

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Aeroespacial

Definición con 3DExperience de la secuencia de montaje del cajón del ala de una aeronave

Autora: Rosario Nogales Del Valle

Tutor: Domingo Morales Palma

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Definición con 3DExperience de la secuencia de montaje del cajón del ala de una aeronave

Autora:

Rosario Nogales Del Valle

Tutor:

Domingo Morales Palma

Profesor Contratado Doctor

Dpto. Ingeniería Mecánica y Fabricación

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2020

Trabajo Fin de Grado: Definición con 3DExperience de la secuencia de montaje del cajón del ala de una aeronave

Autora: Rosario Nogales Del Valle

Tutor: Domingo Morales Palma

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 y amigos, por la comprensión y apoyo desmedido.

A mis maestros, por hacerme crecer también en lo personal.

Agradecimientos

En primer lugar, me gustaría agradecer el apoyo incondicional recibido a todas las personas que me han ayudado a conseguir el término del grado en Ingeniería Aeroespacial y en concreto a la entrega de este proyecto.

No tengo palabras para describir el trato amable y confianza puestas en mí por parte de Domingo Morales Palma, tutor de este trabajo, desde el principio y a pesar de las circunstancias que nos ha tocado vivir en los últimos meses. Quidiera agradecer su rápida atención en todo momento, su supervisión e incluso el soporte material proporcionado que necesitaba sin pedir nada a cambio.

Quisiera expresar mis agradecimientos a mis padres, María José y Francisco, por darme la educación que me trae a escribir estos párrafos, por ser capaces de guiarme en esta carrera de fondo y motivarme a seguir mejorando cada día.

Quiero dar las gracias a mi pareja, Fran, por apoyarme desde los inicios a seguir creciendo personal y profesionalmente, por alegrarse de mis logros como propios y poder compartir el gusto por la ingeniería.

Por ultimo, nombrar a mi familia y amigos, en especial a Marina, por entenderme, acompañarme y hacerme disfrutar del camino, en el que he vivido experiencias y conocido a personas maravillosas que espero conservar de por vida. No hubiese sido posible llegar hasta aquí sin compartir esos días de estudio con mis compañeras y amigas Mar, Rocío, Marta y Ana.

Gracias.

Rosario Nogales Del Valle

Sevilla, 2020

Resumen

Debido a la gran demanda industrial de la gestión del ciclo de vida de producto, este trabajo hace uso de la herramienta de gestión 3DExperience, desarrollada por la empresa Dassault Systèmes, como formación profesional.

El proyecto tiene como objetivo el aprendizaje, análisis y demostración de la utilidad de este software colaborativo en el sector aeronáutico, en concreto, para procesos de montaje. Se han usado los modelos tridimensionales de un conjunto formado por el cajón del ala de una aeronave y los medios industriales requeridos para su ensamblaje como caso práctico con el que analizar la plataforma colaborativa.

Ha sido elegido el cajón del ala de una aeronave debido al gran número de piezas involucradas en su producción, el cual ofrece la posibilidad de profundizar bastante en el mundo del utillaje necesario para su ensamblaje. Además, el sistema productivo basado en una línea de montaje a pulsos, ofrece la posibilidad del desglose de la información y centrar el desarrollo en gran medida en una sola de las fases de montaje.

La metodología seguida para el caso práctico parte de la descripción y modificación de la lista de materiales o BOM del cajón del ala. En segundo lugar, se presenta el modo más usual de ensamblaje de un cajón de torsión como punto de partida para la definición de la MBOM o lista de materiales según el orden de montaje. Con la estructuración del montaje se consiguen dos hipótesis distintas y relacionadas: en primer lugar se propone el orden de montaje definido en estaciones de montaje de una aeronave real similar y, en segundo lugar, se desarrolla el utillaje necesario para las operaciones requeridas.

El resultado del análisis permite obtener un listado de operaciones sincronizadas de movimientos y aporte de piezas y utillaje a la grada de montaje en cuestión. Junto con el cumplimiento de la propuesta de uso de la plataforma colaborativa, el cual permite el aporte de una opinión práctica y del que se originan distintas líneas de trabajos futuros.

Abstract

Due to the high industrial demand for product lifecycle management, this work uses 3DExperience management tool, developed by the company Dassault Systèmes, as professional training.

The project aims to learn, analyze and demonstrate the usefulness of this collaborative software in the aeronautical sector, specifically for assembly processes. The three-dimensional models of an assembly formed by the wing box of an aircraft and the industrial means required for its assembly have been used as a practical case to analyse with the collaborative platform.

The aircraft wing box has been chosen due to the large number of parts involved in its production, which offers the possibility to go deep into the world of the tools needed for its assembly. In addition, the production system, based on a pulsed assembly line, offers the possibility of breaking down the information and focusing development largely on a single assembly phase.

The methodology followed for the practical case starts from the description and modification of the bill of materials or BOM of the wing box. Second, the most common way of assembly a torsion box is presented as a starting point for the definition of the MBOM or bill of materials according to the assembly order. By structuring the assembly, two different and related hypotheses are achieved: firstly, the assembly order defined in assembly stations of a similar real aircraft is proposed and, secondly, the necessary tooling for the required operations is developed.

The result of the analysis allows obtaining a list of synchronized operations of movements and contribution of parts and tools to the assembly stand in question. Together with the fulfillment of the proposed use of the collaborative platform, which allows the contribution of a practical opinion and from which different lines of future work originate.

Índice

Agradecimientos

Resumen

Abstract

Índice

Índice de Tablas

Índice de Figuras

Glosario

1	Introducción	23
1.1	<i>Contexto del proyecto</i>	23
1.2	<i>Objetivos</i>	24
1.3	<i>Contenido de la memoria</i>	24
2	Herramientas para la definición de líneas de montaje aeroúutico	25
2.1	<i>Evolución de las herramientas CAD/CAM/CAE</i>	25
2.2	<i>Aparición y auge de las herramientas PLM</i>	26
2.3	<i>3DExperience: plataforma colaborativa de CAD/CAM/CAE y PLM</i>	27
2.4	<i>Utillaje en el montaje aeronáutico</i>	30
2.4.1	<i>Utillaje y proceso productivo</i>	31
2.4.2	<i>Montaje de útiles</i>	33
2.4.3	<i>Ergonomía</i>	34
2.5	<i>Líneas de montaje</i>	35
3	Aplicaciones 3DExperience para la simulación de procesos de montaje	37
3.1	<i>Manufactured Item Definition</i>	37
3.2	<i>Process Planning</i>	40
3.3	<i>Planning Structure</i>	40
3.4	<i>Assembly Evaluation</i>	41
3.5	<i>Plan Layout Design</i>	41
3.6	<i>Equipment allocation</i>	42
3.7	<i>Work instructions</i>	43
4	Montaje del cajón del ala de una aeronave	45
4.1	<i>Descripción de la aeronave</i>	45
4.1.1	<i>Partes del cajón del ala</i>	45
4.1.2	<i>Modificaciones de la BOM</i>	49
4.2	<i>Primer supuesto de montaje</i>	50
4.3	<i>Definición de la MBOM</i>	52
4.4	<i>Hipótesis del montaje mediante la descripción de las estaciones</i>	57
4.4.1	<i>Fase 0 o entrada de conjuntos</i>	57
4.4.2	<i>Movimientos</i>	59
4.4.3	<i>Fase 1</i>	60
4.4.4	<i>Fase 2</i>	61
4.4.5	<i>Fase 3</i>	62

4.4.6	Fase 4	63
4.5	<i>Hipótesis del utillaje mediante la descripción de las operaciones</i>	63
4.5.1	Plataformas y posicionamiento	63
4.5.2	Posicionamiento de costillas de chapa	66
4.5.3	Posicionamiento del wingtip	67
4.5.4	Posicionado de revestimientos	67
4.5.5	Taladrado de revestimientos con costillas de chapa	70
4.5.6	Posicionamiento y taladrado de costillas de celosía	71
4.5.7	Remachado de revestimientos con costillas	73
4.5.8	Taladrado de rear spar con revestimientos y costillas	74
4.6	<i>Resultado: orden de operaciones en fase 1</i>	76
5	Conclusiones y trabajos futuros	77
5.1	<i>Conclusiones y opinión personal</i>	77
5.1.1	Sobre el proceso de montaje	77
5.1.2	Sobre el utillaje	77
5.1.3	Sobre la plataforma 3DExperience	78
5.2	<i>Trabajos futuros</i>	78
Referencias		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Funcionalidades de CATIA	28
Tabla 2.2 Funcionalidades de SIMULIA	29
Tabla 2.3 Funcionalidades de DELMIA	29
Tabla 2.4 Funcionalidades de ENOVIA	29
Tabla 4.1 Proceso erróneo supuesto de ensamblaje del cajón lateral	51
Tabla 4.2 Proceso de ensamblaje en la fase 1	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Menú del entorno colaborativo 3Dexperience [12]	29
Figura 2.2 Leica Absolute Tracker AT960 de Hexagon en Airbus Helicopters [14]	31
Figura 2.3 Ejemplo de integración con posicionadores y laser tracker [15]	32
Figura 2.4 Haz de luz entre láser y espejo y movimientos del láser [16]	32
Figura 2.5 Detalle de posicionador [11]	33
Figura 2.6 Sistema de referencia principal y útil montado usando alineación óptica tradicional [11]	33
Figura 2.7 Simulación de operario accediendo entre los manholes de costilla mediante DELMIA	34
Figura 3.1 Desglose de un producto según su fabricación [12]	38
Figura 3.2 Tiles de la MBOM de un motor [12]	39
Figura 3.3 Código de colores usado por Product Assignment Status [12]	39
Figura 3.4 Ejemplo de planificación de un proceso en Process Plannig de 3DExperience	40
Figura 3.5 Tracks para el ensamblaje completo de las compuertas del tren de aterrizaje del A380	41
Figura 3.6 Señalización de layout en FAL del A220 en Alabama [18]	42
Figura 3.7 Modelado de planta para producción de 12 vehículos eléctricos al día	43
Figura 3.8 Ejemplo de realización de Work Instructions en 3DExperienceCaso práctico:	44
Figura 4.1 Vista tridimensional del cajón del ala	45
Figura 4.2 Vista en planta del Top Panel	46
Figura 4.3 Ejemplo de acceso a tanque mediante manhole	46
Figura 4.4 Vista en planta del Bottom Panel	46
Figura 4.5 Vista frontal del Font Spar	47
Figura 4.6 Vista frontal del Rear Spar	47
Figura 4.7 Vista en perspectiva del interior del cajón	47
Figura 4.8 Detalle del Wingtip	48
Figura 4.9 Conjunto de celosías o Truss montadas sobre el Bottom Panel	48
Figura 4.10 Vista en perspectiva de la Fairing o carena del flap	49
Figura 4.11 Detalle de una de las celosías creadas	50
Figura 4.12 Estación de ensamblaje del cajón lateral del HTP del A400M [11]	51
Figura 4.13 Estructura MBOM completa desplegada del proceso de ensamblaje	52
Figura 4.14 Entrada de material a la Fase 2	52
Figura 4.15 Descomposición de la Fairing	53
Figura 4.16 Entrada de material a la Fase 1	53
Figura 4.17 Explosionado del Bottom Panel	54
Figura 4.18 Explosionado del Top Panel	55
Figura 4.19 Descomposición del Wingtip	55
Figura 4.20 Conjunto de costillas de chapa	56
Figura 4.21 Conjunto de costillas de celosía	56

Figura 4.22	Explosionado de la Truss 13	56
Figura 4.23	Detalle explicativo de la distribución de la grada de revestimiento [11]	57
Figura 4.24	Grada de revestimientos real [11]	58
Figura 4.25	Grada real de largueros [11]	59
Figura 4.26	Movimiento del cajón de torsión de la aeronave en la línea de producción real [11]	59
Figura 4.27	Marco universal real para el movimiento del cajón [11]	60
Figura 4.28	Marco central de la fase 1 con los posicionadores de costilla [11]	60
Figura 4.29	Bottom panel montado sobre las estructuras retráctiles de la fase 1 [11]	61
Figura 4.30	Detalle de las cuchillas de las estructuras retráctiles de la fase 1 [11]	61
Figura 4.31	Grada real de la fase 2 [11]	62
Figura 4.32	Grada real de la fase 3 [11]	62
Figura 4.33	Grada real de la fase 4 [11]	63
Figura 4.34	Explosionado de la grada de fase 1 y la soportación inferior	64
Figura 4.35	Movimiento de las plataformas elevadores de la fase 1	64
Figura 4.36	Marco central de la grada de la fase 1	65
Figura 4.37	Marco central con costillas de chapa y de celosía posicionadas	65
Figura 4.38	Detalle de costilla de chapa posicionada en su útil	66
Figura 4.39	Costilla de chapa 1	66
Figura 4.40	Wingtip explosionado y posicionado en la plantilla-útil del marco central	67
Figura 4.41	Grada de fase 1 con una de sus estructuras móviles de revestimientos extendida	68
Figura 4.42	Estructura móvil de posicionado de revestimientos de fase 1	68
Figura 4.43	Detalle de cuchillas y útiles superior e inferior de posicionamiento de revestimientos	69
Figura 4.44	Ejemplo real de revestimiento posicionado con costillas [11]	69
Figura 4.45	Útil de apoyo de revestimientos y Front Spar en la zona del encastre	70
Figura 4.46	Vista en planta del cajón señalando las costillas en 3DExperience	70
Figura 4.47	Detalle de la colocación de costilla, su útil y uno de los revestimientos	71
Figura 4.48	Vista de costilla de chapa posicionada con el revestimiento para su taladrado	71
Figura 4.49	Detalle inferior del útil de posicionado de barras en costillas de celosía	72
Figura 4.50	Detalles de barras de celosía posicionadas mediante posicionadores y fijas	72
Figura 4.51	Vista en perfil de barra posicionada	73
Figura 4.52	Posicionado de barras de celosía, el útil de costillas y el nervio de revestimiento	73
Figura 4.53	Posible útil para la entrada y localización de las barras de celosía	74
Figura 4.54	Detalle de posicionamiento del Front Spar	75
Figura 4.55	Detalle de la unión entre Wingtip, revestimiento y Front Spar	75

GLOSARIO

AGV: Automatic Guided Vehicle. Vehículo guiado automáticamente mediante diversas tecnologías usados para el movimiento de material dentro de una planta industrial.

BOM: Bill of Materials. Desglose de todas y cada una de las materias primas, componentes, conjuntos y subconjuntos que forman un producto, habitualmente en forma de tabla.

CAE: Computer Aided Engineering. Ingeniería Asistida por ordenador que permite la simulación, ahorrando tiempos y costes de prototipado y fabricación.

CAD/DAO: Computer Aided Design. Proceso de diseño asistido por ordenador que permite el diseño bidimensional y tridimensional.

CAM: Computer Aided Manufacturing. Fabricación Asistida por ordenador mediante máquinas de control numérico que mecanizan piezas a partir de diseños CAD.

CIM: Computer Integrated Manufacturing. Fabricación asistida por ordenador que integra herramientas CAD, CAM y CAM junto a sistemas ERP, CRM y MES (ver glosario).

DFA: Design For Assembly. Proceso de diseño a partir de los requerimientos de cliente desde el punto de vista del montaje, en el que se pretende facilitar el proceso y reducir los tiempos y costes.

CRM: Customer Resource Management. Gestión de los recursos asociados al cliente, los cuales suelen englobarse en la gestión comercial del producto, el marketing, la venta, el soporte en servicio...

EBOM: Engineering BOM. Estructuración del producto desde el punto de vista del diseño, desglosando todas y cada una de las materias primas, componentes, conjuntos y subconjuntos que lo forman.

ERP: Enterprise Resource Planning. Sistema de gestión de la producción que organiza los recursos necesarios de forma temporal.

FAL: Final Assembly Line. Línea de ensamblaje en la que se montan grandes conjuntos ya ensamblados y completamente equipados en etapas anteriores, y se prepara el avión para la entrega final a cliente.

FOD: Foreign Object Debris/Damage. Objetos no deseados que deben evitarse en la producción de aeroestructuras debido a los peligros que pueden ocasionar en servicio, tales como virutas de taladrado, tornillos, herramientas...

HTP: Horizontal Tail Plane. Conjunto compuesto por el estabilizador horizontal de una aeronave que suele incluir el timón de profundidad de la aeronave totalmente instalado.

IT: Instruction Template. Plantillas que describen la serie de elementos y secuencia de operaciones involucradas en las tareas descritas en la orden de trabajo.

KPI: Key Performance Indicators. Medidor de desempeño o indicador del nivel de rendimiento de un proceso respecto al objetivo marcado en su definición que suele expresarse en tantos por uno o por ciento.

MBOM: Manufacturing BOM. Estructuración del producto desde el punto de vista de la fabricación, desglosando todas y cada una de las materias primas, componentes, conjuntos y subconjuntos que lo forman en el orden en el que se incorporan a la producción o son manufacturadas.

MES: Manufacturing Execution System. Sistema de ejecución de la fabricación que gestiona y documenta el proceso de transformación de materias primas o elementales en productos terminados que se le entrega al cliente.

MMC: Máquina de Medición por Coordenadas. Elemento de medición compuesto por una plataforma donde se coloca el objeto a medir y un palpador que se mueve en torno al elemento, unido a un cabezal que procesa la información tomada por el sensor.

PLM: Product Lifecycle Management. Metodología y herramientas de gestión de la información generada en el ciclo de vida completo de un producto, desde su diseño a su obsolescencia.

PN: Part Number. Identificador alfanumérico muy utilizado en la industria para referenciar de forma simple y unívoca un elemento que además permite relacionarlo con conjuntos superiores o modelos en muchos casos.

PPR: Product-Process-Resources. Estructura de 3DExperience que une diferentes funciones dentro del programa digitalmente, conectado vistas del modelo a lo largo del ciclo de vida, que definen el producto, el proceso y los recursos requeridos.

PPSR: Product-Process-System-Resources. Estructura de 3DExperience que añade al entorno PPR, la recreación del sistema industrial creado en la plataforma colaborativa.

1 INTRODUCCIÓN

*Los científicos estudian el mundo tal como es,
los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido.*

- Theodore Von Karman -

El primer capítulo hace de puente de unión hacia los conceptos que se presentarán en el presente documento. Partiendo con el contexto del proyecto se pretende argumentar los motivos que han provocado su realización, junto con los puntos dispuestos a estudiar y la organización del estudio realizado.

1.1 Contexto del proyecto

La motivación del presente proyecto reside en el interés personal sobre la definición de los procesos de montaje y la industrialización requerida para ellos. Elección que estuvo influenciada por las prácticas curriculares realizadas en una planta de ensamblaje final del sector aeronáutico en la que uno de los valores principales de la empresa, como en muchas hoy en día, era la visión cliente.

Tener al cliente como foco principal de la gestión empresarial conlleva, hoy en día, la aplicación de tecnologías de la información en todas las etapas del ciclo de vida de producto. Es por esto que se hace uso de una de las aplicaciones más innovadoras de gestión de ciclo de vida de producto, la plataforma colaborativa de Dassault Systèmes: 3DExperience.

Los programas de gestión del ciclo de vida del producto (PLM por sus siglas en inglés) han cambiado por completo la forma de trabajo en la industria. Estos programas están basados en la ingeniería concurrente y colaborativa, en la que multitud de profesionales procedentes de variedad de departamentos distintos dentro de la empresa, tienen un denominador común: compartir información y proporcionar visibilidad a la empresa.

Al mismo tiempo, diferentes agentes geolocalizados en remotas partes del mundo pueden estar trabajando en etapas distintas de un mismo proyecto. Diseño, fabricación, producción, ventas, marketing o la gestión ejecutiva de un mismo producto usan día a día simuladores que les permiten reducir los tiempos y costes del programa en cuestión, agilizando tareas mediante la visualización tridimensional de elementos, layouts de plantas, procesos de fabricación, equilibrado de líneas...

Todos estos datos avalan la demanda de personal cualificado en este tipo de metodologías y la continua mejora que necesitan los programas PLM. Por ello, el departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla trabaja en un proyecto de uso de la plataforma 3DExperience, en colaboración con otras universidades, que ofrece al alumnado para su análisis y formación personal, del que forma parte este documento.

1.2 Objetivos

Este proyecto tiene como principal objetivo la definición, mediante el uso de un modelo tridimensional en la plataforma colaborativa 3DExperience, el proceso de montaje del cajón del ala de una aeronave, comparando las hipótesis respecto a datos de ensamblaje reales.

El alcance del proyecto abarca el ciclo de vida del producto únicamente en la fase de industrialización. El estudio de requerimientos, marketing, visión cliente o gestión de la fabricación no se incluyen en este trabajo.

Se ha tomado para el estudio de simulación dos maquetas distintas, una que compone el elemento a ensamblar, es decir el cajón del ala como se ha comentado, y otra que representa la grada de montaje de una de las fases de producción del cajón de torsión. Ambas han sido cedidas por el Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Sevilla.

El caso práctico se desarrolla en torno a la definición de las operaciones de montaje necesarias, su secuencia y el utillaje necesario para llevarlas a cabo. Para la definición de la secuencia de montaje se utiliza Manufactured Item Definition, una de las aplicaciones del conjunto DELMIA integrado en la plataforma 3DExperience.

1.3 Contenido de la memoria

A continuación se resume el contenido de los siguientes capítulos de este documento.

En el capítulo 2 se ofrecen datos históricos en la evolución de las herramientas CAD hasta las plataformas PLM, en auge hoy en día. Se ofrece un sub-apartado completo con el análisis cronológico de las mejoras implementadas por Dassault Systèmes en sus distintos módulos. Por otro lado, como el montaje estudiado dispone de multitud de utillaje, se hace una introducción al uso de este, en concreto en el sector aeronáutico y se clasifica según la utilidad que requiera el proceso productivo. Se añaden también, dos apartados complementarios sobre ergonomía y líneas de montaje ya que el proceso en cuestión reduce en gran medida la movilidad de los trabajos manuales y se analiza el proceso por fases de una línea a pulso.

El capítulo 3 ofrece las aplicaciones de simulación de procesos en la plataforma colaborativa más usadas pertenecientes al módulo DELMIA y se adelantan las que van a usarse en la metodología de trabajo y las que se propondrán como posibles trabajos futuros.

En el capítulo 4 se desarrolla el caso práctico elegido con la metodología que se enuncia a continuación. En primer lugar se describe la aeronave, identificando las partes de las que se compone, describiendo la lista de materiales. Posteriormente se crea el orden de fabricación en la plataforma y se justifica este desde dos visiones. La primera de ellas describe el proceso de montaje mediante la división de éste en estaciones. La segunda hipótesis abala el utillaje usado según las operaciones a realizar.

Para concluir, en el capítulo 5 se proporcionan los resultados o conclusiones obtenidas tras el estudio realizado, la opinión personal al respecto, las posibles mejoras de éste y las líneas de desarrollo que se abren a raíz de este proyecto.

2 HERRAMIENTAS PARA LA DEFINICIÓN DE LINEAS DE MONTAJE AEROÁUTICO

*Tanto los optimistas como los pesimistas contribuyen a la sociedad.
El optimista inventa el avión y el pesimista, el paracaídas.*

- George Bernard Shaw -

Desde los inicios del sector informático, se han desarrollado multitud de aplicaciones para el diseño asistido por ordenador debido a la necesidad real del ser humano de representación de una idea geoméricamente, las cuales han permitido lograr el nivel de complejidad técnica adquirido hoy en día.

