



Soluciones avanzadas para la creación de IT de montaje aeronáutico mediante herramientas PLM

F. Mas⁽¹⁾, J. L. Menéndez⁽¹⁾, J. Rios⁽²⁾

(1) Departamento de PLM Process and Tool Solutions. Airbus
fernando.mas@airbus.com

(2) Departamento de Ingeniería Mecánica y Fabricación. Universidad Politécnica de Madrid

En el montaje aeronáutico, el volumen de información que hay que proporcionar a los operarios sobre materiales, proceso, requerimientos de calidad y elementos a montar en cada operación es muy elevado. Esta información se define en un documento llamado Instrucción Técnica (IT) de montaje, que se adjunta a la orden de trabajo. La IT es un documento de texto con ilustraciones. La creación y puesta al día de la IT es un proceso costoso que se realiza después de terminar el diseño industrial de la línea de montaje.

Las herramientas de gestión del ciclo de vida, Product Lifecycle Management (PLM), ofrecen un potencial muy grande para mejorar el proceso de creación y puesta al día de las IT. La utilización de las herramientas PLM en el diseño industrial se centraliza alrededor de la maqueta digital denominada industrial Digital Mock-Up (iDMU). Esta iDMU contiene todos los modelos digitales y la información del producto y de los recursos, integrados con la definición virtual de los procesos de montaje. De esta forma, es posible definir una IT a partir de los modelos e información contenida en la iDMU.

Airbus Military ha realizado varios proyectos de investigación y desarrollo para demostrar la creación de diferentes tipos de IT mediante esta metodología y utilizando varias tecnologías para su despliegue.

1. ENTORNO DEL PROBLEMA

Durante años la fabricación y el montaje en la industria aeronáutica se han realizado con la utilización casi exclusiva de la definición funcional del producto en formato papel, es decir los planos acotados. Una de las características tradicionales en esta industria ha sido el reducido tamaño de sus series, sobre todo en comparación con la industria del automóvil o la industria de bienes de consumo. Esto ha llevado durante años al uso de un utillaje sencillo, una baja automatización y unos procesos de fabricación y montaje manuales, orientados a la utilización intensiva de mano de obra altamente cualificada.

Como resultado de todo lo anterior, y a pesar de que los métodos de ingeniería concurrente ya tienen más de 30 años de existencia [1-2], todavía hoy se producen situaciones como la representada en la figura 1, ampliamente citada en la literatura y conocida como “over-the-wall” o “ingeniería a través del muro”: la fabricación y el montaje son básicamente artesanales y apenas existe relación con el diseño funcional. Dando lugar a una situación que se puede resumir en la expresión: “fabrica como puedas”.

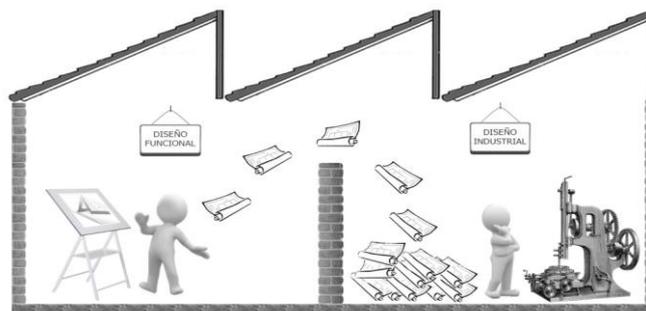


Figura 1. La Ingeniería a través del muro.

El incremento en el tamaño de las series de aviones, el coste del factor humano, el uso de maquinaria de control numérico y de la robótica, la automatización, y sobre todo la introducción de herramientas PLM han hecho que la concepción de una aeronave o una aeroestructura compleja implique no sólo un diseño funcional sino también un diseño industrial realizado colaborativamente [3].

Actualmente, todo este trabajo es llevado a cabo con procedimientos y métodos asistidos por computador que permiten un diseño industrial y funcional colaborativo con enormes beneficios: el tiempo al mercado se reduce, es posible crear y mantener un diseño virtual, tal como se muestra en la Figura 2, que garantiza una ejecución real, el coste global es menor, la calidad del producto mejora y los errores se minimizan.

