se importaría la superficie generada, y ya dentro del programa habría que realizar el estudio.

En primer lugar, habría que crear el túnel de viento donde se imponen las condiciones en las que se quiere analizar. A continuación, tocaría hacer el mallado del sistema. Habría que tener en cuenta varias cosas en el proceso de mallado. Cuantas más celdas tenga una zona y más pequeñas sean, más preciso será el análisis, ya que se resuelve el problema en más puntos. Esto conlleva la otra cara de la moneda; cuanto más pequeñas y mas numerosas son las celdas, más preciso es el programa, y por lo tanto tiene un mayor coste computacional. Eso es algo que hay que tener en cuenta en este tipo de análisis.

En este caso, lo que haríamos es una zona de mallado muy precisa alrededor de la avioneta, y conforme se va alejando en el espacio de la avioneta, aumentar el tamaño de las celdas. Cuanto mayor es la distancia hasta la avioneta, se ve menos afectada la corriente fluida y, por lo tanto, no es necesaria tanta precisión en el cálculo. Con esta distribución, haríamos un buen equilibrio entre precisión y coste computacional.

En este caso, sería necesario utilizar una computadora con suficiente potencia como para analizar el sistema con una gran precisión, debido a la gran exigencia aerodinámica a la que está expuesta una aeronave.

7 REFERENCIAS

- [1] C. Torres Noguerras, “Modelado con CATIA V5 y recreación virtual del avión Spitfire Mk IX”, Trabajo de Fin de Grado, Universidad de Sevilla, 2017. [En línea] Disponible en: <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/91197/fichero/TFG+Carlos+Torres+Noguerras.pdf>. [Accedido: 30-mar-2020]
- [2] “Aircraft”, *Aeropup* [En línea] Disponible en: <http://www.aeropup.com/page-11.html> [Accedido: 15-may-2020]
- [3] M. Smith, “The Aeropup is back!”. *Sport Pilot*, July 2019, pp 22-23 [Accedido: 28-may-2020]
- [4] Z. Omar, “Design of a two seats light sports aircraft”, *J. Phys.: Conf. Ser.* 1150 012067. [En línea] Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1150/1/012067/pdf> [Accedido: 28-may-2020]
- [5] “European Flyers”, Cessna 172 Analógico [En línea] Disponible en: <https://europeanflyers.com/flota/cessna172-analogico/> [Accedido: 28-may-2020]
- [6] ABGAM Grupo Segula Technologies, *Manual CATIA V5* [En línea] Disponible en: https://www.academia.edu/36174212/MANUAL_CATIA_V5 [Accedido: 1-mar-2020]
- [7] “Generative Shape Design” CATIADOC (s.f.) [En línea]: http://CATIAdoc.free.fr/online/sdgug_C2/sdgugwd0100.htm [Accedido: 1-mar-2020]