Partiendo del proceso clásico de diseño compuesto por las fases de: definición o concepto a partir de los requisitos, creación del modelo, planos de detalle, prototipado, pruebas y documentación para la posterior fabricación, se pretende explicar a continuación la evolución de los siguientes conceptos:

- CAD o DAO: “Computer Aided Design”, o en castellano “Diseño asistido por Ordenador”
- CAM: “Computer Aided Manufacturing”
- CAE: “Computer Aided Engineering”
- CIM: “Computer Integrated Manufacturing”
- DFA: de las siglas en inglés “Design For Assembly”
- PLM: “Product Lifecycle Management”

2.1 Evolución de las herramientas CAD/CAM/CAE

Después de la Segunda Guerra Mundial, el diseño y los requerimientos de fabricación de la industrial aeroespacial se unieron para crear programas asistidos por computador. Se cree que en 1959, el MIT (Massachusetts Institute of Technology) fue el primero en crear el diseño asistido por ordenador para un programa del ejército de los EEUU, con la capacidad de representación de cilindros, conos o elipses.

Hubo que esperar a la publicación en 1974 de Pierre Bézier para Renault para la incorporación a los programas de diseño sus métodos de diseño de curvas y superficies. En los cuales trabajo paralelamente con Paul de Casteljaou para Citroen desde 1958. Son, por tanto, los sectores de la aeronáutica y automoción, los creadores del concepto CAD y por ello los pioneros en comercializar estos sistemas en torno a los años 70, pero a precios desorbitados. Hubo que esperar a 1982, para que los consumidores más modestos pudiesen usar esta tecnología, con la creación de AutoCAD, el programa de diseño más usado hoy en día, gracias a IBM.

Sin embargo, estos programas requerían grandes prestaciones y por ello han necesitado de la evolución del hardware para ofrecer velocidad y realismo. Con la llegada de mejores ordenadores, se obtuvieron software CAD como son los conocidos: CATIA, Solid Works, Solid Edge, etc

El proceso clásico de diseño se acelera con el uso de herramientas CAD en las fases de modelado, prototipado y pruebas, que permiten una disminución de costes gracias a la simulación virtual o la fabricación de piezas (paquetes CAM).

Cuando al uso de estas herramientas tecnológicas se le suma la capacidad de cálculo hablamos de programas CAE, los cuales son capaces de realizar tareas como el cálculo de estructuras mediante el Método de los Elementos Finitos o la resistencia aerodinámica, evitando en muchos casos las etapas de pruebas destructivas o primeros prototipos para prueba-error. Como puede verse, son herramientas complementarias, no tienen sentido unas sin las otras. Es necesario un diseño CAD para poder aplicarlo en herramientas CAM o CAE.

En la década de 1980 se empezó a desarrollar la fabricación integrada por ordenador (CIM) como una metodología para la integración de todos los sistemas de fabricación de una empresa: máquinas de control numérico, robots, sistemas automatizados de transporte de materiales, sistemas de control de la producción y, por supuesto, las herramientas de CAD/CAM/CAE. Los objetivos del CIM eran maximizar la producción y flexibilizar los sistemas productivos, permitiendo la modificación del flujo de operaciones de fabricación y los programas a través de la interrelación entre la maquinaria y las funciones de éstas mediante cambios relativamente simples.

Como se explica más adelante, la tendencia actual respecto a las necesidades industriales subsanadas con programas informáticos ha cambiado. Mientras que en los años 80 se buscaba con el CIM lograr unos valores mayores de productividad en la generación del producto deseado, ahora las empresas demandan herramientas enfocadas al cliente, que les permitan ampliar su mercado y faciliten las relaciones entre los distintos agentes involucrados en el diseño, fabricación, logística o venta de un producto.

2.2 Aparición y auge de las herramientas PLM

Ya en los años 80, la capacidad de incorporación de información en los paquetes CAD había crecido enormemente. Estos datos de producto necesitaban de una gestión correcta de la información, por lo que se crearon los llamados PDM (Product Data Management).

Las distintas funcionalidades de estos nuevos programas estaban orientados al control personalizado de cada producto y empresa, pero el principal uso es el de gestionar las revisiones en las listas de materiales (BOM) y las distintas soluciones de diseño de los planos, estableciendo una estructura organizada de cambios y documentos que comparar y guardar. El departamento de Ingeniería o diseño iba recopilando esta primordial información. Una de las principales ventajas que ofrecen aun hoy en día estos programas es poder encontrar fácilmente la versión más actualizada de un plano, sabiendo su estado, últimos cambios, creador, etc.

Debido a la gran utilidad de la plataforma, se fueron creando más “apartados” orientados a distintos departamentos y datos de la vida de producto, apareciendo el concepto de PLM o Product Lifecycle Management.

Hoy en día, este tipo de herramienta es primordial en la gestión de grandes cantidades de datos de un producto, convirtiéndose incluso en elemento de venta y marketing. Por lo que los costes de compra suelen ser elevados que se compensa con el gran rendimiento y adaptabilidad que ofrece una plataforma colaborativa. A largo plazo se ha demostrado, que las herramientas PLM aumenta la productividad general del producto, sobre todo en etapas tempranas donde se necesita de ingeniería concurrente, lo que minimiza el tiempo necesario para desarrollar el producto, para revisarlo o para saber el coste final del producto. Además de evitar la creación de los costosos prototipos debido a las simulaciones y reducciones en el tiempo ciclo de fabricación posterior. De esta forma, se logra mejorar los tiempos de comercialización y la calidad general del producto y proceso.

Sin embargo, el alcance de la información introducida en la herramienta siempre supone un reto. Necesita de un estudio profundo de la vida completa del producto a ofrecer al cliente final, desde los requerimientos iniciales al marketing de la etapa final. Existen diferentes partes del ciclo completo de producto que aportan distinta información, pero que aúnan información sobre qué, quién y cómo se genera el producto:

- Etapa de diseño o concepción de producto: requerimientos, componenetes, documentación...
- Etapa de producción: datos de manufactura
- Etapa de operaciones o soporte: recursos humanos, financieros, marketing...
- Etapa de mantenimiento: recursos de soporte tras la puesta en servicio
- Incluso la eliminación del producto y su imapacto medioambiental.

La creación de contenido en la plataforma está concedida a usuarios tipo “editor”, con autorización para hacer cambios. En los que se incluyen los distintos clientes, proveedores, subcontratas, etc

El alcance de las plataformas no engloba la gestión de proyectos para la creación del producto. Es decir, nos dice qué y cómo fabricarlo pero no dónde y cuándo hacerlo. De esta forma, la plataforma se consolida como una herramienta de información y simulación y no de adaptación a la cadencia en la producción, o de la variabilidad en la economía de la empresa.

Para la gestión temporal y logística de los productos se usan herramientas tipo ERP (Enterprise Resource Planning) y MES, de ejecución de la fabricación y en el área de operaciones, herramientas tipo CRM (Customer Resource Management). Las primeras tratan de la gestión del tiempo y el proceso, de su flexibilidad y mejora, mientras que la segunda tiene como principal objetivo el servicio al cliente, desde la oferta, los asuntos financieros relacionados y la propia venta.

Los programas PLM hoy en día incluyen esa primera funcionalidad de gestión de la documentación, a las que se le suman aplicaciones para definir los flujos de procesos, crear distintos programas, diversidades, configuraciones... Todo desde un punto de vista colaborativo, mediante visualizaciones poco pesadas de maquetas tridimensionales, mediante aplicaciones que permiten el intercambio de información (que puede quedar reflejada en tiempo real) entre distintos agentes del sistema productivo. En definitiva, son la principal herramienta de innovaci

Debido a la producción internacional y diversificada de la industria automovilista o aeroespacial, unido al gran número de actores involucrados y multitud de piezas usadas, han sido los sectores innovadores en este tipo de herramientas informáticas desde los inicios, como se ha hablado en apartados anteriores. En concreto para el sector aeronáutico, la larga vida ciclo de las aeronaves (incluida la puesta en servicio y mantenimiento) complica en gran medida la gestión, además del gran coste que genera la limita fabricación de prototipos, hace que las plataformas PLM sean la solución de compromiso ideal.

2.3 3DExperience: plataforma colaborativa de CAD/CAM/CAE y PLM

La industrialización de un producto conlleva multitud de pruebas y fabricación de prototipos, por lo que la simulación genera un ahorro de tiempo y dinero enorme en las industrias que incluyen en sus herramientas informáticas a programas como 3DExperience. Este tipo de software permite recrear multitud de escenarios diferentes sin coste con físico a un nivel de detalle altísimo, que llevan únicamente a la corroboración real cuando ya se ha elegido una de las opciones. Esta herramienta de decisión permite reducir los tiempos de diseño en gran medida y los errores de implementación, que suelen tener grandes costes.

La compañía francesa Dassault se fundó en 1981 y tuvo como líder a Francis Bernard. Esta tenía como objetivo la creación de un software CAD para facilitar los diseños de aeronaves, que posteriormente sería conocido como

CATIA. Este posteriormente fue vendido a IBM, que consiguió exportar el producto de la industria aeronáutica al automovilístico, con grandes empresas como Mercedes y BMW. Sin embargo, la idea de esta plataforma innovadora fue propiedad de Quest y vendida posteriormente a Dassault Systèmes.

Hasta los últimos años del siglo 20, no se introdujo el concepto de gestión de vida de producto en el programa, por lo que en 1997 existiría una parte de programa diseño 3D y otra encaminada en torno a la búsqueda de clientes. Al año siguiente, se consiguen mejoras en la incorporación de datos de producto CATIA, creándose ENOVIA como herramienta de gestión de estos.

Dassault Systèmes desarrolló en los inicios de este siglo la aplicación de simulación de sistemas de producción y fabricación DELMIA, con la incorporación de grandes catálogos para visualizaciones de brazos robotizados y personas figuradas en los entornos industriales simulados. El realismo de las recreaciones virtuales mejoró en gran medida con la incorporación de la empresa Abaqus Inc, que conllevó el cambio de nombre hacia SIMULIA. Esta incorporación trajo consigo la integración con el resto de funcionalidades de aplicaciones de cálculo aplicado a la ingeniería (CAE).

En 2012 se lanzó la primera versión de 3DEXperience que aún sigue en desarrollo y que propone una plataforma basada en la experiencia de cliente industrial mediante la unificación en una sola herramienta las aplicaciones mencionadas de diseño, gestión y simulación de forma colaborativa entre departamentos. Se persigue la capacidad de personalización del entorno para adaptar el programa a cada necesidad de industrialización sin distinción entre sectores.

En los últimos años, con la incorporación de las empresas Netvibes y SquareClock, se ha conseguido la incorporación de Dashboard o entornos personalizados de trabajo inteligentes, mejorando el diseño, la interfaz y la experiencia de uso.

La empresa define 3DEXperience en su página web [10] como “PLATAFORMA PROFESIONAL DE EXPERIENCIAS. Proporciona soluciones de software para cada uno de los departamentos de la empresa, desde marketing a ventas o ingeniería.”. Las aplicaciones están disponibles en el escritorio de trabajo pero además tienen una interfaz web de visualización más simple. Para maximizar la cantidad de información disponible, los productos o elementos se encuentra en la nube con accesos configurados por roles.

Como curiosidad, GEOVIA es el apartado dedicado al cuidado ambiental dentro de la plataforma, entendiendo los recursos naturales como sector de la industria más a analizar, aprovechar y gestionar, como la ingeniería de minas.

Se incluyen a continuación una serie de tablas clasificatorias de las funcionalidades de cada gran apartado o módulo mencionados anteriormente:

Tabla 2.1 Funcionalidades de CATIA

1	Modelado 3d de piezas
2	Ensamblaje de conjuntos
3	Modelado de sistemas
4	Diseño de sistemas eléctricos
5	Diseño electrónico
6	Diseño de tuberías
7	Modelado de chapa

Tabla 2.2 Funcionalidades de SIMULIA

1	Análisis MEF
2	Análisis estructural
3	Análisis térmico
4	Fluidodinámica

Tabla 2.3 Funcionalidades de DELMIA

1	Validación de prototipos
2	Simulación de procesos de fabricación
3	Diseño de layout
4	Análisis de recursos
5	Análisis de procesos
1	Validación de prototipos
2	Simulación de procesos de fabricación

Tabla 2.4 Funcionalidades de ENOVIA

1	Gestión de configuración
2	Gestión de documentación
3	Gestión de programas
4	Gestión de requisitos de cliente
5	Gestión de fabricación
6	Verificación de la calidad
7	BOM
8	Aplicaciones de inteligencia de la información

Estos cuatro ámbitos se reflejan en el logo actual del programa, el cual funciona de menú de aplicaciones dentro del software de escritorio y el entorno web. Este se adjunta en la Figura 2.1.



Figura 2.1 Menú del entorno colaborativo 3Dexperience [12]

2.4 Utilaje en el montaje aeronáutico

El concepto de utilaje define a todo instrumento usado para la manufactura o producción de una pieza, conjunto o sistema que ha sido creado para una función específica dentro del programa en cuestión, tales como:

- Referenciar la posición de un elemento respecto a un sistema de referencia, forma, taladro...
- Fijar el elemento durante las operaciones a realizar
- Soportar y proteger las partes durante movimientos logísticos y tiempos de espera
- Realizar pruebas funcionales y de superficies aerodinámicas
- Mediciones dimensionales
- Facilitar, reducir o evitar las operaciones repetitivas o que necesitan personal altamente cualificado
- Hacer más seguro y cómodo el acceso del operario a la zona de trabajo

Sin embargo, las máquinas herramientas univversales como las taladradoras o remachadoras y las herramientas asociadas no se incluyen en esta definición ya que no han sido creadas para el producto en cuestión. De igual forma quedan excluidos los elementos universales de medida.

Por el contrario, la creación de un útil exclusivo para cierta operación debe quedar respaldada por la mejora de la productividad y la calidad del proceso productivo, es definitiva, bajando los costes y creando productos idénticos. Con el segundo propósito enunciado, se presenta el concepto de intercambiabilidad y reemplazabilidad tan importante en el sector aeronáutico que permiten que un elemento pueda montarse independientemente de quien lo fabrique en un conjunto de orden superior.

El concepto de intercambiabilidad describe la cualidad de una pieza o conjunto para poderse montar en otro conjunto recíprocamente, por ejemplo, la capacidad de utilizar una puerta diseñada para el avión número 84 en el avión 80 porque la puerta del avión 80 llega a la línea de montaje defectuosa, a pesar de que ambos aviones tengan configuraciones diferentes, sin necesidad de grandes retrabajos.

Existen diferentes tipos de intercambiabilidad: la de contrato y la de fabricación. La primera es pactada con el cliente mientras que la segunda nace del interés de facilitar la integración de los elementos con el conjunto superior, en parte motivado por la problemática de fabricación y montaje en diferentes países.

El concepto de reemplazabilidad tiene como objetivo el intercambio de elementos recíprocamente teniendo que realizar retrabajos u operaciones de ajuste para que casen los elementos y/o conjuntos. Existen elementos reemplazables por contrato y por fabricación igualmente.

Debido al bajo número de aeronaves que se suelen crear para una serie o programa en el sector, comparando por ejemplo con la automoción, los útiles a utilizar se caracterizan por tener un gran ciclo de vida y muy manual, no suelen utilizarse grandes autómatas. Son útiles muy exactos y variados, debido a la gran variabilidad de piezas que componen un avión, que deben servir casi para la totalidad de la serie, en torno a más de 25 años. Cuando se utiliza más de un útil al mismo tiempo, para un posicionado por ejemplo, debe haber coordinación entre los mismo, encareciéndolos. Para cumplir con los requisitos de intercambiabilidad y reemplazabilidad, es necesario incluir en el conjunto de utilaje, diversos elementos de medida o comprobación rápida de los elementos.

Todo el conjunto de características enunciadas, conllevan un grado de mantenimiento predictivo y preventivo alto, con multitud de revisiones periódicas y arreglos para evitar el deterioro. Los calibres patrones en concreto son responsabilidad del departamento de Calidad de las compañías, objeto de auditorías, a pesar de que a menudo se le delega el mantenimiento a empresas externas.

Los distintos útiles pueden clasificarse según su función. Hablamos de utillaje de referencia a los involucrados en la creación de otros útiles como maquetas, calibres de intercambiabilidad o plantillas. Es decir, los útiles de referencia son recreaciones fieles del producto a conseguir, el cual se toma como referencia para fabricar útiles que faciliten el proceso de manufactura real, ya sean dimensionales o útiles de fabricación. Estos últimos son los utilizados para la producción, en los que se incluyen los útiles para fabricación de elementales y la soportación del producto, es decir, están en este grupo los usados para crear las propias gradas, los soportes, los accesos y transporte. El utillaje de control engloba a los útiles que tiene como finalidad el cumplir con las especificaciones dimensionales y funcionales.

Se presentan a continuación algunos ejemplos de utillaje:

De fabricación como plantillas dotadas de galgas y centrajés que permiten la coordinación entre útiles y el elemento.

Algunos de los útiles dimensionales más automatizados usados en la industria aeronáutica pueden ser las máquinas de medición por coordenadas (MMC) o laser tracker's. En la Figura 2.2 se muestra una de estas máquinas en uso en la factoría de Airbus Helicopters [14].



Figura 2.2 Leica Absolute Tracker AT960 de Hexagon en Airbus Helicopters [14]

Por el contrario, los calibres mecánicos para el control de la referencia e intercambiabilidad. Estos se clasifican, como se ha adelantado antes, según su uso: el calibre patrón de control representa el elemento a fabricar, el calibre patrón de utillaje sirve para la fabricación del propio utillaje, y el de comprobación hace del elemento que recibe al elemental que se quiere montar.

Estos calibres físicos tienden a la desaparición con la incorporación de las nuevas tecnologías, ya que un laser tracker permite la comprobación de referencias y dimensional del producto a partir de su diseño CAD y las tolerancias permitidas, haciendo el proceso más rápido y reduciendo los fallos. Además de dotar de una mayor flexibilidad, el laser puede reprogramarse para otra tarea o programa, haciendo más llevadera la amortización del coste de adquisición que supera a los patrones convencionales.

2.4.1 Utillaje y proceso productivo

Tras la introducción y clasificación del utillaje, se destaca la diversidad de útiles que surge de la clasificación de estos por el proceso de fabricación en el que se utiliza.

Para las partes o piezas elementales suele usarse el conformado por presión hidráulica, lo que exige la creación de un útil que dé forma y posicione al material mediante taladros y centradores o fijas.

En el caso de pequeños subconjuntos, se ensamblan las piezas elementales con útiles relativamente simples y sin automatismos. Pero a la hora de montar grandes conjuntos y subconjuntos con elementales, se necesita un línea

de montaje dividida en fase o estaciones que constan de gradas automatizadas.

Es común el uso la combinación de posicionadores de control numérico y laser tracker para el ensamble de subconjuntos o conjuntos, como por ejemplo la unión del grupo alar con la sección central del avión.



Figura 2.3 Ejemplo de integración con posicionadores y laser tracker [15]

En la Figura 2.3 puede observarse el conjunto posicionador mediante laser tracker en la integración del grupo alar de un Bombardier [15]. Se señalan en azul los posicionadores automatizados que son controlados por el puesto de mando, que se señala en morado, mediante control numérico y la comparación con el diseño tridimensional del conjunto. En rojo se redondea el laser, el elemento activo que lanza el haz de luz y que se realimenta de la proyección proveniente de multitud de espejos o dianas en las piezas a unir. En verde se señalan varios puntos de referencia usados para centrar el sistema.

En la Figura 2.4 se muestran las distintas rotaciones que suelen ofrecer los laser tracker's para apuntar el haz de luz hacia los espejos colocados estratégicamente en las piezas a posicionar. Estos se retroalimentan con la distancia existente entre el haz de luz y el espejo, posicionando en el espacio tridimensional el espejo respecto al eje de coordenadas que representa el foco de luz.



Figura 2.4 Haz de luz entre láser y espejo y movimientos del láser [16]

En la Figura 2.5 se añade un detalle de un posicionador real, donde pueden observarse los mecanismos que mueven con precisión el elemento hasta colocarlo en la posición correcta.



Figura 2.5 Detalle de posicionador [11]

2.4.2 Montaje de útiles

Debido a que los útiles hacen de guía para el proceso a realizar necesitan de un montaje con exactitud en el posicionado. Para esta tarea se usan posicionadores ópticos, maquinas tridimensionales de medición o laser tracker. Además de que en su fabricación suelen usarse resinas epoxi que evitan el deslizamiento y mejora la coordinación de los taladros, taladrado manual de exactitud y multitud de bulones y pasadores desmontables o fijos.

El primer paso es definir el sistema de referencia principal respecto a la grada de montaje, respecto al que se sitúa el útil mediante las herramientas nombradas.

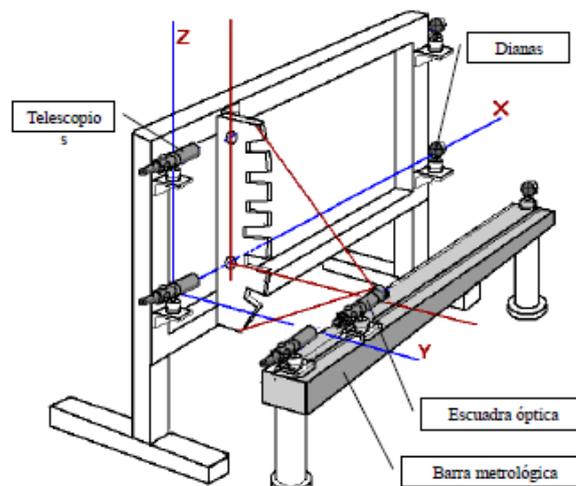


Figura 2.6 Sistema de referencia principal y útil montado usando alineación óptica tradicional [11]

El método representado en la Figura 2.6, el de óptica tradicional, conlleva el requisito de personal altamente cualificado que ponga a funcionar el sistema y sea capaz de medir el posicionado. Al contrario que en otros métodos, la máquina no genera un informe de la comprobación, por lo que pueden existir fallos en la toma de datos.

De igual forma, para la medición mediante palpado 3D se necesita un gran espacio y despliegue de la máquina, aunque se reduce la precisión humana necesaria y si que genera una hoja de resultados.

La problemática nombrada queda eliminada con el uso de laser tracker ya que éste permite un montaje rápido del instrumento por parte de operarios con menos experiencia y genera un informe de la medición y movimientos realizados que permiten una fácil resolución de fallos y el posterior aprendizaje. A lo que se le suma la capacidad de movimiento y flexibilidad del láser.

2.4.3 Ergonomía

En la búsqueda de una definición de ergonomía aceptable se han encontrado distintos enunciados. Por ejemplo, según la Asociación Internacional de Ergonomía [17]: “la ergonomía es el conjunto de conocimientos científicos aplicados para que el trabajo, los sistemas, productos y ambientes se adapten a las capacidades y limitaciones físicas y mentales de la persona”. Pero sin embargo, según la Asociación Española de Ergonomía, “la ergonomía es el conjunto de conocimientos de carácter multidisciplinar aplicados para la adecuación de los productos, sistemas y entornos artificiales a las necesidades, limitaciones y características de sus usuarios, optimizando la eficacia, seguridad y bienestar”.

Por lo tanto, existe la prueba irrefutable de que las normas de ergonomía a seguir cambian según el país donde se fabrique el producto, donde hay unas leyes de seguridad y salud en los trabajos específicos a las que se le unen las aplicables para cada empresa cliente o programa.