Sin embargo, en lo relativo a la elaboración de la documentación suministrada al taller la situación apenas ha evolucionado. En una moderna línea de montaje aeronáutico, especialmente de grandes aeroestructuras o montajes finales, el volumen de información que hay que proporcionar a los operarios sobre los materiales, el proceso, los requerimientos de calidad y los elementos que se montan en cada operación es hoy en día muy elevado. Esta información se define en un documento llamado Instrucción Técnica (IT) de montaje, que se junta a la orden de trabajo. La IT es un documento de texto con ilustraciones. Inicialmente las ilustraciones se obtenían de los planos. Actualmente las ilustraciones son capturas de imagen de la maqueta digital del producto. La creación y puesta al día de la IT es un proceso costoso que se realiza después de terminar el diseño industrial de la línea de montaje.

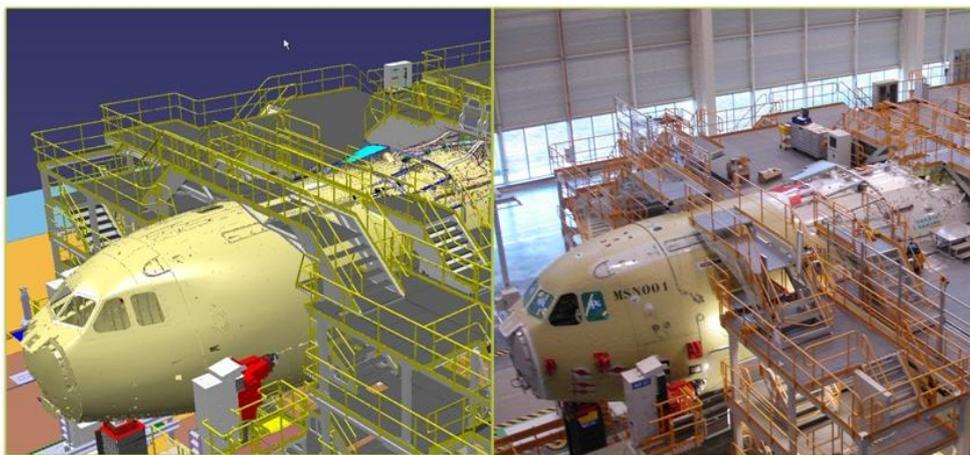


Figura 2. Diseño virtual y fabricación real

Las herramientas PLM de gestión del ciclo de vida ofrecen un potencial muy grande de mejora del proceso de creación y puesta al día de las IT, así como del propio documento. Utilizando herramientas PLM el diseño industrial se centraliza alrededor de la maqueta digital industrial (industrial Digital Mock-Up), iDMU. Esta iDMU contiene todos los modelos digitales del producto y de los recursos, integrados con la definición virtual de los procesos de montaje y toda la información asociada a ellos. Las IT se obtienen a partir de los modelos e información contenida en la iDMU. De esta manera el documento puede editarse mediante herramientas PLM específicas, tecnologías laser, de realidad aumentada y procedimientos tan automatizados como sea posible.

Airbus Military ha realizado varios proyectos de investigación y desarrollo para demostrar la creación de diferentes tipos de IT mediante la aplicación de esta metodología y utilizando varias tecnologías de implementación.

2. ESTADO DEL ARTE Y PROBLEMA INDUSTRIAL

Tradicionalmente la información técnica de taller que se ha utilizado en la industria aeronáutica han sido los planos de las partes a fabricar o los planos de los subconjuntos a

ensamblar. Estos planos eran copias originales controladas, en algunos casos con añadidos manuales en forma de ayuda a la fabricación o al montaje. Los útiles se construían en base a esta información utilizando técnicas de foto-anodizado y similares [4].