Si extendemos el concepto de ergonomía a la creación de utillaje, el diseño debe encaminarse hacia mejorar la seguridad en el trabajo para reducir los accidentes y adaptar los trabajos a cada miembro del personal mediante estudios antropométricos. Ya que esto repercute en la reducción del lead time de la operación en la que el operario se ayuda de útiles, lo que conlleva la disminución de costes. Por ello, algunos aspectos a tener en cuenta en el uso de utillaje en los procesos productivos son:

- Iluminación de puntos clave de la operación a realizar
- Altura en torno a 1,2 m desde el suelo a la mano
- Barandillas en gradas y plataformas elevadoras, cuidando la distancia entre estas
- Uso de superficies antideslizantes en suelos
- Señalización de obstáculos
- Almacenaje óptimo del utillaje en puntos de uso respecto a la zona de trabajo

Todas estas cuestiones pueden ser simuladas en 3DExperience, en el paquete correspondiente a DELMIA, permitiendo tener un primer “feedback” del operario virtual dentro de la plataforma respecto al útil diseñado.

Una aplicación para el montaje de aeronaves bastante común es la simulación de la ergonomía en las tapas de acceso y manholes, como la que se representa en la Figura 2.7. En la que se comprueba la maniobrabilidad que tiene la persona encargada de meterse dentro del cajón del ala, por ejemplo, para una tarea de mantenimiento de tanque.

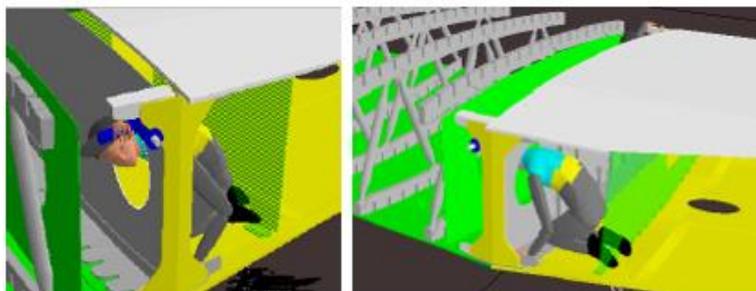


Figura 2.7 Simulación de operario accediendo entre los manholes de costilla mediante DELMIA

2.5 Líneas de montaje

Una línea de producción es una sucesión de estaciones de trabajo donde se realizan operaciones con precedencia para conseguir un objetivo. Es decir, se compone de un conjunto de maquinaria dispuesta secuencialmente por la cual va moviéndose y creándose el producto final. Cada tarea o conjunto de operaciones tiene un tiempo asignado pero la producción no siempre es una secuencia lineal, y a menudo existen operaciones más largas o difíciles que otras que generan el cuello de botella de la línea.

En estas líneas se intenta que las máquinas sean lo más específicas posibles para cada operación, siendo más simples y menos costosas, además de más flexibles. Un punto negativo de estas para el sector automovilístico, es que reducen la gama de productos que se generan, pero que encaja a la perfección con el sector aeronáutico.

Existen dos grandes grupos de líneas en función de los procesos que se realizan, las orientadas al montaje y a la fabricación.

En las líneas de ensamblaje se consigue un conjunto montado a partir de la entrada de material de conjuntos menores, elementales y normales, en los que interviene capital humano y maquinaria trabajando a un ritmo marcado.

En las líneas de producción se consigue el producto final a través de la transformación de la materia prima que entra a la línea. Tienen mayor automatización debido a que las operaciones de mecanizado, taladrado, estampación, unión... se realizan mediante máquinas herramientas controladas por personal. Los movimientos del producto entre operaciones y/o buffers se llevan a cabo mediante cintas, AGV's, brazos robotizados en las líneas automáticas y en las manuales las hace el personal.

Las líneas de montaje puede clasificarse a grandes rasgos en función de distintos criterios como:

- Tipo de producto
- Ritmo del flujo
- Entrada de material
- Nivel de automatización
- Layout

La primera pregunta para elegir la línea de montaje a implantar es qué producto se quiere generar. En el caso de un producto único se habla de líneas simples pero al incluir pequeñas variantes de este tenemos líneas mixtas. En estas últimas no se necesita cambio de máquina de una variante a otra, es decir, me sirve la misma taladradora pero se realizan distintos taladros.

En cambio, cuando los productos tienen grandes cambios entre sí, hablamos de líneas multi-modelo, con tiempos de cambios de instrumentos tangibles. La producción tiende a ser por lotes de cada modelo.

Se entiende por línea síncrona a toda cadena de montaje en el que existen estaciones de trabajo con un tiempo ciclo igual donde el conjunto va moviéndose de estación a estación. Cuando no se consigue equilibrar la línea para igual los tiempos ciclo de cada estación, se habla de líneas asíncronas, donde existen buffers donde las piezas "esperan" a ser montadas en el conjunto superior. Estas líneas, desde el punto de vista del Lean Manufacturing, se dice que tienen desperdicios.

Otra de las cuestiones a tener en cuenta, es cómo llegan los materiales elementales para ser ensamblados a la línea. Cuando la línea es síncrona, la entrada de material se adapta al tiempo ciclo para reducir el stock. En contraposición, en las líneas de entrada variable las piezas llegan en intervalos variables en función de la demanda.

Según el nivel de automatización de una línea de montaje, se entiende por líneas robotizadas a las que no tienen capital humano de producción y los procesos siguen una secuencia automática. Sin embargo, una línea manual puede estar automatizada, pero su nivel software es bajo.

Se ha dejado en último lugar el layout ya que en gran medida es éste el que depende del resto de variables o parámetros de clasificación. El layout más simple es aquel en el que se colocan todas y cada una de las estaciones en serie. Cuando en esta configuración existe alguna tarea con un ciclo de trabajo mayor, suele proponerse la distribución de operaciones con el resto de estaciones o la duplicación de la estación considerada cuello de botella. Esta última decisión tiene como resultado la configuración de estaciones en paralelo.

Se habla de líneas de montaje en paralelo cuando se disponen dos líneas iguales para distintos modelos.

Las líneas de dos lados se ven a menudo en la industria del automóvil, donde se trabaja simultáneamente a ambos lados de la misma unidad de producto.

Un modelo de líneas de montaje menos convencionales son las líneas cerradas o circulares en las que en una cinta de circuito cerrado acerca el producto a las distintas estaciones de trabajo donde personas o robots hacen la operación requerida para el montaje y vuelven a dejar la pieza en la cinta.

3 APLICACIONES 3DEXPERIENCE PARA LA SIMULACIÓN DE PROCESOS DE MONTAJE

La simulación no es un sustituto de las matemáticas, nunca podría proporcionar una prueba, pero si la suposición de Peskin fuera falsa, este enfoque me ahorraría mucho tiempo al revelar un contraejemplo. Este tipo de evidencia es extremadamente valiosa en matemáticas. Cuando intentas probar algo, ayuda saber que es verdad. Eso te da la confianza que necesitas para seguir buscando una prueba rigurosa. Programación.

- Steven Strogatz -

En este capítulo se incorporan las aplicaciones del módulo DELMIA que ofrece la plataforma 3DExperience más utilizados. Debido al alcance limitado del proyecto, en el desarrollo del análisis del proceso de montaje únicamente se hace uso de la primera de ellas: Manufactured Item Definition. Se propone como trabajo futuros la creación del sistema completo mediante el uso de las herramientas que se plantean en este apartado, que permitirían obtener una visión más general del programa aunque ni mucho menos completa de éste debido a sus grandes funcionalidades.

3.1 Manufactured Item Definition

Antes de comenzar con la explicación detallada de la aplicación, se procede a desarrollar ciertos conceptos.

La lista de materiales o BOM, conocida por las siglas en inglés de Bill of Materials es un listado donde se enumeran los distintos ítems formados por las materias primas, piezas, componentes, conjuntos intermedios, subconjuntos y cantidades de cada uno de los elementos necesarios para la fabricación de un producto final, que tiene como objetivo la comunicación entre los distintos departamentos o agentes involucrados en la actividad industrial.

Existen varios tipos de BOM según el fin de la información a expresar, de los cuales se han usado en el presente trabajo:

- EBOM, Engineering Bill of Materials, que define los productos tal como se han ideado en el proceso de desarrollo de la idea de product o As designed
- MBOM, Manufacturing Bill of Materials, ordenando los elementos para su fabricación o As built.

La distinción entre ambas listas de materiales es el primer paso para iniciarse en la herramienta. La variable de entrada o EBOM para la aplicación Manufactured Item Definition es una estructura de Parts tridimensionales ordenados en sub-products y products desde el diseño del modelo 3D que se quiere analizar.

La herramienta permite la obtención de la MBOM gracias a la creación de un diagrama de flujo mediante una interfaz cómoda. Se crean Tiles o bloques en el que asignar una determinada parte, conjunto de piezas o producto para obtener uno mayor. Con la creación de la estructura necesaria que expresa el orden de unión entre elementos, se consigue el nodo de procesos, la incorporación cronológica de cada parte al proceso de montaje.

El programa, para poder adaptarse a la gran casulística de la fabricación, ofrece distintas clasificaciones para las Tiles, las cuales van a desarrollarse a continuación ya que se usarán en adelante:

- Provided Part: entrada de material en forma de una sola pieza
- Manufactured Part: tile similar a la Provided Part que require un proceso de fabricación anterior.
- Manufacturing Kit: conjunto de piezas o Provided Parts que tienen algo en común pero no entran al proceso ensamblados
- Manufacturing Assembly: conjunto montado de Provided Parts que forman un solo elemento unido.

En la Figura 3.1 se aporta como ejemplo de la clasificación anterior el desglose de una motocicleta. Se entiende que el grupo rueda-llanta-carcasa forma un Manufacturing Assembly a partir de distintas piezas. La carcasa y la rueda podrían ser Provided Part, al unirse a la cadena externamente, mientras que la llanta podría necesitar un mecanizado anterior al montaje, convirtiéndose en Manufactured Part. Sin embargo, los elementos de unión señalados como Manufacturing Kit forman un juego de piezas necesarias, que tienen relación entre ellas, pero no entran al conjunto ensambladas entre sí.

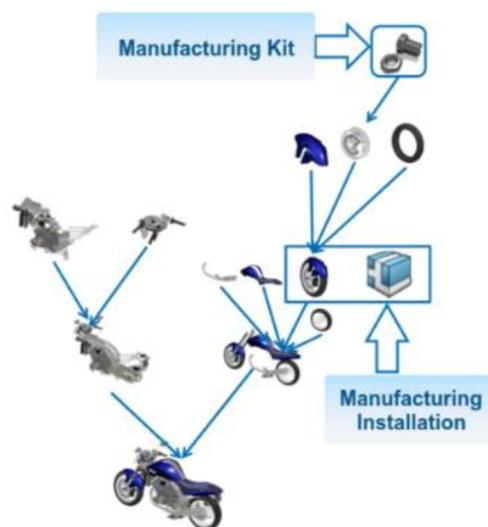


Figura 3.1 Desglose de un producto según su fabricación [12]

Además de los indicados, existen pasos intermedios como el Fasten, el cual se obvian en este análisis debido a la gran cantidad de uniones iguales por remachado. El elemento de unión es normalizado y se usa en gran número de ocasiones, por lo que no ofrece una información realmente útil para el desglose del proceso de montaje.

A efectos prácticos del uso de la herramienta, el primer paso es abrir desde la plataforma colaborativa un archivo tipo Product que haga de EBOM que asignar al nodo de proceso o MBOM buscada. De esta forma se consigue un modelo que define dentro del entorno PPR la entrada y salida de la aplicación, el resultado de las relaciones entre los ítems de la entrada o EBOM de un solo vistazo.

Tras crear la relación entre listados o Scope, se realiza un proceso muy sencillo de arrastre o Drag and Drop de los ítems de EBOM a cada una de las casillas o Tiles que se van creando, como puede verse en la Figura 3.2. Existen otros métodos de asignación como el Assignment Manager donde se ofrece una interfaz de ventanas y desplegable entre EBOM y MBOM.

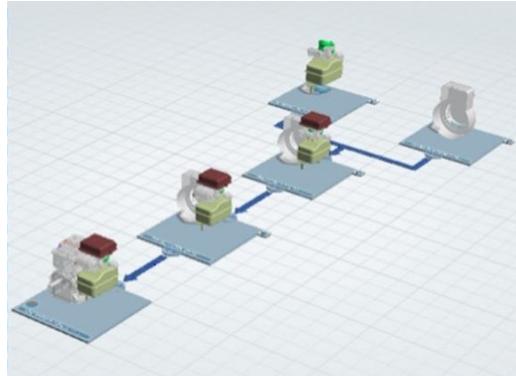


Figura 3.2 Tiles de la MBOM de un motor [12]

Dentro de los menús de la aplicación Manufactured Item Definition cabe destacar la utilidad del menú B.I. Essentials. Este permite gestionar distintos códigos de colores para realizar distintos análisis en el entorno PPR. Entre los existentes, se resalta el modo Product Assignment Status, el cual da a conocer el estado de asignación de los ítems de la EBOM en las tiles creadas en el momento del análisis, como se muestra en la Figura 3.3.

Color	Status	Description
	Associated with scope	The product has a scope link to an MBOM object.
	Not assigned	The product is not yet assigned, but can be assigned when taking into account assignment rules and scopes.
	Assigned indirectly	The product that is not assigned, but its parent is assigned to an MBOM object.
	Assigned directly	The product is directly consumed by an MBOM object.
	Assigned more than once	The product is assigned to at least two MBOM objects. This is possible, for example, if the product is assigned to MBOM objects that have different applications.
	Non-assignable	The product cannot be assigned. Considering the scopes, some products cannot be assigned because this would lead to the violation of assignment or scope rules.
	Assigned on predecessors (Smart Zoom)	A product that is assigned to a predecessor. In Smart Zoom mode, the 3D display of the product is colored yellow.

Figura 3.3 Código de colores usado por Product Assignment Status [12]

3.2 Process Planning

En el módulo Process Planning, 3DEXperience ofrece la posibilidad de definir un enlace o Scope entre la MBOM y los flujos del proceso, es decir mediante la creación de operaciones y sistemas o conjuntos de estas.

La herramienta añade un nodo más al entorno PPR, el nodo de sistema, creando un archivo de tipo PPSR en el que se describe el sistema productivo. La interfaz de relación de nodos es la misma que la anteriormente relatada: una serie de tiles que permite asignar cada Provided Part o Manufacturing Assembly a cada una de las operaciones, las cuales pueden unirse en sistemas. Al contrario que en Manufactured Item Definition, en Process Planning las tiles no tienen que formar una estructura ramificada, pueden colocarse libremente en la zona de trabajo, dando un paso más hacia la industrialización de la línea. Un ejemplo de lo enunciado puede verse en la Figura 3.4, donde la línea azul marca el flujo del proceso, no lineal, entre las distintas tiles organizadas por sistemas.

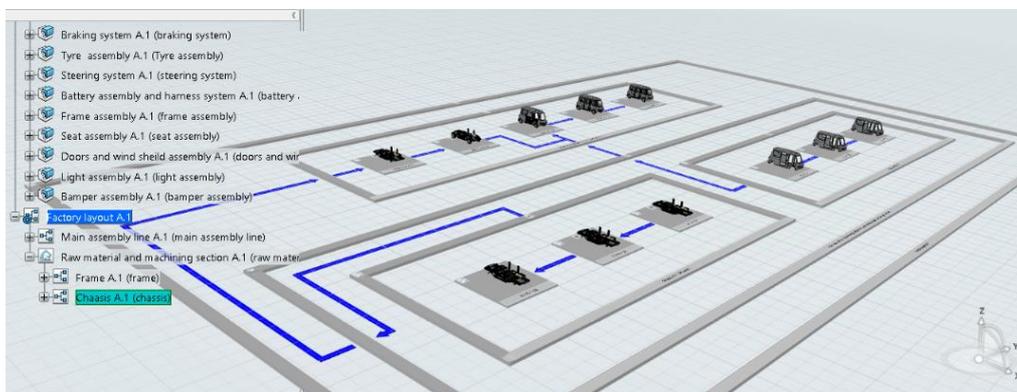


Figura 3.4 Ejemplo de planificación de un proceso en Process Plannig de 3DEXperience

En este módulo se incluyen los tiempos y recursos necesarios para cada operación, lo que permite el diseño y equilibrado de la línea de producción del montaje en cuestión. Sin embargo, como el objetivo principal de este trabajo es el análisis del utillaje de fabricación, se ha utilizado la aplicación para la descripción estructurada en tiles de las operaciones pero no para el estudio de tiempos ni rendimientos de las mismas.

Por su uso en el análisis del cajón del ala de la aeronave elegida, se adjuntan algunas de las diferentes operaciones proporcionadas por el programa para la planificación del proceso:

- Loading: carga o posicionamiento del elemento
- Point Fastening: unión entre elementos, que para el producto analizado podríamos simplificarlo como remachado
- Unloading: desinstalación de la parte de su posición final
- Transfer: operación logística de movimiento de un ensamblaje.

3.3 Planning Structure

Con el objeto de dar una visión general de las herramientas de la plataforma, se ha añadido a este documento la herramienta Planning Structure. Ésta, al igual que las anteriormente mencionadas, están englobadas dentro de las procedentes del programa DELMIA, ubicándose en la plataforma dentro de 3DEXperience Essentials Client.

En este caso, la app completa auna las aplicaciones comentadas de planificación del proceso con la creación de recursos. Permitiendo el diseño con la creación de las estructuras necesarias para el desarrollo del proyecto, ya sea un sistema de fabricación, lo necesario para un ensamblaje o distintos productos o recursos complementarios.

Debido a que se proporciona una grada de montaje de una de las fases de montaje del cajón del ala estudiado, se obvia la creación de este módulo, unido a la complejidad de los conocimientos técnicos para ello. Entre tantos, se propone como trabajos futuros.

3.4 Assembly Evaluation

Assembly Evaluation es una de las herramientas visuales más llamativas ya que permite evaluar el proceso de montaje del producto en cuestión mediante la creación de trayectorias entre las piezas que conforman la MBOM. Tiene utilidad tanto para la creación y validación del proceso de ensamblaje como para mejorar un proceso ya existente, creando distintos modelos y eligiendo el más óptimo desde el punto de vista estudiado.

Por otro lado, en cualquier ámbito industrial, puede usarse para el estudio de interferencias entre modelos de piezas de conjuntos o con las instalaciones del propio sistema productivo.

Aunque no se ha realizado la recreación mediante patrones de trayectorias o paths del ensamblaje del cajón de torsión de la aeronave, la creación del video de montaje en la aplicación llevaría a la realización de una actividad totalmente enclavada como Industria 4.0. Entre otros usos, la descripción de forma interactiva del proceso de ensamblaje podría utilizarse para la fase de venta de producto, para la eliminación de las órdenes de trabajo estáticas de paso a paso, para el entendimiento tridimensional del espacio disponible en la adaptación de los recursos en modificaciones en el producto y un largo etcera.

La figura 3.5 muestra un ejemplo de animación de un montaje en la que se aprecian las trayectorias que seguirán los componentes durante el proceso. El ejemplo corresponde al montaje de las compuertas del tren de aterrizaje del A380 [1].

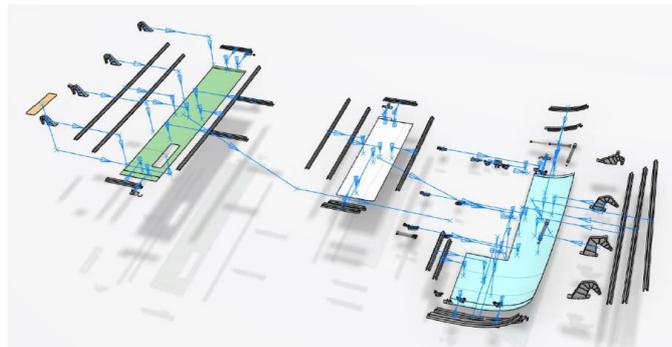


Figura 3.5 Tracks para el ensamblaje completo de las compuertas del tren de aterrizaje del A380

3.5 Plan Layout Design

Como se ha adelantado anteriormente, el siguiente paso de diseño necesario para la puesta a punto del proceso productivo es la creación de planos estáticos de la planta industrial, en la que se deben incluir todos los recursos que serán implantados con posterioridad.

3DExperience incluye la herramienta Plan Layout Design para este fin, la cual contiene multitud de catálogos de recursos como mobiliario, robots, herramientas usuales, estaciones de taladrado, útiles de posicionado... Como añadido, si el diseñador necesitase elementos propios o no incluidos en los catálogos puede crear los suyos propios.

Las plantillas o templates, dan ideas sobre layout usuales. La gran ventaja de la aplicación es la posibilidad de incorporar el layout antes de la implantación del diseño a partir de un archivo drawing. Por tanto, desde el momento inicial se asegura que se están teniendo en cuenta las dimensiones libres reales donde ir posicionando los nuevos recursos, ya sean automáticos o de carácter humano, dentro del módulo de Plan Layout Design.

Una característica bastante llamativa, es la opción de introducir recursos 3D y crear su huella en el layout y viceversa: crear a partir de la huella 2D o layout una recreación tridimensional de los recursos o la planta completa.

El layout final con los nuevos recursos incluidos puede usarse posteriormente para recrear los espacios que dispone cada elemento en la realidad y conservar en todo momento de la producción el plan establecido (véase la planta señalizada en la Figura 3.6).



Figura 3.6 Señalización de layout en FAL del A220 en Alabama [18]

3.6 Equipment allocation

Un recurso puede definirse como un elemento o herramienta usada en un proceso para fabricar un producto. Estos pueden clasificarse según su función para lo que puede resultar bastante útil la inclusión de algunos ejemplos.

Un recurso working, como vienen definidos en la plataforma, es aquel que se usa para realizar una acción y se definen por ser programables, tienen una lógica asociada o secuencia. Responden a la pregunta who. Ejemplos de estos recursos pueden ser máquinas de control numérico, que gobiernan tal acción, o cadenas transportadoras, que se encargan del movimiento.

Por el contrario, un recurso non-working se define como el recurso usado para realizar una operación, es usado por un recurso working. Responden a la pregunta with, sensores localizados en un robot para captar información o herramientas de medida manual usadas por un operador.

Se habla de recurso organizational sobre aquellos que determinan el lugar, es decir, responden a la pregunta where como pueden ser gradas de montaje, o a gran escala, una línea de flujo continuo de ensamblaje.

En el módulo de Equipment Allocation se define el nodo de recursos del entorno PPR, se abastece al modelo de sistema productivo el conjunto de herramientas para la realización de las operaciones asociadas a los distintos recursos, se equilibran las operaciones, se valida la viabilidad del uso de cada herramienta con cada recurso... Su principal uso es la validación del uso del taller diseñado para el proceso productivo para el que haya sido pensado a nivel de recursos y layout.

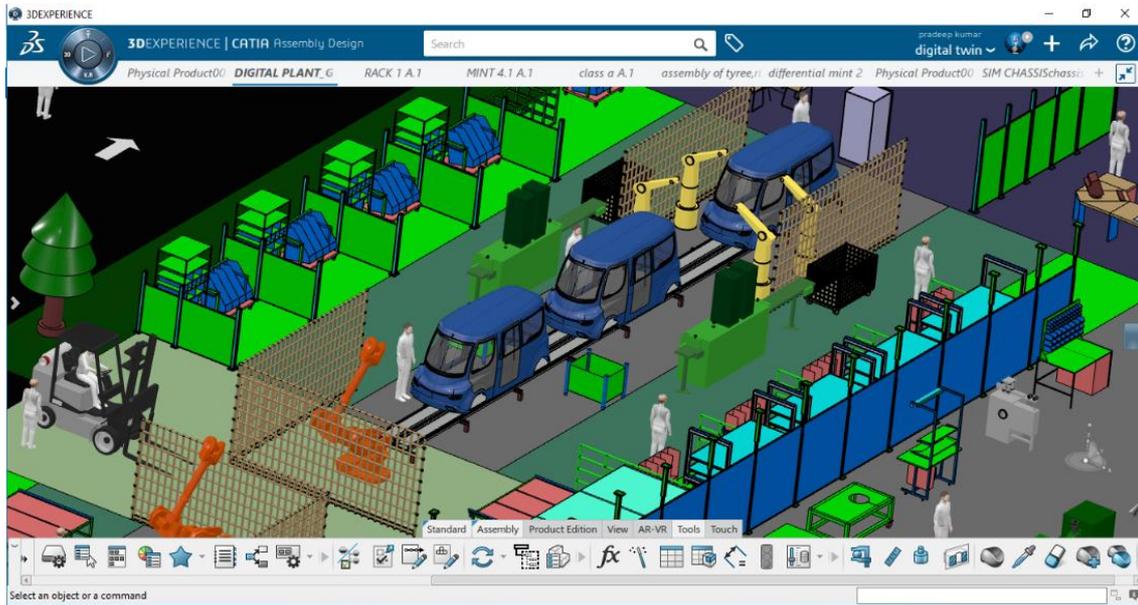


Figura 3.7 Modelado de planta para producción de 12 vehículos eléctricos al día

Para la creación de modelos como el que puede verse en la Figura 3.7, la aplicación de DELMIA ofrece grandes catálogos con criterios de búsqueda para la inserción de todos y cada uno de los recursos, desde gran variedad de robots a la representación de personas.

La inclusión de personal de línea favorece la ergonomía y la seguridad del proceso antes de llevarlo a la práctica ya que el software permite anclar al individuo en una posición relativa respecto al resto de productos. Además de confirmar los carriles de acceso a los puntos de uso, mesas de trabajo, alturas de plataformas, etc.

3.7 Work instructions

Las órdenes de trabajos o IT's son el punto de partida en la fabricación en cadena, forma una consecución de pasos relatados e ilustrados de cada unas de las acciones a realizar, las herramientas a usar y los layouts en los que trabajar. Deben recitar de forma precisa, las dimensiones y unidades de los elementos principales sin extender demasiado ya que tienen referencias a los planos y normas relativas.

Al crear una filosofía de la empresa que promueva la mejora diaria de estas secuencias y la implicación del personal de fábrica, se consigue la mejora de los ciclos productivos, la reducción de tiempos y la eliminación de desperdicios. Este es uno de los pilares del Lean Manufacturing, la colaboración y compromiso, y está íntegramente relacionado con el intercambio de información.

Una orden de trabajo debe incluir ilustraciones tridimensionales con anotaciones de todo tipo, pero la tendencia de la industria 4.0 es el desarrollo de estas secuencias a formato video, a la simulación del proceso productivo de la forma más real posible.

Por tanto, partiendo de la orden de trabajo más simple, se necesita el uso de plantillas de formato que creen un aspecto común de la operación en cuestión, con códigos de colores y formatos de letra para expresar peligro, precaución o detallar una acción concreta.

Un punto importante es la compatibilidad, que se puedan exportar a distintos formatos de archivos, accesibles desde diversas plataformas. 3DEXperience, en su módulo Work Instructions, ofrece la posibilidad de crear archivos con tiempo entre operaciones, una especie de presentación programada que hace más interactiva la IT, y que a su vez agiliza y ajusta los rendimientos del trabajo.

El desarrollo de las work instructions es un paso más para control del ciclo de vida de producto en el momento de fabricación mediante una plataforma PLM y está actualizándose día a día con las nuevas herramientas de realidad virtual y análisis de KPI o key performance indicators de los trabajadores de la línea.

Aunque no se han realizado las órdenes de trabajo para el cajón de torsión del ala analizada, se ha llegado a los pasos previos. Se ha realizado el estudio técnico necesario para el conocimiento profundo del sistema diseñado justificando el orden y cómo es cada una de las operaciones, sin llegar a la creación normalizada de las hojas de las órdenes de trabajo.

En la Figura 3.8 se da un ejemplo de creación de una IT en la plataforma 3DEXperience, la cual permite la inclusión y explosión de los elementos junto con cuadros de texto para identificar las piezas y definir los pasos de fabricación.

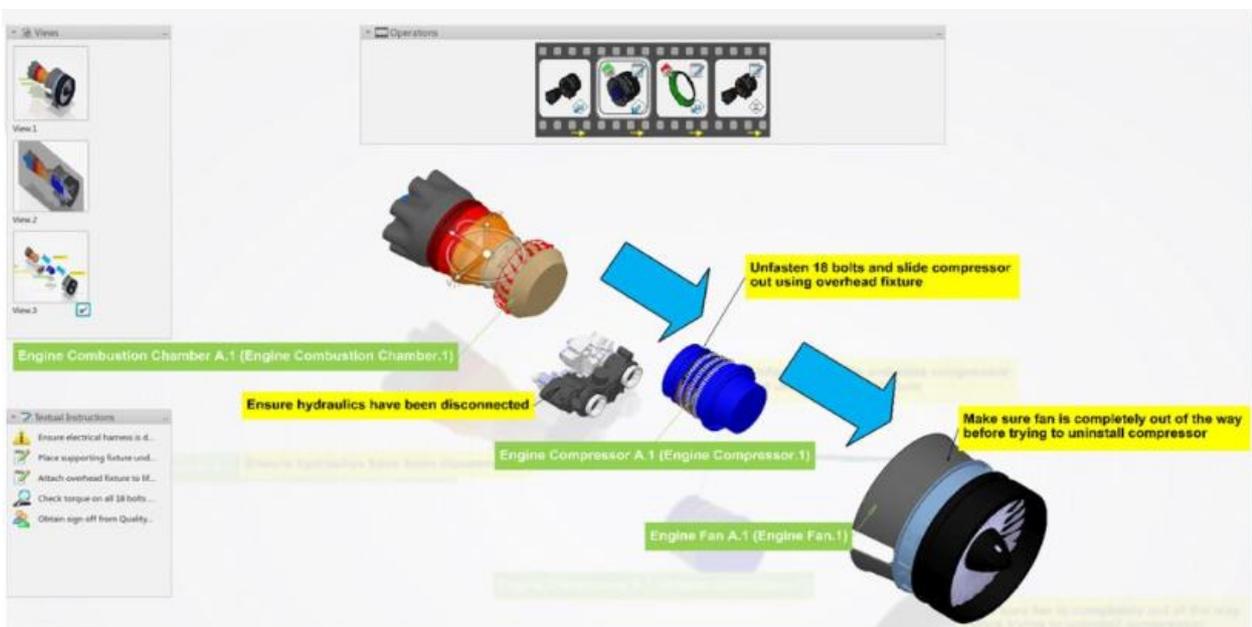


Figura 3.8 Ejemplo de realización de Work Instructions en 3DEXperienceCaso práctico:

4 MONTAJE DEL CAJÓN DEL ALA DE UNA AERONAVE

“Para la realización de un trabajo, un industrial prevé tanto el trabajo de sus obreros como las herramientas que emplea.”

– David Hume –

Llegado a éste punto de la explicación, llega el momento de aplicar a un caso práctico los conocimientos teóricos de las aplicaciones comentadas. Ha sido elegido para el estudio, el cajón del ala de una aeronave genérica de la que se tienen datos reales similares relativos al proceso para su comparación. Se suponen dos hipótesis diferenciadas derivadas del proceso y los medios industriales involucrados en él.

4.1 Descripción de la aeronave

4.1.1 Partes del cajón del ala

En este subapartado se pretende dar una visión general del conjunto de piezas del montaje en estudio en este proyecto y su designación tanto en la plataforma colaborativa como en el presente documento.

Se presenta así el conjunto estructural del cajón de torsión del ala de la aeronave a través de su modelo tridimensional en la plataforma 3DExperience en la Figura 4.1.

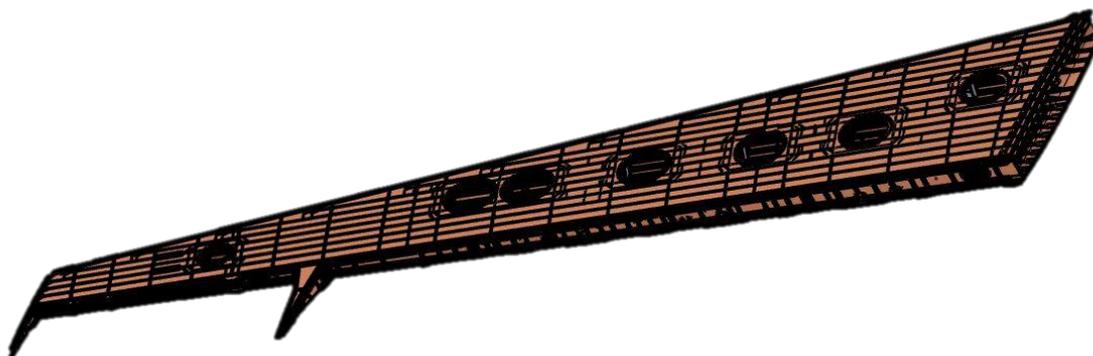


Figura 4.1 Vista tridimensional del cajón del ala

Tras esto, la forma más intuitiva de dividir y conocer todas sus partes es ir destapando el cajón, por tanto se adjunta el detalle del revestimiento superior o Top Panel. Este a su vez se compone de distintos paneles o piezas más pequeñas unidas mecánicamente, señalando su unión en rojo en la Figura 4.2. La particularidad de las uniones entre las piezas del Top Panel reside en que van engarzadas, no se usan remaches.

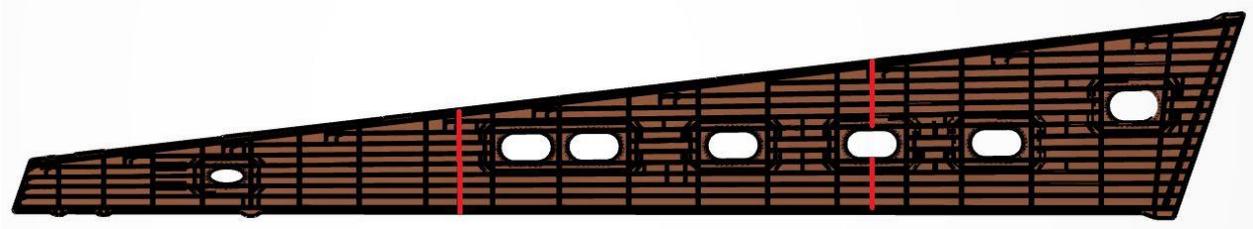


Figura 4.2 Vista en planta del Top Panel

El panel superior tiene multitud de manholes a lo largo de su planta, pensados para el acceso de operarios en las tareas de producción y mantenimiento a los tanques de combustible del interior del ala, para inspecciones estructurales, etc

Se añade una ilustración en la Figura 4.3 para señalar la limitación de espacio y las consecuencias en los límites de ergonomía y seguridad y salud en el trabajo que implican, a lo que se le añade el trabajo en altura. La mayoría de los manholes cuentan con protectores de filo o se incluyen a modo de útil.



Figura 4.3 Ejemplo de acceso a tanque mediante manhole

A la tapa inferior o revestimiento inferior se le llama Bottom Panel, y al igual que el revestimiento ya citado se compone de distintos paneles más pequeños. Al contrario que el Top Panel, el revestimiento inferior se compone de costuras de remaches entre sus paneles, reforzados además con soportes o pletinas en algunos casos, que aportan una mayor rigidez al ensamblaje.

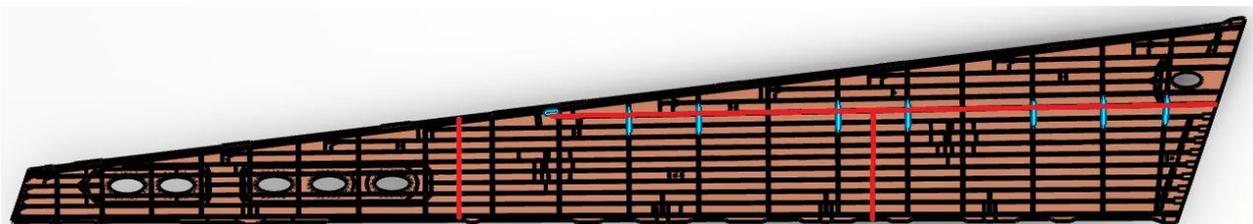


Figura 4.4 Vista en planta del Bottom Panel

En este caso, solo se sitúan accesos al interior del cajón de la mitad a la punta del ala (véase la Figura 4.4).

En contraposición de las piezas nombradas, los largueros o Spars están realizados de una sola pieza mecanizada con nervios, filos, refuerzos, apoyos y tapas de acceso. Son las piezas encargadas de recibir el flujo de corriente, estando sometidas a grandes esfuerzos. Según su posición, distinguimos entre Front Spar o larguero anterior, el colocado en el borde de ataque (ilustradas en la Figura 4.5), y Rear Spar o larguero posterior, a la salida de la corriente que se muestra en la Figura 4.6.



Figura 4.5 Vista frontal del Front Spar



Figura 4.6 Vista frontal del Rear Spar

A pesar de estar ocultas en el interior de las cuatro piezas ya explicadas, las costillas son las encargadas de darle consistencia y forma al cajón de torsión. En este caso, el ala en cuestión consta de 6 costillas de chapa o Ribs repartidas a lo largo de cada uno de los cajones de torsión. Nótese que no se habla de 12 costillas sólidas a lo largo de la envergadura de la aeronave, ya que no se están teniendo en cuenta las costillas primordiales, las del encastre con el fuselaje de la aeronave.

En la imagen de la Figura 4.7 puede verse, como al igual que en la mayoría de aviones, las costillas de chapa está aligeradas y constan de pasamamparos por donde introducir interfaces entre sistemas. Además, se señalan en azul los soportes o pletinas usados en la unión con el Front Spar que permite una precisión alta en el ensamblaje. Estos soportes no se dan para el larguero posterior, por ello no se muestran. La segunda costilla además tiene un refuerzo con el revestimiento inferior, se supone por la posición en el centro geométrico del cajón.

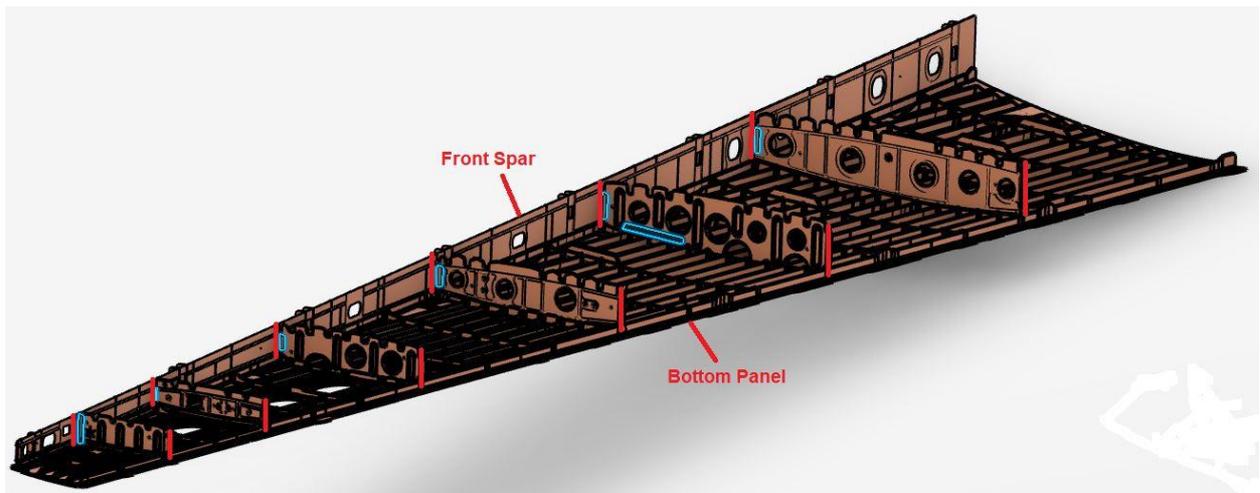


Figura 4.7 Vista en perspectiva del interior del cajón

En el modelo usado, también se añade la costilla de la punta de ala o wingtip, que se ilustra en la Figura 4.8. Tiene una estructura similar a las anteriormente mencionadas pero su forma se excede del Rear Spar, para hacer de guía en la colocación del spoiler.

Se incluye la corredera del spoiler (gris) en el montaje, atornillada a la costilla wingtip. Ésta no debe añadirse hasta la finalización del montaje estructural del cajón para evitar daños ya que no se necesita hasta que se requiere el montaje de la tapa de spoiler y su posterior reglado aerodinámico.

Incluye un soporte exterior para el montaje de la carena de punta de ala y pueden verse en detalle el aligeramiento de la costilla y el pasamamparo por el que puede suponerse el paso de cableado para la señalización luminosa de la aeronave en su extremo.

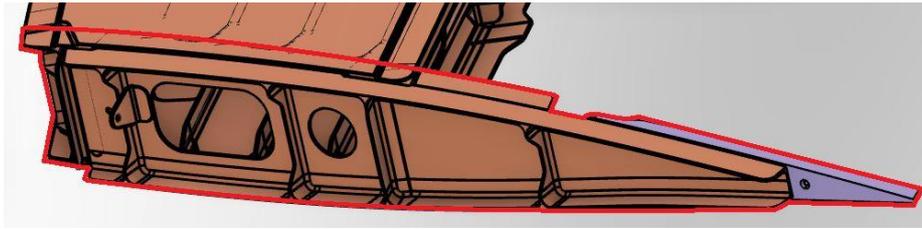


Figura 4.8 Detalle del Wingtip

Posteriormente, para solventar las limitaciones de peso y accesibilidad dentro de los tanques, se añaden para esta aeronave 13 costillas de celosía o Truss en cada cajón de torsión., las cuales se sitúan entre las costillas de chapa (ocultas en este caso).

Cada una de estas construcciones mediante triangulación dotan de un plus de rigidez al conjunto al mismo que tiempo que forma una estructura flexible debido al remachado de las barras con los revestimientos, el cual permite el giro relativo de los remachos referido al eje coincidente de taladro y remache.

Al mirar en detalle, puede verse que el número de barras y su longitud varían entre las distintas barras y celosías.

Se redondea en rojo en la Figura 4.9 las dos únicas costillas de celosía incluidas en el modelo tridimensional dado para el presente proyecto, representadas con el mismo material que el resto de piezas ya presentadas. Las 11 Truss coloreadas en gris en la siguiente figura han sido creadas y añadidas con posterioridad y se dedicará el siguiente apartado a la descripción del método usado.

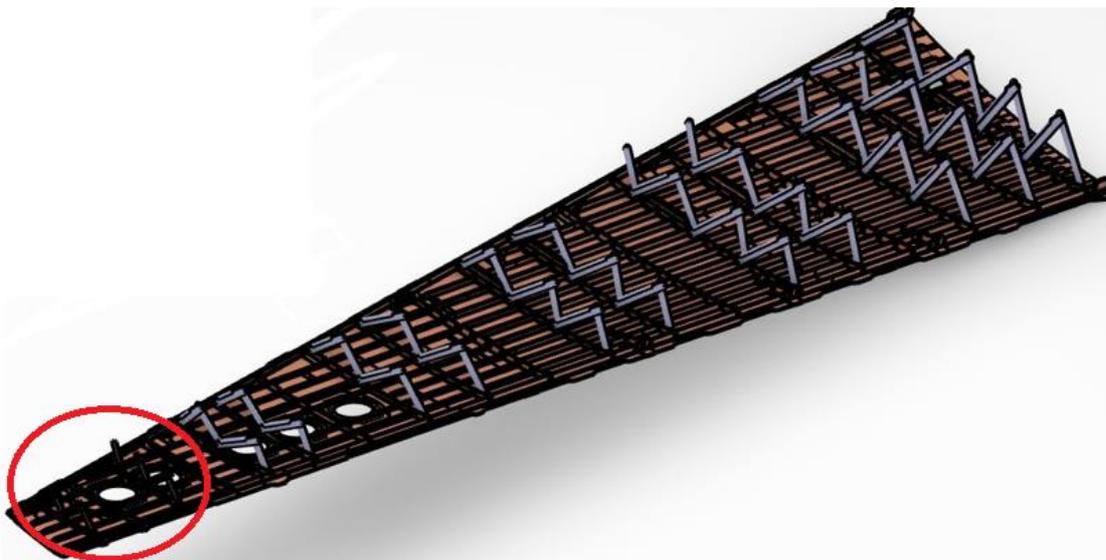


Figura 4.9 Conjunto de celosías o Truss montadas sobre el Bottom Panel

Con el ensamblaje de de las piezas enunciadas el cajón de torsión quedaría cerrado, a excepción de la zona del ala más cercana al encastre. Como añadido y debido al momento de montaje que se explicara en apartados siguientes, el modelo tridimensional incluye un soporte estructural para el movimiento del flap.

La Fairing o carena del flap forma una especie de pirámide cuadrangular situada en el Rear Spar sobre la que reposa el flap en ciertas maniobras como despegue y aterrizaje. Además de funcionar como soportación y resguardo de los mecanismos electromecánicos del actuador o actuadores encargados del deslizamiento del dispositivo hipersustentador sobre la corredera del flap (pieza gris ilustrada en la Figura 4.10).

En contrapuesto del momento de montaje de la corredera del spoiler, añadida en las últimas operaciones de ensamblaje, la corredera del flap se monta solidaria a la Fairing. El motivo de esta incorporación reside en que la carena del flap o Fairing conforma un sub-conjunto diferenciado del cajón del ala y por ello, se incluye también al final del proceso.

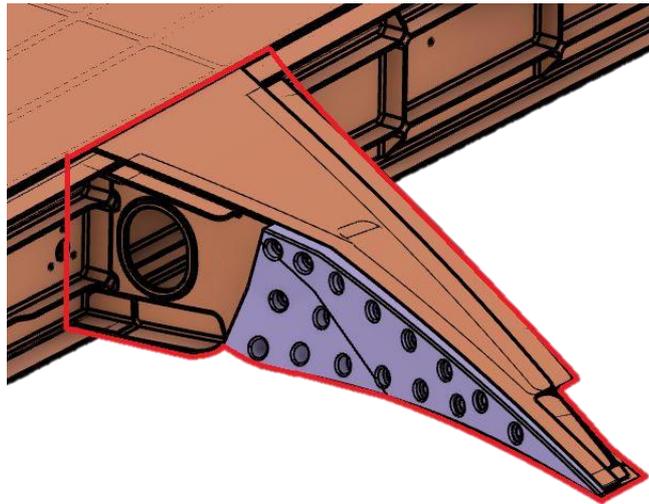


Figura 4.10 Vista en perspectiva de la Fairing o carena del flap

4.1.2 Modificaciones de la BOM

Como se ha adelantado en el apartado 4.1.1, se han añadido algunas piezas al conjunto tridimensional dado.

La más simple de las modificaciones ha sido la eliminación de las tapas de acceso al tanque de los largueros y revestimientos, ya que no se incluían todas las necesarias para cerrar el conjunto y no ser piezas clave de la fabricación del cajón de torsión.