Con la introducción de las herramientas PLM, y en concreto con la introducción de los primeros sistemas CAD/CAM en las tareas de industrialización, fue posible acometer algunos procesos de forma automática, especialmente los de fabricación de partes. La utilización de maquinaria de control numérico y su programación hizo posible generar documentación asociada a los planos de diseño funcional. Información relativa a herramientas de corte, secuencias del proceso de mecanizado, útiles y datos del material [5].

Los procesos de montaje seguían utilizando documentación de producto. Libros de montaje compuestos por colecciones de planos mostrando conjuntos, uniones y detalles. Un avance sobre la utilización de planos fue incluir fotos reales con anotaciones (Figura 3).

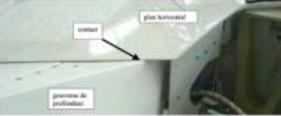
	INSTRUCCIÓN DE TRABAJO	I.T.-076E39-0900-0-1	
		HOJA: 3 (de 4)	PÁGINA 18 (de 32)
TÍTULO: FALCON 7X FASE IV			
7.32.1 Deflectar el timón hacia abajo, hasta que se produzca contacto en el tope de herraje 3. 7.32.2 Comprobar que el tope se produce en el rango (-18° + -20,5°) 7.32.3 Desmontar este tope y almacenarlo adecuadamente junto a sus fijaciones. 7.32.4 Llevar el timón hacia abajo hasta contactar con el tope de herraje 4, comprobar que el contacto se produce en el rango (-92° + -95°). Chequear que no existe contacto con la estructura de tapas de borde de salida.			
7.32.5 Deflectar el timón hacia arriba hasta el contacto superior del mismo herraje. Comprobar ángulo. 7.32.6 Llevar el valor obtenido hasta la zona rayada mediante el rebaje de la zona de contacto del tope.			
7.32.7 Comprobar que no existen interferencias con la estructura, deflectando el timón hasta los topes máximos de recorrido.			
7.33. CLAUSULA DE ASEGURAMIENTO ASEG-07-04: Asegurar ausencia de interferencia zona carena: 7.33.1 Asegurar no existen interferencias defecto (referencia HTP#1 FNK.DA.WP11.04727).			
7.34. Sellar aseguramiento en la orden de producción.			

Figura 3. Instrucción de trabajo

Actualmente las instrucciones de trabajo de montaje se realizan, en general, de forma manual. Las herramientas TIC utilizadas son aquellas de propósito general, tales como MS Office y Acrobat o algunos añadidos al ERP utilizando lenguajes como HTML. Las imágenes insertadas son extracciones de la DMU de producto retocadas manualmente. Las actualizaciones consumen mucho tiempo y es necesario tener habilitados un gran número de controles y pruebas que eviten la reutilización de documentación obsoleta.

La elaboración de instrucciones de trabajo es objeto de investigación, también en entornos distintos del aeronáutico y desde distintas perspectivas, por ejemplo: facilidad en su generación y comprensión [6], formato de contenido [7] y creación y despliegue [8].

Dentro del entorno aeronáutico, los trabajos relacionados con instrucciones de trabajo se orientan hacia la formalización de la documentación técnica [9], el desarrollo de sistemas que asistan en la generación de documentación técnica [10] y en la utilización de técnicas de realidad aumentada para el despliegue de las instrucciones de trabajo en el taller [11].

3. SOLUCIÓN PROPUESTA

La metodología de Airbus Military divide el proceso de industrialización de una aeroestructura en tres fases: una primera fase en la que se realiza el diseño conceptual, una segunda en la que se realiza el diseño detallado y una tercera que consiste en elaborar las instrucciones de montaje. De esta manera las instrucciones de montaje se elaboran una vez

terminado el diseño industrial de la aeroestructura, cuando toda la información de la industrialización está disponible [12-13].