Como ampliación a la justificación de la eliminación de las tapas de registro, cabe decir que en los procesos habituales de montaje aeronáutico no se suelen tapar los accesos de forma definitiva mediante atornillado hasta la entrega final del producto en cuestión si tiene acceso externo o hasta que deja de ser accesible si es interno. El objeto de esta actividad es evitar la caída dentro de las estructuras de herramientas, útiles, normales, enseres personales, virutas de taladrado... En definitiva, evitar el olvido de cualquier objeto extraño a la fabricación que puede dañar el producto.

Son numerosas las ocasiones entre distintas operaciones en las que se limpia e inspeccionan las zonas de trabajo y por tanto, se debe asegurar que no entra nada con posterioridad.

Un ejemplo de esta actividad puede darse en el wingtip del modelo explicado. En el momento de entrega del conjunto formado por el cajón de torsión, el Wing Box se entregará limpio y revisado, pues tiene sentido cerrar ese "acceso" de alguna forma. Sin embargo, es un gasto de tiempo innecesario, la instalación de una tapa que será desmontada en la instalación de la carena del wingtip, y es por esto que se utilizan láminas adhesivas que hacen de cierre provisional.

Dirigiendo ahora el discurso hacia las costillas de celosía, llega el momento del desglose o descripción del modo de creación y ensamblaje al modelo de las celosías desarrolladas.

En primer lugar se observó con detenimiento los dos conjuntos de celosía que si incluía el modelo y el conjunto de remaches del resto de Truss que venían incluidos en el modelo.

Se tomó una de las barras como guía para el resto de barras, modificando únicamente la longitud entre los taladros.

Cómo ocurre en la mayoría de estructuras simétricas, las barras correspondientes al outdoor e indoor del ala izquierda que se toma de ejemplo, se identifican como dibujada y simétrica. Se ha hecho de igual forma con el Part creado.

En la Figura 4.11 se intenta subrayar la unión entre las barras y los revestimientos para evitar el error que se cometió en la primera aproximación.

Al comienzo del estudio se dio por hecho que los taladros de barras contiguas compartían elemento de unión, pero puede verse (circulo rojo) cómo ambos taladros no tienen un eje común. Si no que se encuentran desplazados en el nervio del revestimiento, complicando su montaje.

Se han aproximado además las distancias entre taladros del revestimiento, suponiendo que forman una recta los dos dentro de los taladros contiguos en el panel, para poder restringir los grados de libertad del conjunto de cada celosía.

Tras esto se hizo un Assembly mayor con las 11 celosías creadas, creando planos a través de puntos tomados a lo largo del cajón e insertando los modelos de celosías. Para posteriormente incluir el montaje completo de las 11 Truss al modelo total estudiado.

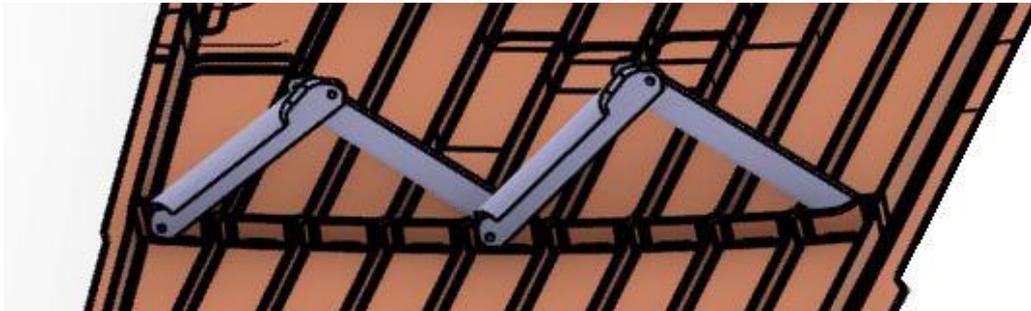


Figura 4.11 Detalle de una de las celosías creadas

4.2 Primer supuesto de montaje

En las etapas iniciales del análisis, se pensaba que la secuencia de ensamblaje seguía un orden de montaje distinto al que se detallará en apartados posteriores, ya que el proceso de ensamblaje que se da para la aeronave elegida no es el más usado en producción aeronáutica.

La secuencia de montaje y el utillaje deben adaptarse al diseño estructural del cajón lateral. En contraposición, a los resultados supuestos con el orden de ensamblaje supuesto en primera aproximación.

Tomando información de bibliografía como la que se adjunta en las entradas número [20], [21] y [22] del Capítulo 5 de Referencias, se pensó que el proceso de montaje del conjunto comenzaría creando una estructura “vertebral” mediante la unión de ambos largueros con las costillas. Posteriormente, se procedería al grapado de las telas de revestimiento a las costillas y largueros exteriormente.

La Figura 4.12 ilustra un momento de montaje donde puede verse la estructura “vertebral” que se relata. El cajón del estabilizador horizontal del A400M mostrado, se compone de dos largueros montados, entre los cuales se encajan las diferentes costillas. Como puede verse, el resultado de esta unión es una estructura descubierta en la que no existen costillas de celosía.

En operaciones posteriores se procede a colocar los revestimientos, los cuales se taladran y remachan a las costillas desde el exterior, es decir, la dirección del remachado se hace desde el revestimiento hacia la sección de costilla.



Figura 4.12 Estación de ensamblaje del cajón lateral del HTP del A400M [11]

Sin embargo, el modelo tridimensional elegido para el proyecto ofrece evidencias físicas de que el proceso de ensamblaje descrito en la Tabla 4.1 no se ajusta al cajón ni a los medios industriales usados.

Tabla 4.1 Proceso erróneo supuesto de ensamblaje del cajón lateral

Tareas de montaje	
1	Posicionado en grada de larguero anterior y posterior
2	Posicionamiento de costillas con largueros
3	Posicionamiento de wingtip con largueros
4	Taladrado de costillas con largueros
5	Taladrado de wingtip con largueros
6	Remachado de costillas con largueros
7	Remachado de wingtip con largueros
8	Posicionamiento del Bottom Panel respecto a largueros, costillas y wingtip
9	Taladrado del Bottom Panel con largueros, costillas y wingtip exteriormente
10	Remachado del Bottom Panel con largueros, costillas y wingtip exteriormente
11	Posicionamiento del Top Panel respecto a largueros, costillas y wingtip
12	Taladrado del Bottom Panel con largueros, costillas y wingtip exteriormente
13	Remachado del Bottom Panel con largueros, costillas y wingtip exteriormente

Se enumeran a continuación una serie de discrepancias encontradas en la composición del cajón y la grada que justifican la no concordancia con el proceso enumerado en la Tabla 4.1:

- Existen interferencias entre el larguero anterior y los útiles de costilla superiores de la grada que justifican la incompatibilidad de montar en primer lugar ambos largueros
- Las costillas de celosía están compuestas por barras imposibles de remachar exteriormente
- Las costillas de chapa se remachan internamente a los nervios de los revestimientos.

4.3 Definición de la MBOM

En primer lugar, se procede a definir la MBOM del sistema. Para ello se ha hecho uso de la aplicación ya mencionada Manufactured Item Definition. En este caso, el análisis del sistema completo se realiza desde el punto de vista de la fabricación, por lo que se definen las fases o grandes conjuntos de piezas en un orden cronológico de montaje.

En esta aproximación general que nos ofrece la Figura 4.13 siguiente es notable la linealidad del ensablaje aeronáutico o concretando del montaje del cajón del ala de la aeronave. Este tipo de conjunto no da lugar a grandes variaciones del proceso ni a la duplicidad de estaciones en la línea de ensablaje en un cuello de botella.

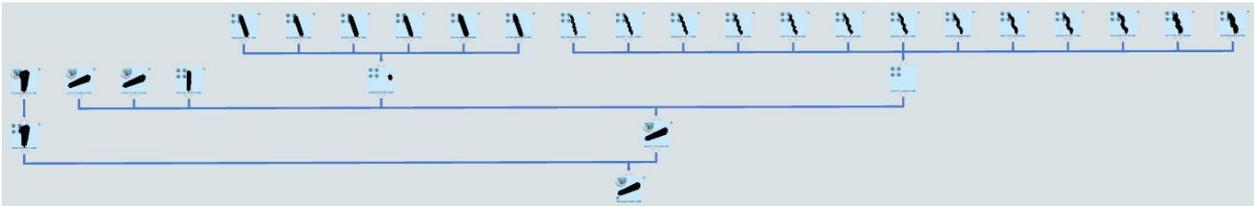


Figura 4.13 Estructura MBOM completa desplegada del proceso de ensablaje

La herramienta nos ofrece una visión del proceso hasta conseguir el producto final, llegando al “tronco del árbol”. Por tanto, para comenzar con el análisis parece lógico hacerlo desde un punto de vista reverso o de desmontaje.

El resultado de la fase 2 del sistema, como se muestra en la Figura 4.14, es un product assembly compuesto por el ensablaje de:

- Manufacturing kit compuesto por piezas no ensambladas que componen la carena o fairing
- Provided part del larguero anterior que conforma la tapa de cierre del cajón, es decir, una única pieza.
- Product assembly resultado del ensablaje que se realiza en la fase 1
- Provided part de la corredera del alerón que se monta sobre el wingtip
- Provided part del perfil exterior que sujetará la carena del wingtip.

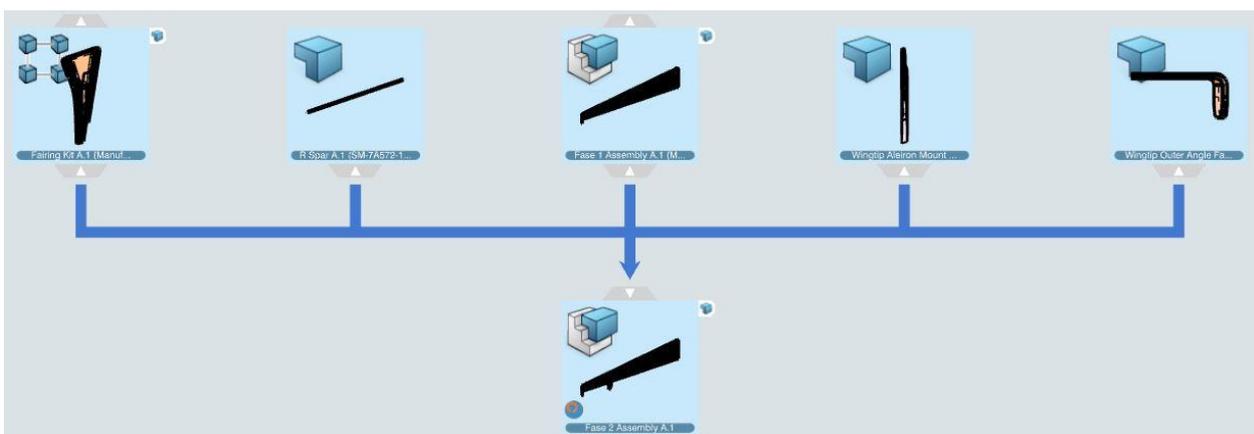


Figura 4.14 Entrada de material a la Fase 2

Desmenuzando en partes más pequeñas el Manufacturing kit de la fairing distinguimos entre tiles de provided parts y una de manufacturing assembly en la Figura 4.15. El primer grupo corresponde con pequeños fasteners o perfiles de ajuste de la carena a los largueros y revestimientos y el producto del ensamblaje de la carena. Esta distinción permite la externalización del montaje de este pequeño conjunto.

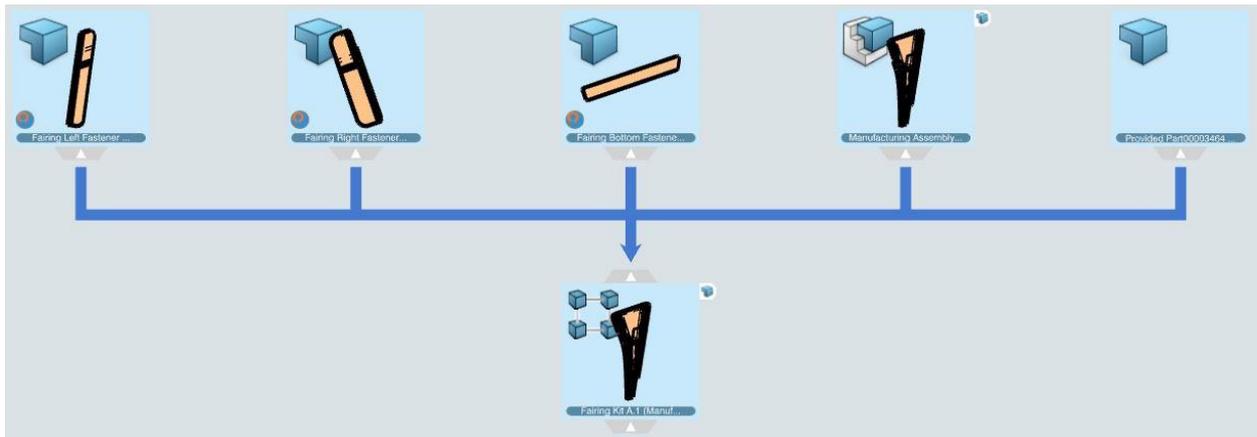


Figura 4.15 Descomposición de la Fairing

El montaje de este pequeño conjunto puede hacerse en mesas auxiliares de trabajo que no forman parte de la grada de montaje y que puede permitir el equilibrado de los tiempos de la línea.

En segundo lugar, se muestra la fase principal del ensamblaje del cajón, realizada en la fase 1, en la Figura 4.16, que compone el foco principal de este estudio.

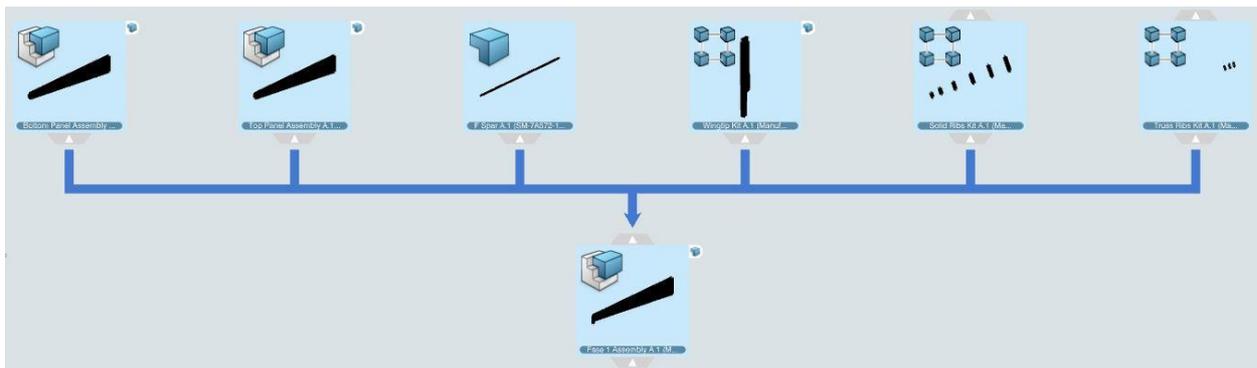


Figura 4.16 Entrada de material a la Fase 1

El resultado del montaje de la fase 1 es el product assembly de ensamblaje de cajón a excepción de uno de los largueros que hacen de cierre de la caja. El larguero posterior no pertenece a la fase 1, ya que este depende de la grada de montaje que posteriormente se definirá.

En este se unen los siguientes elementos mediante remaches, los cuales no se incluyen en la definición por ser elementos de unión normalizados:

- El product assembly correspondiente al revestimiento del intradós del cajón
- El product assembly correspondiente al revestimiento del extradós del cajón
- El provided part referente al larguero posterior, pieza mecanizada que compone la primera de las tapas
- El manufacturing kit compuesto por el conjunto de piezas no ensambladas que conforman el wingtip y que se unen entre ellas al mismo tiempo que a los revestimientos y larguero posterior
- El manufacturing kit de las seis costillas de chapa junto con los soportes usados para el larguero anterior, incluidas en esta fase debido a que se posicionan y taladran aunque no se unan al larguero.
- El manufacturing kit compuesto por las trece costillas de celosía hechas de multitud de barras cada una.

Tras la definición de la fase 1 realizada, se puede clasificar la entrada de material a la fase en dos grupos teniendo en cuenta su procedencia: un primer grupo dado por largueros y revestimientos ensamblados en fase 0 y un segundo grupo de costillas (de chapa, celosía y el propio wingtip que en definitiva es la costilla más externa) recogidas de un punto de uso.

Este dato, aunque a simple vista pueda parecer una clasificación como otra cualquiera, hace que la fase se convierta en un punto crítico del ensamblaje del cajón del ala. La fase 1 es uno de los primeros momentos de montaje, que aunque exista más tiempo hasta el momento de entrega final, no exime de prisa. El tack de la línea debe seguir manteniéndose. Por lo que retrasos en las fases anteriores de acondicionamientos de los revestimientos y largueros pueden influir en la siguiente.

Por lo general, estos tiempos se controlan y monitorizan mediante herramientas PLM. En concreto 3DEXperience tiene aplicaciones para ello.

La problemática real de la fase recae en la fabricación de las provided part. Las costillas de chapa, el wingtip y las truss de las celosías se fabrican fuera de la línea, ya sea en talleres fuera de esta o mediante subcontratación. Son los elementos que dan rigidez al cajón y que permite la torsión y flexión de este en vuelo, por lo que su estado y montaje. Además existe un gran número de piezas similares en forma pero de distinto tamaño y simetrías, por lo que es más probable que se de algún error en la fabricación de estas o en el montaje.

Centrando el análisis ahora en la fase 0, en la definida anteriormente como entrada de material, puede verse en las siguientes estructuras de tiles de la Figura 4.17 y la Figura 4.18 como cada revestimiento se compone de paneles más pequeños.

Cabe destacar que en el bottom panel se usa el remachado como proceso de unión, pero no es así en el top panel. En este último se encajan los paneles. Se puede suponer que el motivo de esta forma de fabricación viene dado por las fuerzas habituales que sufren ambas caras del cajón de torsión: en el extradós suele darse compresión, por lo que el engarzado de los paneles puede dar juego, y en el intradós suele darse tracción por lo que se rigidiza la unión con remachado.

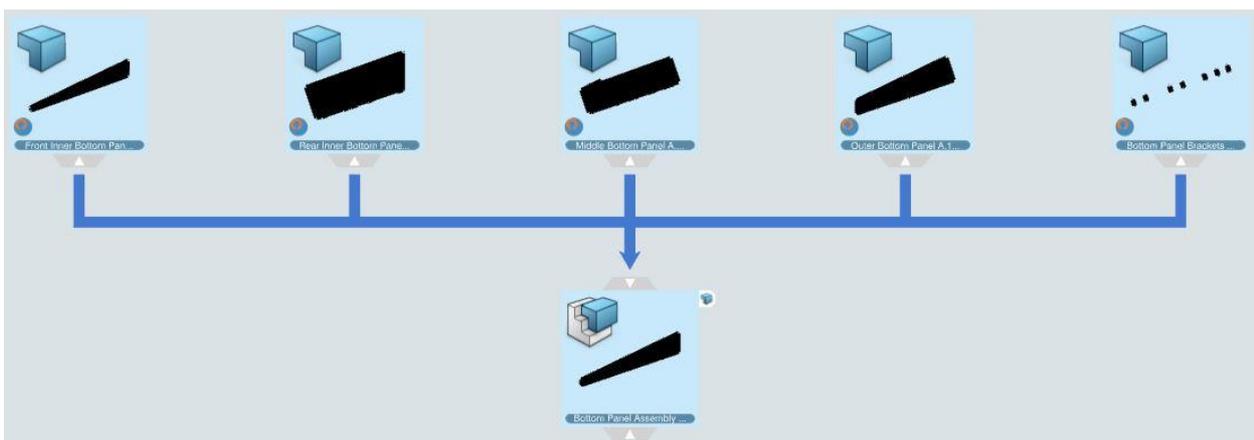


Figura 4.17 Explosionado del Bottom Panel

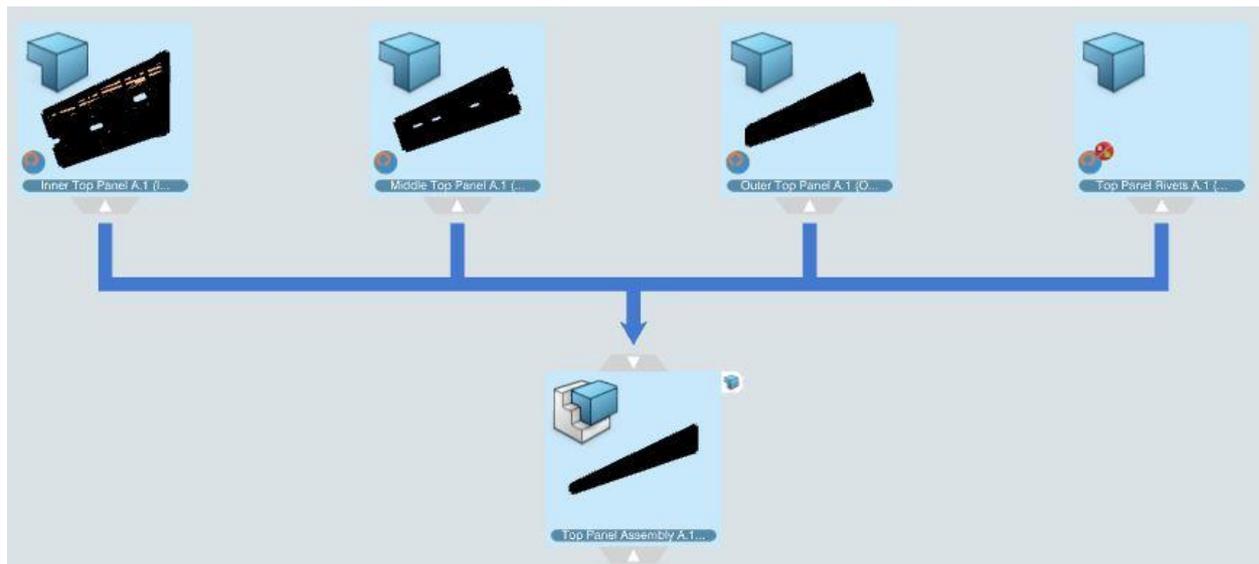


Figura 4.18 Explosionado del Top Panel

Para los largueros no se incluye estructura de tiles ya que no se realiza un montaje estructural llamativo, sino que se montan pequeños soportes para sistemas, etc.

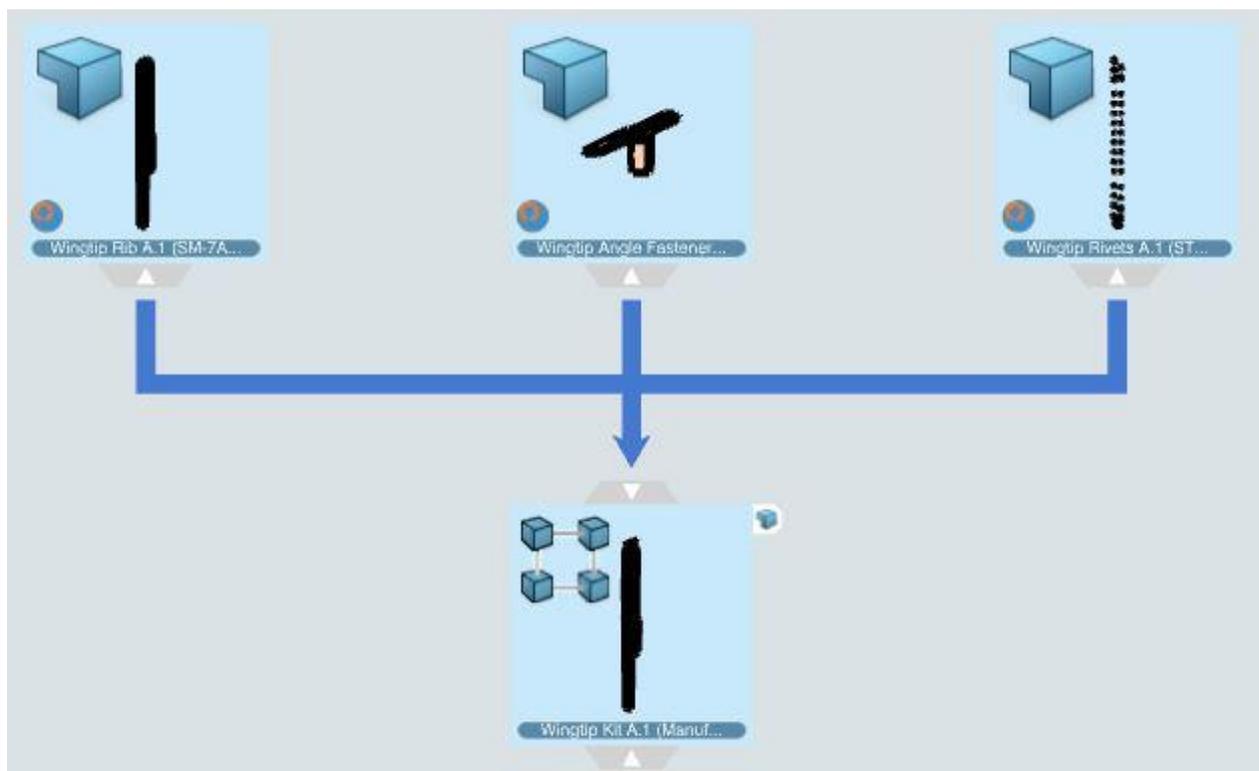


Figura 4.19 Descomposición del Wingtip

Como se ha nombrado antes, el wingtip conforma un manufacturing kit compuesto por la propia costilla con el flujo más externo y un soporte en forma de T que une el revestimiento, la costilla del wingtip y el larguero anterior. Véase la Figura 4.19.

Por otro lado, se ha creado un manufacturing kit que engloba a todos los manufacturing kit de costilla de chapa. Puede observarse en la Figura 4.20 cómo el símbolo de las tiles asociado al tipo de producto es igual para todas. El motivo reside en que todas las costillas pueden verse como un conjunto, el proceso de montaje de estas es repetitivo, pero cada una en sí misma se compone de la costilla en forma de L (el extremo corto apoya sobre el larguero posterior) y un perfil en forma de L que afina el ajuste en el larguero anterior.

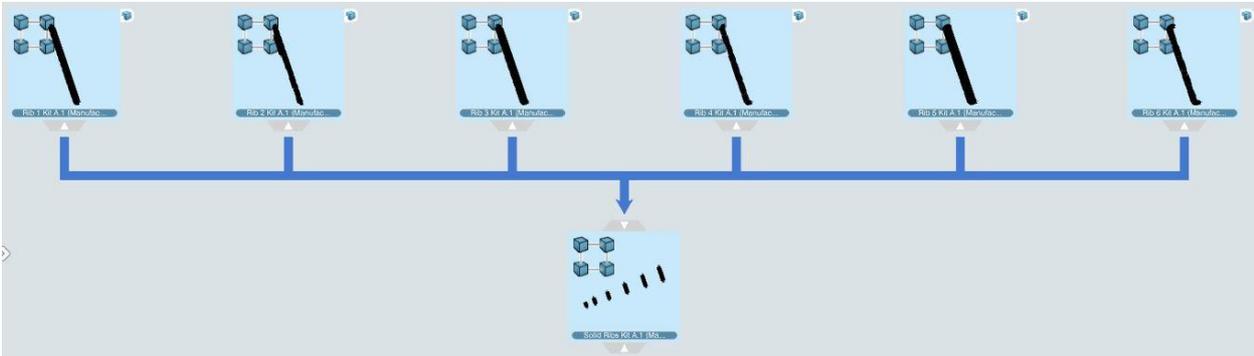


Figura 4.20 Conjunto de costillas de chapa

Si se procede de igual forma para las costillas de celosía, se consigue un manufacturing kit de costillas de celosía o truss compuesto por trece de estas, que cada una en sí misma está compuesto por un número variable de barras o perfiles en L-U, como puede verse en la Figura 4.21 y la Figura 4.22.



Figura 4.21 Conjunto de costillas de celosía

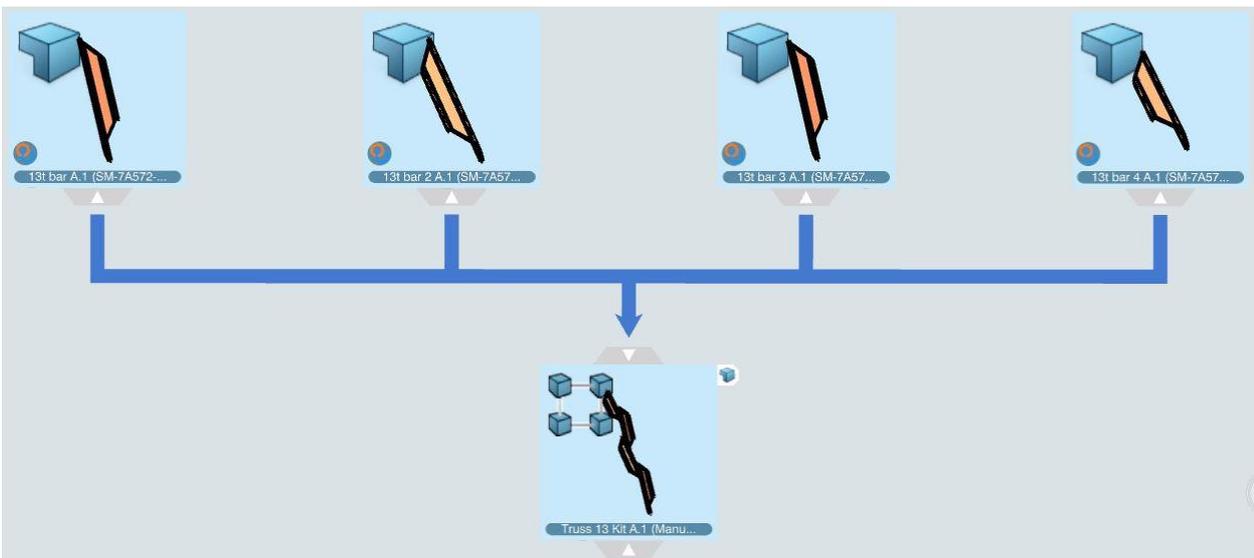


Figura 4.22 Explosión de la Truss 13

4.4 Hipótesis del montaje mediante la descripción de las estaciones

4.4.1 Fase 0 o entrada de conjuntos

La primera fase de montaje se define como fase 0 o de entrada de conjuntos ya que puede verse como el paso anterior necesario a la creación del cajón y se descompone en dos gradas: una para la preparación de los revestimientos y otra para la preparación de los largueros.

4.4.1.1 Grada de revestimiento

En ella se ensamblan los paneles de revestimiento, es decir, el Top Panel y el Bottom Panel, sus soportes para sistemas hidráulicos y sus tapas de acceso, es decir, se equipa los revestimientos dejando los revestimientos en el estado de entrada para la fase que se analiza en profundidades, la fase 1.

La grada de revestimiento es simétrica, es decir, existen dos gradas (una para los revestimientos inferiores y otra para los superiores) compuestas por dos semigradas unidas por un pasillo central, un lado para los paneles derechos y otro para los izquierdos, como se ilustra en la Figura 4.23.

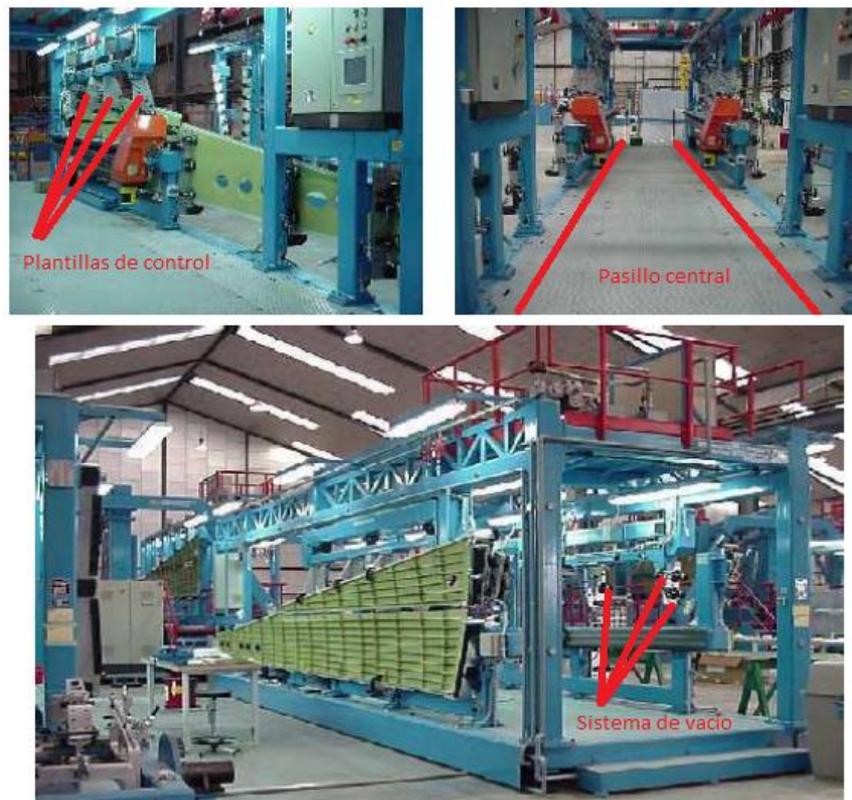


Figura 4.23 Detalle explicativo de la distribución de la grada de revestimiento [11]

Para la colocación y fijación de los revestimientos en su posición correcta se hace uso de un sistema de vacío que posiciona los revestimientos respecto a las plantillas de control y de sistemas de amortiguación de gas para separar el revestimiento, rebabar y sellar.

La grada está equipada con soportes antigraavitatorios para las herramientas, suministro de aire, electricidad y paneles de control para los sistemas, que pueden verse en la Figura 4.24.

Para el bottom panel, el que lleva remachado, la grada va equipada con una máquina copiadora semi-automática para el taladrado.



Figura 4.24 Grada de revestimientos real [11]

4.4.1.2 Grada de largueros

En esta fase se preparan los largueros, es decir, el Front Spar y el Rear Spar, sus soportes para sistemas eléctricos y mandos de vuelo, de slats y las tapas de acceso, dejando los revestimientos en el estado de entrada para la fase 1.

La preparación en algunos casos puede incluir además el rebabado y ajuste final del largo de los spar, ya que dentro del conjunto completo los largueros anteriores son la pieza guía, sobre la que se referencia el montaje. A lo que se le suma ser una de las piezas de mayor longitud, que debe encajar con el hueco longitudinal de la grada de fase 1.

La grada de largueros es también simétrica, al igual que la de revestimientos hay dos gradas compuestas por dos semigradas unidas por un pasillo central, un lado para largueros izquierdos y otro para derechos.

Desde un punto de vista de tiempos y orden de operaciones, en esta grada puede reducirse el desdoble de tiempo o personal. Al contrario que los revestimientos, que ambos se necesitan casi al mismo tiempo en la fase 1, los largueros se introducen en la línea en distinto tiempo en la cadena, por lo que puede dar juego a la hora del equilibrado.

Para la colocación y fijación de los revestimientos en su posición correcta se hace uso de un sistema de vacío que posiciona los revestimientos respecto a las plantillas de control y de sistemas de amortiguación de gas para separar el revestimiento, rebabar y sellar (véase la Figura 4.25).

La grada está equipada con soportes antigravitatorios para las herramientas, suministro de aire, electricidad y paneles de control para los sistemas.



Figura 4.25 Grada real de largueros [11]

4.4.2 Movimientos

Desde el punto de vista logístico, cuando se habla de grandes conjuntos es imprescindible el uso de grandes instalaciones. En el ámbito aeronáutico, es habitual el uso de grandes puentes grúa como el de la Figura 4.26, al que enganchar eslingas con útiles de todo tipo.

Para el movimiento del cajón del ala se usa el útil de la Figura 4.27. Como puede observarse es muy similar a la grada de revestimientos y como se verá posteriormente a las estructuras de revestimientos de la fase 1.

El objetivo del útil es posicionar el producto en todas las fases de montaje y evitar perder las referencias entre las piezas. Se habla de marco debido a la construcción del útil: dos grandes largueros longitudinales unidos por otros transversales soldados que permite conservar la forma. Al igual que las gradas está equipado con sistema de vacío, pero este caso, lleva un sistema de acumulación del gas ya que se pierde el contacto con la instalación fija de la grada o nave. Junto con un sistema antivuelco.



Figura 4.26 Movimiento del cajón de torsión de la aeronave en la línea de producción real [11]



Figura 4.27 Marco universal real para el movimiento del cajón [11]

4.4.3 Fase 1

La fase en estudio conforma el punto principal de la línea de montaje, en ella se posicionan, taladran y remachan ambos revestimientos, larguero anterior, costillas y wingtip, además del herraje de las corraderas del flap. También se instalan tuberías del sistema hidráulico para el sistema de control de vuelo.

La grada de ensamblaje, al igual que las ya mencionadas, consta de soportes anti-gravitatorios para las herramientas e instalación de aire y electricidad, comandados desde paneles centralizados táctiles.

Esta grada está formada por una estructura central, o en adelante marco, que hace de posicionador para costillas y wingtip principalmente, la cual se muestra en la Figura 4.28. Esta permanece estática y consta de posicionadores retractiles para posicionar los largueros y costillas. Además incluye dos estructuras móviles que sujetan los revestimientos mediante vacío y los posicionan respecto a las costillas mediante unas “cuchillas” y el wingtip (véase la Figura 4.29 y la Figura 4.30).

La instalación también incluye un sistema de plataformas que permiten regular su altura para acceder a todos los útiles y la realización de todo el trabajo manual.



Figura 4.28 Marco central de la fase 1 con los posicionadores de costilla [11]



Figura 4.29 Bottom panel montado sobre las estructuras retráctiles de la fase 1 [11]



Figura 4.30 Detalle de las cuchillas de las estructuras retráctiles de la fase 1 [11]

4.4.4 Fase 2

Hasta esta fase, el cajón ha estado en todo momento en posición vertical, pero la grada de fase 2 tiene un sistema de giro tal que recibe el montaje en el marco universal para movimientos en posición vertical que lo posiciona horizontalmente, como puede verse en la Figura 4.31.

De esta forma se libera la zona de ambos largueros que antes quedaba entre los útiles de costillas. Permite taladrar el larguero posterior y el remachado del larguero anterior ya taladrado en la fase anterior.

No se detallan las operaciones por similitud y mayor facilidad respecto a la fase 1. En este caso se usa un sistema de control numérico para el taladrado del larguero anterior.



Figura 4.31 Grada real de la fase 2 [11]

4.4.5 Fase 3

Para completar el proceso se incluyen las últimas fases de ensamblaje y generar así un punto de vista general del conjunto de estaciones necesarias para la creación del producto final, más allá del detallado en el análisis.

Ahora se procede al cierre real del cajón, remachando el larguero posterior con los revestimientos, costillas y wingtip. Se incluyen herrajes de spoiler, alerón y flap realmente al conjunto, pero en la maqueta escogida para el análisis solo se aporta el herraje del spoiler o fairing como ejemplo.

Además se montan las costillas de borde de ataque y salida, las encargadas del soporte estructural de las superficies aerodinámicas junto con tapas de acceso del borde salida (no incluidas en modelo).

En la Figura 4.32 puede observarse que se usan posicionadores para las costillas de los bordes similares a las del cajón. Como particularidad, la grada incorpora un sistema de refrentado usado en la costilla 11. Con su uso se consigue mecanizar la parte externa de la costilla mediante el roce de la herramienta. Ésta mecaniza el plano perpendicular al eje de giro.

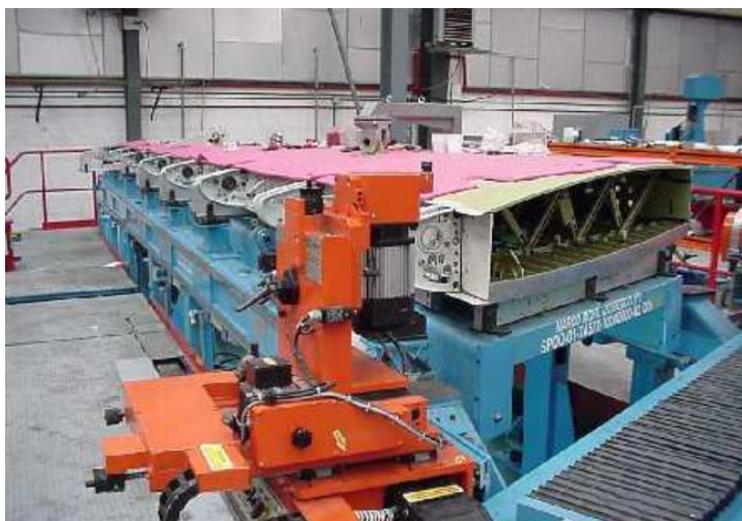


Figura 4.32 Grada real de la fase 3 [11]

4.4.6 Fase 4

Se incorporan al flujo el borde de ataque y las tapas del borde de salida, unos de los elementos más delicados debido a su aerodinámica y es necesario la realización de pruebas. Entre ellas, la máquina-grada mostrada en la Figura 4.33 ejerce un volteo de 180° para comprobar si existen elementos sueltos, o FOD, dentro del cajón ya cerrado para evitar el peligroso deterioro de la estructura.



Figura 4.33 Grada real de la fase 4 [11]

Permite regular las plataformas incluidas para mejorar la ergonomía en la fabricación, además de todos los sistemas de instalaciones de aire y electricidad ya nombrados con anterioridad.

4.5 Hipótesis del utillaje mediante la descripción de las operaciones

4.5.1 Plataformas y posicionamiento

Por norma general, para el ensamblaje de estructuras se utilizan gradas de montaje. Estas estructuras metálicas pueden conformar una planta completa o ir definiendo distintas islas o estaciones. Una instalación en altura permite tener accesible entre el suelo de la planta industrial y el suelo de la grada, multitud de sistemas. Lo que conlleva multitud de ventajas de mantenimiento, limpieza y control de los sistemas que se introduzcan en la zona, además de la flexibilidad de cambio de la línea a menor coste. Pudiendo alargar su vida útil, adaptándose a nuevos métodos de trabajo, hacer cambios en el producto final, o reutilizar esa misma grada en otro layout.

Como puede verse en la Figura 4.34, se montan diversas estructuras bajo el andamiado o zona útil de la grada (en verde) ya que sobre estas se van a unir piezas de gran peso que necesiten de una gran fijación, estabilidad y flexibilidad.

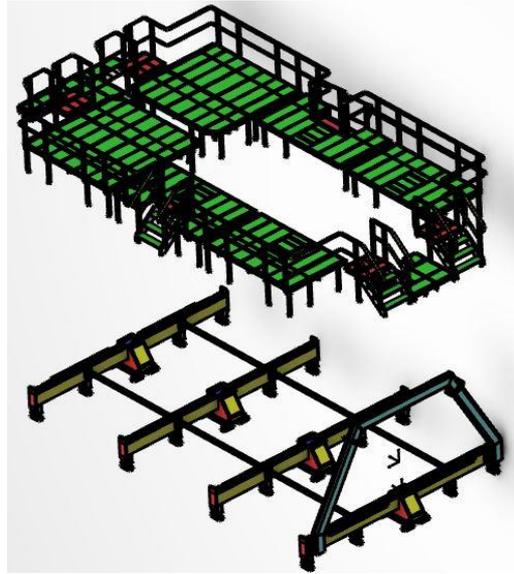


Figura 4.34 Explosión de la grada de fase 1 y la soportación inferior

Como se ha hablado con anterioridad, la grada estudiada consta de plataformas elevadoras sobre el nivel suelo de la grada, facilitando la ergonomía y la seguridad de los trabajos en altura. Un ejemplo de la mejora que proporciona la plataforma elevadora integrada respecto a una móvil que podría utilizarse en cualquier otra situación, es el diseño concreto para la fabricación: es decir, tiene la altura y las dimensiones requeridas para el posicionado, taladrado y remachado manual de las zonas más altas del cajón del ala posicionado, además de ser totalmente estable y localizarse cercana al marco estructural. En la Figura 4.35 puede verse el movimiento de elevación de estas plataformas en el modelo tridimensional.

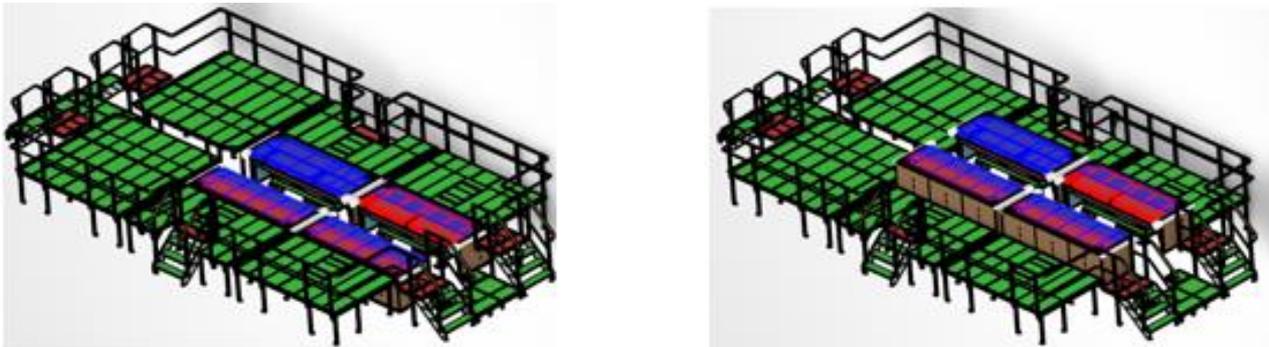


Figura 4.35 Movimiento de las plataformas elevadores de la fase 1

Al añadir al modelo de la grada el marco estructural, se obtienen unas instalaciones similares a la que se muestra en la Figura 4.36, ya que se han ocultado algunos elementos por simplificación. Puede verse como la sección central es la más reforzada gracias a los pilares estructurales añadidos (amarillo).

El marco central es un cuadrilátero de igual forma que la planta del cajón pero de mayores dimensiones que hace de soporte para el montaje de éste, totalmente estático.