En dicha metodología el diseño industrial de la aeroestructura se realiza en, y tiene como resultado la iDMU [14]. Este concepto consiste en reunir en un único entorno virtual una maqueta digital que contenga toda la información que se genera y utiliza en el diseño de una aeroestructura. En la iDMU, a la maqueta digital del producto se le añade la maqueta digital de utillaje y medios industriales y la definición de los procesos de montaje. De esta manera en la iDMU se gestionan los tres tipos de elementos básicos para el diseño de una aeroestructura. Estos tres elementos básicos se organizan en las correspondientes estructuras de Producto, Procesos de Montaje y Recursos. En esta iDMU es posible establecer relaciones entre los elementos de Procesos de Montaje y los elementos del Producto y Recursos vinculados con cada proceso. Estas relaciones se establecen de manera que permitan diseñar en contexto y validar los tres elementos del modelo. En lo relativo a los procesos de montaje, la iDMU posibilita estudiar y diseñar cada proceso de montaje en contexto, es decir en el entorno virtual formado con el estado inicial del producto y el utillaje al comienzo del proceso, al que se pueden añadir los elementos del producto que se montan en el proceso y los elementos de recurso utilizados para realizarlo. Este entorno virtual en la iDMU queda asociado al proceso y puede utilizarse para validar el diseño del proceso mediante los diversos tipos de simulaciones que posibilitan las herramientas PLM.

Una vez finalizado el proceso de industrialización, la iDMU contiene toda la información de cada proceso de montaje, tanto los metadatos, la información 3D como las simulaciones de validación del proceso de montaje. Ahora es posible elaborar las instrucciones de montaje de cada proceso utilizando su información asociada en la iDMU. Al igual que la iDMU, las instrucciones de montaje pueden elaborarse con todas las funcionalidades que proporcionan las herramientas PLM.

El segundo avance planteado en la solución propuesta por Airbus Military es la adaptación de las instrucciones de montaje a los diferentes tipos de operaciones de montaje aprovechando todas las tecnologías actuales, especialmente las de realidad aumentada, superando el formato de texto ilustrado actual que no se considera adecuado para todas las operaciones de montaje. Se quiere aprovechar el potencial que ofrecen las tecnologías actuales para integrar la información necesaria y además presentarla de la manera que más ayude a la ejecución de la operación de montaje.

El tercer avance perseguido consiste en reducir al máximo la carga de trabajo necesario para elaborar y evolucionar las instrucciones de trabajo. Dado que las instrucciones de trabajo no generan nueva información, sino que presentan la información ya generada en el proceso de industrialización, su elaboración y evolución son un trabajo redundante y de poco valor añadido que conviene automatizar en el mayor grado posible.

Como cuarto y último avance se pretende desarrollar las tecnologías y equipos que proporcionen la accesibilidad a las instrucciones de montaje en todo tiempo y lugar.

4. PROYECTOS REALIZADOS.

La implementación de la solución propuesta por Airbus Military no es inmediata, requiere un proceso de investigación y desarrollo para encontrar las soluciones metodológicas y tecnológicas que permitan conseguir todos los beneficios potenciales.

Airbus Military ha realizado varios proyectos de I+D+i en colaboración con empresas de Ingeniería y TIC, Centros de Investigación y Universidades, para avanzar en la implementación de la solución propuesta. Cada proyecto ha dado lugar a la realización de un prototipo o un demostrador que ha sido ensayado y puesto a punto en las instalaciones de Airbus Military en Sevilla, principalmente en la línea de montaje final del avión Airbus A400M y de los aviones CN-235 y C295. Estos proyectos se relacionan y comentan a continuación.

4.1. Proyecto SUN – Sistema de ayUda al moNtaje.

Sistema de ayuda al operario en el montaje en zonas de difícil acceso y donde el empleo de documentación en papel utilizando ambas manos es difícil o penoso [15] (Figura 4).

Las principales funcionalidades proporcionadas son:

- Comunicación inalámbrica audio/video entre los componentes del equipo de trabajo y el jefe de equipo.
- Acceso a las instrucciones de trabajo mediante comandos de voz. Lectura de los mismos con un sintetizador y presentación en pantalla.
- Dispositivo de control de hombre muerto para uso en lugares donde sea necesario.
- Componentes comerciales, de manejo sencillo y peso y tamaño reducido.