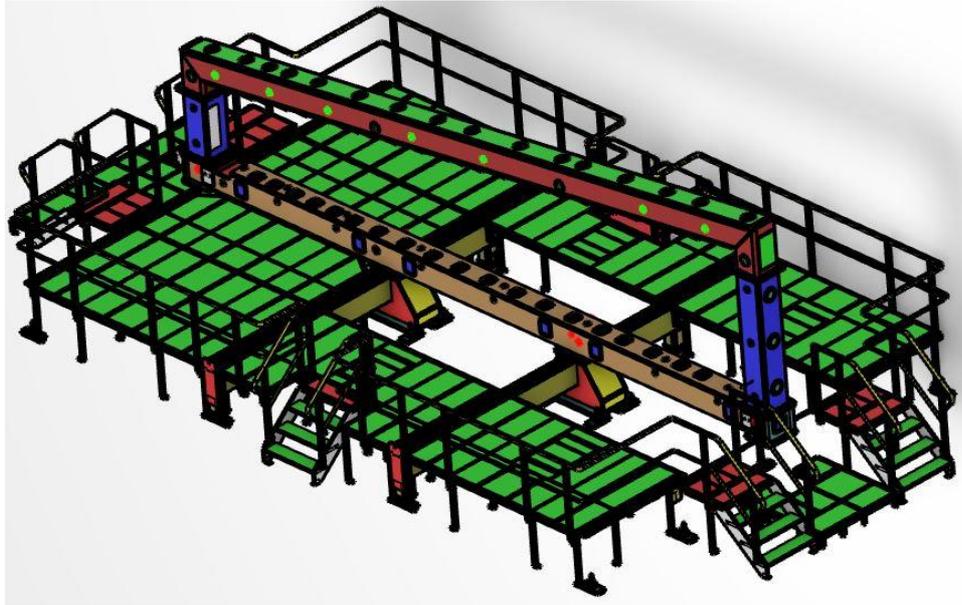


Figura 4.36 Marco central de la grada de la fase 1

Como puede verse en la Figura 4.37, sobre el marco central se montan multitud de soportes retráctiles, que puede aumentar o disminuir su longitud respecto a la superficie del marco, monitorizados mediante el panel de control de la grada.

El marco tiene integrado a su vez, útiles o plantillas que permiten posicionar el wingtip en el outdoor (izquierda de la imagen) y hacer de costilla de encastre en el indoor (derecha de la imagen), para tomar de referencia en el posicionamiento de larguero y revestimientos.

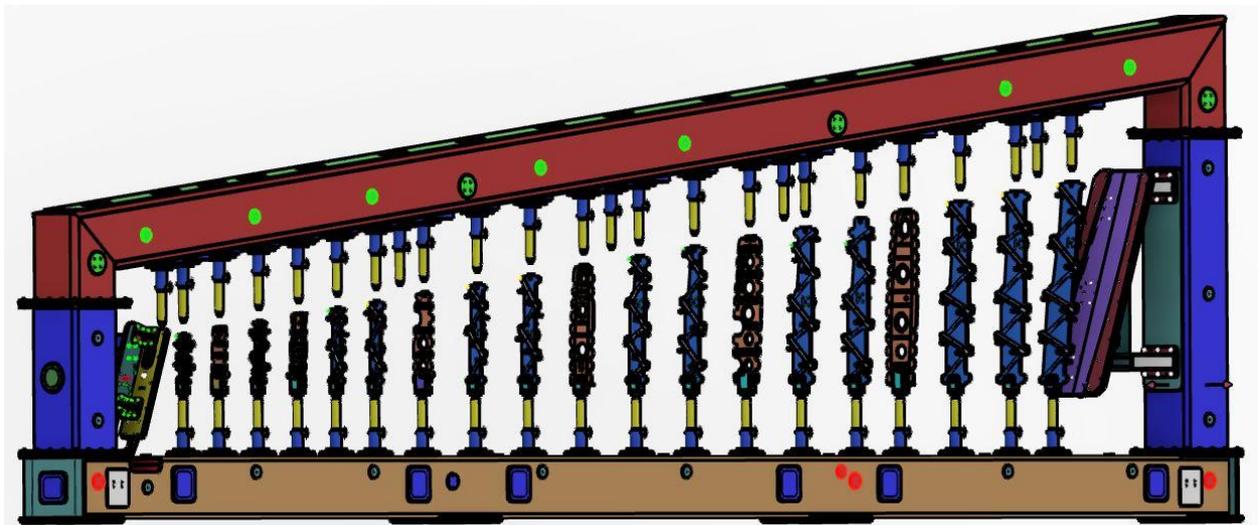


Figura 4.37 Marco central con costillas de chapa y de celosía posicionadas

Al mirar detenidamente los posicionadores, no es casual la diferencia en número entre estos en la parte inferior y superior del marco.

En la parte baja, se dan 6 posicionadores para costillas de chapa y 13 para costillas de celosía, haciendo un total de 19 posicionadores inferiores. Los cuales tienen sus respectivos en la parte superior y a los que se le suman 5 más que hacen de ajuste para el larguero de borde de ataque, del que se hablará más adelante.

4.5.2 Posicionamiento de costillas de chapa

En primer lugar, se adjuntan dos detalles de la parte inferior de una de las costillas en la Figura 4.38 para su descripción. El de la izquierda se incluye para hacer hincapié en el taladro de posicionamiento pre-fabricado en la pieza. En el momento de fabricación de las costillas se crean estos pequeños agujeros diseñados por plano y que corresponden específicamente con el útil usado para su colocación en la grada ya mencionada. Es una forma de unión temporal, que permite dar forma a la estructura que se está creando, sin hacer apenas daño a la pieza estructuralmente en su puesta en vuelo.

A la derecha, se enseña la costilla en el estado montado sobre el útil: son una serie de bloques unidos por fijas y tornillos que permiten el acople y desacople a los posicionadores retráctiles anteriormente mencionados. El bloque verde tiene forma de L, y cada uno está diseñado específicamente para cada una de las costillas. Tras apoyar la costilla sobre el útil de costillas, se introduce una fija en el agujero de posicionamiento de la costilla mencionado. En este caso, la fija en cuestión, es un cilindro con bastante más base que el tornillo a introducir en el agujero, para controlar aún más que el plano de la costilla está totalmente vertical.

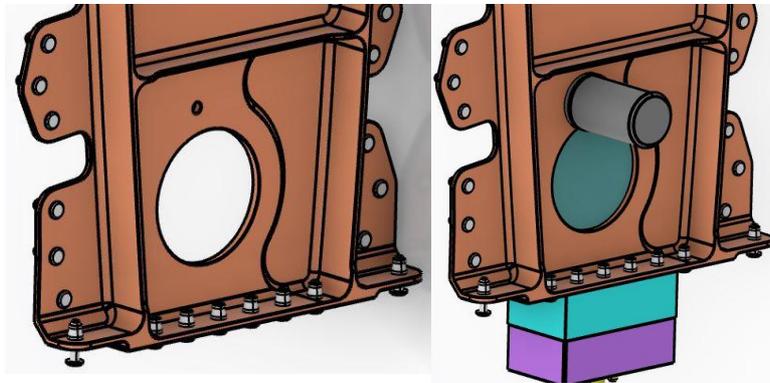


Figura 4.38 Detalle de costilla de chapa posicionada en su útil

Cada vez es más usual en montaje aeronáutico, encontrar útiles con sensores de posicionamiento que permiten el posicionamiento exacto combinando la electrónica y el ajuste manual, comparando con el diseño tridimensional o sistemas de referencia integrados en el utillaje.

Los útiles de posicionamiento superiores para las costillas de chapa no vienen incluidos en el modelo de 3DExperience, pero puede suponerse que se usan útiles similares, ya que como se ve en la Figura 4.39, las costillas de chapa tienen taladros de coordinación en ambos extremos.

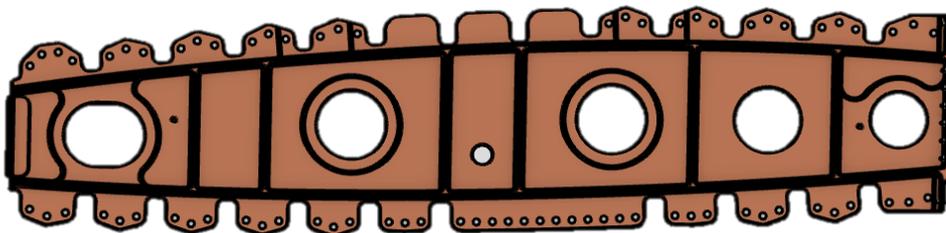


Figura 4.39 Costilla de chapa 1

4.5.3 Posicionamiento del wingtip

A la hora de posicionar la costilla más externa o wingtip, el procedimiento de ajuste con útil es distinto. En este caso, el útil esta compuesto de una plantilla o silueta en negativo en la que se introduce la pieza del wingtip.

Puede verse en la Figura 4.40 como la parte inferior del marco central tiene un hueco para evitar interferencias con la punta del wingtip y facilitar su colocación. A pesar de no incluir la corredera del spoiler, sus dimensiones y debido a la flecha del ala, hacen más incómoda su colocación.

Al igual que el resto de costillas, trae un taladro de posicionamiento en el que se introduce una fija cegada, que se une con un taco unido al útil (azul), que hace de tope además con el nervio del wingtip, creando más restricciones de movimientos.

En la parte media del útil puede verse que existe sistema de vacío y fija además de otro taco un poco más abajo, que coincide con otro de los nervios de la costilla del wingtip.

Se muestra el wingtip desmontado y ajustado en la plantilla, aunque debido a la construcción del modelo de la grada, ha sido imposible explotar las fijas del útil para asemejar más la imagen a la realidad.

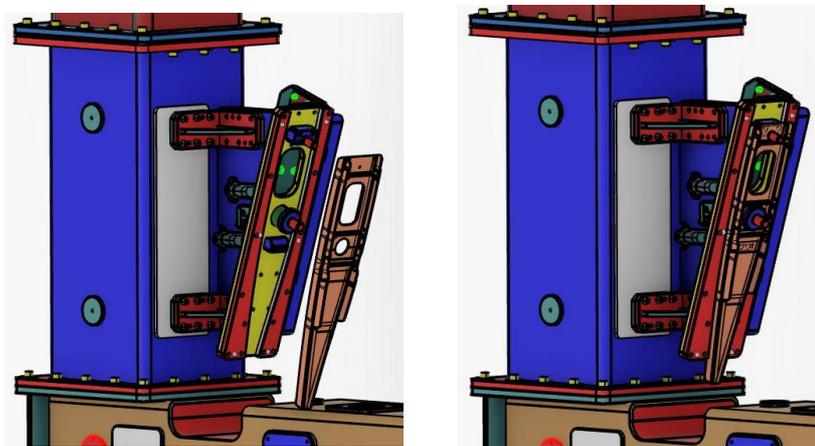


Figura 4.40 Wingtip explosionado y posicionado en la plantilla-útil del marco central

4.5.4 Posicionado de revestimientos

Para la colocación de los revestimientos, la grada incorpora dos estructuras móviles simétricas (en azul), a pesar de que una de ellas está oculta en la Figura 4.41, que acercan el revestimiento perpendicularmente al plano del marco central.

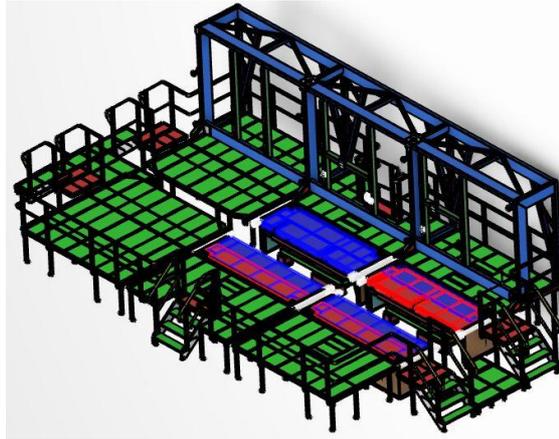


Figura 4.41 Grada de fase 1 con una de sus estructuras móviles de revestimientos extendida

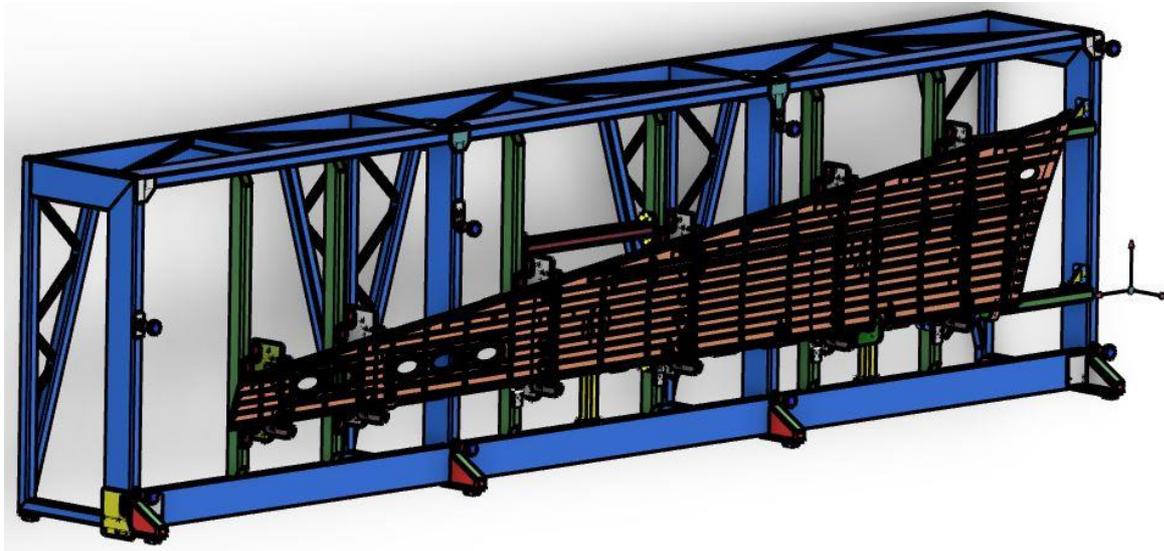


Figura 4.42 Estructura móvil de posicionado de revestimientos de fase 1

Estas estructuras, como se ha adelantado en el punto anterior y se representa en la Figura 4.42, constan de ventosas (rojas) y un sistema de vacío para fijar el revestimiento en la posición que marcan las cuchillas (en gris), unas chapas metálicas con la forma del revestimiento en cada sección y protegidas en su filo.

Además, en la parte superior e inferior de cada cuchilla, el útil incorpora soportes para el apoyo del revestimiento. En la parte inferior, el útil cuenta de una grieta para encajar el panel y en la parte superior, en cambio, el útil restringe el movimiento de la pieza mediante un tope desmontable que mantiene en su posición al panel al colocar la fija (véase la Figura 4.43).

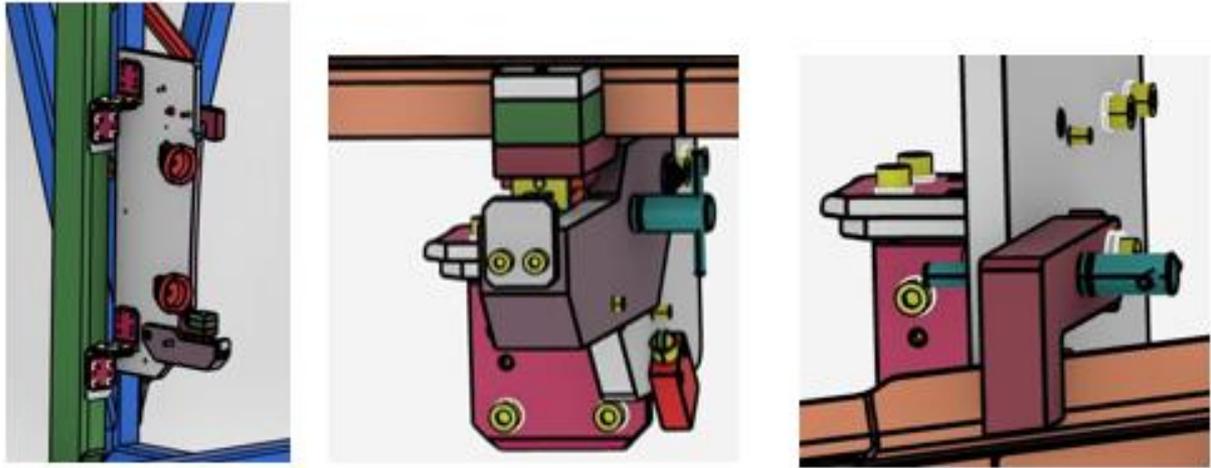


Figura 4.43 Detalle de cuchillas y útiles superior e inferior de posicionamiento de revestimientos

Por otro lado, en el lado del encastre del ala, el marco central de la grada incluye un útil montado en el pilar de la grada que hace las veces de costilla 0 o de encastre del ala con la aeronave. Permite de esta forma, reforzar la colocación del panel, ya que el extremo no quedaría en voladizo si no apoyado completamente sobre el útil. Es uno de los puntos de referencia para la colocación de ambos paneles.



Figura 4.44 Ejemplo real de revestimiento posicionado con costillas [11]

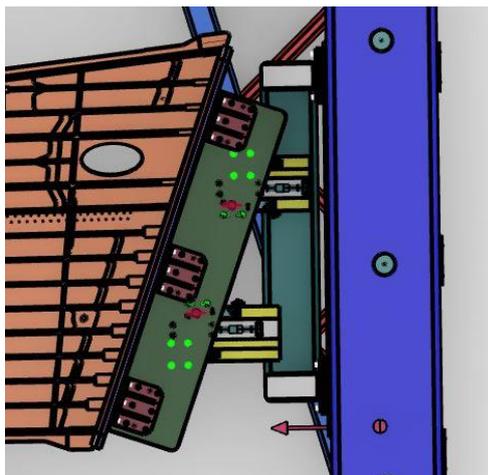


Figura 4.45 Útil de apoyo de revestimientos y Front Spar en la zona del encastre

La Figura 4.44 y la Figura 4.45 se incluyen para mostrar las distintas formas que puede adoptar el encastre nombrado en cada grada de montaje, específica para cada aeronave. En la Figura 4.44 puede verse que la aeronave no tiene flecha en el grupo alar, mientras que las alas de la aeronave elegida para el modelo tridimensional sí que tiene flecha, por lo que la grada debe reforzarse y adaptarse a este tipo de soporte.

4.5.5 Taladrado de revestimientos con costillas de chapa

Al comienzo del estudio del modelo tridimensional, se supuso erróneamente que el taladrado-remachado de las costillas con los revestimientos se hacía de forma externa, pero al profundizar en el estudio se descubrió que los paneles externamente no presentan remaches más allá de los de la unión de las distintas partes del propio panel.

El hecho de que la unión sea interna al cajón supone una mayor complejidad del proceso, debido al gran número de costillas y barras de costillas que se presentan. Aún en el momento de taladrado de revestimientos y paneles el nivel de ergonomía hace que el taladrado resulte cómodo ya que el cajón aún no está cerrado. Es decir, los revestimientos se pueden acercar y alejar sin problemas para el taladrado de cada lado. Sin embargo, es lógico que para el remachado esta comodidad es imposible. Esta reducción de la ergonomía se pretende demostrar con la Figura 4.46, en la que puede verse la colocación de las costillas respecto a los manholes, ya que es por estos accesos y por la parte posterior del cajón por donde se realiza el remachado manual.

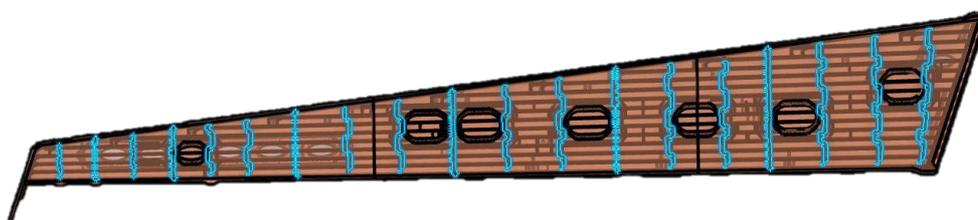


Figura 4.46 Vista en planta del cajón señalando las costillas en 3DExperience

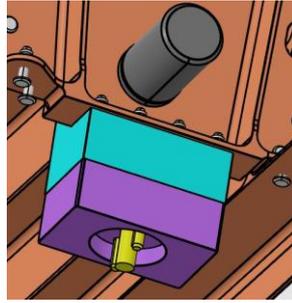


Figura 4.47 Detalle de la colocación de costilla, su útil y uno de los revestimientos

Con el detalle de la Figura 4.47 se trata de corroborar el solape de las piezas. Es el revestimiento quien recoge o sobre el que se apoya la costilla. El útil de posicionamiento de la costilla no interfiere en ningún caso con los elementos.

Para el caso de las costillas de chapa, como estas se encuentran colocados en el marco central mediante los posicionadores retráctiles, para su taladrado solo se necesitan el acercamiento del panel en cuestión y el taladrado de la costilla al nervio del revestimiento, como se representa en la Figura 4.48.

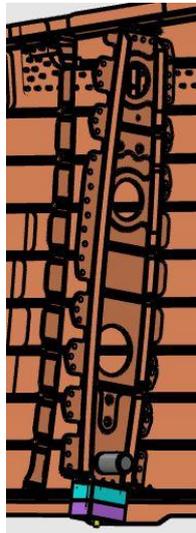


Figura 4.48 Vista de costilla de chapa posicionada con el revestimiento para su taladrado

Los puntos a taladrar no son aleatorios, pero en este caso, al contrario que en la celosía no se utiliza un útil para la tarea de taladrado.

En estos casos, para aumentar la precisión de los taladros y reducir el tiempo por taladro, la costilla suele traer de fábrica los agujeros pre-taladrados. Es decir, las piezas de costillas traen taladros en los lugares correctos según los planos de diseño pero estos se retraladran o agrandan en el momento del taladrado con el revestimiento en cuestión en la grada.

4.5.6 Posicionamiento y taladrado de costillas de celosía

Sin embargo, la colocación de las costillas de celosía es bastante más difícil que las costillas de chapa. Es necesario el uso de un útil que haga de costilla sólida para el montaje de estas. El útil (azul en la Figura 4.49) tiene la forma exacta para cada sección de costilla donde tiene que situarse, por lo que encarece en gran medida la inversión inicial en la grada. Este útil a su vez, se apoya como las costillas de chapa, sobre los útiles de los soportes retráctiles, creando un sistema de repetición del montaje para la eliminación de errores.

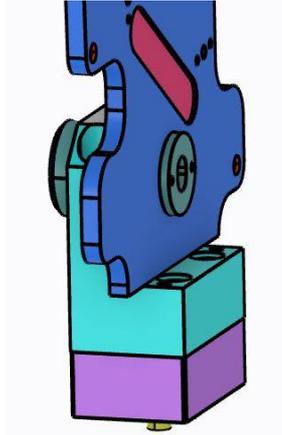


Figura 4.49 Detalle inferior del útil de posicionado de barras en costillas de celosía

En la Figura 4.50 se adjunta un detalle del útil de taladrado para las costillas de celosía, el cual consta de multitud de taladros de posicionamiento y unos soportes (verdes) que sujetan cada una de las barras de la celosía en cuestión.

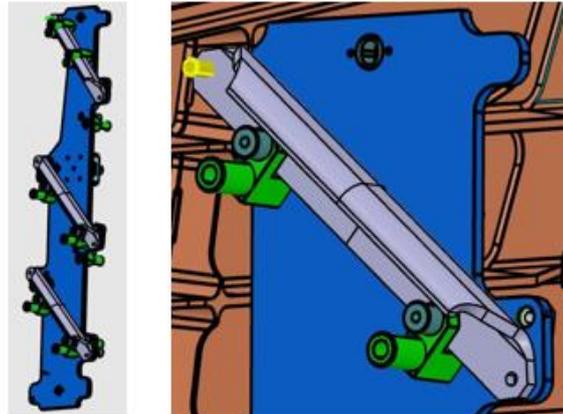


Figura 4.50 Detalles de barras de celosía posicionadas mediante posicionadores y fijas

Resulta curioso descubrir cómo el útil está perfectamente diseñado para el posicionamiento de las barras a un lado y otro de la celosía.