Figura 4 Sistema SUN de ayuda al operario en zonas de difícil acceso

Los puntos a destacar en este proyecto han sido las pruebas de comunicaciones inalámbricas en el interior de un fuselaje metálico, el desarrollo de un sintetizador y un reconocedor de voz, de un módulo gestor de comunicaciones para el envío y la recepción de audio, video y señales de control así como el desarrollo de un algoritmo de balanceo del ancho de banda.

4.2. Proyecto SAMBA-Laser – Sistema de Ayuda al Montaje BASado en Laser.

Sistema de presentación de información mediante proyección laser [16].

Las principales funcionalidades proporcionadas son:

- Calibración de la posición del proyector respecto a la zona de trabajo.
- Proyección de la información directamente sobre la zona de trabajo.
- Indicación de la secuencia de ejecución de los pasos elementales del proceso.
- Presentación de la información particular de cada paso elemental del proceso.
- Interacción con el operario de montaje utilizando un menú icónico.

Los puntos a destacar en este proyecto han sido el desarrollo de un módulo específico en CATIA v5 de Dassault Systems para la programación directamente sobre la iDMU y el desarrollo de un post-procesador para la personalización de la salida neutra de CATIA v5 al laser utilizado de la empresa Virtek (Figura 5).

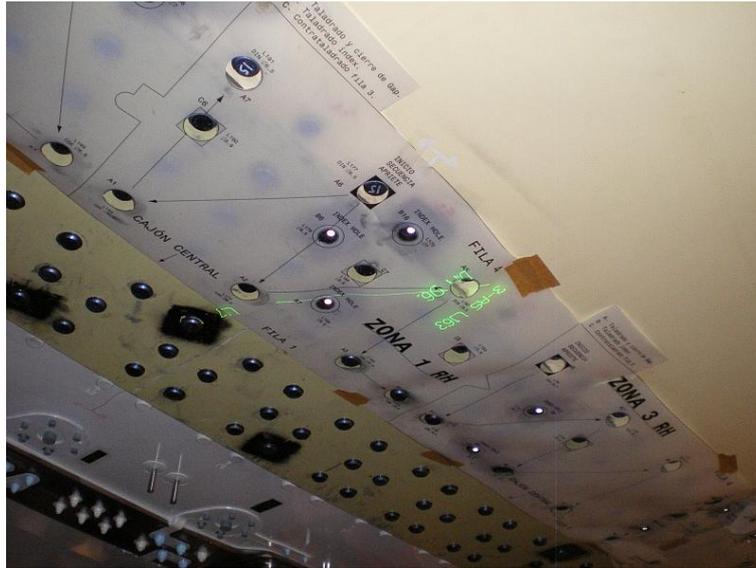


Figura 5 Sistema SAMBA-LASER de proyección láser de información sobre la zona de trabajo

4.3. Proyecto MOON - asseMbly Oriented authOring AugmeNted reality.

Prototipo demostrador de ayuda al montaje de instalaciones mediante el uso de realidad aumentada (Figura 6) [17]. El desarrollo está basado en una patente de Airbus Military [18].

Las principales funcionalidades proporcionadas por el sistema son:

- Calibración de la posición del equipo respecto a la zona de trabajo.
- Superposición de la maqueta virtual de la instalación y la imagen real del producto.



Figura 6. Sistema MOON de ayuda al montaje de instalaciones mediante realidad aumentada

4.4. Proyecto MARS - autoMAted shop-floor documentation updating System.

Sistema de ayuda a la inclusión de imágenes, ilustraciones, listas de partes y referencias en instrucciones de montaje y su actualización automática. En el desarrollo de este proyecto se tomaron como referencia trabajos sobre sistemas de ayuda para la generación de documentación [9-10]. La Figura 7 muestra un ejemplo de instrucción de trabajo generada con el sistema MARS.

Las principales funcionalidades proporcionadas por el sistema son:

- Inserción a partir de una DMU preparada al efecto, manteniendo la vinculación con la misma y su actualización.
- Aviso de evolución de la DMU y actualización automática de las ilustraciones, listas de partes y referencias, previa petición de conformidad.

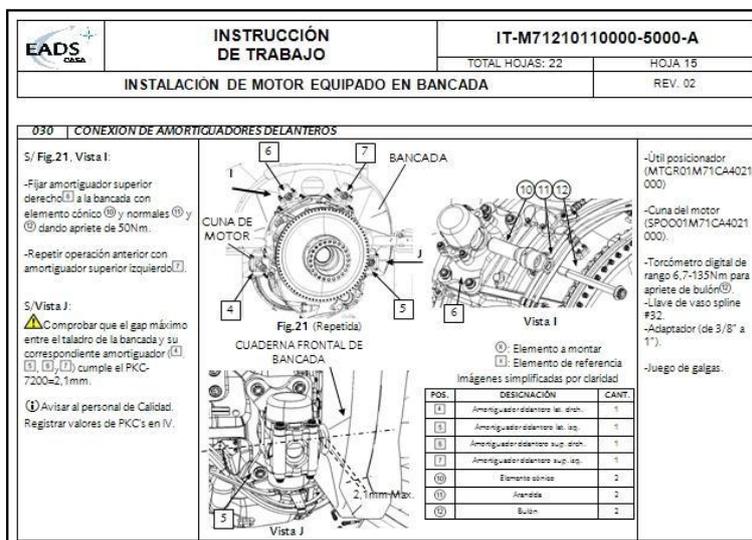


Figura 7. Sistema MARS de ayuda a la inserción de ilustraciones.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

Los proyectos citados demuestran la viabilidad y los beneficios de la solución propuesta. SAMBA-Laser y MOON han demostrado la ganancia de adaptar las instrucciones de montaje al tipo de operación de montaje mediante las tecnologías de proyección laser y realidad aumentada. SUN ha demostrado la ganancia de posibilitar el acceso a las instrucciones de trabajo en zonas de difícil acceso y MARS la ganancia de reducir la carga de trabajo necesario para elaborar y evolucionar las ilustraciones de las instrucciones de trabajo.

Sin embargo se trata de desarrollos concretos que confirman y suponen avances reales, pero que no son una solución completa e integral para la elaboración y evolución de las instrucciones de montaje. Para su desarrollo se necesita avanzar en dos líneas de trabajo.

En primer lugar desarrollos tecnológicos. Es necesario desarrollar las tecnologías para adaptar las instrucciones de trabajo a los tipos de operaciones de montaje y entre los principales temas a desarrollar podemos destacar:

- Proyectores laser portables y mas eficaces, mejorando la calibración de la posición del proyector respecto al producto e incorporando el color como una información más. Añadir el trabajo cooperativo de varios proyectores para evitar zonas de sombra. Contar con sistemas que permitan generar la geometría de posicionado en un escenario de forma automática.
- Sistemas de realidad aumentada en los que se pueda conseguir la calibración de la posición del equipo, geo-localización respecto al producto, sin necesidad de marcas artificiales. Capacidades para interrogar a la maqueta virtual y comparar producto real con la maqueta virtual para facilitar las operaciones de verificación.
- Tecnologías de comunicaciones, equipos y aplicaciones integrados que permitan el acceso a las instrucciones de trabajo en cualquier tiempo y lugar.

En segundo lugar desarrollos metodológicos. Se precisa identificar las necesidades de información de los diferentes tipos de operaciones de montaje y definir los correspondientes tipos y formatos de presentación de las IT de montaje. Es necesario definir la metodología de elaboración de todos ellos a partir de la iDMU. Por último es necesario mejorar la legibilidad de las instrucciones de trabajo y definir un lenguaje icónico que permita reducir los textos en las mismas al mínimo imprescindible y el cambio de idioma de forma sencilla.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su más sincera gratitud a sus colegas de la Universidad de Sevilla y Málaga, CEIT IK4, T-Systems Iberia, Virtek, ARPA Solutions, Universidad Politécnica de Madrid y AIRBUS Military por su colaboración en estos Proyectos.