Cómo el posicionamiento de las barras de las costillas de celosía está íntimamente relacionado con el taladrado, el útil permite el agarre de las barras anteriormente mencionadas en su posición final respecto al revestimiento, y el taladrado de ambos elementos al mismo tiempo.

La Figura 4.51 es una vista de perfil del útil en su posición respecto al nervio del revestimiento y la barra colocado con los soportes en su posición relativa. Puede verse como la posición de montaje, de izquierda a derecha, sería: barra, nervio y útil. Lo que permite el taladrado del revestimiento y la barra al mismo tiempo, comenzando el taladrado por la cara libre del útil. Esto permite una precisión en el montaje muy alta.

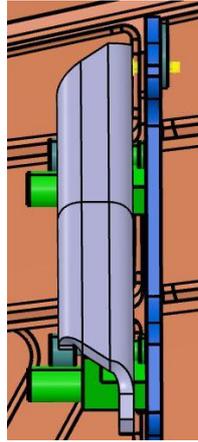


Figura 4.51 Vista en perfil de barra posicionada

En los siguientes detalles de la Figura 4.52 se pretende remarcar el doble uso del útil:

- A la izquierda, el posicionado de las barras de la costilla de celosía colocadas en el outdoor de la costilla. En estas de izquierda a derecha: barra, nervio y útil. El taladrado se da de derecha a izquierda.
- A la derecha, el posicionado de las barras en el indoor, que de izquierda a derecha: útil, nervio y barra. Por lo que el taladrado se da de izquierda a derecha, nuevamente del lado del útil.

Por lo tanto, se deduce que resulta físicamente imposible el taladrado de barras indoor y outdoor al mismo tiempo. Para un mismo panel de revestimiento, es necesario desmontar el útil y las barras que tuviese colocadas, y mover el útil a un lado y otro del nervio del revestimiento.

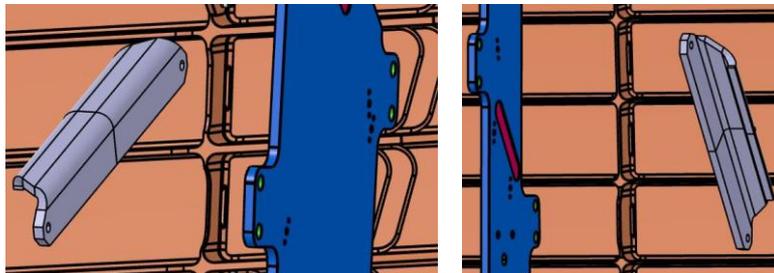


Figura 4.52 Posicionamiento de barras de celosía, el útil de costillas y el nervio de revestimiento

4.5.7 Remachado de revestimientos con costillas

El espacio y las posibilidades de movimiento comienzan a reducirse con la llegada de la operación de remachado costillas-revestimiento.

En primer lugar, se plantea la problemática del desmontaje de todas y cada una de las barras de celosía. De media, cada celosía, de las 13 que hay, tiene unas 4 barras. Las cuales son dibujadas y simétricas y tienen la longitud precisa para el lugar que ocupan.

Cada pieza en el sector industrial tiene su identificación o Part Number (PN), pero resulta bastante incómodo leer una codificación larga de números, normalmente casi consecutivos, a la hora de la fabricación.

La solución al problema se llama punto de uso, es decir, un lugar de colocación de producto ordenado para evitar fallos, una idea ligada al Lean Manufacturing. A pesar de no incluirse en la grada, se propone de manera personal una solución simple al problema, ilustrado en la Figura 4.53:

La creación de un útil logístico para la llegada y la colocación de las barras de celosía en el momento de la fabricación, entre el taladrado y el remachado. Una especie de plantillas, hechas de madera o gomaespuma, con un layout pintado para cada una de las celosías, en la que exista un sitio único para cada una de las barras. Disminuyendo el riesgo de fallos y los tiempos de producción.

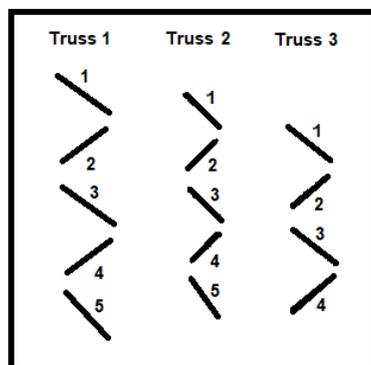


Figura 4.53 Posible útil para la entrada y localización de las barras de celosía

Tras este inciso, y suponiendo que todas las costillas están taladradas, sería el momento de remacharlas manualmente.

A continuación se adjunta una de las posibles combinaciones de operaciones para el remachado de las costillas con el revestimiento, con justificación:

- Acercamiento del Bottom Panel al marco: es necesario el posicionamiento del panel con la operación ya descrita y el acercamiento de la estructura móvil al marco con las costillas posicionadas.
- Remachado de costillas de chapa y wingtip con el Bottom Panel: esta operación resulta cómoda ergonómicamente hablando teniendo en cuenta el diseño de la grada, la unión esta totalmente accesible y se dispone de las plataformas elevadoras.
- Acercamiento del Top Panel al marco: movimiento del revestimiento al igual que el Bottom panel pero con la complejidad añadida de no tener acceso al interior del cajón de forma cómoda.
- Remachado de costillas de chapa y wingtip con el Top Panel: mediante las plataformas elevadoras y el espacio entre el cajón del ala y la parte inferior del ala se tiene acceso para el remachado de la unión. Junto con el conjunto de manholes de ambos paneles. Cabe destacar que la distancia entre paneles, el ancho del cajón, se reduce a 10 centímetros en la punta del ala.
- Remachado de costillas de celosía con ambos revestimientos: la única posibilidad para su remachado es hacerlo manualmente. En este momento las barras de celosía no permiten introducir ningún útil para facilitar la tarea pero sí es posible, que en la fabricación real, se usasen pequeñas fijas que se introducen en los puntos a remachar, sujetando un extremo y pudiendo crear la unión en el otro extremo de la barra.

4.5.8 Taladrado de rear spar con revestimientos y costillas

Tras tener costillas y revestimiento remachados llega el momento de posicionar el larguero anterior en su posición. Para esto se requiere quitar los útiles superiores de las costillas, quedando la situación que se ilustra en la Figura 4.54.

Como se adelantó, y aunque el larguero quede totalmente encajado entre los útiles del wingtip y el que hace de costilla de encastre, junto con los revestimientos, tiene sentido pensar que se usan útiles para una mayor fijación de la pieza. En la imagen puede verse, como el posicionador central de los tres visibles es uno de los usados para un posicionamiento seguro y preciso del larguero. A pesar de que el útil no se incluya en la grada.



Figura 4.54 Detalle de posicionamiento del Front Spar

Llega el momento de la unión desde el interior de las costillas de chapa con el larguero. Solo de las solidas ya que las de celosía solo van remachadas a los nervios de los revestimientos.

En el caso de las costillas de chapa, la parte superior de estas no tiene forma de L como pasa en su zona baja, la que apoya en el útil de posicionamiento de costillas de chapa. La forma de las costillas en el extremo superior es un plano perpendicular al larguero y no presenta nervios con los que hacer la unión. En este caso el diseño usa multitud de pletinas en forma de escuadra para la unión estructural, lo que permite un ajuste fino de la construcción a la vez que se corrigen pequeños errores de fabricación y montaje.

Para el caso del wingtip, se añade la Figura 4.55 con la que ilustrar y mejorar el entendimiento de la unión. La pletina o soporte es distinto a los de las costillas de chapa en general, al ser una de las esquinas del cajón se usa un perfil en T como puede verse en la imagen. El soporte (marrón) se apoya sobre el wingtip (amarillo), tanto en la zona superior como en el plano de la propia costilla del wingtip y se introduce bajo el nervio externo del revestimiento (azul). Posteriormente, se añade el larguero (rojo) sobre la pletina y revestimiento. Obteniendo un ajuste completo en el que realizar el taladrado de las piezas. Es probable que la pieza pre-taladrada sea la pletina, que da los puntos diseñados para las uniones. En la operación de taladrado del larguero, se taladraría el wingtip, el larguero y el revestimiento, y se estaría retaladrado la pletina al mismo tiempo, agrandando su diámetro teniendo su centro.



Figura 4.55 Detalle de la unión entre Wingtip, revestimiento y Front Spar

4.6 Resultado: orden de operaciones en fase 1

Debido a la sucesión de movimientos y útiles detallados en apartados anteriores, se plantea a continuación el listado de operaciones ordeanadas que derivan del montaje detallado de la fase 1 a modo de resumen:

Tabla 4.2 Proceso de ensamblaje en la fase 1

Tareas de montaje	
1	Posicionamiento de costillas de chapa en el marco central
2	Posicionamiento de wingtip en la plantilla del marco central
3	Posicionamiento del Bottom Panel en las costillas de la estructura móvil
4	Posicionamiento del Top Panel en las costillas de la estructura móvil
5	Acercamiento del Bottom Panel al marco central
6	Posicionamiento y taladrado de las barras de celosía outdoor con el Bottom Panel
7	Desmontaje de las barras y movimiento del útil de costillas de celosía al otro lado del nervio del BP
8	Posicionamiento y taladrado de las barras de celosía indoor con el Bottom Panel
9	Desmontaje de las barras anteriores
10	Alejamiento del Bottom Panel del marco central
11	Acercamiento del Top Panel al marco central
12	Posicionamiento y taladrado de las barras de celosía indoor con el Top Panel
13	Desmontaje de las barras y movimiento del útil de costillas de celosía al otro lado del nervio del TP
14	Posicionamiento y taladrado de las barras de celosía outdoor con el Top Panel
15	Desmontaje de las barras anteriores
16	Desmontaje del útil de las costillas de celosía
17	Remachado de las costillas de chapa con el Top Panel (sigue posicionado junto al marco central)
18	Acercamiento del Bottom Panel al marco central
19	Remachado de las costillas de chapa con el Bottom Panel
20	Remachado de barras de las costillas de celosía
21	Posicionado y taladrado del larguero anterior a las costillas de chapa y los revestimientos

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

Estudia el pasado si quieres pronosticar el futuro.

A modo de resumen del proyecto, se incorporan en este capítulo las conclusiones derivadas de la realización de este trabajo de investigación. Se aúnan conclusiones y opinión personal debido a su interrelación en el análisis de la plataforma colaborativa que se planteaba como objetivo formativo. En última instancia se presentan distintos proyectos que surgen de este propio como ampliación y mejora evidente.

5.1 Conclusiones y opinión personal

5.1.1 Sobre el proceso de montaje

Dentro de la aplicación Manufactured Item Definition, resulta de gran ayuda la creación de un entorno PPSR. La capacidad de en un solo clic poder acceder a distintos puntos de vista de un mismo proceso permite que la ingeniería concurrente resulte más cómoda. La funcionalidad Drag&Drop mejora la experiencia en gran medida la experiencia de uso.

Con el uso de Manufactured Item Definition, se corrobora la facilidad de rectificación y mejora sencilla de los procesos. En concreto, para este proyecto, la MBOM inicial creada en el nodo de proceso resulta del todo distinta a la desarrollada en el documento como se adelantó en el Capítulo 4.

Uno de los escollos encontrados en la generación de tiles del proceso ha sido la visualización de la estructura en árbol de la MBOM completamente desplegada, junto con la representación de conjuntos formados por pequeñas piezas separadas a grandes distancias. Un ejemplo de ello se da en la visualización de las barras de celosía dentro del Manufacturing completo de las Truss.

5.1.2 Sobre el utillaje

En el caso del estudio de útiles se han encontrado algunos problemas a pesar de las comodidades ofrecidas por la aplicación debido al diseño CAD en versiones anteriores de CATIA. La incompatibilidad entre ambas versiones no permite el explosionado de estos útiles, por lo que limita el conocimiento en profundidad de cada una de las partes que los conforman. Problemática que se une al limitado conocimiento del amplio y de dificultad mundo del utillaje aeronáutico debido a las restricciones de espacio, materiales, ergonomía, linealidad del proceso...

La aportación de datos reales de los medios industriales usados en procesos de montaje similares ha sido de gran ayuda para conseguir un enfoque de análisis basado en la justificación de las hipótesis mediante comparación entre el modelo tridimensional supuesto y la bibliografía usada.

5.1.3 Sobre la plataforma 3DExperience

Puede decirse que la herramienta colaborativa 3DExperience cumple con las expectativas que promulga. Resulta muy cómoda la visualización de contenido en el servidor web, ya que permite que cualquier usuario con acceso a ésta pueda obtener información rápidamente y de calidad.

La posibilidad de crecimiento personal de los usuarios permitidos por cada cliente con perfil administrador a la plataforma es mucho mayor frente a otras herramientas de gestión de la información, gracias a la interfaz comunicativa que ofrece. Puede que la limitación de acceso mediante licencia reduzca este conocimiento abierto, pero resulta indispensable asegurar la privacidad de los datos de cada cliente hoy en día.

Además, el hecho de concentrar todos los módulos en un único menú-logo, recrea un modo de uso más interactivo. Cada día estamos más acostumbrados a interfaces más rápidas, interactivas y cómodas, más visuales debido al gran desarrollo de la tecnología, sobre todo de la tecnología móvil. Sin embargo, puede resultar un hándicap para los usuarios más acostumbrados a los servicios habituales de Dassault Systèmes, la mejora continua siempre genera reticencias.

La capacidad de configuración y adaptación a cada cliente es clave, por ejemplo, para este proyecto se han creado una serie de dashboard's o entornos dentro del programa donde colaborar con otros compañeros, de los que pueden derivarse aumentos notables de la productividad. En concreto, el motor de búsqueda general permite una gran reducción de tiempos. Por contra, la posibilidad de modificación del trabajo en curso de un compañero por error en la aplicación es aún muy usual, lo cual necesita de un cambio importante en el modo de trabajo de los profesionales.

En contraposición, al utilizar una versión del programa en desarrollo (como se ha hecho para este proyecto), aparecen incompatibilidades con la tarjeta gráfica. En algunos casos permite ejecutar las herramientas pero da lugar a problemas de visualización y asignación. Esta problemática queda resuelta con la actualización de nuevas versiones totalmente desarrolladas y estables por parte de las empresas usuarias de la plataforma.

Como experiencia personal, se resaltan problemas en la apertura de los elementos de la plataforma. Junto al corte de conexión con el servidor en la nube si se utiliza demasiado el programa de escritorio sin recargar la página web. Ambas situaciones están relacionadas y conllevan el mismo efecto, es necesario volver a iniciar sesión en la plataforma.

5.2 Trabajos futuros

Cabe destacar, que el desarrollo de este trabajo posibilita la creación de bastantes vías de investigación interesantes, las cuales se enumeran a continuación de forma ordenada, debido al proceso normal de diseño en la plataforma:

1. Desde el punto de vista de la aeronave completa, se propone diseñar las partes de la aeronave no incluidas en el modelo tomado del cajón del ala.
2. Tras la ampliación de la BOM, sería útil general la MBOM ideal para el conjunto completo, ya que al tomar un diseño mayor pueden abrirse diversificaciones en el proceso actual.
3. Obviando el crecimiento de la BOM mediante el diseño estructural nombrado, sería de gran utilidad conseguir simular en la herramienta Assembly Evaluation todo el conjunto de trayectorias seguidas por cada uno de los elementos y sub-conjuntos, junto con los útiles de montaje. Este paso se obvia en el proyecto debido al masivo número de piezas involucradas en cada una de las operaciones de montaje anteriormente explicadas.
4. Este análisis encamina hacia la agrupación en sistemas de cada una de las partes, con sus operaciones requeridas en el ensamblaje, dentro de sistemas. Estos sistemas son los que permiten diseñar los requisitos de instalaciones necesarias, es decir, la creación de las demás gradas de montaje para cada

una de las fases comentadas mediante la asignación de recursos que completen el etorno PPSR junto con el utillaje específico para el resto de tareas.

5. Tras el análisis y mejora de los puntos anteriores, sería muy llamativo la creación del layout de una posible planta industrial mediante la herramienta Plan Layout Design explicada en el Capítulo 3.
6. Gracias a la explicación en este documento de los pasos de montaje, podría resultar interesante la creación de las órdenes de montaje mediante la aplicación de 3DExperience Work Instructions, ya que para ello se necesita haber creado previamente las operaciones de fabricación en Process Plannig.

Por otro lado, para un posible uso en la fabricación del producto, sería de utilidad la inclusión de todos y cada uno de los remaches no incluidos en el modelo, como Fasteners. De manera que se documenten estos para posibles consultas de departamentos de diseño, ingeniería, fabricación, mantenimiento, compras...

La inclusión de tiempos en la herramienta Process Planning otorgaría precisión al sistema, y seguramente haría multitud de mejoras en el proceso productivo pensado hasta el momento. Podría hacerse uso de los Diagramas de Gantt que genera la aplicación para el equilibrado de la línea. Incluso se haría una primera estimación del número de personas involucradas en el proceso de montaje y de la distribución de la carga de trabajo. Sería interesante en este punto, analizar una estrategia de flexibilidad del producto que permita amortizar la gran cantidad de recursos que se implementarán tras la fase de desarrollo del sistema industrial.

Como curiosidad y debido al auge del concepto de Industria 4.0 actualmente, sería todo un reto la simulación mediante las herramientas de realidad virtual que ofrece la empresa Dassault Systèmes en su plataforma colaborativa, del entorno virtuado explicado y propuesto.

REFERENCIAS

* Las imágenes tomadas de bibliografía adjuntan el número de referencia en el pie de foto.

[1] Guillermo Álvarez Murcia: "Planificación con 3DExperience del proceso de ensamblaje de las compuertas del tren de aterrizaje del Airbus A380". Trabajo Fin de Grado, Grado en Ingeniería Aeroespacial, Universidad de Sevilla, 2018.

[2] Juan Manuel Rodríguez Medero: "Mejora en la distribución en planta del montaje súper Jaguar con aplicación de las técnicas "Lean Manufacturing"". Proyecto Fin de Carrera, Grado en Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla, 2012.

[3] "Introducción a los Sistemas CAD/CAM/CAE". Tema 2 de la asignatura Expresión Gráfica, Grados en Ingeniería y Arquitectura, Universidad de Valencia, 2016

[4] María de Lourdes Amador Sánchez: "Modelado con 3DExperience del plan de fabricación y montaje de un soporte para smartphone". Proyecto Fin de Master, Máster Universitario en Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla, 2017.

[5] Jose P. Garcia-Sabater: "Lineas de Producción. Nota Técnica.". Material docente, Grupo de Investigación en Reingeniería, Organización, trabajo en Grupo y Logística Empresarial (ROGLE), Universidad de Valencia, 2020.

[6] Samuel Molina Casino: "Planificación y desarrollo del proceso de fabricación y ensamblaje de aeronaves integrado en plataformas PLM.". Trabajo Fin de Grado, Grado en Ingeniería Aeroespacial, Universidad Politécnica de Valencia, 2019.

[7] Alberto Pulido Herrera: "Definición y simulación de procesos de montaje aeronáuticos como parte de la maqueta digital industrial en un entorno PLM Colaborativo.". Proyecto Fin de Carrera, Grado en Ingeniería Aeronáutica, Universidad de Sevilla, 2015.

[8] Eduardo Domínguez Guerrero: "Diseño y equilibrado de una línea de fabricación de tanques de combustible para el Eurofighter Typhoon.". Proyecto Fin de Carrera, Grado en Ingeniería Industrial, Universidad de Sevilla, 2018.

[9] Juan Pérez González: "Diseño e implementación en una herramienta PLM de un prototipo de proyecto aeronáutico.". Trabajo Fin de Máster, Máster Universitario en Ingeniería Aeronáutica, Universidad de Sevilla, 2016.

[10] Dassault Systèmes: "Acerca de 3DS: Plataforma 3DExperience". [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/acerca-de-3ds/plataforma-3dexperience/#:~:text=La%20Plataforma%20DEXPERIENCE%20es%20una%20plataforma%20PROFESIONAL%20DE%20EXPERIENCIAS.,proceso%20de%20creaci%C3%B3n%20de%20valor.> [Último acceso: 11 10 2020].

- [11] Salomón Benasuly Labuz: "Ustillaje de Montaje". ETSI & COIAE, Universidad de Sevilla, 2017.
- [12] Dassault Systèmes: "Delmia Manufactured Item Definition Course.". 3DEXPERIENCE Platform Course [En línea]. Available: <https://pointfar.com/products/delmia-manufactured-item-definition-essentials-2019x-instructor-led?variant=31506967560310> [Último acceso: 11 10 2020].
- [13] Dassault Systèmes: "Acerca de 3DS: Historia". [En línea]. Available: <https://www.3ds.com/es/acerca-de-3ds/historia/> [Último acceso: 11 10 2020].
- [14] Hexagon: "Sistemas láser tracker: Leica Absolute Tracker AT960". [En línea]. Available: <https://www.hexagonmi.com/es-es/products/laser-tracker-systems/leica-absolute-tracker-at960> [Último acceso: 11 10 2020].
- [15] Electroimpact: "Global 7000/8000 Positioning System. Bombardier". [En línea]. Available: <https://electroimpact.com/Products/FAL/Global7000/Overview.aspx> [Último acceso: 11 10 2020].
- [16] Mecatrónica: "Láser Trackers: ¿Qué son?". [En línea]. Available: <http://www.metronica.es/laser-tracker/> [Último acceso: 11 10 2020].
- [17] Asociación Española de Ergonomía: "¿Qué es la ergonomía?". [En línea]. Available: <http://www.ergonomos.es/ergonomia.php#:~:text=Definici%C3%B3n,y%20mentales%20de%20la%20persona> a. [Último acceso: 11 10 2020].
- [18] Airways. The magazin of aviation: "Airbus Mobile abre oficialmente la línea producción nuevo hangar para A220 en Mobile". [En línea]. Available: <https://airways.com/2020/05/19/airbus-us-inaugura-fal-a220-mobile/> [Último acceso: 11 10 2020].
- [19] Lorenzo Martínez Lebrón: " La gestión del ciclo de vida del producto: PLM". EOI, 2013. [En línea]. Available: <https://www.eoi.es/blogs/mtelcon/2013/02/15/la-gestion-del-ciclo-de-vida-del-producto-plm/> [Último acceso: 11 10 2020].
- [20] Domingo Morales Palma: " Precisión dimensional en el taladrado previo al remachado". [En línea]. Available: <https://dmpalma.wordpress.com/2020/01/30/precision-dimensional-en-el-taladrado-previo-al-remachado/> [Último acceso: 11 10 2020].
- [21] Domingo Morales Palma: "Ensamblaje del ala para el Airbus A320". [En línea]. Available: <https://dmpalma.wordpress.com/2020/01/30/ensamblaje-del-ala-para-el-airbus-a320/> [Último acceso: 11 10 2020].
- [22] Oxford University Press: "Mechanical assemblies. Their Design, Manufacture, and Role in Product Development". Chapter 19 of the Book. [En línea]. Available: https://global.oup.com/us/companion.websites/fdscontent/uscompanion/us/static/companion.websites/9780195157826/Chapter_19.pdf [Último acceso: 11 10 2020].