7. REFERENCIAS

- [1] R. P. Smith, *The Historical Roots of Concurrent Engineering Fundamentals*, IEEE Transactions on Engineering Management, vol. 44, pp 67-78, 1997.
- [2] D. T. Pham, S. S. Dimov, R. M. Setchi, *Concurrent Engineering a tool for collaborative working*, Human Systems Management, vol 18, n.3-4, pp 213-224, 1999.
- [3] T. Pardessus, *Concurrent Engineering Development and Practices for aircraft design at AIRBUS*, Proc. of the 24th Intl. Congress of the Aeronautical Sciences (ISCAS 2004).
- [4] Peter C.C. Wang, *Advances in CAD/CAM: Case studies*, Kluwer Academic Publishers (Boston), 1984, ISBN 0898381576.
- [5] J. Ríos, J. V. Jiménez, J. Pérez, A. Vizán, J. L. Menéndez, F. Mas, *KBE application for the design and manufacturing of HSM fixtures*, Journal of advanced Engineering. Acta Polytechnica 2005, Vol. 3, ISSN: 1210-2709, pp. 17-24.
- [6] J. Heiser et al., *Identification and validation of cognitive design principles for automated generation of assembly instructions*, Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces, pp 311-319, 2004.
- [7] G. Watson, et al., *Do dynamic work instructions provide an advantage over static instructions in a small scale assembly task?*, Learning and Instruction, vol. 20, pp. 84-93, 2010.
- [8] I. Stock, M. Weber, *Authoring technical documentation using a generic document model*, Proceedings of the 24th annual ACM Intl. Conf. on Design of Communication, pp 172-179, 2006.
- [9] J. G. Nagle, *Handbook for preparing engineering documents: from concept to completion*, Wiley-IEEE ISBN0780310977, 9780780310971, 1997.
- [10] Colin G. Drury, *Development and Use of the Documentation Design Aid*, Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, July 2000, vol. 44.
- [11] D. Mizell, *Augmented Reality Applications in Aerospace*, IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR'00), 2000.
- [12] F. Mas Morate, J. Ríos, J. L. Menéndez, J. C. Hernandez, A. Vizán, *Concurrent Conceptual Design of Aerostructure Assembly Lines*, Proceedings of 14th International Conference on Concurrent Enterprising. 2008, ISBN: 978-0-85358-244-1, pp. 783-790.
- [13] F. Mas Morate, J. Ríos, J. L. Menéndez, J. C. Hernandez, A. Vizán, *Information Model for Assembly Line Design at Conceptual Phase*, Proceedings of 3rd Manufacturing Engineering Society Int. Conference. 2009, ISBN: 978-8-46133-166-6, pp. 288-295.
- [14] J.L. Menendez, F. Mas Morate, J. Servan, J. Rios, *Virtual verification of the AIRBUS A400M FAL industrialization*, The 4th Manufacturing Engineering Society Intl. Conf.: MESIC11. AIP Conf. Proc. 1431, pp 641-648. September 2011. Cadiz.
- [15] D. Borro, J. Servan, J.M. Cordero, J.R. Sanchez, F. Mas Morate, L. Matey, *Hands-free Wearable Guided System for Assembly Tasks in Aerospace Industry*, Revista DYNA, Ingeniería e Industria. Junio 2011, Vol. 86-3, pp. 328-335.
- [16] J. Servan, M. Oliva, F. Mas, J. Ríos, *Proyección laser como soporte al proceso de montaje del ala del Airbus A400M*, XIX Congreso Nacional de Ing. Mecánica, Castellon, 2012.
- [17] J. Servan, F. Mas Morate, J.L. Menendez, J. Rios, *Using Augmented Reality in AIRBUS A400M Shopfloor Assembly Work Instructions*, The 4th Manufacturing Engineering Society Intl Conf.: MESIC11. AIP Conf. Proc. 1431, pp 633-640. September 2011. Cadiz.
- [18] F. Mas, J. Servan, *Method and system for assembling components*. Patente Europea 10382187.2-1522 de Julio 2010. Patente USA 12/898,870 de Octubre 2010.